

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Diseño e Implementación de Antena Inteligente Basada
en GPS para un Vehículo Aéreo No Tripulado**

Francisco Sebastián Cuesta Soto

René Játiva, Ph.D. (c), Director de Tesis

Tesis de Grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico y
Electrónico

Quito, abril de 2014

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Diseño e Implementación de Antena Inteligente Basada
en GPS para un Vehículo Aéreo No Tripulado**

Francisco Sebastián Cuesta Soto

René Játiva, Ph.D.(c)
Director de Tesis

.....

Nelson Herrera, Ing.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Santiago Navarro, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Luis Miguel Prócel, MS.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Omar Aguirre, MS.
Director del Departamento de
Ingeniería Eléctrica y Electrónica

.....

Ximena Córdova, Ph.D.
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, abril de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Francisco Sebastián Cuesta Soto

C. I.: 171244108-6

Fecha: Quito, abril de 2014

Dedicatoria

Informalmente:

Este proyecto es dedicado a la oportunidad de un mundo mejor, un mundo gobernado por los sueños a realizarse, el trabajo duro y la capacidad de levantarse sin importar cuantas veces caigamos.

Formalmente:

Dedico este trabajo a mi familia y mis amigos, y a cada persona que he conocido, por permitirme vivir en un mundo de luz y color, por permitirme elegir el color de mí día a día.

Agradecimientos

Informalmente:

Agradezco a todas las personas que me han acompañado y me acompañan en este camino llamado vida, por existir y permitirme crecer, caer, levantarme y renacer a su lado.

Formalmente:

Agradezco a mi tutor, Jené Játiva, por aceptar mi versión de antena inteligente y el apoyo en el desarrollo de la tesis. Agradezco al departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad San Francisco de Quito por mostrarme un mundo más allá de la teoría. Agradezco al personal del Proyecto Galápagos UAV por la oportunidad de desarrollar tecnología a partir de un camino propio. Agradezco al personal administrativo de la Universidad San Francisco de Quito por la confianza y los recursos invertidos en el proyecto. Agradezco a la Dirección General de Aviación Civil por la oportunidad de probar los resultados del conocimiento teórico llevado a la práctica.

Me encuentro realmente agradecido con mi familia y mis amigos por el ánimo y la fuerza que me otorgaron, a pesar que anduve pidiendo favores un poco extraños.

Resumen

Esta tesis aborda el desarrollo de un sistema de antena inteligente que utiliza la información de un receptor GPS; con el objetivo de implementarse en un usuario móvil, como un vehículo aéreo no tripulado. El desarrollo del sistema de antena inteligente cubre el diseño del sistema y la caracterización de los componentes candidatos. El diseño del sistema busca crear una arquitectura que pueda utilizarse en un usuario móvil, para ello se utiliza el receptor GPS para estimar la ubicación de la estación base. La caracterización de los componentes y sistemas determina las capacidades reales del sistema, así como sus posibilidades de implementarse.

Abstract

This thesis approaches the development of a smart antenna system which uses the information from a GPS receiver, in order to be implemented in a mobile user, such as an unmanned aerial vehicle. The development of the smart antenna system covers the system design and characterization of candidate components. The system's design seeks to develop an architecture that can be used in a mobile user, for which the GPS receiver is used to estimate the location of the base station. The characterization of components and systems determines the actual capacity of the system and their ability to be implemented.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	5
Agradecimientos.....	6
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Tabla de contenido.....	9
Lista de Figuras.....	13
Lista de Tablas.....	22
Lista de Ecuaciones.....	26
Reglas y convenciones para el uso de la tesis.....	28
1. Introducción.....	29
2. Objetivos.....	30
3. Justificación.....	32
4. Marco Teórico.....	33
4.1. Teoría de Antenas.....	33
4.1.1. Conceptos Elementales de Antenas.....	33
4.1.2. Conceptos de Arreglos de Antenas.....	38
4.1.3. Conceptos de Antenas Inteligentes.....	45
4.1.4. Conceptos de Línea de Transmisión.....	51
4.2. Nociones de Navegación Satelital.....	55
4.2.1. Conceptos Básicos de GNSS.....	55
4.2.2. Conceptos de Cartografía.....	59
5. Capítulo I: Diseño de la Antena Inteligente.....	62
5.1. Diseño de Arquitectura.....	62

5.1.1. Estudio y Análisis Comparativo de Arquitecturas Existentes.....	62
5.1.2. Elección de la Arquitectura a Desarrollar.....	69
5.1.3. Evolución de la Arquitectura.....	70
5.2. Diseño del Arreglo De Antenas	73
5.2.1. Análisis de Antenas Candidatos.....	73
5.2.2. Estudio de Distribuciones de Arreglos Disponibles	74
5.2.3. Desarrollo del Arreglo de Antenas.....	78
5.2.4. Análisis del Arreglo de Antenas.....	109
5.2.5. Elección de Antena y Arreglo.....	120
5.3. Diseño del Sistema de Procesamiento y Control ..	120
5.3.1. Introducción.....	120
5.3.2. Obtención de datos del receptor GPS.....	122
5.3.3. Estimación de la Dirección de Arribo.....	125
5.3.4. Elección de Configuración Activa.....	135
5.3.5. Simulación del Sistema de Control.....	141
5.4. Sistemas y Equipos	163
5.4.1. Estudio de Dispositivos Existentes en el Mercado.....	163
5.4.2. Dispositivos y Componentes que Integran el Sistema de Antena Inteligente.....	167
6. Capítulo II: Caracterización de la Antena Inteligente	172
6.1. Objetivos del Banco de Pruebas	172
6.2. Pruebas de Caracterización de Arreglo de Antenas	173

6.2.1. Prueba de Caracterización de Línea de Retardo.	173
6.2.2. Prueba de Caracterización de Arreglo de Antenas.....	179
6.2.3. Prueba de Caracterización de Pérdidas.....	190
6.3. Pruebas de Caracterización de Control de Antenas	196
6.3.1. Prueba de Caracterización de Conmutador SPDT..	196
6.3.2. Prueba de Reflexión de Componentes.....	200
6.4. Pruebas de Caracterización de Algoritmo de Control	205
6.4.1. Prueba de Comunicación con Receptor GPS.....	205
6.4.2. Prueba de Captura de Datos.....	208
6.4.3. Prueba de Funcionamiento de Algoritmo de Control.....	209
6.4.4. Sintonización de Parámetros de Control.....	215
7. Discusiones	220
8. Conclusiones	222
9. Recomendaciones	223
10. Bibliografía	227
11. Anexos	230
Anexo A: Glosario de Abreviaturas.....	230
Anexo B: Listado de Variables y Constantes.....	232
Anexo C: Modelos de Antenas a partir de su Vector de Radiación.....	234
Anexo D: Códigos de Simulación de Matlab.....	244
Anexo E: Datos de Posición GPS.....	358

Anexo F: Código de Programación Arduino.....	369
Anexo G: Mediciones de las pruebas de caracterización.....	416
Anexo H: Dispositivos y Adquisiciones.....	476

Lista de Figuras

Figura 4-1: Arquitectura teórica de antena inteligente en recepción.....	49
Figura 4-2: Arquitectura teórica de antena inteligente en transmisión.....	50
Figura 4-3: Esquema de un divisor Wilkinson 1: n.....	55
Figura 4-4: Funcionamiento simplificado de un receptor GNSS	56
Figura 5-1: Arquitectura inicial basada en software.....	71
Figura 5-2: Arquitectura modificada basada en hardware..	71
Figura 5-3: Arquitectura basada en conmutador matricial.	72
Figura 5-4: Arquitectura definitiva basada en línea conmutada.....	72
Figura 5-5: Factores de arreglo normalizados de la Función AF con parámetros de Tabla 5-1.....	80
Figura 5-6: Resultados de la Función AF2 utilizando parámetros de la Tabla 5-1 con $n=2$	81
Figura 5-7: Factores de arreglo normalizados de la Función AF4 con parámetros de Tabla 5-2.....	82
Figura 5-8: Resultados de Función AF5 utilizando parámetros de la Tabla 5-2 con $c=0$	82
Figura 5-9: Arreglo circular de tres elementos.....	83
Figura 5-10: Sistema de referencia de un arreglo circular de tres elementos.....	84
Figura 5-11: Patrón de radiación de la Rutina plotU.....	86

Figura 5-12: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 1.....	87
Figura 5-13: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 2.....	87
Figura 5-14: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 3.....	88
Figura 5-15: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 4.....	88
Figura 5-16: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 5.....	88
Figura 5-17: Patrón de radiación de Rutina plotU_1 usando la configuración 1.....	90
Figura 5-18: Patrón de radiación de Rutina plotU_1 usando la configuración 2.....	90
Figura 5-19: Patrón de radiación de Rutina plotU_3 para la configuración 6.....	91
Figura 5-20: Patrón de radiación de Rutina plotU_3 utilizando la tabla 5-7.....	91
Figura 5-21: Patrón de radiación de Rutina plot_u_tri para la configuración 7 Antena Única.....	92
Figura 5-22: Patrón de radiación de Rutina plot_u_tri usando la tabla 5-8.....	93
Figura 5-23: Patrón de radiación de la configuración 1 de la Tabla 5-8.....	94
Figura 5-24: Patrón de radiación combinado de Rutina plot_u_trig_c.....	94
Figura 5-25: Patrón de radiación tridimensional combinado de Rutina plot_u_trig_c.....	95

Figura 5-26: Arreglo triangular de seis antenas.....	96
Figura 5-27: Patrones de radiación del arreglo triangular de seis antenas.....	96
Figura 5-28: Patrones de radiación de un arreglo planar de tres antenas.....	98
Figura 5-29: Arreglo planar de cuatro elementos.....	99
Figura 5-30: Set 1 de configuraciones para arreglo planar de cuatro antenas.....	102
Figura 5-31: Set 2 de configuraciones para arreglo planar de cuatro antenas.....	103
Figura 5-32: Set de configuraciones disponibles para el arreglo planar.....	105
Figura 5-33: Patrones de radiación para el arreglo planar de cuatro antenas.....	107
Figura 5-34: Patrones de radiación a partir de la DOA para el arreglo planar de cuatro antenas.....	108
Figura 5-35: Estados intermedios para el arreglo de cuatro antenas.....	108
Figura 5-36: Patrones de radiación del arreglo de cuatro antenas.....	109
Figura 5-37: Patrones de radiación del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto de impedancia mutua.....	111
Figura 5-38: Patrones de radiación del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto del coeficiente de reflexión.....	113
Figura 5-39: Patrones de radiación intermedios del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto del coeficiente de reflexión.....	113

Figura 5-40: Patrón de elevación y ancho de haz para cada elemento de arreglo.....	115
Figura 5-41: Patrón de radiación tridimensional para el modelo de dipolo mejorado.....	115
Figura 5-42: Patrón de radiación tridimensional para el arreglo planar de cuatro antenas.....	115
Figura 5-43: Factor de arreglo tridimensional para el arreglo planar de cuatro antenas.....	116
Figura 5-44: Patrón de radiación en elevación para el modelo de dipolo y el arreglo de antenas.....	116
Figura 5-45: Patrón de radiación en acimut para el modelo de dipolo y el arreglo de antenas.....	116
Figura 5-46: Ganancia del arreglo de antenas para la SNR.....	118
Figura 5-47: Ganancia en magnitud del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI.....	118
Figura 5-48: Ganancia en decibeles del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI.....	118
Figura 5-49: Ganancia en magnitud del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI aplicado control.....	119
Figura 5-50: Ganancia en decibeles del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI aplicado control.....	119
Figura 5-51: Diagrama de flujo principal del sistema de procesamiento y control.....	121
Figura 5-52: Diagrama de flujo de la lectura de datos seriales.....	124
Figura 5-53: Estimación física de la DOA.....	127
Figura 5-54: Estimación del acimut.....	128

Figura 5-55: Estimación de ángulo recto obtenido a partir de Matlab 33: Rutina error_ang.....	131
Figura 5-56: Error de ángulo recto obtenido a partir de Matlab 33: Rutina error_ang.....	132
Figura 5-57: Comparación de las estimaciones del acimut de dirección.....	133
Figura 5-58: Error de la estimación del acimut de dirección basada en datos de posición.....	133
Figura 5-59: Diagrama de flujo del sistema de control..	141
Figura 5-60: Simulación de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02.....	143
Figura 5-61: Muestra de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02	143
Figura 5-62: Captura de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02	143
Figura 5-63: Simulación de selección de configuración activa a partir de la DOA.....	145
Figura 5-64: Simulación de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02.....	146
Figura 5-65: Muestra de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02	146
Figura 5-66: Captura de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02	146
Figura 5-67: Simulación de geo_ex_05 utilizando geo_data_ex_04.....	147
Figura 5-68: Muestra de geo_ex_05 utilizando geo_data_ex_04	147

Figura 5-69: Captura de geo_ex_05 utilizando geo_data_ex_04	148
Figura 5-70: Simulación de barrido del algoritmo de histéresis.....	149
Figura 5-71: Aplicación de histéresis al 5% al arreglo planar de cuatro antenas.....	150
Figura 5-72: Patrón de radiación aplicado histéresis... ..	150
Figura 5-73: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis en sentido horario.....	151
Figura 5-74: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis en sentido anti horario.....	151
Figura 5-75: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis considerando el peor escenario.....	151
Figura 5-76: Barrido del algoritmo de validación de DOA	152
Figura 5-77: Ruta trazada a partir del banco de datos geo_data_ex_05.....	153
Figura 5-78: Simulación de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05.....	154
Figura 5-79: Muestra de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05.....	154
Figura 5-80: Captura de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05.....	154
Figura 5-81: Dinámica de conmutación del sistema aplicado control por histéresis.....	155
Figura 5-82: Intensidad de radiación del sistema aplicado control por histéresis.....	156
Figura 5-83: Dinámica de conmutación del sistema aplicado la validación de DOA.....	157

Figura 5-84: Intensidad de radiación del sistema aplicado la validación de DOA.....	157
Figura 5-85: Simulación de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05.....	158
Figura 5-86: Muestra de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05.....	158
Figura 5-87: Captura de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05.....	158
Figura 5-88: Simulación de geo_tel_03 utilizando geo_data_ex_05.....	159
Figura 5-89: Muestra de geo_tel_03 utilizando geo_data_ex_05.....	160
Figura 5-90: Captura de geo_tel_03 utilizando geo_data_ex_05.....	160
Figura 5-91: Dinámica de conmutación del sistema utilizando la dirección del autopiloto.....	161
Figura 5-92: Intensidad de radiación del sistema utilizando la dirección del autopiloto.....	161
Figura 5-93: Micro controlador seleccionado (Arduino UNO R3) (Arduino).....	168
Figura 5-94: Conmutador SPDT seleccionado (Teledyne CCR-33S8C-T) (Teledyne Technologies Incorporated).....	169
Figura 5-95: Divisor / Combinador Wilkinson seleccionado (Instock PD2140) (INSTOCK Wireless Components).....	169
Figura 5-96: Antena seleccionada (L-Com HG903RD-SM) (L-com, Inc.).....	170
Figura 6-1: Esquema para la primera prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000).....	174

Figura 6-2: Medición de fase para el cable de 2 in (izquierda) y 3 in (derecha).....	175
Figura 6-3: Medición de fase para el cable de 4 in (izquierda) y 5 in (derecha).....	175
Figura 6-4: Medición de fase para el cable de 6 in.....	176
Figura 6-5: Esquema para la segunda prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000).....	177
Figura 6-6: Esquema para la tercera prueba.....	181
Figura 6-7: Arreglo de antenas.....	181
Figura 6-8: Medición de control.....	183
Figura 6-9: Esquema de Mediciones para la configuración 1 (DOA=0°).....	183
Figura 6-10: Esquema de Mediciones para la configuración 2 (DOA=60°).....	184
Figura 6-11: Atenuación a 30 grados en función de la frecuencia.....	187
Figura 6-12: Esquema para la cuarta prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000).....	191
Figura 6-13: Esquema para la quinta prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000).....	193
Figura 6-14: Esquema para la sexta prueba.....	197
Figura 6-15: Mediciones del tiempo de conmutación para un par de conmutadores.....	198
Figura 6-16: Esquema para la séptima prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000).....	200
Figura 6-17: Captura de la prueba de reflexión de control del divisor Wilkinson.....	202

Figura 6-18: Captura de la prueba de transmisión de control del divisor Wilkinson.....	202
Figura 6-19: Pantalla principal del programa u-center..	206
Figura 6-20: Monitor de paquetes de u-center.....	207
Figura 6-21: Monitor de datos de u-center.....	207
Figura 6-22: Módulo de pruebas de configuración activa.	210
Figura 6-23: Simulación de geo_test_smart_01 utilizando geo_data_ex_06.....	212
Figura 6-24: Muestra de geo_test_smart_01 utilizando geo_data_ex_06.....	213
Figura 6-25: Captura de geo_test_smart_01 utilizando geo_data_ex_06.....	213
Figura 6-26: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_06.....	214
Figura 6-27: Captura de dina_plot_smart_01.mp4.....	215
Figura 6-28: Captura de dina_plot_smart_02_test_code.mp4	216
Figura 6-29: Captura de dina_plot_smart_02_test_01.mp4.	216
Figura 6-30: Captura de dina_plot_smart_02_test_02.mp4.	217
Figura 6-31: Captura de dina_plot_smart_02_test_03.mp4.	218
Figura 6-32: Captura de dina_plot_smart_02_test_04.mp4.	218
Figura 6-33: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_09.....	219
Figura 6-34: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_10.....	219

Lista de Tablas

Tabla 5-1: Parámetros de Matlab 1: Función AF para configuraciones Broadside y End-fire.....	80
Tabla 5-2: Parámetros de Matlab 4: Función AF4 para configuraciones Broadside y End-fire.....	82
Tabla 5-3: Orientación de las combinaciones de elementos	85
Tabla 5-4: Orientación de los lóbulos de radiación de las diferentes configuraciones de arreglo.....	85
Tabla 5-5: Tabla de configuración de arreglo de Matlab 8: Rutina plotU_2.....	87
Tabla 5-6: Parámetros de configuración de Matlab 9: Rutina plotU_1.....	90
Tabla 5-7: Tabla de configuración de Matlab 10: Rutina plotU_3.....	91
Tabla 5-8: Tabla de configuraciones de Matlab 11: Rutina plot_u_tri.....	93
Tabla 5-9: Configuraciones para el arreglo triangular de seis antenas.....	96
Tabla 5-10: Configuraciones para el arreglo planar de tres antenas.....	97
Tabla 5-11: Distancias de retardo en espacio libre para el set 1 de configuraciones.....	102
Tabla 5-12: Distancias de retardo en espacio libre para el set 2 de configuraciones.....	104
Tabla 5-13: Configuraciones de retardo para arreglo planar a partir de la DOA.....	105

Tabla 5-14: Pesos complejos para las configuraciones de arreglo planar.....	106
Tabla 5-15: Matriz de impedancias mutuas del arreglo planar de cuatro antenas.....	110
Tabla 5-16: Impedancias ajustadas y coeficiente de reflexión para un arreglo planar de cuatro antenas.....	110
Tabla 5-17: Criterios de estimación de acimut.....	129
Tabla 5-18: Estadísticas del Error de estimación del acimut de dirección.....	133
Tabla 5-19: Dinámica de conmutación de arreglo.....	140
Tabla 5-20: Información estadística del algoritmo original y las implementaciones de validación de DOA e información de dirección.....	162
Tabla 5-21: Presupuesto de dispositivos para sistema de antena inteligente.....	170
Tabla 5-22: Presupuesto de líneas de transmisión para sistema de antena inteligente.....	171
Tabla 5-23: Presupuesto de dispositivos para pruebas de caracterización.....	171
Tabla 6-1: Retardo de fase en función de la longitud del cable de prueba.....	176
Tabla 6-2: Estimación del error de fase para las líneas de retardo.....	176
Tabla 6-3: Retardo promedio obtenido en función de la longitud del cable.....	178
Tabla 6-4: Estimación del error de retardo para las líneas de retardo.....	179

Tabla 6-5: Estimación del error de retardo para las líneas de retardo.....	179
Tabla 6-6: Mediciones de potencia recibida para la configuración 1 del arreglo de antenas.....	184
Tabla 6-7: Mediciones de potencia recibida para la configuración 2 del arreglo de antenas.....	185
Tabla 6-8: Estimación de la ganancia real del arreglo de antenas.....	186
Tabla 6-9: Cálculo del error en la ganancia del arreglo de antenas.....	186
Tabla 6-10: Cálculo del error en la diferencia de ganancia para el arreglo de antenas.....	186
Tabla 6-11: Fase para una señal a 0 grados con una configuración de 0 grados.....	188
Tabla 6-12: Fase para una señal a 30 grados con una configuración de 0 grados.....	188
Tabla 6-13: Mediciones de las pérdidas de propagación en función de la longitud del cable.....	192
Tabla 6-14: Cálculo del error de las pérdidas en los cables de transmisión.....	192
Tabla 6-15: Mediciones de pérdidas para la caracterización de dispositivos.....	194
Tabla 6-16: Cálculo de error en las pérdidas de dispositivos.....	195
Tabla 6-17: Estimación de las pérdidas reales en el sistema real.....	195
Tabla 6-18: Parámetros de operación de dos conmutadores SPDT.....	198

Tabla 6-19: Cálculo del error en los parámetros de funcionamiento del conmutador.....	199
Tabla 6-20: Impedancia de entrada del divisor Wilkinson bajo diferentes eventos.....	202
Tabla 6-21: Atenuación de la señal de puerto 4 bajo diferentes eventos.....	203
Tabla 6-22: Resultados de las pruebas de reflexión en el divisor Wilkinson.....	204
Tabla 6-23: Resultados de las pruebas de transmisión en el divisor Wilkinson.....	204
Tabla 6-24: Esquema de captura de la trama NAV-POSLH..	208
Tabla 6-25: Esquema de captura de la trama NAV-VELNED..	208
Tabla 6-26: Resultados estadísticos para valores de histéresis del 5%, 10% y 15%.....	219

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1..... 36	Ecuación 23..... 43
Ecuación 2..... 36	Ecuación 24..... 44
Ecuación 3..... 36	Ecuación 25..... 44
Ecuación 4..... 36	Ecuación 26..... 44
Ecuación 5..... 36	Ecuación 27..... 44
Ecuación 6..... 36	Ecuación 28..... 44
Ecuación 7..... 36	Ecuación 29..... 44
Ecuación 8..... 37	Ecuación 30..... 44
Ecuación 9..... 37	Ecuación 31..... 45
Ecuación 10..... 37	Ecuación 32..... 45
Ecuación 11..... 37	Ecuación 33..... 52
Ecuación 12..... 37	Ecuación 34..... 52
Ecuación 13..... 37	Ecuación 35..... 53
Ecuación 14..... 37	Ecuación 36..... 53
Ecuación 15..... 38	Ecuación 37..... 53
Ecuación 16..... 38	Ecuación 38..... 53
Ecuación 17..... 41	Ecuación 39..... 53
Ecuación 18..... 41	Ecuación 40..... 54
Ecuación 19..... 41	Ecuación 41..... 54
Ecuación 20..... 41	Ecuación 42..... 60
Ecuación 21..... 43	Ecuación 43..... 62
Ecuación 22..... 43	Ecuación 44..... 89

Ecuación 45.....	101	Ecuación 53.....	236
Ecuación 46.....	106	Ecuación 54.....	238
Ecuación 47.....	129	Ecuación 55.....	239
Ecuación 48.....	131	Ecuación 56.....	242
Ecuación 49.....	188	Ecuación 57.....	242
Ecuación 50.....	189	Ecuación 58.....	243
Ecuación 51.....	189		
Ecuación 52.....	235		

Reglas y convenciones para el uso de la tesis

El desarrollo de ésta tesis ha requerido el uso extensivo de simulaciones, la utilización de bancos de datos generados o simulados; y la implementación de código en procesadores. Por este motivo se incluyen el Anexo D: Códigos de Simulación de Matlab, Anexo E: Datos de Posición GPS y Anexo F: Código de Programación Arduino para una explicación más detallada de los códigos de simulación, las bases de datos y los códigos de implementación en hardware respectivamente.

Los conceptos utilizados en esta tesis provienen de diferentes ramas del conocimiento: diseño de arreglos, sistemas de antena inteligente, dispositivos de procesamiento, dispositivos de control, sistemas de navegación satelital, conceptos de cartografía, entre otros. Por este motivo se sugiere revisar tanto el Anexo A: Glosario de Abreviaturas y el Anexo B: Listado de Variables y Constantes. Algunas variables tienen nomenclatura similar y como norma de precaución se aconseja su interpretación local.

1. Introducción

Un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) es una aeronave que prescinde físicamente de un piloto, realizando el control de operación de forma remota o mediante un sistema de piloto automático. Prescindiendo del piloto, las dimensiones de la aeronave se reducen al mantener únicamente los sistemas de propulsión, operación, control y comunicación. El diseño de los diferentes sistemas contempla la optimización de recursos, como son el espacio, el peso y el consumo energético; que definen la correcta operación de la aeronave y su autonomía de operación.

Dentro de los diferentes sistemas que contiene la aeronave se encuentra el sistema de comunicaciones, encargado de mantener un enlace confiable de datos entre la aeronave y la estación base. El sistema de comunicaciones debe tener la capacidad de mantener el enlace en largas distancias sin importar la posición o la dirección de la aeronave. Sin embargo, mantener el enlace de datos a larga distancia representa un problema de diseño, dado que la intensidad de la señal decae rápidamente con la distancia. Una forma sencilla de abarcar largas distancias es aumentar la potencia con la que se transmite, tanto en la aeronave como en la estación base; pero en el caso de la aeronave aumentar el consumo de energía es contraproducente al disminuir la autonomía de operación.

Existen otras alternativas para mantener un enlace de datos a largas distancias, pero considerando que se requiere una solución económicamente viable, es necesario definir una arquitectura que cumpla con las necesidades de operación. Una alternativa sencilla y de bajo costo es utilizar arreglos de antenas que direccionan la potencia de la señal irradiada optimizando el área de cobertura. Dado que la

aeronave es un sistema móvil, es necesario que la solución no tenga restricciones con la dirección de radiación. En este caso, un arreglo convencional de antenas es insuficiente y es necesario realizar modificaciones que permitan compensar la reducción angular del área de cobertura. Para ello, el arreglo de antenas debe ser capaz de adaptarse a las condiciones físicas del enlace, por lo cual, es necesario añadir un esquema de control del arreglo. Este proceso redefine al arreglo de antenas en un sistema de antena "inteligente", en donde la adaptabilidad se crea en la alimentación de cada antena.

Generalmente un sistema de antena inteligente estima la dirección de arribo (DOA por sus siglas en inglés) comparando la información recibida en cada antena con la caracterización espectral de la señal que se espera recibir. Sin embargo, dada las prestaciones el equipo de control de la aeronave es posible estimar la DOA sin la necesidad de procesar la señal. En base a esta breve introducción, se presenta la posibilidad de diseñar e implementar un sistema de antena inteligente montado sobre un Vehículo Aéreo No Tripulado que utiliza un receptor del sistema de navegación satelital (GNSS) para estimar la dirección de arribo de la señal.

2. Objetivos

Para definir los parámetros de evaluación de la solución que se plantea, es necesario definir las características que debería cumplir; así como los objetivos que debe desempeñar.

Desde el punto de vista del desempeño como sistema, la solución inicial no debe penalizar en exceso la autonomía de operación de la aeronave, considerando los criterios de

consumo de energía y la disposición adecuada evitando problemas aerodinámicos.

Considerando el punto de vista tecnológico, la solución debe potenciar la distancia máxima en la cual se pueda establecer un enlace entre la estación base y el vehículo aéreo no tripulado.

Finalmente, considerando el aspecto económico, la solución debe mantener criterios de bajo costo. Por lo tanto, el costo de la solución debe representar una fracción del costo total de la aeronave mediante la aplicación de ciertos criterios que permiten reducir costos, como es la utilización de bandas de frecuencia no licenciadas.

En base a estas características se puede definir el objetivo principal a desarrollarse en esta solución:

Diseñar un sistema anexo al sistema de comunicaciones, de bajo costo, que permita extender la distancia de cobertura con independencia la posición y la dirección de la aeronave.

A partir de este objetivo principal, se pueden definir objetivos específicos a la arquitectura del sistema:

1. Diseñar un arreglo de antenas que permita mantener el enlace, con independencia de la posición y la dirección de la aeronave respecto a la estación base.
2. Diseñar un arreglo de antenas que extienda la distancia máxima posible de enlace.
3. Diseñar un sistema de control que permita modificar las características del arreglo mediante la alimentación de cada antena.
4. Diseñar un algoritmo que permita determinar la dirección de arribo de la señal respecto a la aeronave utilizando un receptor GNSS.

5. Diseñar un sistema de bajo costo con capacidades de implementarse en un vehículo autónomo.

3. Justificación

En un vehículo autónomo, como una aeronave, es necesario mantener un enlace de comunicaciones con la estación base. El objetivo del enlace es transmitir información de monitoreo e información de control del vehículo; también se busca transmitir comandos hacia el vehículo en caso que se necesiten modificaciones en su modo de operaciones. En otras palabras, mantener el enlace es esencial para la operación del vehículo y el desenvolvimiento de sus misiones.

El sistema de comunicaciones utilizado en el vehículo y en la estación base deben mantener el enlace sin importar la distancia que los separa. Si se logra extender la distancia estable del enlace de datos del sistema de comunicaciones, es posible desarrollar misiones en las cuales la aeronave no necesite una estación base a una distancia cercana. Considerando que la aeronave se utilizaría para monitoreo marítimo, la adición de distancia de comunicación facilita las operaciones, dado que los lugares terrestres para ubicar una estación base son limitados.

Si bien es cierto que se pueden implementar diferentes soluciones tanto en la estación base como en la aeronave, es importante considerar que la solución debe ser capaz de optimizar recursos. Esto es especialmente cierto al hablar de la aeronave: su operación depende del correcto empleo de los mismos; la estación base tiene recursos menos limitados y por lo tanto mayor flexibilidad.

La solución que se ejecute en la aeronave no busca únicamente aumentar la autonomía de operación, sino busca optimizar los recursos energéticos del sistema de

comunicaciones sin deteriorar el resto de los recursos ni el desempeño de la aeronave.

En conclusión, una mejora en el sistema de comunicaciones podría mejorar el desempeño global, no solo de la aeronave, sino de toda la infraestructura del sistema al aumentar la autonomía de operación. Una solución balanceada sería ciertamente aceptable.

4. Marco Teórico

4.1. Teoría de Antenas

4.1.1. Conceptos Elementales de Antenas

Antena

Una antena se puede definir como el transductor entre una onda guiada en una línea de transmisión y una onda electromagnética en un espacio no confinado (Ulaby, 2007). Una antena se diseña en función de la polarización del campo electromagnético que se desea radiar o recibir y la dirección de dicho campo electromagnético (Ulaby, 2007). Para evitar reflexiones, la impedancia de la antena debe estar adaptada a la línea de transmisión (Ulaby, 2007). Existen varias características que definen la operación de cierto tipo de antena, entre ellas están: directividad, ganancia, impedancia, patrón de radiación, ancho de haz, y las características propias de la antena (Ulaby, 2007).

Reciprocidad

Una antena se caracteriza por ser un dispositivo recíproco, es decir que transmite o recibe de la misma forma la energía electromagnética con cualquier modificación externa o producto de los dispositivos conectados a ellas (Franco, 1999).

Directividad

La directividad de una antena se puede definir como el cociente entre la intensidad de radiación a una dada dirección y la potencia total irradiada por la antena (Franco, 1999) (Orfanidis, 1999-2010).

Ganancia

La ganancia de potencia se define como el cociente entre la intensidad de radiación a una dirección dada y la potencia total suministrada a la antena (Orfanidis, 1999-2010). También se la define como el cociente entre la intensidad de radiación por la potencia total irradiada por una antena isotrópica (Franco, 1999).

Radiador Isotrópico

Un radiador isotrópico, comúnmente denominado antena isotrópica, es una construcción ideal de antena con una intensidad de potencia homogénea en todo el espacio con un factor de eficiencia de uno (Orfanidis, 1999-2010).

Factor de Eficiencia

El factor de eficiencia es el cociente entre la potencia total irradiada por la antena y la potencia total suministrada a la antena (Orfanidis, 1999-2010). El factor de eficiencia oscila entre valores de 0 a 1, siendo uno el valor sin pérdidas, en donde no se distingue la ganancia de la directividad (Orfanidis, 1999-2010).

PIRE

La potencia isotrópica radiada efectiva, conocida como PIRE o EIRP en inglés, es la potencia efectiva irradiada por una antena (Ippolito, 2008). El PIRE es resultado de la potencia del transmisor en conjunto con las ganancias y pérdidas del sistema de transmisión (Ippolito, 2008). El PIRE sirve como figura de mérito para el componente de transmisión del sistema de comunicaciones (Ippolito, 2008).

Patrón de Radiación

El patrón de radiación, o diagrama de radiación, caracteriza las propiedades eléctricas y físicas de una antena (Franco, 1999). El diagrama de radiación es la representación espacial de la potencia irradiada de una antena, generalmente expresada en decibeles (Franco, 1999).

Ancho de Haz

El ancho de haz se refiere al lóbulo principal del patrón de radiación del sistema (Franco, 1999). El ancho de haz se define como el espacio angular en grados en los extremos en el lóbulo principal en donde la potencia se ha reducido hasta la mitad de su valor máximo (aproximadamente -3dB) (Franco, 1999) (Orfanidis, 1999-2010). El ancho de haz se utiliza para determinar cuándo se encuentra dentro o fuera del área de radiación de la antena de forma simplificada.

Impedancia

Vista la antena desde el punto de vista de circuito, la antena se comporta como una carga al final de una línea de transmisión (Franco, 1999). Idealmente la antena debería tener una resistencia real pura, sin embargo en la práctica también tiene una componente reactiva (Franco, 1999). Adicionalmente se debe considerar el comportamiento real de una antena que consume parcialmente la potencia suministrada; como resultado se tiene que la resistencia de la antena se compone por la resistencia de radiación que deriva en la potencia de radiación, y la resistencia óhmica que deriva en la potencia disipada por la antena (Franco, 1999).

Vector de Radiación y Campos de Radiación

Considerando las expresiones de campo eléctrico y magnético en espacio libre, obtenidas a partir de las ecuaciones de

Maxwell, se las puede plantear a partir del vector \vec{A} definido como el potencial magnético calculado a partir de la densidad de corriente \vec{J} en un punto arbitrario del espacio, referenciado al objeto radiante mediante la Ecuación 1 y la Ecuación 2 (Orfanidis, 1999-2010).

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\mu\epsilon} [\nabla \times (\nabla \times \vec{A})]$$

Ecuación 1

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} (\nabla \times \vec{A})$$

Ecuación 2

$$\vec{A}(r) = \int_V \frac{\mu \vec{J}(r') e^{-jkR}}{4\pi R} d^3r'$$

Ecuación 3

$$R = |r - r'|$$

Ecuación 4

Asumiendo las condiciones de campo lejano de la Ecuación 5, donde l es la dimensión máxima del objeto radiante, es posible reducir la expresión de la Ecuación 4 en la expresión de la Ecuación 6 aplicada únicamente en el denominador de la Ecuación 3 para obtener la expresión de la Ecuación 7 (Orfanidis, 1999-2010).

$$r \gg l; \quad r \gg \frac{2l^2}{\lambda}$$

Ecuación 5

$$R = |r - r'| \approx r$$

Ecuación 6

$$\vec{A}(r) = \frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \int_V \vec{J}(\vec{r}') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} d^3\vec{r}'$$

Ecuación 7

La Ecuación 7 se puede replantear en la Ecuación 8 utilizando la definición del vector de radiación $\vec{F}(\vec{k})$ de la Ecuación 9. La composición del vector de radiación permite

obtener las características de los campos radiados conociendo únicamente el comportamiento espacial de la densidad de corriente de un objeto o sistema genérico (Orfanidis, 1999-2010). Aplicando la definición del vector de potencial magnético de la Ecuación 8 en las expresiones de campo eléctrico y campo magnético de la Ecuación 1 y Ecuación 2 respectivamente, se pueden obtener los campos eléctrico y magnético definidos a partir del vector de radiación en la Ecuación 10 y la Ecuación 11 respectivamente (Orfanidis, 1999-2010). Si el vector de radiación se referencia en coordenadas esféricas, como en la Ecuación 12, es posible simplificar las expresiones de campo eléctrico y magnético en las expresiones de la Ecuación 13 y la Ecuación 14 (Orfanidis, 1999-2010).

$$\vec{A}(r) = \frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \vec{F}(\vec{k})$$

Ecuación 8

$$\vec{F}(\vec{k}) = \int_V \vec{J}(\vec{r}') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} d^3\vec{r}'$$

Ecuación 9

$$\vec{E} = -jk\eta \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} (\hat{r} \times \vec{F}) \times \hat{r}$$

Ecuación 10

$$\vec{H} = -jk \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} (\hat{r} \times \vec{F})$$

Ecuación 11

$$\vec{F} = \hat{r}F_r + \hat{\theta}F_\theta + \hat{\phi}F_\phi$$

Ecuación 12

$$\vec{E} = -jk\eta \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} [\hat{\theta}F_\theta + \hat{\phi}F_\phi]$$

Ecuación 13

$$\vec{H} = -jk \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} [\hat{\phi}F_\theta - \hat{\theta}F_\phi]$$

Ecuación 14

La Ecuación 13 y la Ecuación 14 indican el comportamiento radiante de un objeto a partir del vector de radiación, sin embargo es necesario obtener el comportamiento radiante en parámetros de potencia. Para ello se utiliza la definición de intensidad de radiación de la Ecuación 15, que utilizando la Ecuación 13 y la Ecuación 14 permite definirla a partir de la densidad de corriente representada en el vector de radiación en la Ecuación 16 (Orfanidis, 1999-2010).

$$U(\theta, \phi) = \frac{1}{2} r^2 \text{Real}\{\vec{E} \times \vec{H}^*\} \cdot \hat{r}$$

Ecuación 15

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|F_\theta|^2 + |F_\phi|^2]$$

Ecuación 16

4.1.2. Conceptos de Arreglos de Antenas

Arreglo de Antenas

Un arreglo de antenas es la combinación de dos o más antenas (Ulaby, 2007). Los arreglos de antenas permiten obtener patrones de radiación adaptados a las necesidades, obteniéndose patrones con alta directividad o con anchos de haz reducidos (Ulaby, 2007). El campo generado por el arreglo es determinado por la suma de los campos individuales de cada antena que lo conforma (Balanis, 1996). Un arreglo de antenas se diseña para que el campo generado por cada antena se sume constructivamente en una dirección dada y se sume destructivamente en el resto del espacio restante (Balanis, 1996). Si se utilizan el mismo tipo de antena en el arreglo se tienen cinco diferentes parámetros para diseñar el factor de arreglo del sistema: la configuración geométrica del arreglo, el espaciamiento entre las antenas, la potencia y fase de la alimentación de

las antenas; y el patrón de radiación propio de la antena (Balanis, 1996).

Factor de Arreglo

Los integrantes del arreglo de antenas no necesariamente son iguales, aunque por simplicidad de diseño se prefiere utilizar elementos de similares características (Balanis, 1996) (Ulaby, 2007). Cuando se utilizan elementos de similares características, la potencia de radiación y los campos eléctrico y magnético del arreglo se pueden separar en dos componentes: la primera que caracteriza el tipo de antena utilizado en el arreglo y la segunda que caracteriza el comportamiento del conjunto de antenas (Ulaby, 2007). La componente que caracteriza el arreglo de antenas se conoce como el factor de arreglo, dependiente de los parámetros de diseño del arreglo como la alimentación en potencia y en fase de cada uno de los elementos radiantes, así como la disposición física de los mismos (Ulaby, 2007). La componente que caracteriza el tipo de antena utilizado requiere la representación de sus campos eléctricos y magnéticos, siendo un método de modelado el vector de radiación (Ulaby, 2007).

Arreglos de Antenas Lineales Uniformes

Un arreglo lineal uniforme de antenas (ULA) es un tipo de arreglo de antena en el cual todos los elementos son dispuestos en una misma línea recta separados equidistantemente y cuya alimentación en amplitud es la misma entre los diferentes elementos (Balanis, 1996) (Ulaby, 2007). En este caso, los parámetros a variar son la disposición física de los elementos y su respectiva alimentación en fase. Los arreglos lineales uniformes se clasifican en dos ramas: arreglos broadside y arreglos end-fire (Ulaby, 2007).

Los arreglos broadside en arreglos lineales se obtienen al igualar la alimentación en fase entre los elementos del arreglo, como resultado el arreglo tiene un patrón de radiación cuyo haz principal se encuentra en una dirección perpendicular a la recta producto de la disposición lineal de las antenas en el arreglo (Ulaby, 2007). Un arreglo end-fire en arreglos lineales se obtiene tras un cambio progresivo de la fase en la alimentación de cada antena en el arreglo (Ulaby, 2007). El aumento progresivo de la fase en la alimentación permite el desplazamiento del haz principal del patrón de radiación, siendo la dirección más utilizada colineal a la recta formada por las antenas en el arreglo lineal (Ulaby, 2007).

Si bien la fase determina la dirección del haz en el arreglo lineal, la cantidad de antenas utilizadas y la separación entre ellas determinan el número de lóbulos generados y la amplitud de cada uno (Balanis, 1996). Mientras aumenta la separación entre antenas aumentan los lóbulos generados; si se incrementan el número de antenas en el arreglo se incrementan el número de lóbulos con menor densidad de potencia (Balanis, 1996).

Arreglos de Antenas de Alimentación Variable

Un arreglo de antenas de alimentación variable es una variante de los arreglos ULA, en el cual se permite cambiar la amplitud de alimentación individual (Balanis, 1996). Usar la alimentación como parámetro de diseño permite realizar arreglos lineales más refinados. Un método que permite generar puntos nulos de radiación es mediante el método de polinomios de Schelkunoff (Balanis, 1996).

Método de polinomios de Schelkunoff

Considerando un arreglo lineal no uniforme de N antenas, con un cambio de fase progresivo entre antenas vecinas, se tiene el factor de arreglo de la Ecuación 17.

$$AF = \sum_{n=1}^N w_n e^{j(n-1)(kd \cos(\gamma) + \beta)} = \sum_{n=1}^N w_n e^{j(n-1)\psi}$$

Ecuación 17

AF es el factor de arreglo de N antenas y separación entre ellas de d , cuya n antena tiene una alimentación w_n ; la alimentación del sistema tiene un desfase propio de B , con un variación angular del eje del arreglo γ (Balanis, 1996). Si se realiza un cambio de variable en Ecuación 17, presentado en la Ecuación 18, se obtiene un polinomio de orden $N-1$ mostrado en la Ecuación 19.

$$z = e^{j\psi}$$

Ecuación 18

$$AF = \sum_{n=1}^N w_n z^{n-1}$$

Ecuación 19

Si se considera que un polinomio de grado $N-1$ tiene $N-1$ raíces, el factor de arreglo se puede componer de la forma presentada en la Ecuación 20. Siendo z_j las raíces complejas del polinomio y w_N un factor de alimentación del arreglo (Balanis, 1996).

$$AF = w_N \prod_{j=1}^{N-1} (z - z_j)$$

Ecuación 20

Considerando que los valores de z_j producen que el factor de arreglo tenga un valor nulo, se puede utilizar a z_j para generar puntos de radiación nula en el arreglo. Considerando la connotación de z_j en Ecuación 20 y

utilizando la definición de Ecuación 18 y Ecuación 17, se puede decidir los puntos de radiación nula a partir de los parámetros k , d , γ y B (Balanis, 1996). A diferencia de γ , el resto de parámetros vienen definidos por la frecuencia, la disposición física o la alimentación general del sistema. Siendo γ el ángulo respecto del arreglo lineal, es el parámetro que define en el diseño las direcciones nulas de radiación.

En el diseño se definen los puntos nulos de radiación. Se utiliza la Ecuación 18 para definir los ceros en la Ecuación 20. Para obtener la alimentación de cada antena del arreglo, es necesario convertir la expresión de la Ecuación 20 a la expresión encontrada en la Ecuación 19 (Balanis, 1996).

Sin embargo, este método únicamente permite la selección de direcciones para señales de interés nulo; pero no tiene un método análogo para seleccionar direcciones de máxima radiación.

Arreglos Circulares

Un arreglo circular ubica físicamente las antenas en una circunferencia de radio dado (Balanis, 1996). Se utilizan en aplicaciones de búsqueda de dirección de arribo, navegación aeroespacial, radar, entre otros (Balanis, 1996). Su principal ventaja se encuentra en su simetría angular que permite diseñar el sistema si se requiere omnidireccionalidad con las ventajas de un arreglo de antenas.

Impedancia Mutua

Una antena, y en general cualquier objeto radiante, puede ser afectada por campos electromagnéticos ambientales. La presencia de obstáculos u otros objetos radiantes pueden

afectar la corriente, el campo irradiado y la impedancia de entrada de una antena (Balanis, 1996). Los efectos de estos campos parásitos deben ser considerados en la implementación de cualquier antena. Para ello la impedancia de entrada de una antena depende de su impedancia propia, cuando se encuentra sin obstáculos, y de la impedancia mutua generada por cualquier cuerpo extraño u otro componente radiante (Balanis, 1996).

Asumiendo un sistema de dos elementos, se puede expresar su relación de voltaje con sus corrientes recurriendo a una expresión matricial como en la Ecuación 21: donde V_1 y V_2 son los voltajes obtenidos en los elementos 1 y 2, con impedancias propias Z_{11} y Z_{22} respectivamente, debido a las corrientes I_1 y I_2 ; influenciados por las impedancias mutuas Z_{12} y Z_{21} (Balanis, 1996). Si los elementos irradianes son iguales, se tiene que las impedancias mutuas son iguales por simetría del sistema ($Z_{12} = Z_{21}$) (Balanis, 1996). La impedancia de operación se obtiene entre el cociente de su voltaje de alimentación con su corriente de alimentación, obteniéndose la Ecuación 22 y Ecuación 23 a partir de la Ecuación 21. La Ecuación 24 es una generalización de un sistema de n elementos, donde Z_{id} es la impedancia de operación de un sistema de n elementos, Z_{ii} su impedancia propia y Z_{ik} la impedancia mutua efecto del elemento k (Balanis, 1996).

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Ecuación 21

$$Z_{1d} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12} \frac{I_2}{I_1}$$

Ecuación 22

$$Z_{2d} = \frac{V_2}{I_2} = Z_{22} + Z_{21} \frac{I_1}{I_2}$$

Ecuación 23

$$Z_{id} = \frac{\sum_{k=1}^n Z_{ik} I_k}{I_i} = Z_{ii} + \frac{\sum_{k=1; k \neq i}^n Z_{ik} I_k}{I_i}$$

Ecuación 24

Los voltajes y corrientes dependen en parte de la alimentación del sistema, sin embargo las impedancias mutuas dependen de la disposición espacial de los elementos, así como las características de cada elemento (Balanis, 1996). Existen varios métodos que permiten determinar la impedancia mutua entre dos elementos, tales como el método de la integral de la ecuación de momento con sus variantes numéricas (NEC y MININEC); o el método de la fuerza electromagnética inducida (Balanis, 1996).

Utilizando el método de la FEM inducida, y considerando el sistema compuesto por dipolos de longitud l y separados una distancia d , se pueden considerar las siguientes ecuaciones para calcular la impedancia mutua de dipolos ubicados lado a lado:

$$Z_{21m} = R_{21m} + jX_{21m}$$

Ecuación 25

$$R_{21m} = \frac{\eta}{4\pi} [2C_i(u_0) - C_i(u_1) - C_i(u_2)]$$

Ecuación 26

$$X_{21m} = -\frac{\eta}{4\pi} [2S_i(u_0) - S_i(u_1) - S_i(u_2)]$$

Ecuación 27

$$u_0 = kd$$

Ecuación 28

$$u_1 = k(\sqrt{d^2 + l^2} + l)$$

Ecuación 29

$$u_2 = k(\sqrt{d^2 + l^2} - l)$$

Ecuación 30

Donde $\eta=120\pi$ y las funciones $C_i(x)$ y $S_i(x)$ son integrales de seno y coseno (Balanis, 1996):

$$S_i(x) = \int_0^x \frac{\sin(y)}{y} dy$$

Ecuación 31

$$C_i(x) = - \int_x^\infty \frac{\cos(y)}{y} dy$$

Ecuación 32

4.1.3. Conceptos de Antenas Inteligentes

Sistema de Antena Inteligente

Contrariamente a lo que el nombre indica, la inteligencia de un sistema de antena inteligente no proviene de las antenas, sino proviene de su capacidad de procesamiento de señales (Balanis & Ioannides, 2007). Un sistema de antena inteligente se encuentra conformado por un arreglo de antenas y un sistema de procesamiento (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). La inteligencia de un sistema de antena inteligente proviene del sistema de procesado, encargado de determinar la dirección de arribo (DOA) a partir de las señales recibidas por las antenas. Con la DOA, el sistema de procesamiento define la mejor configuración del arreglo de antenas para trabajar con la señal de interés (SOI) correspondiente a la DOA calculada; también determina puntos nulos del arreglo para señales de interferencia o señales de interés nulo (NSOI) (Balanis & Ioannides, 2007) (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002).

Las capacidades de un sistema de antena inteligente se definen por las capacidades del arreglo de antenas, del sistema de procesamiento y de la información disponible. Dentro de un sistema de antena inteligente, los arreglos de antenas se pueden clasificar como arreglos de haz conmutados y arreglos de haz adaptativos (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002).

Arreglos de Haz Conmutados y Arreglos de Haz Adaptativo

En el diseño de antenas inteligentes existen dos configuraciones importantes: un sistema de antena inteligente de haz conmutado (SB - Switched-Beam) y un sistema de antena inteligente de haz adaptativo (PA - Phased Array) (Balanis & Ioannides, 2007). Un sistema de haz conmutado se caracteriza por tener una cantidad finita y predeterminada de patrones de radiación, mientras que un sistema de haz adaptativo se caracteriza por modificar su patrón de radiación en función de los cambios espaciales de los SOI y los NSOI (Balanis & Ioannides, 2007).

Un sistema de antena inteligente de haz conmutado utiliza patrones de radiación predefinidos y realiza la selección de un patrón en particular en función de la DOA (Balanis & Ioannides, 2007) (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). Estos sistemas se caracterizan por ser sencillos y por tener un bajo nivel de procesamiento; sin embargo estos sistemas no son capaces de maximizar la señal para una SOI en particular, así mismo tienen capacidad reducida para discriminar una NSOI (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002).

Un sistema de antena inteligente de haz adaptativo cambia dinámicamente su patrón de radiación para maximizar la ganancia de un SOI y suprimir los interferentes o NSOI presentes (Balanis & Ioannides, 2007) (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). El sistema de haz adaptativo realiza un seguimiento dinámico de las SOI y NSOI para alterar los parámetros del arreglo continuamente (Balanis & Ioannides, 2007) (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). Un sistema de haz adaptativo utiliza equipos y algoritmos de procesamiento de señales sofisticados para detectar la DOA (Balanis & Ioannides, 2007) (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). Una estrategia común de

un sistema de haz adaptativo es utilizar una secuencia de entrenamiento para determinar la DOA de un SOI particular utilizando algoritmos similares a MUSIC, ESPRIT o SAGE (Balanis & Ioannides, 2007).

Dirección Electrónica

La adaptación de una antena inteligente proviene de la modificación que se le puede realizar al factor de arreglo. La adaptación se puede realizar a partir de la modificación de la potencia o de la fase de cada antena. La modificación dinámica de estos factores se conoce como dirección electrónica (Ulaby, 2007). La dirección electrónica aplicada a la potencia se puede desarrollar con el método de polinomios de Schelkunoff para la generación de puntos de radiación nula. La dirección electrónica aplicada a la fase busca la alteración progresiva del lóbulo de rotación mediante la modificación progresiva de las fases de cada antena (Ulaby, 2007).

Dirección de Arribo y Tiempo de Arribo

Cualquier señal que se recibe en un sistema tiene varios parámetros físicos, entre ellos se encuentran la dirección de arribo y el tiempo de arribo. La dirección de arribo indica la dirección de la cual el receptor recibe una señal en particular (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002). El tiempo de arribo es el tiempo que le toma a una cierta señal atravesar el canal de comunicaciones (Bellofiore, Balanis, Foutz, & Spanias, 2002).

Considerando un ambiente en el que la señal de una fuente puede utilizar varias rutas hacia el receptor (multipath), los parámetros como la dirección de arribo (DOA) o el tiempo de arribo (TOA) son necesarios para la identificación de la señal. El conocimiento de la TOA y DOA permite recuperar la señal al entrenar al sistema según el

DOA y TOA de cada fuente de señal recibida. Si se maneja coherentemente la información de DOA y TOA, es posible reconstruir la señal identificando el retardo necesario (TOA) según la fuente de información (DOA).

Escaneo de Frecuencia

En un escaneo de frecuencia, las antenas del arreglo son conectadas a líneas de transmisión de longitud específica, dichas líneas de transmisión retardan la señal recibida o transmitida por cada antena (Ulaby, 2007). Después de las líneas de transmisión se adiciona un punto de alimentación común para las antenas que divide la señal para la transmisión y suma las señales recibidas por cada antena (Ulaby, 2007). En recepción, si las señales al pasar por las líneas de retardo se encuentran en fase, la señal se suma en el punto de alimentación constructivamente (Ulaby, 2007). En transmisión, la señal de alimentación se retarda y en el campo de radiación se construye en una determinada dirección, la cual idealmente debería ser la dirección de arribo.

Arquitectura de una Antena Inteligente

En términos generales, un sistema de antena inteligente se compone a partir de un arreglo de antenas, una unidad de radio frecuencia (RF), la red de conformación de haz y una unidad de procesamiento de señales. El diseño del arreglo de antenas depende de los grados de libertad que se deseen controlar, pudiendo ser arreglos de una, dos o tres dimensiones. Para evitar aumentar la complejidad del sistema se propone mantener el número de elementos del arreglo al mínimo (Balanis & Ioannides, 2007).

En sistemas de comunicaciones, es preferible dividir el sistema en sus partes de transmisión y recepción. La Figura 4-1 y la Figura 4-2 muestran las diferencias en las

arquitecturas de recepción y transmisión respectivamente. A pesar que existen ligeras diferencias entre las arquitecturas de recepción y transmisión, éstas se explican a partir del funcionamiento en la cadena de procesamiento de las señales (Balanis & Ioannides, 2007).

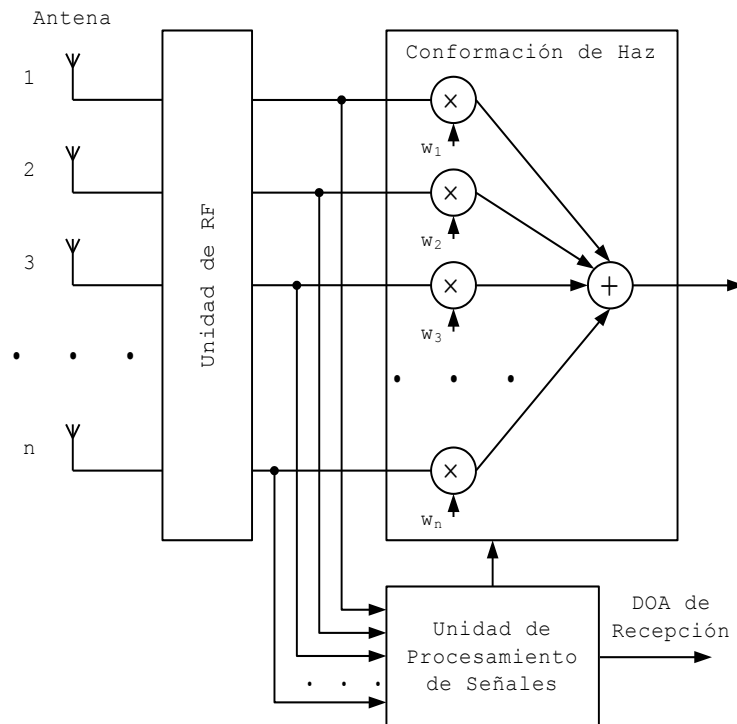


Figura 4-1: Arquitectura teórica de antena inteligente en recepción

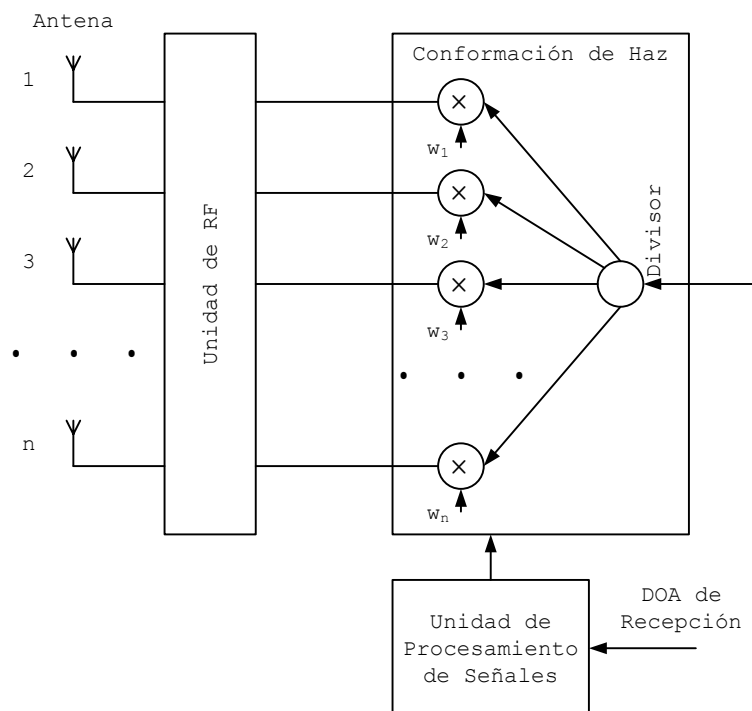


Figura 4-2: Arquitectura teórica de antena inteligente en transmisión

En recepción, la unidad de RF consiste en procesos de traslación de frecuencia (a frecuencia intermedia) y procesos complejos de conversión análogo-digital (A/D). Deben existir tantos procesos de traslación de frecuencia y conversión A/D como el número de elementos en el arreglo. Utilizando la señal recibida, el procesador de señales determina los pesos complejos (w_n) para cada señal de la antena utilizando uno de los criterios planteados: maximizar la potencia recibida de la SOI o maximizar la relación señal a interferente (SIR) suprimiendo las NSOI. Las señales procesadas y se canalizan hacia el resto del radio receptor (amplificación, decodificación de canal, etcétera) (Balanis & Ioannides, 2007).

La unidad de procesamiento de señales operará en función del método de conformación de haz definido. Si se utiliza el método de haz conmutado, el receptor prueba todas las configuraciones predefinidas (a partir de los pesos complejos) y escoge la que otorgue la SOI más fuerte. En cambio, un método de haz adaptativo calcularía los pesos

individuales a partir de la DOA. Considerando que la unidad de procesamiento de señales captura las señales de las antenas, es posible combinar la unidad de procesamiento y la red de conformación de haz en un mismo procesador digital de señales (DSP) físico (Balanis & Ioannides, 2007).

En transmisión, el procesamiento es similar considerando únicamente que la información de DOA se obtiene a partir de los procesos en recepción. La unidad de RF se encarga de los procesos de conversión Digital-Análogo (D/A) y los procesos de traslación de frecuencia (hacia la frecuencia portadora). En cambio, en la red de conformación de haz se divide la señal recibida del resto de la cadena de transmisión para cada antena. Dado que es posible que las etapas de transmisión y recepción utilicen equipos separados, es posible que utilicen también arreglos de antenas diferentes. Este efecto conlleva que no necesariamente los pesos utilizados en recepción sean los mismos pesos utilizados en transmisión. La unidad de procesamiento necesita calcular los pesos, o elegir la configuración más parecida, a partir de la información de DOA estimada en los procesamientos en recepción. No es recomendable la utilización de un sistema de antena inteligente en transmisión debido a la carencia de información de estado de canal (CSI). Sin la CSI es difícil estimar si el sistema está funcionando adecuadamente en transmisión, asumiendo únicamente que el enlace puede operar recíprocamente (Balanis & Ioannides, 2007).

4.1.4. Conceptos de Línea de Transmisión

Línea de Transmisión

En bajas frecuencias, los cables y pistas que conectan los diferentes componentes en un circuito no influyen en su

operación (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). Sin embargo, en altas frecuencias dichos cables y pistas tienen dimensiones comparables a la longitud de onda (fracciones o unidades) (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). Si una línea de transmisión tiene una longitud similar a la longitud de onda es necesario considerar los cambios de amplitud y fase que existen debido a la propagación de la onda (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). Considerando una línea de transmisión no disipativa, la solución de las ecuaciones de Maxwell indican la existencia de una onda incidente y de una onda reflejada en las corrientes y los voltajes que se propagan en la línea de transmisión (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). La Ecuación 33 y la Ecuación 34 muestran la solución de las ecuaciones de Maxwell para una línea de transmisión no disipativa, mostrando los efectos de la onda incidente (+) y la onda reflejada (-); considerando el sentido de propagación de la onda incidente como positivo (+z) (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007).

$$V(z) = V_0^+ e^{-jkz} + V_0^- e^{jkz}$$

Ecuación 33

$$I(z) = I_0^+ e^{-jkz} + I_0^- e^{jkz}$$

Ecuación 34

Impedancia Característica

La impedancia característica es la razón entre los voltajes y las corriente producidas por las ondas incidente y reflejada, como se muestra en la Ecuación 35 para una línea sin pérdidas (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). La impedancia característica se determina a partir de las características físicas y eléctricas de la línea de transmisión utilizada (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007).

$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = -\frac{V_0^-}{I_0^-}$$

Ecuación 35

Coefficiente de Reflexión

El coeficiente de reflexión se define como la razón entre el voltaje reflejado (V_0^-) y el voltaje incidente (V_0^+) en una línea de transmisión debido a una carga (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). La Ecuación 36 muestra el coeficiente de reflexión en cualquier punto de la línea de transmisión, mientras que la Ecuación 37 muestra el coeficiente de reflexión en el centro de coordenadas donde se encuentra la carga de la línea de transmisión (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007).

$$\Gamma(z) = \frac{V_0^- e^{jkz}}{V_0^+ e^{-jkz}} = \Gamma_0 e^{j2kz}$$

Ecuación 36

$$\Gamma_0 = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Ecuación 37

Impedancia de Entrada

Debido a la presencia de la carga, se altera el comportamiento de corriente y voltaje de la Ecuación 33 y la Ecuación 34 en función de la impedancia característica (Ecuación 35) y el coeficiente de reflexión (Ecuación 37) (Ulaby, 2007).

$$\tilde{V}(z) = V_0^+ [e^{-jkz} + \Gamma_0 e^{jkz}]$$

Ecuación 38

$$\tilde{I}(z) = \frac{V_0^+}{Z_0} [e^{-jkz} - \Gamma_0 e^{jkz}]$$

Ecuación 39

Se conoce como la impedancia de entrada a la razón entre el voltaje y la corriente influenciados por la impedancia de carga (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007). La impedancia de entrada permite determinar la impedancia en los terminales de la línea de transmisión a partir de la distancia hacia la carga, la impedancia característica y la impedancia de carga (Pozar, 2005) (Ulaby, 2007).

$$Z_{in}(z) = \frac{\tilde{V}(z)}{\tilde{I}(z)} = Z_0 \frac{1 + \Gamma(z)}{1 - \Gamma(z)}$$

Ecuación 40

$$Z_{in}(z) = Z_0 \frac{Z_L - jZ_0 \tan(kz)}{Z_0 - jZ_L \tan(kz)}$$

Ecuación 41

Divisor Wilkinson

El divisor Wilkinson es un tipo especial de divisor y combinador de potencia debido a su característica de no consumir potencia y cuyas terminales se encuentran adaptadas (Pozar, 2005). Si bien el divisor Wilkinson no disipa potencia debido a su terminación adaptada, es capaz de disipar la potencia reflejada de los terminales no adaptados dado que posee resistencias internas (Pozar, 2005). Existen varios tipos de divisor Wilkinson, siendo el más común el divisor con una división de potencia equitativa de dos salidas; sin embargo puede funcionar en relaciones mayores (1: n) y no necesariamente con una distribución equitativa de potencia, dependiendo de las proporciones de resistencia y línea de transmisión del diseño del divisor y combinador Wilkinson (Pozar, 2005).

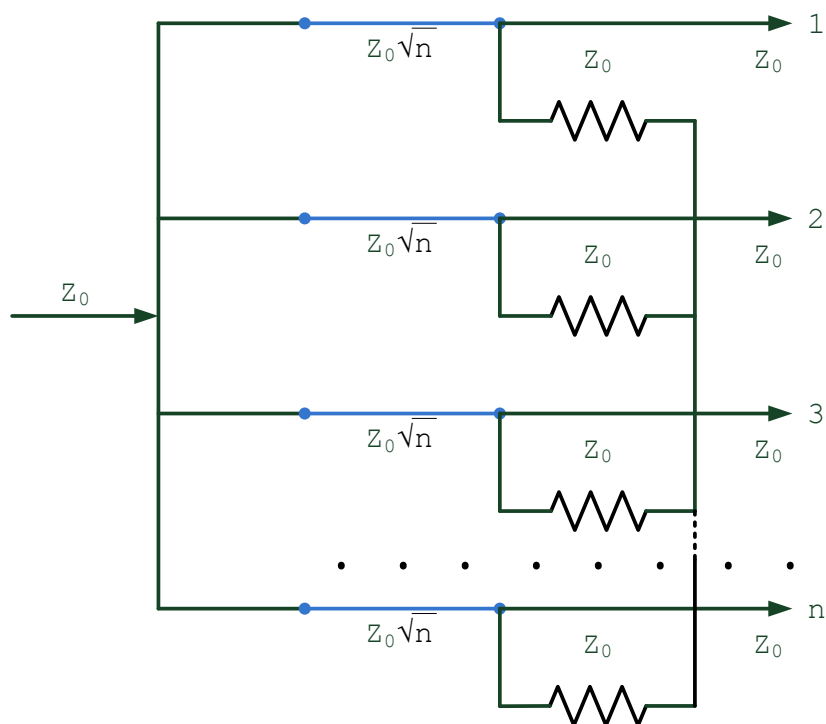


Figura 4-3: Esquema de un divisor Wilkinson 1: n

4.2. Nociones de Navegación Satelital

4.2.1. Conceptos Básicos de GNSS

Sistema Global de Navegación Satelital

Un Sistema Global de Navegación Satelital (Global Navigation Satellite System - GNSS) es una constelación de satélites que permite obtener información sobre la posición y elevación de un usuario en cualquier parte del mundo. Los sistemas GNSS existentes o en etapas de desarrollo son:

- Global Positioning System (GPS): Desarrollado por Estados Unidos.
- Galileo: Desarrollado por la Unión Europea.
- Global Navigation Satellite System (GLONASS): Desarrollado por Rusia.
- BeiDou Navigation Test System (BNTS): Desarrollado por China.

El sistema GPS es el primer sistema GNSS en ser desarrollado, por lo que se ha convertido en el sistema más ampliamente utilizado y conocido, confundiendo al sistema GPS con la definición genérica de los sistemas GNSS (Kaplan & Hegarty, 2006).

Funcionamiento de un sistema GNSS

Para el cálculo de la posición, la constelación de satélites del sistema GNSS transmite sus datos de posición y tiempo hacia la Tierra. El receptor GNSS, que utiliza el usuario para determinar su posición, recibe las señales de cada satélite y calcula su posición en base a ellas. La arquitectura del sistema permite que un número infinito de usuarios utilicen el sistema sin saturarlo, dado que cada usuario es encargado de calcular su posición (Kaplan & Hegarty, 2006).

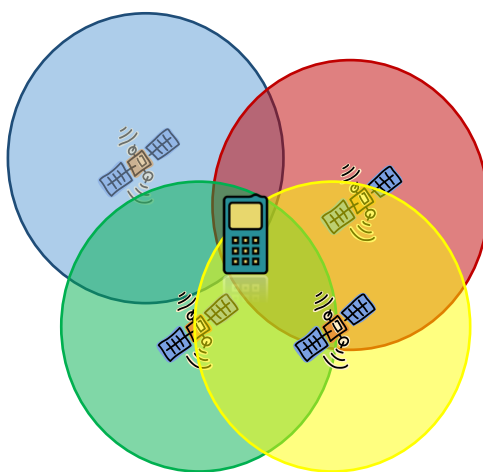


Figura 4-4: Funcionamiento simplificado de un receptor GNSS

La Figura 4-4 muestra la arquitectura simplificada del cálculo de posición de un sistema GNSS. Cada satélite transmite su posición actual a un tiempo determina en intervalos regulares. El receptor GNSS utiliza la información de las señales y el retardo de cada uno para referenciarse en el plano de coordenadas terrestre, determinando su posición y elevación. Para que la información transmitida por los satélites sea válida, debe

ser sincronizada. Para ello los satélites poseen relojes atómicos que son sincronizados periódicamente desde la estación de monitoreo del sistema GNSS. Sin embargo, los relojes de los receptores GNSS no poseen una precisión comparable a los relojes atómicos de los satélites. Por éste motivo, a parte de la posición y la elevación, es necesario que el receptor GNSS calcule también el desvío de sincronización respecto a los satélites (Kaplan & Hegarty, 2006).

En resumen, un sistema GNSS permite a un número infinito de usuarios calcular su posición al utilizar la señal de cuatro satélites para obtener información acerca de:

- Posición (Latitud y Longitud)
- Elevación
- Corrección de Sincronización

Error en los sistemas GNSS

Un sistema GNSS, al igual que cualquier sistema de comunicaciones, se encuentra sujeto a tener ruido e interferencias en el intercambio de comunicación. Existen varios fenómenos que alteran la información recibida por el receptor GNSS y que se vinculan a cada componente del sistema:

- **Errores satelitales:** Errores que se vinculan con la operación de la constelación de satélites. Errores como la desincronización o un error de posición en la órbita de un satélite alteran la información que se transmite hacia la Tierra. Esta clase de errores se corrigen periódicamente desde la estación de monitoreo que sincroniza los relojes de los satélites y corrigen periódicamente la órbita de cada satélite (Kaplan & Hegarty, 2006).

- **Errores atmosféricos:** Dado que un sistema GNSS es parte de los sistemas de comunicación satelitales, las señales emitidas se encuentran afectados por las alteraciones que sufren las diferentes capas atmosféricas de la Tierra. Alteraciones en la ionósfera y en la tropósfera alteran tanto la calidad de la señal emitida por el satélite como el retardo real de la señal hacia el receptor. Estos errores no sólo alteran la posición al alterar el tiempo de retardo y la disminución de potencia, sino también son los problemas más difíciles de solucionar. Debido que las alteraciones atmosféricas varían espacialmente y temporalmente, es difícil corregir los errores producidos; sin embargo se pueden mitigar caracterizando las capas atmosféricas y utilizando métodos de GNSS Diferencial (DGNSS) (Kaplan & Hegarty, 2006).
- **Errores de multipath:** La existencia de múltiples objetos en el entorno produce que la señal satelital llegue al receptor por diferentes trayectorias (multipath). Como cada señal recibida utiliza diferentes trayectorias, también tienen diferentes retardos, por lo que la estimación de la posición se altera por la diferencia temporal. Esta clase de errores se mitigan utilizando antenas de alta directividad en conjunto con reflectores circulares concéntricos, encargados que bloquear el multipath (Kaplan & Hegarty, 2006).
- **Errores del receptor:** Al igual que cualquier receptor, un receptor GNSS se encuentra sujeto a problemas de ruido térmico, interferentes y ruido ambiental. Estos errores se mitigan gracias a la codificación de la señal del satélite. Sin embargo también existen errores como la sincronización del reloj o la fortaleza de los

algoritmos utilizados en los cálculos de posición (Kaplan & Hegarty, 2006).

Los errores de posición de los diferentes sistemas se encuentran caracterizados, por ejemplo el sistema GPS garantiza una posición en horizontal de 22 metros y en vertical de 27 metros al 95% (Kaplan & Hegarty, 2006). Estos parámetros deben considerarse en el momento de utilizar un receptor GNSS para mitigar la existencia de error de posición a nivel de aplicación.

GNSS Diferencial

El GNSS Diferencial (DGNSS) es un método para mitigar los errores ambientales introducidos en la señal satelital de un sistema GNSS. Consiste de cuatro estaciones cercanas, las cuales conocen su posición exacta, que tienen como objetivo calcular los factores de corrección de posición, elevación y tiempo; y propagarlo hacia los usuarios del sistema. Debido a la naturaleza de los errores atmosféricos, los factores de corrección tienen una validez regional y de tiempo limitado; por lo que los factores de corrección deben ser recalculados constantemente y se limitan a sectores donde se requiere de mayor precisión (Kaplan & Hegarty, 2006).

4.2.2. Conceptos de Cartografía

Forma de la Tierra

Comúnmente se define la forma de la Tierra como una esfera que se achata en los polos, en un sentido más formal se define que la Tierra tiene la forma de un elipsoide (Urrutia, 2006). Existen varios modelos de elipsoides que aproximan en cierto grado la forma real de la Tierra; sin embargo dado que las deformación del ecuador de la Tierra es muy pequeña, es posible asumir a la Tierra como un

cuerpo esférico sin incurrir en un error importante (Urrutia, 2006).

Elipsoides de Referencia

Considerando la forma real del planeta Tierra, es difícil determinar una forma exacta que caracterice su forma, se han definido diferentes elipsoides de referencia que dependen de la aplicación (Urrutia, 2006). Lo que diferencia cada elipsoide de referencia es la excentricidad y el radio mayor de la elipsoide (Urrutia, 2006).

Excentricidad de un elipsoide

La excentricidad de un elipsoide es la relación entre el radio mayor y el radio menor del elipsoide, expresada en la Ecuación 42.

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

Ecuación 42

Donde e es la excentricidad de la elipsoide cuyo radio mayor es a y radio menor b (Kaplan & Hegarty, 2006).

WGS84

La elipsoide que utiliza el sistema de posicionamiento global (GPS) es el World Geodetic System 1984 (WGS 84) (Kaplan & Hegarty, 2006). La elipsoide del modelo WGS 84 se caracteriza por tener un radio menor $b=6356,75$ kilómetros y una excentricidad $e^2=0,00669$ (Kaplan & Hegarty, 2006).

Paralelos y Meridianos

Un paralelo se define como la intersección entre un plano paralelo a la línea ecuatorial con la Tierra (Urrutia, 2006), mientras un meridiano es el resultado de la intersección entre un plano que contenga el eje polar con la Tierra (Urrutia, 2006).

Cada paralelo se designa mediante una latitud (Urrutia, 2006). La latitud es la medida angular entre el paralelo y la línea ecuatorial (Urrutia, 2006). La latitud es una medida que oscila entre 0 y 90 grados, distinguiendo a los paralelos del hemisferio norte con la letra N o con un signo positivo; mientras que los paralelos del hemisferio sur se los identifica por la letra S o por el signo negativo (Ulaby, 2007).

De similar manera los meridianos se los designa mediante una longitud, cuya referencia se encuentra en el meridiano que pasa por la ciudad inglesa de Greenwich (Urrutia, 2006). Al igual que la latitud, los meridianos ubicados en el hemisferio oriental se indican con la letra E o con un signo positivo; mientras que en el hemisferio occidental se denotan mediante la letra W o con un signo negativo (Urrutia, 2006). En el caso de los meridianos, el rango oscila entre los 0 y 180 grados (Urrutia, 2006).

Coordenadas Geográficas de un Punto

Dado que cada punto en la superficie terrestre se le puede asignar un único paralelo y un único meridiano; es posible asociarlo con una única latitud y longitud (Urrutia, 2006). Estos valores únicos de latitud y longitud se definen conjuntamente como coordenadas geográficas (Urrutia, 2006). La información de las coordenadas geográficas permite ubicar físicamente un objeto sobre la superficie terrestre, permitiendo determinar la distancia entre dos puntos terrestres diferentes.

Distancia entre dos puntos

Debido a la unicidad de las coordenadas geográficas es posible determinar la distancia entre dos puntos distintos A y B; para ello se aplica la trigonometría esférica. Realizando los respectivos cálculos matemáticos, se obtiene

la Ecuación 43 que permite definir la distancia entre dos puntos dados sus coordenadas geográficas.

$$AB = \frac{(2 * \pi * R_T)}{360} \cos^{-1}[\sin(\varphi_A) * \sin(\varphi_B) + \cos(\varphi_A) * \cos(\varphi_B) \cos(\lambda_A - \lambda_B)]$$

Ecuación 43

Donde AB es la distancia entre los puntos A (φ_A, λ_A) y B (φ_B, λ_B), siendo φ latitud y λ longitud; y R_T es el radio terrestre (Urrutia, 2006).

5. Capítulo I: Diseño de la Antena Inteligente

5.1. Diseño de Arquitectura

5.1.1. Estudio y Análisis Comparativo de Arquitecturas Existentes

Para seleccionar los componentes del sistema es necesario definir la arquitectura, la cual indica el funcionamiento del sistema. La arquitectura determinará el sentido en el cual será abordada la solución, así como las limitaciones en su accionar. El diseño de la arquitectura debe sujetarse a las limitaciones propias de la aeronave: como es el peso, el consumo de potencia, el espacio; así como limitantes propias del proyecto como es la complejidad y el precio. Adicionalmente, para reducir la complejidad del sistema, se utilizará una radio transmisor externo para las tareas de modulación en la banda ISM de 900MHz; por lo que el sistema sería un complemento al transmisor utilizado.

Dado que se desea que el sistema sea modular, la arquitectura representa este comportamiento al dividirse en una arquitectura de radiación y arquitectura de control. La arquitectura de radiación es la encargada de explicar el funcionamiento del sistema radiante. Por otro lado, la arquitectura de control depende de la información que es capaz de obtener a través del sistema. Si bien los sistemas

de antena inteligente convencionales estiman la dirección de arribo a partir de la señal en cada antena, utilizar los datos de navegación de la aeronave es una alternativa que reduce costos y añade simplicidad a la arquitectura. El diseño de la arquitectura es en realidad un compromiso entre los diseños de las arquitecturas de radiación y control.

Los requisitos propios de la arquitectura de radiación son: aumento de la distancia de enlace, mantener conectividad en cualquier dirección y que sea sencilla de posicionar dentro de una aeronave. Un parámetro en el diseño de la arquitectura de radiación es la directividad de la antena a utilizarse: una antena omnidireccional o una antena de alta directividad.

Una arquitectura basada en una antena omnidireccional satisface la condición de mantener un área de cobertura sin puntos ciegos, sin embargo estas antenas se caracterizan por tener ganancias bajas en comparación a antenas directivas.

Una arquitectura basada en una antena de alta directividad satisface la condición de aumentar la distancia del enlace al poseer una alta ganancia, sin embargo la alta directividad representa un ancho de haz estrecho que impide irradiar a ciertas regiones o puntos ciegos.

La arquitectura de radiación también depende del número de antenas a utilizarse, específicamente si se utiliza una única antena o si se utilizan varias antenas. La elección de varias antenas puede ayudar a atenuar la elección del tipo de antena, sin embargo al aumentar el número de antenas se aumenta la complejidad de la arquitectura de control o de sus equipos.

El objetivo de utilizar arreglos de antenas es mejorar el desempeño del sistema en general al combinar el desempeño individual de cada antena tratando de anular sus falencias individuales. Si se utiliza antenas omnidireccionales, el arreglo debe funcionar de tal manera que la señal individual de cada antena se sume constructivamente a la dirección deseada. En el caso de antenas directivas, el objetivo es decidir cuál antena deberá transmitir para mantener el enlace.

Para la recepción, en un arreglo de antenas omnidireccionales se debe reconstruir la señal emitida a partir de la información recibida en cada antena y la información estimada de dirección. En un arreglo de antenas directivas, la recepción se limita a utilizar la información estimada de dirección para seleccionar la antena que teóricamente debería estar recibiendo la información.

Desde el punto de vista de arquitectura, utilizar antenas omnidireccionales orienta la utilización de arreglos de antenas convencionales; mientras que al usar antenas directivas, la arquitectura de arreglo se orienta a una topología de sectores.

La arquitectura de control depende del diseño de la arquitectura de radiación y de la información de control que pueda estar disponible. Dependiendo de la información disponible, las opciones de arquitectura son: utilización de señal recibida y no utilización de señal recibida; pudiéndose utilizar ambas opciones.

La utilización de una arquitectura de control que considera la señal recibida en cada antena permite la utilización de un control más robusto al manejar la calidad de servicio de

la señal, pero se convierten en sistemas más complejos ante la necesidad de capturar la señal. Por otro lado, una arquitectura que prefiere no utilizar la señal recibida es más sencilla; aunque las opciones de control son más limitadas al no poder determinar la calidad de servicio del enlace directamente.

Con el objetivo de ampliar el área de cobertura sin agregar ningún punto ciego en la solución, se pueden considerar varias arquitecturas en los componentes de radiofrecuencia del sistema de antena inteligente. Para la selección del procesador es necesario primero definir la arquitectura del arreglo, dado que cada arquitectura requiere ciertas características para otorgar inteligencia al sistema. Para cumplir las características deseadas de la antena inteligente es necesario definir la combinación entre el tipo de antena y el tipo de arreglo a utilizarse.

Conocidos los diferentes enfoques de diseño de arquitecturas, es posible definir opciones candidatas de arquitecturas de antena inteligente:

- Antena omnidireccional con amplificador de potencia regulable:

Esta arquitectura es la más sencilla de implementar al aumentar la distancia del enlace mediante potencia, aumentando el consumo de potencia de la aeronave. Sin embargo, es posible mitigar el consumo de potencia al añadir un grado de control que dependa de la distancia. Una aproximación sería una relación lineal de la potencia con el cuadrado de la distancia. Un inconveniente de esta arquitectura es el peso del amplificador, adicional al consumo de potencia. Al utilizarse un único antena omnidireccional no se generan puntos ciegos adicionales, y el control se limita a la

distancia y no a la dirección. Dado que se utiliza una única antena, es imposible utilizar una arquitectura que utilice la señal recibida, dado que la teoría especifica la existencia de más antenas para discriminar la señal de interés del ruido de canal.

- Arreglo de antenas omnidireccionales:

Utilizar un arreglo de antenas permite aumentar la distancia de enlace y la directividad al sumar la señal de todas las antenas en una o varias direcciones específicas, dependiendo del diseño del arreglo. Al aumentar la directividad se generan puntos ciegos en la radiación del sistema, sin embargo al alternar las configuraciones es posible compensar los puntos ciegos de diferentes configuraciones. Al sumarse espacialmente las señales de las antenas, no es necesaria la adición de potencia más allá del sistema de control. Al existir varias antenas es posible utilizar una arquitectura que use la señal recibida, mediante la utilización de un procesador que estime la DOA con esta información mediante un análisis espectral de las señales de las antenas. Dependiendo de si el procesador se utiliza para la generación de retardos del arreglo, es posible generar configuraciones de arreglo para optimizar la dirección, a costo de aumentar la potencia consumida al ser el procesador el que otorgue la potencia de transmisión. Dependiendo de la arquitectura de control se puede utilizar la información del receptor GNSS, la señal recibida, o ambas opciones en conjunto.

- Antena directiva con rotación mecánica:

La arquitectura utiliza una única antena de alta directividad, pero que utiliza una rotación mecánica para mantener a la estación base dentro del área cubierta. Esta arquitectura se utiliza en sistemas de

radar, pero dado que el objetivo es único, existe la posibilidad de controlar la dirección de radiación. Al igual que la antena omnidireccional, dada la cantidad de antenas es imposible utilizar la señal recibida para el control, especialmente porque la antena es selectiva en dirección. Dada la naturaleza mecánica de implementación, es difícil de implementar en una aeronave debido al desgaste y al refuerzo estructural del mismo. Asimismo la utilización de una antena directiva interfiere demasiado con el desempeño aerodinámico de la aeronave.

- Arreglo de antenas directivas:

Similar al arreglo de antenas omnidireccionales, pero con la diferencia que el área de adaptación del arreglo no es omnidireccional. A pesar de diseñarse la configuración de arreglo adecuada, debido a los puntos ciegos de la antena es imposible de sumar la señal dado que la antena no irradia en dirección de un punto nulo.

- Arreglo sectorial de antenas directivos:

El objetivo de este arreglo no es sumar las señales de cada antena espacialmente, sino de complementar sus patrones de radiación. El control se limita a determinar cuál debe ser la antena activa en la transmisión y recepción. En esta arquitectura es posible utilizar la señal recibida al capturar la señal de cada antena y determinar la dirección a partir de la intensidad de la señal o a partir de métodos de análisis espectral. Opcionalmente se pueden configurar pares de arreglos de antenas para mejorar el enlace en sectores particulares. Es una buena opción respecto a las posibilidades de control, pero debido a la complejidad y al desempeño aerodinámico no es uno de los mejores candidatos. Las ventajas del arreglo sectorizado se encuentran en su

desempeño electrónico, sin embargo, la principal desventaja se encuentra en la implementación física del arreglo en una aeronave. Las antenas directivas generalmente son antenas de apertura, antenas con reflectores o antenas con paneles. Estas antenas puede disminuir el desempeño aerodinámico de la aeronave, pudiendo impedir su completo funcionamiento. Un arreglo tradicional no presenta este inconveniente dado que las antenas omnidireccionales son generalmente sencillas y no alteran demasiado el desempeño de la aeronave. Por otro lado, los arreglos tradicionales dependen drásticamente del número de antenas activos para aumentar su ganancia total.

De las opciones presentadas, las que pueden utilizar una arquitectura de control que utilice la señal recibida son el arreglo de antenas omnidireccionales y el arreglo sectorial de antenas directivas. Las otras tres posibles arquitecturas no son las mejores candidatas debido a que son parcial o completamente incapaces de cumplir con los criterios impuestos. De las opciones restantes, se descarta el arreglo sectorial dado que las antenas directivas generalmente utilizan reflectores para aumentar la directividad y pueden disminuir considerablemente el desempeño aerodinámico de la aeronave, además por su alta complejidad en equipamiento.

Finalmente, se considera que la arquitectura que mejor cumple con los criterios de diseño es el arreglo de antenas omnidireccionales, si se considera un correcto diseño de la arquitectura de control y de las configuraciones de arreglo de antenas posibles de realizar.

5.1.2. Elección de la Arquitectura a Desarrollar

A partir de las diferentes arquitecturas estudiadas y el análisis previamente realizado, se determina que la arquitectura a desarrollarse debe seguir los siguientes parámetros:

- Arreglo de antenas de haz conmutado.
- Conmutación mediante línea de transmisión de longitud fija.
- Procesador con capacidades elementales.
- Control basado únicamente en información provista por el receptor GNSS.

Las características del sistema surgen por la necesidad primordial de desarrollar una alternativa de bajo costo, limitando las capacidades de control del sistema.

Debido al factor económico, y bajo la concepción modular del sistema, se desecha la opción de utilizar una tarjeta de procesamiento de alta velocidad que dotaría al sistema de capacidades de composición de haz adaptativo, detección de DOA mediante algoritmos de análisis espectral y comprobación de intensidad de señal. Esto limita la posibilidad de realizar un sistema compacto, ligero y de un número de componentes reducido.

Por otro lado, la realización de un sistema de antena inteligente cuya adaptabilidad se encuentra en la operación de las diferentes señales por hardware permite realizar un control simplificado del sistema, reduciendo la carga en el procesador utilizado. Adicionalmente se tiene la ventaja de administrar directamente la potencia obtenida por el equipo transmisor, por lo que se garantiza que el incremento de potencia es producto del consumo de energía de los componentes utilizados. Es evidente el incremento del equipamiento necesario para la operación del sistema de

antena inteligente, pero la simplicidad de cada componente y su bajo costo permite el desarrollo de un sistema accesible. Si bien es cierto que las señales de las antenas y del transmisor son indiferentes para el sistema de procesamiento, la información que proviene del sistema de navegación de la aeronave es suficiente para mitigar la deficiencia de información relacionada directamente con la DOA; siempre y cuando el algoritmo de control se encuentre adecuadamente diseñado.

5.1.3. Evolución de la Arquitectura

El desarrollo de la arquitectura se comenzó a definir mediante subsistemas elementales:

- Un arreglo de antenas.
- Un sistema de procesamiento físico que genere el factor de arreglo.
- Un sistema de control lógico que decida el factor de arreglo.

El primer punto de desarrollo fue el arreglo de antenas, suponiendo que se fusionarían los sistemas de control y procesamiento en un ambiente de control vía software. El desarrollo del arreglo de antenas demostró que se requería un arreglo circular para evitar puntos ciegos y un control basado en rotación. Con este primer diseño se definió una arquitectura que dependía de tres antenas para minimizar la complejidad del sistema de procesamiento y mantener la simetría rotacional, como se muestra en la Figura 5-1.

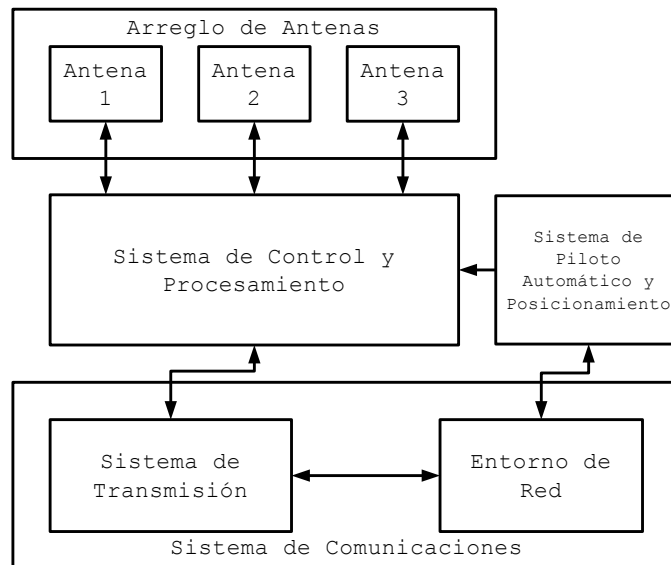


Figura 5-1: Arquitectura inicial basada en software

Tras el descarte del procesamiento por software por motivos económicos, se optó por la alternativa del control por hardware. Tras la utilización de un divisor-combinador Wilkinson se pudo utilizar una cuarta antena que permite aumentar la ganancia del sistema. A falta de definir el sistema de procesamiento, se definió la evolución de la arquitectura en la Figura 5-2.

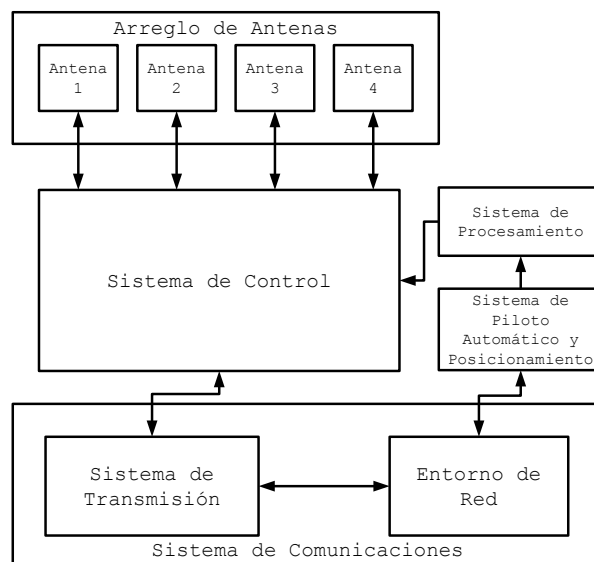


Figura 5-2: Arquitectura modificada basada en hardware

Considerando la disposición del arreglo de antenas y considerando los requisitos de línea de transmisión para cada configuración, se consideró la necesidad de una

arquitectura de conmutación por líneas de retardo, presentado en la Figura 5-3.

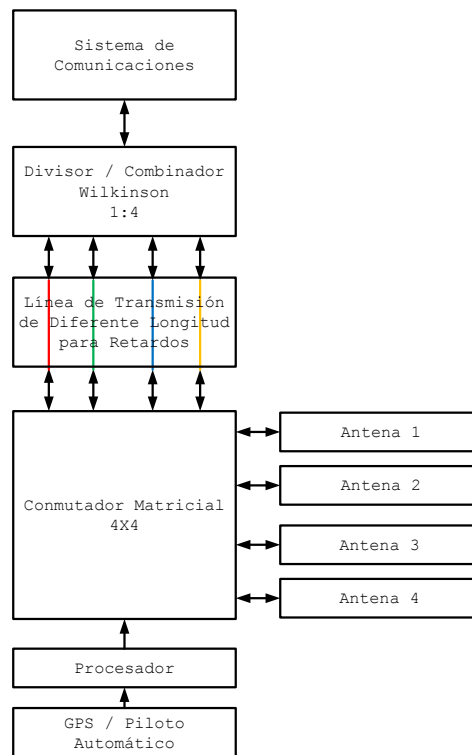


Figura 5-3: Arquitectura basada en conmutador matricial

Debido a la complejidad, se descartó la utilización de componentes como conmutadores matriciales y se consideró la utilización de conmutadores 1 a 2. Con estas últimas modificaciones, se determinó la arquitectura definitiva del sistema de antena inteligente que se desarrollaría y que entraría en procesos de pruebas: la arquitectura de la Figura 5-4.

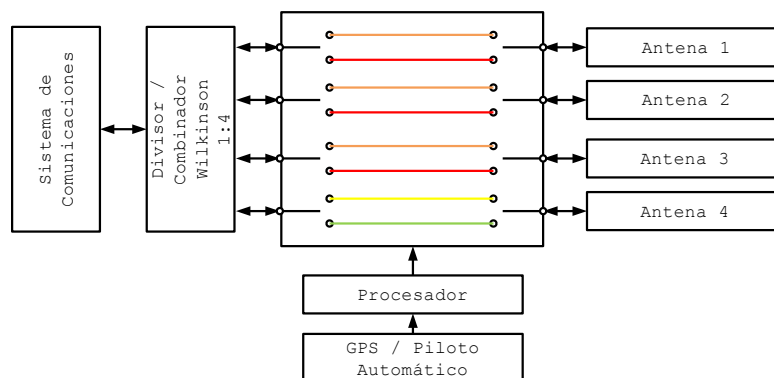


Figura 5-4: Arquitectura definitiva basada en línea conmutada

5.2. Diseño del Arreglo De Antenas

5.2.1. Análisis de Antenas Candidatos

Previamente se definió la arquitectura elemental que se desarrollaría en el sistema, sin embargo es necesario discutir detenidamente el tipo de antena a utilizarse. Los parámetros que definen una antena son: ganancia, directividad y ancho de haz. Una antena omnidireccional se caracteriza por tener una baja ganancia y baja directividad; sin embargo tiene un ancho de haz completo que, en otras palabras, no posee puntos ciegos. Por otro lado una antena directiva tiene una alta ganancia y alta directividad; pero tiene un ancho de haz angosto lo que impide que irradie a direcciones específicas.

En un arreglo aditivo es necesario que las antenas puedan sumar la señal sin importar la dirección, por lo cual se necesitan antenas omnidireccionales. En un arreglo sectorizado es necesario que las antenas compensen sus puntos ciegos de manera mutua, escenario en el cual funcionan adecuadamente las antenas directivas. También se pueden utilizar antenas directivas en arreglos aditivos, pero su área de operación se limita por su ancho de haz. Para funcionar en arreglos aditivos es necesario ubicar varios arreglos de antenas directivas, opción poco eficiente de implementar en una aeronave.

Ejemplos de antenas omnidireccionales son los dipolos y monopolos, que si bien no son enteramente omnidireccionales, ofrecen un plano en el cual no existen puntos ciegos. Estas antenas necesitan superficies libres para su operación, si se tienen que adherir a superficies planas, su funcionamiento omnidireccional se degrada. En estas situaciones es necesario utilizar antenas directivas conocidas como antenas "patch". Estas antenas al ser planas

pueden ser colocadas sobre cualquier superficie, y además de ser directivas ofrecen una ganancia superior a las antenas omnidireccionales. Sin embargo, se mencionó que usar varios arreglos de antenas directivas no es la mejor implementación en una aeronave, dado que para operar un arreglo son necesarios ciertos equipos que deben encontrarse en la aeronave.

Considerando estos escenarios, es preferible sacrificar ganancia al utilizar antenas omnidireccionales y discutir superficies posibles para su ubicación; que utilizar antenas directivas que no cubren todos los puntos ciegos y que requieren de más equipo que un arreglo de antenas omnidireccionales.

Un diseño adecuado del arreglo de antenas omnidireccionales puede optimizar los recursos y la ganancia global del sistema.

5.2.2. Estudio de Distribuciones de Arreglos Disponibles

5.2.2.1. Evolución del Sistema de antena Inteligente

Identificada la arquitectura de arreglo de antenas omnidireccionales a utilizarse y un control basado en el muestreo de la señal; se procede a diseñar el arreglo de antenas y su respectiva cadena de control.

Comenzando con un arreglo uniforme lineal de antenas, se empieza a definir el esquema de control de las antenas a partir del método de polinomios de Schelkunoff. Ésta teoría maneja la potencia de cada antena individualmente para generar puntos ciegos, sin embargo necesitamos generar puntos de máxima propagación. Considerando la técnica utilizada, se intentó determinar si existe una relación

entre la elección de los puntos ciegos y los puntos de máxima radiación. Se realizaron simulaciones a partir de las ecuaciones de campo lejano muestreando los puntos ciegos a generar.

Los resultados de la simulación muestran que la técnica permite modificar el funcionamiento del arreglo de antenas, pero es imposible determinar una relación funcional entre los puntos ciegos y los puntos de máxima radiación. Adicionalmente, la técnica de polinomios únicamente permite alterar la magnitud de los lóbulos propios del arreglo. En otras palabras, de encontrarse una relación funcional entre los puntos ciegos y los puntos de máxima radiación; el diseño físico del arreglo determina puntos ciegos que no se pueden compensar.

Desechando la técnica de polinomios, se detectó que era un requisito propio del arreglo de antenas una disposición simétrica del mismo. Por este motivo, y para facilitar el control, el arreglo de antenas cambió de un esquema de arreglo lineal uniforme a un arreglo circular. Se asume que con la simetría angular del arreglo se pueden rotar las configuraciones de arreglo, limitando la necesidad de realizar diseños para un segmento angular menor al total.

Para garantizar simetría angular se decidió utilizar el mínimo de tres antenas para mantener simple el arreglo. Inicialmente se consideró utilizar únicamente dos antenas a la vez, en configuraciones lineales broadside y end-fire. Las simulaciones demostraron que este diseño permitía mantener un sistema de antena inteligente conmutado sin puntos ciegos. Por el hecho de utilizar sólo dos antenas, se obtienen una ganancia de arreglo de 3 dB. Para implementar el sistema es necesario un procesador de

señales capaz de realizar los retardos de la señal, ya sea en banda angosta o en banda intermedia. Después de buscar exhaustivamente, resultó imposible encontrar un candidato que se pudiera utilizar en la frecuencia de 900 MHz, con disposición de puertos para la radio y las tres antenas; con un tamaño compacto, y a un precio razonable.

Dado que no se encontró un procesador de señales que permita realizar la implementación, se decidió cambiar la arquitectura de control y desechar la opción de utilizar la información recibida por las antenas, hacia una arquitectura más sencilla que únicamente se encargue de la conmutación del arreglo. Definido el cambio de arquitectura, se decidió utilizar un divisor/combinador Wilkinson 1:4, por lo que el sistema pasaría a tener un total de cuatro antenas. La adición del cuarto antena mostró la necesidad de modificar el diseño del arreglo de antenas. Manteniendo la simetría y optimizando el espacio, la ubicación del cuarto antena se determinó en el centro de la circunferencia en la que se encontraban las otras tres antenas restantes.

Modificado el diseño del arreglo, se decidió que las líneas de transmisión de longitud variable que generan los retardos debían rotarse entre las antenas periféricas, para un total de tres diferentes configuraciones; todas con ganancia de 6dB. Para realizar la rotación del arreglo, es necesario utilizar un conmutador capaz de conectar una antena a cada línea de retardo simultáneamente. Tras realizar varias investigaciones, se determinó que el dispositivo a utilizarse era un conmutador matricial; sin embargo fue imposible encontrar un conmutador matricial que fuera capaz de realizar conexiones simultáneas.

Al no encontrar un conmutador matricial multicanal, se realizaron modificaciones al sistema de control, ahora utilizando un sistema de conmutación basado en conmutadores SPDT (Single pole, double throw) que permita conmutar las líneas de retardos individuales de cada antena. Considerando que todas las antenas podían conmutar, se recalcularon los retardos de cada línea a partir del modelo de onda plana en campo lejano. Al final se obtuvo un total de seis configuraciones diferentes que exigían que cada antena necesitara únicamente dos líneas de retardo, para un total de ocho líneas de retardo; dichas configuraciones, que utilizan las cuatro antenas, tienen una ganancia de 6 dB.

Encontrando que existe una amplia variedad de conmutador SPDT, finalmente se definió un sistema de antena inteligente de haz conmutado que es posible de implementar en la aeronave.

5.2.2.2. Diseño de arreglo de antenas

Después de explicar la evolución del desarrollo de la antena inteligente, se procede a explicar el diseño y funcionamiento del arreglo de antenas utilizado.

Se explicó que por la necesidad de simetría se diseñó un arreglo circular de antenas, que por la existencia del divisor 1:4 se utilizan cuatro antenas, y que para reducir el espacio utilizado por el arreglo una de las antenas se encuentra centrada respecto al arreglo; esta información únicamente explica la distribución física inicial del arreglo.

Con estas características, las antenas periféricas se deben encontrar a igual distancia de la antena central y

angularmente equidistante entre las antenas periféricas. Para aumentar el ancho de haz de cada configuración, es necesario que el arreglo se encuentre lo más compacto posible; considerando el efecto de las impedancias mutuas del arreglo. Mediante el modelo de onda plana de campo lejano, es posible determinar el retardo de cada antena dada una DOA. Por efectos de la rotación, se consideran dos configuraciones elementales: cuando la onda viene por delante del arreglo y cuando la onda viene por detrás del arreglo.

En el primer caso, la antena frontal es el primero que recibe el mensaje, por lo que también es la antena que se le asigna la mayor línea de retardo. Las antenas posteriores son los últimos en recibir el mensaje y necesitan el menor retardo posible.

En el segundo caso, las antenas posteriores reciben primero el mensaje, por lo que se les otorga el mayor retardo; la antena frontal recibe el retardo mínimo al ser la última antena en recibir el mensaje en fase. En ambos casos también cambia el retardo en la antena central.

Las configuraciones utilizadas resultan de la rotación de las dos configuraciones elementales, para un total de 6 configuraciones posibles. Resultado de las rotaciones se obtiene que cada antena únicamente necesite dos líneas de retardo para generar cualquiera de las seis configuraciones, decididas por el control.

5.2.3. Desarrollo del Arreglo de Antenas

5.2.3.1. Arreglo Lineal

Uno de los preceptos fundamentales de ingeniería es "*no reinventar la rueda*", es decir que cualquier diseño de

ingeniería debe comenzar basándose en diseños previos. Considerando este precepto, el primer arreglo desarrollado es un arreglo lineal de dos antenas; que utilizando el método de polinomios de Schelkunoff para la generación de puntos nulos. La utilización de los polinomios de Schelkunoff permite adaptar el arreglo mediante el cambio de alimentación de cada antena. Si bien el método permite generar nulos, no permite determinar puntos de máxima radiación.

De manera simplificada, el método de Schelkunoff permite conformar un factor de arreglo determinando las direcciones de radiación nula. Como algoritmo se introduce los puntos nulos de radiación, obteniéndose la alimentación de cada antena y el factor de arreglo. Considerando la Ecuación 19 y la Ecuación 20 se tiene que para un arreglo lineal de N antenas se obtiene un máximo de $N-1$ puntos nulos. La elección de los puntos nulos depende del diseño deseado del arreglo y de las limitaciones de la Ecuación 17 y la Ecuación 18. En otras palabras, se puede repetir puntos nulos para acentuar una dirección en particular o asignar puntos nulos fuera de rango en caso de tener más puntos nulos posibles de los necesarios. Considerando que el método de Schelkunoff no muestra directamente la ubicación de los puntos de radiación, dentro del sistema de control es necesario identificar las relaciones entre los ceros utilizados y los puntos de máxima radiación.

Para simplificar el esquema de control, únicamente se considera el efecto de la magnitud obtenida al utilizar el método de polinomios de Schelkunoff y realizar un control basado en regulación de potencia. Con diferentes propósitos se desarrollaron códigos de Matlab que permitan comprobar el funcionamiento del método de Schelkunoff y extraer un comportamiento entre los puntos de máxima radiación en

relación a los puntos nulos. Considerando lo explicado anteriormente, se decide utilizar un único cero resultado de un arreglo de dos antenas; considerando posteriormente la utilización de más antenas.

El primer código desarrollado con tal propósito es la Función AF, que grafica el factor de arreglo a partir de la separación de las antenas, la longitud de onda y el vector de puntos nulos. Para comprobar el funcionamiento se eligen puntos nulos que corresponden a configuraciones de arreglo broadside y end-fire. En el caso de broadside se elige un nulo a 0 grados, y en el caso de end-fire un punto nulo a 90 grados. En la Tabla 5-1 se consideran todas las configuraciones utilizadas en la Función AF.

Tabla 5-1: Parámetros de Función AF para configuraciones Broadside y End-fire

Configuración	d [cm]	lambda [cm]	zp [grados]
Broadside	8.15	32.61	0
End-fire	8.15	32.61	90

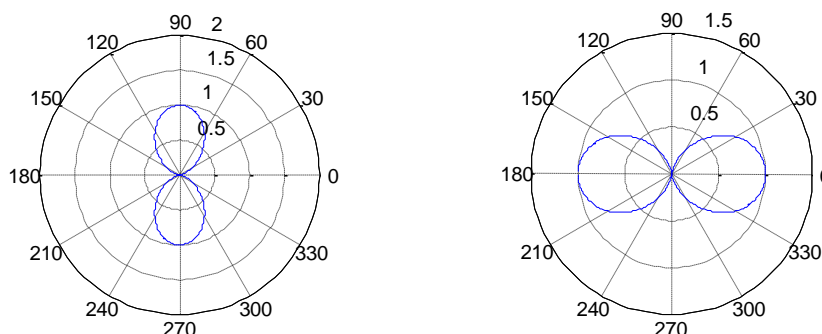


Figura 5-5: Factores de arreglo normalizados de la Función AF con parámetros de Tabla 5-1
Izquierda Broadside, Derecha End-fire

La elección del punto nulo responde a la ortogonalidad entre el punto nulo y el punto de máxima radiación que componen a los arreglos broadside y end-fire. Sin embargo, este comportamiento no puede ser extrapolado para otras direcciones de punto nulo dado que para configuraciones broadside y end-fire existe cierta simetría en el arreglo. Para interpretar la relación entre los puntos nulos y los puntos de máxima radiación se desarrolla la Función AF2

como un barrido de la Función AF. Utilizando los parámetros de d y λ de la Tabla 5-1 con un número de antenas $n=2$; se obtiene la Figura 5-6.

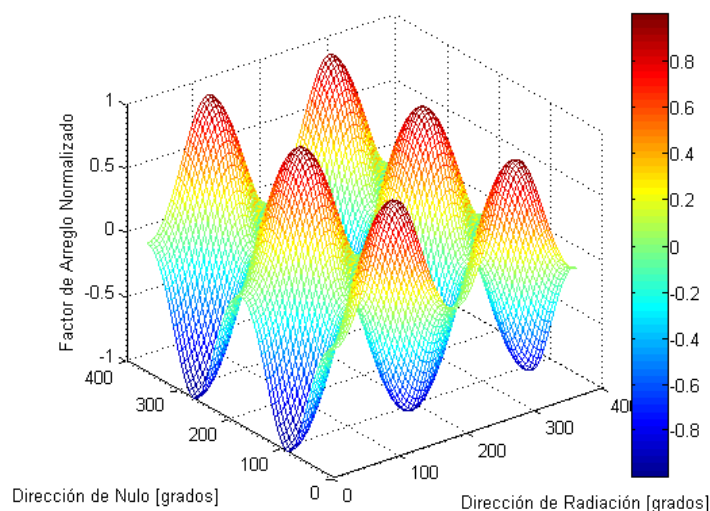


Figura 5-6: Resultados de la Función AF2 utilizando parámetros de la Tabla 5-1 con $n=2$

Como resultado de la Función AF2 en la Figura 5-6 se tiene que la acción única de potencia del punto nulo únicamente modifica la amplitud de los lóbulos de máxima radiación de los modos broadside y end-fire. En otras palabras, se esperaba una rotación del factor de arreglo, sin embargo se tiene una conmutación entre los modos broadside y end-fire que responde a una función trigonométrica coseno.

Con la intención de mejorar el control de los puntos máximos de radiación se consideró el desarrollo de la Función AF3 para un arreglo de n antenas pero con un único cero. La Función AF4 y la Función AF5 responden como funciones análogas de la Función AF y la Función AF2, considerando un sistema de 3 antenas con cero único para compactar el posible sistema a implementarse. Los parámetros utilizados en Función AF4 se plantean en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Parámetros de Función AF4 para configuraciones Broadside y End-fire

Configuración	d [cm]	lambda [cm]	zp [grados]	c (offset)
Broadside	8.15	32.61	0	0
End-fire	8.15	32.61	90	0

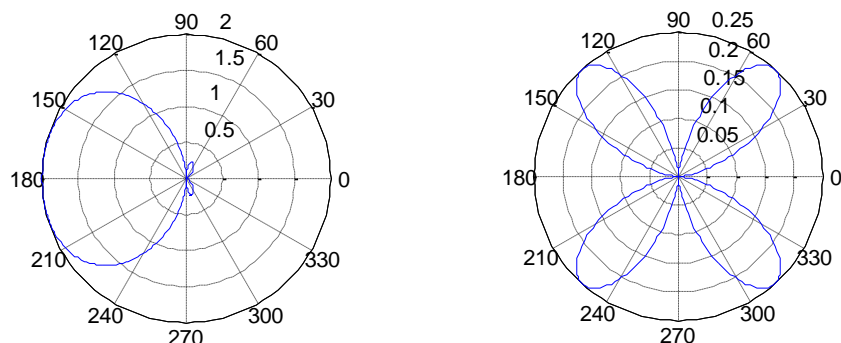


Figura 5-7: Factores de arreglo normalizados de la Función AF4 con parámetros de Tabla 5-2. Izquierda "Broadside", Derecha "End-fire"

Dado que no existe un efecto Broadside o End-fire con la adición de otra antena, existe la necesidad de comprobar el comportamiento del factor de arreglo en función del nulo escogido. Para ello se utiliza la Función AF5, de forma similar a la Función AF2 y generar el barrido de nulos. Para ello se utilizan los mismos parámetros con $c=0$.

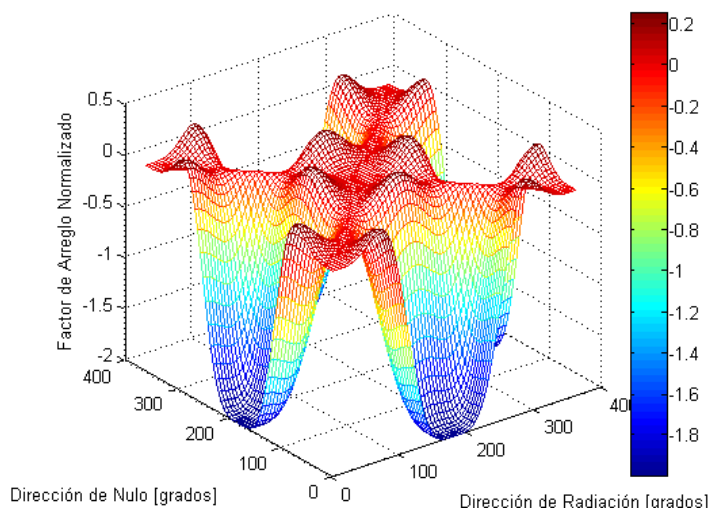


Figura 5-8: Resultados de Función AF5 utilizando parámetros de la Tabla 5-2 con $c=0$

Comprobando que el control de potencia únicamente modifica la amplitud de los lóbulos generados por el arreglo, se considera que el modelo de Schelkunoff debe considerar también la fase de la señal de alimentación. También se

considera que para simplificar el sistema de control debería existir cierta periodicidad angular en el arreglo de antenas, por lo que es necesario cambiar la disposición del arreglo de lineal a circular. Dicho cambio de distribución impide la aplicación del método de polinomios de Schelkunoff, aplicable únicamente a arreglos lineales no uniformes.

5.2.3.2. Arreglos Circulares

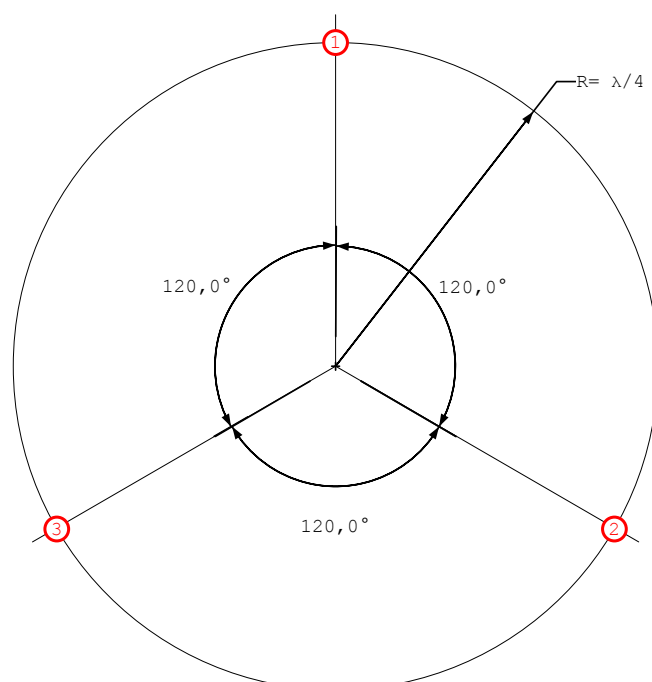


Figura 5-9: Arreglo circular de tres elementos

La Figura 5-9 muestra la distribución de elementos en un arreglo circular. Para mantener un cierto grado de simetría angular con el mínimo de componentes necesarios se escogió un total de tres antenas espaciadas 120° entre ellas. Para simplificar el control también se decidió utilizar una arquitectura de conformación de haz conmutado, para lo cual se debía escoger las configuraciones del arreglo a utilizarse.

Para escoger las configuraciones se decidió que debían ser configuraciones lineales Broadside y End-Fire de combinaciones de dos antenas, dejando la tercera antena

desconectada. Este diseño permite utilizar dos configuraciones de arreglo diferentes por par de antenas, con tres combinaciones diferentes posibles, es posible obtener un total de seis diferentes configuraciones de arreglo. Si bien se conoce que existen seis combinaciones de arreglo posible, es necesario comprobar que estas combinaciones no sobrepongan sus lóbulos de radiación. Para ello se considera que los arreglos Broadside lineales irradian ortogonalmente al arreglo y que los arreglos End-Fire lineales irradian colinealmente al arreglo. La Figura 5-10 muestra las rectas imaginarias que muestran las combinaciones de arreglos lineales.

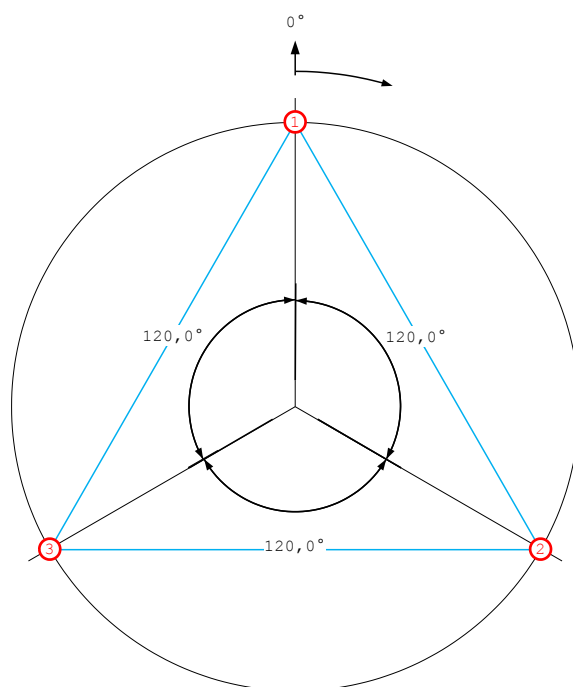


Figura 5-10: Sistema de referencia de un arreglo circular de tres elementos

La Figura 5-10 también muestra el formato de coordenadas polares utilizado, referenciando el centro de coordenadas en el centro del arreglo y manejando un sentido horario que empieza en el primer elemento radiante. Usando la Figura 5-10 y la información de los arreglos Broadside y End-fire lineales, es posible determinar las direcciones de los lóbulos principales, si se considera adicionalmente que el

factor de arreglo responde a un diseño helicoidal de dos lóbulos únicamente.

Tabla 5-3: Orientación de las combinaciones de elementos

Recta		Orientación [grados]
1	2	150°
2	3	270°
3	1	30°

Tabla 5-4: Orientación de los lóbulos de radiación de las diferentes configuraciones de arreglo

Recta		Orientación [grados]			
		Broadside		End-fire	
1	2	60°	240°	150°	330°
2	3	0°	180°	90°	270°
3	1	120°	300°	30°	210°

La Tabla 5-3 y la Tabla 5-4 muestran las direcciones posibles de los lóbulos de radiación de las diferentes configuraciones de arreglo. Esta información muestra que las configuraciones de arreglo no apuntan dos lóbulos hacia la misma dirección. Dado que se están utilizando configuraciones basados en arreglos lineales, es posible todavía utilizar el método de polinomios de Schelkunoff para calcular el factor de arreglo en configuraciones Broadside y End-fire. Sin embargo, no es posible utilizar este método para comprobar el efecto de rotar los arreglos lineales; por este motivo es necesario cambiar tanto el método de cálculo como el método de simulación. Para ello es necesario simular el elemento radiante a ser utilizado para conformar los patrones de radiación del arreglo. Para el modelado se utilizan los conceptos del vector de radiación y de la intensidad de corriente expresados en la Ecuación 9 y la Ecuación 16 respectivamente. Para utilizar el vector de radiación es necesario definir la densidad de corriente que representa al tipo de antena modelado. Utilizando un modelo de antena simple es posible aislar el factor de arreglo del patrón de radiación del arreglo, sin embargo utilizar un modelo adecuado de la antena a ser utilizada permitiría mostrar el comportamiento esperado del

arreglo bajo cierta configuración y cierta antena como elemento radiante.

Siendo el objetivo el control de acimut del arreglo, es conveniente seleccionar un modelo radiante que corresponda a una antena omnidireccional. El Anexo C indica los modelos realizados de antena: dipolo infinitesimal de densidad de corriente uniforme, monopolo infinitesimal de densidad de corriente sinusoidal y dipolo infinitesimal de densidad de corriente sinusoidal; así como las consideraciones especiales para desplazar un elemento radiante en el plano. La Función `funcionU` permite crear la intensidad de radiación de un arreglo circular de dipolos infinitesimales dados los ángulos de elevación y acimut (θ y φ respectivamente); la corriente I del sistema, la alimentación de cada antena (con el número de elementos de forma implícita), la longitud de los dipolos y el radio del arreglo. El código de Rutina `plotU` sirve para comprobar a la Función `funcionU` mediante un arreglo de tres elementos, de los cuales sólo uno es activo. Para ello se elige el ángulo de máxima radiación en un arreglo de radio $\lambda/4$ con dipolos de $\lambda/2$. El resultado debería ser una intensidad de radiación normalizada homogénea.

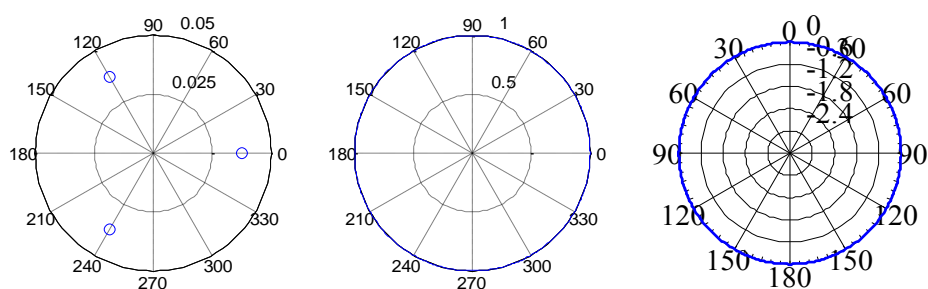


Figura 5-11: Patrón de radiación de la Rutina `plotU`
Izquierda: Distribución de arreglo
Centro: Patrón de Radiación normalizado
Derecha: Patrón de Radiación en dB

Los resultados de la ejecución de la Rutina `plotU`, reflejados en la Figura 5-11, muestra que el modelo de antena se comporta como un elemento omnidireccional,

necesario para aislar el factor de arreglo del patrón de radiación del sistema de antenas.

A pesar que se consideró utilizar únicamente tres antenas en el arreglo circular, es necesario comprobar el comportamiento de un arreglo de más elementos. Para este escenario se desarrolló el código Rutina plotU_2. Se considera que se emite en la elevación de máxima radiación con un radio de $\lambda/2$ con dipolos de $\lambda/4$ y alimentación I unitaria.

Tabla 5-5: Tabla de configuración de arreglo de Rutina plotU_2

Configuración	Corriente de alimentación de antenas			
	1	2	3	4
1	1	0	1	0
2	1	1	0.2	-1
3	1	1	-1	-1
4	1	1	-1	0.2
5	0	1	0	1

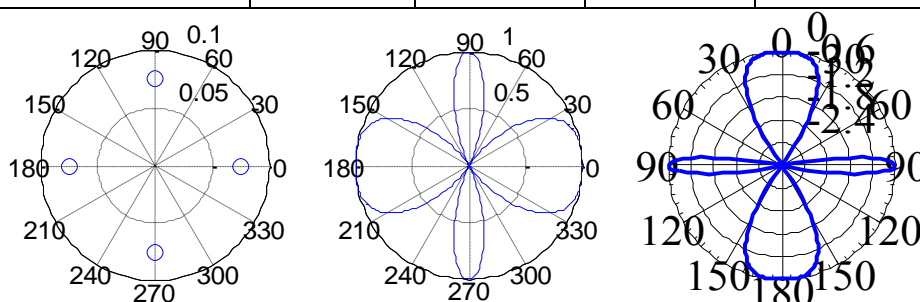


Figura 5-12: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 1
 Izquierda: Distribución de arreglo
 Centro: Patrón de Radiación normalizado
 Derecha: Patrón de Radiación en dB

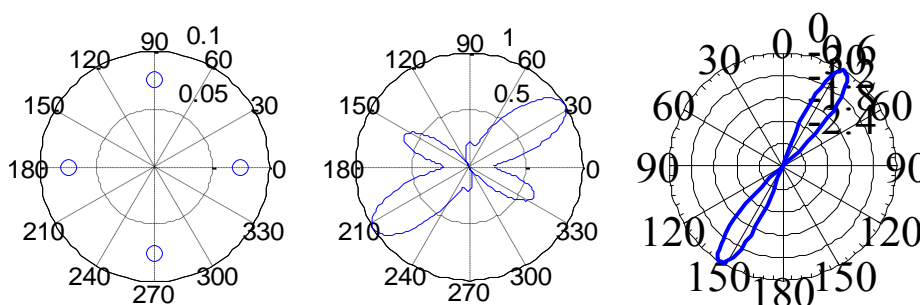


Figura 5-13: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 2
 Izquierda: Distribución de arreglo
 Centro: Patrón de Radiación normalizado
 Derecha: Patrón de Radiación en dB

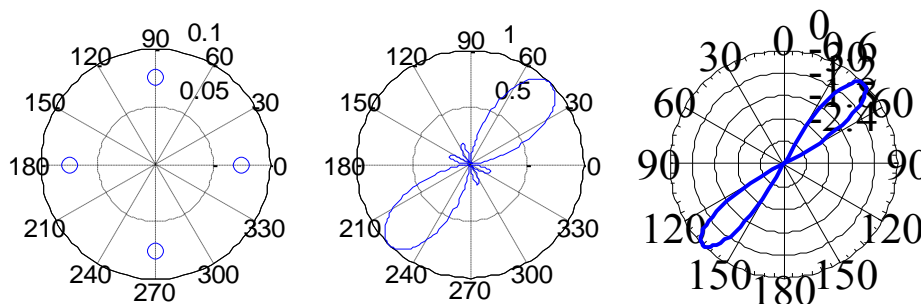


Figura 5-14: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 3
 Izquierda: Distribución de arreglo
 Centro: Patrón de Radiación normalizado
 Derecha: Patrón de Radiación en dB

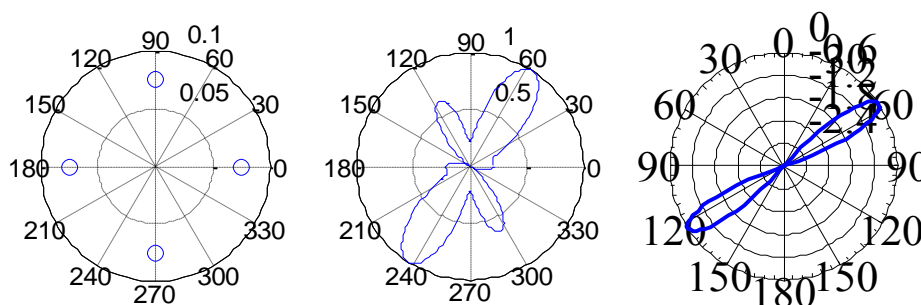


Figura 5-15: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 4
 Izquierda: Distribución de arreglo
 Centro: Patrón de Radiación normalizado
 Derecha: Patrón de Radiación en dB

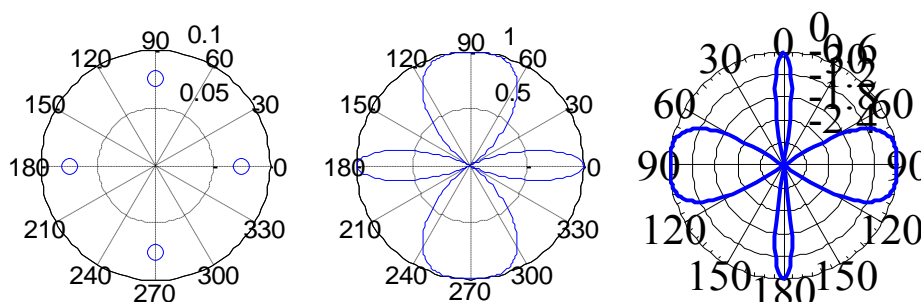


Figura 5-16: Patrón de radiación de la Rutina plotU_2 con la configuración 5
 Izquierda: Distribución de arreglo
 Centro: Patrón de Radiación normalizado
 Derecha: Patrón de Radiación en dB

Los resultados de la Tabla 5-5 y las gráficas de la Figura 5-12, la Figura 5-13, la Figura 5-14, la Figura 5-15 y la Figura 5-16 muestran que un arreglo de cuatro antenas es versátil en la conformación de haz. Sin embargo, al trabajar con intensidades de radiación normalizadas, es imposible estimar la ganancia que se obtiene por la utilización del arreglo. La forma práctica de simular la ganancia del arreglo es considerar que la potencia de alimentación del arreglo es igual a la potencia de alimentación de un sistema de una única antena. Para ello

se utiliza la ley de Joule, la ley de Ohm y las consideraciones que se utilizan los mismos elementos radiantes tanto para el arreglo como para un sistema de antena única. Para reducir la complejidad del modelo, no se consideran los efectos de impedancia mutua en el arreglo:

$$S = V * I^*$$

$$S = Z * |I|^2$$

$$S_{ant} = S_{array}$$

$$Z * |I|^2 = \sum_{g=1}^n Z * |I_g|^2$$

A cada corriente de alimentación I_g de cada antena del arreglo se la puede considerar como el producto del peso de procesamiento w_g por una corriente equivalente de alimentación I_{eq} :

$$I_g = w_g * I_{eq}$$

$$Z * |I|^2 = Z * |I_{eq}|^2 \sum_{g=1}^n |w_g|^2$$

$$|I|^2 = |I_{eq}|^2 \sum_{g=1}^n |w_g|^2$$

$$|I_{eq}|^2 = \frac{|I|^2}{\sum_{g=1}^n |w_g|^2}$$

$$|I_{eq}| = \sqrt{\frac{|I|^2}{\sum_{g=1}^n |w_g|^2}}$$

Ecuación 44

La utilización de la corriente equivalente de arreglo permite simplificar la simulación al balancear la potencia entre diferentes configuraciones de arreglo, permitiendo

determinar la ganancia del sistema sin normalizar. Para comprobar el comportamiento de la Ecuación 44 aplicada en el modelo de arreglo de antenas se realiza la Rutina plotU_1 que maneja un escenario de un arreglo de cuatro dipolos con un radio de $\lambda/2$ con dipolos de $\lambda/4$, siendo el parámetro de corriente $I=1$.

Tabla 5-6: Parámetros de configuración de Rutina plotU_1

Configuración	Pesos de alimentación de antenas				Corriente Equivalente
	w_1	w_2	w_3	w_4	
1	0	1	0	1	0.5
2	1	0	0	0	1

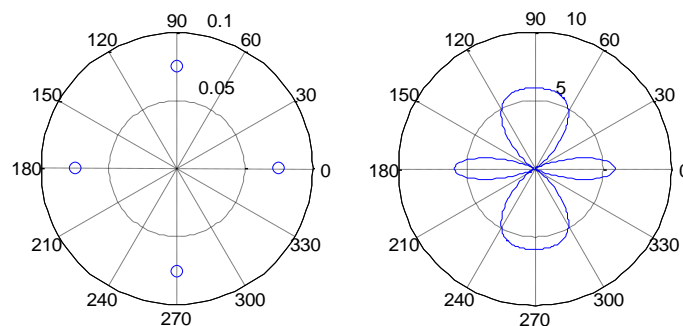


Figura 5-17: Patrón de radiación de Rutina plotU_1 usando la configuración 1
Izquierda: Distribución de arreglo Derecha: Patrón de Radiación

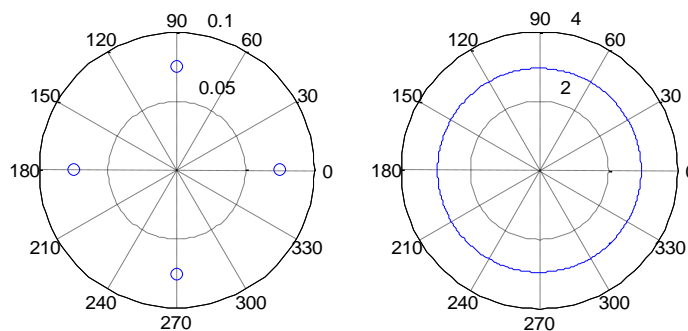


Figura 5-18: Patrón de radiación de Rutina plotU_1 usando la configuración 2
Izquierda: Distribución de arreglo Derecha: Patrón de Radiación

El resultado de la Rutina plotU_1 muestra la obtención de ganancia al comparar los escenarios de la Figura 5-17 en contraste con la Figura 5-18, resultando en la capacidad del arreglo de duplicar la potencia irradiada. También se considera que el patrón de radiación de la Figura 5-17 es igual al patrón de radiación de la Figura 5-16, mostrando que el balanceo de potencia no afecta en la distribución del patrón de radiación. Para terminar con el desarrollo de

un arreglo de cuatro antenas se define el código Rutina plotU_3. El escenario considera un radio de $\lambda/4$ con dipolos de $\lambda/2$. También utiliza el caso de una única antena para contrastar la ganancia de arreglo de antena.

Tabla 5-7: Tabla de configuración de Rutina plotU_3

Configuración	Pesos de alimentación de antenas				Corriente Equivalente
	w_1	w_2	w_3	w_4	
1	1	0	1	0	0.7071
2	1	1	0.2	-1	0.5735
3	1	1	-1	-1	0.5
4	1	1	-1	0.2	0.5735
5	0	1	0	1	0.7071
6	1	0	0	0	1

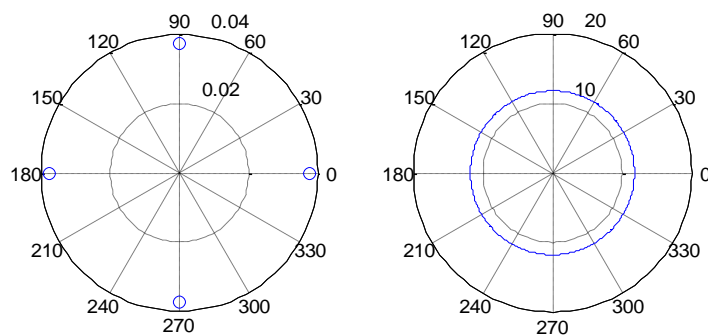


Figura 5-19: Patrón de radiación de Rutina plotU_3 para la configuración 6
Izquierda: Distribución de arreglo Derecha: Patrón de Radiación

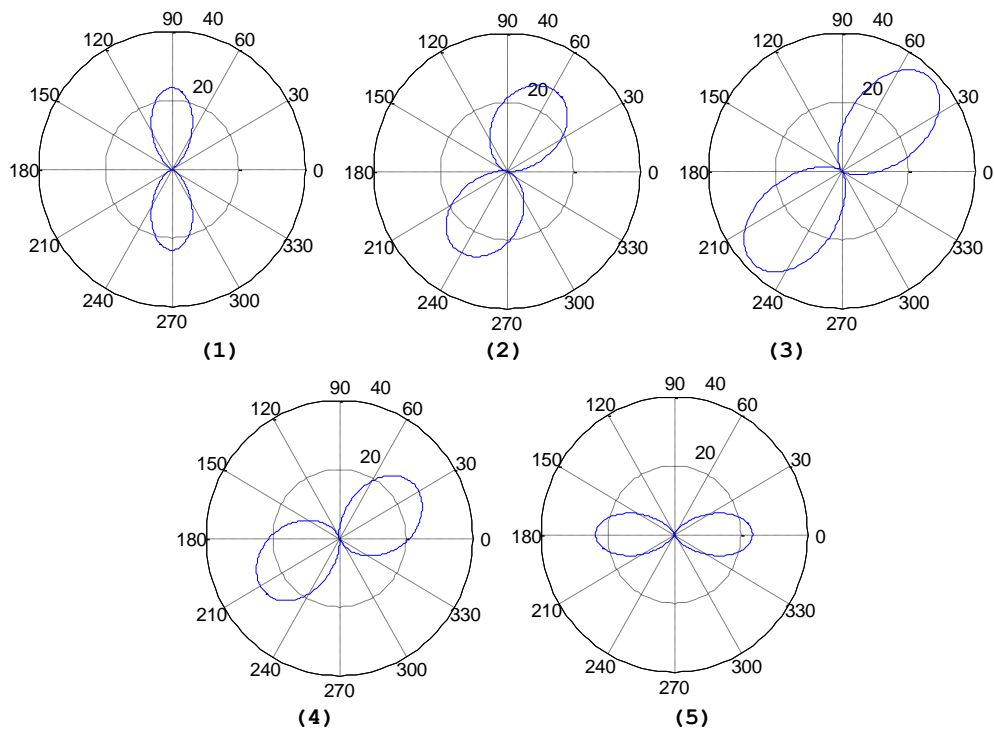


Figura 5-20: Patrón de radiación de Rutina plotU_3 utilizando la tabla 5-7

Los resultados de la Rutina plotU_3 muestran que los pesos de las antenas están adecuadamente escogidos para obtener arreglos ortogonales que nos permiten obtener una ganancia de alrededor de 3dB a 4.5dB respecto a la potencia irradiada a partir de una única antena. Utilizando un DSP es posible obtener un sistema que otorgue un espectro de pesos necesarios para la operación. Sin embargo, obtener un DSP que permita un manejo de cinco entradas (cuatro para antenas y uno para el radio transmisor) es complicado de obtener en el mercado, sin considerar el precio y la capacidad de implementación; siendo preferible seguir con la utilización de un arreglo de tres antenas. El desarrollo de un arreglo circular de cuatro antenas permitió obtener un método que estima la ganancia al equiparar la potencia entre cada configuración de arreglo.

Siguiendo con el modelo establecido en la Figura 5-9, Figura 5-10, Tabla 5-3 y Tabla 5-4 se desarrolla combinaciones de arreglo Broadside y End-Fire que utiliza una fase de 180° , que corresponde a un cambio de signo. Estas consideraciones se implementan en la Rutina plot_u_tri. En los escenarios se considera el balanceo de potencia en un arreglo de tres antenas en un radio de $\lambda/4$ con dipolos de $\lambda/2$.

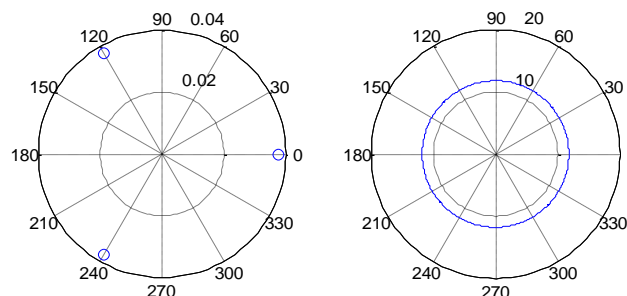


Figura 5-21: Patrón de radiación de Rutina plot_u_tri para la configuración 7 Antena Única

Izquierda: Distribución de arreglo

Derecha: Patrón de Radiación

Tabla 5-8: Tabla de configuraciones de Rutina plot_u_tri

Configuración	Pesos de alimentación de antenas			Corriente Equivalente
	w_1	w_2	w_3	
1	0	1	-1	0.7071
2	1	0	-1	0.7071
3	1	-1	0	0.7071
4	1	1	0	0.7071
5	1	0	1	0.7071
6	0	1	1	0.7071
7	0	1	0	1

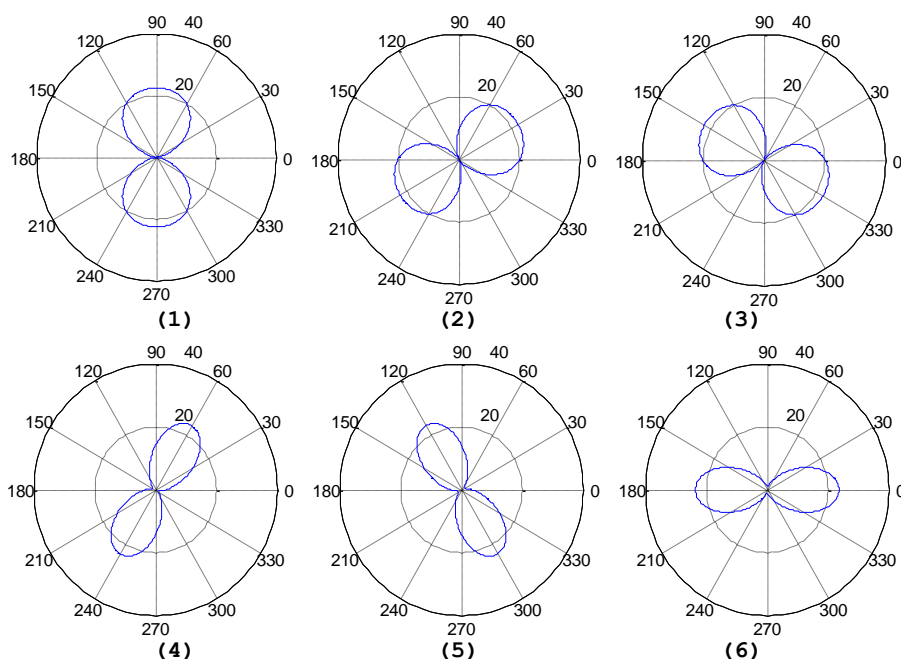


Figura 5-22: Patrón de radiación de Rutina plot_u_tri usando la tabla 5-8

Las configuraciones seleccionadas en la Tabla 5-8 muestran un comportamiento de arreglo que permite obtener 12 direcciones diferentes que ofrecen una ganancia de 3dB y que se encuentran adecuadamente sobrepuestas maximizando la ganancia. Considerando la necesidad de mostrar el patrón de radiación de forma tridimensional, se realiza la Rutina sph_plot que responde a los parámetros de configuración del modo 1 End-fire de la Tabla 5-8.

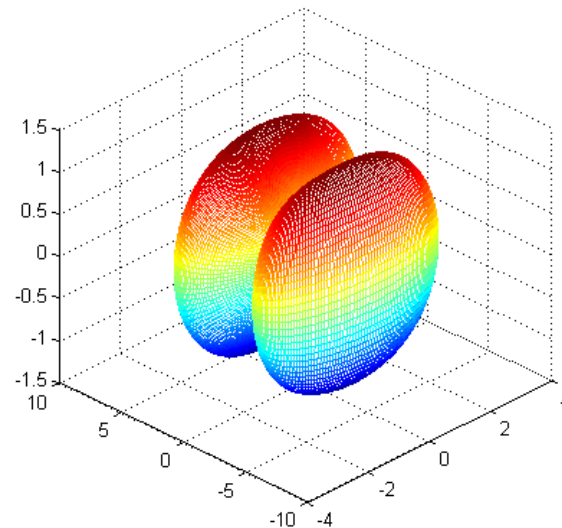


Figura 5-23: Patrón de radiación de la configuración 1 de la Tabla 5-8

La Figura 5-23 muestra una realización aceptable del patrón de radiación que únicamente necesita un ajuste en su escala de color para representar la ganancia del sistema. Considerando un control rudimentario de límite de decisión homogéneo, se desarrolla el código Rutina `plot_u_trig_c` para mostrar un posible diagrama de radiación del sistema aplicado control en condiciones ideales, para lo cual utiliza los parámetros de configuración de la Tabla 5-8.

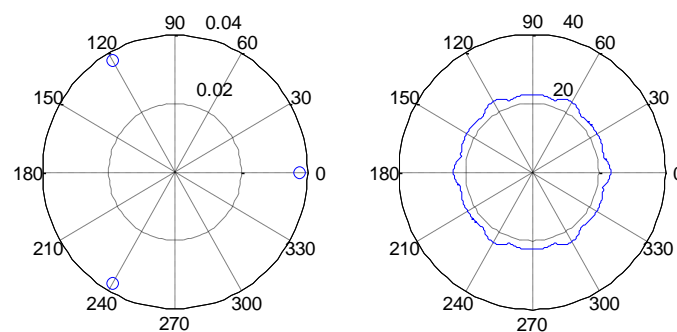


Figura 5-24: Patrón de radiación combinado de Rutina `plot_u_trig_c`
 Izquierda: Distribución de arreglo Derecha: Patrón de Radiación

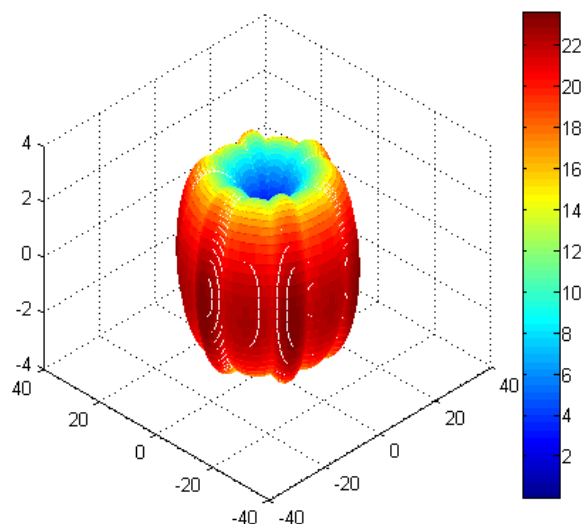


Figura 5-25: Patrón de radiación tridimensional combinado de Rutina `plot_u_trig_c`

La Figura 5-24 y la Figura 5-25 muestran el resultado de la simulación de Rutina `plot_u_trig_c`. A pesar del control simplificado, el patrón de radiación combinado es lo suficientemente homogéneo para otorgar una ganancia estable cercana a los 3dB, excepto en los límites de las configuraciones End-fire donde actúan las configuraciones Broadside que otorgan una mayor ganancia. Visualmente, se obtiene que el patrón de radiación tridimensional sea lo suficientemente amplio en elevación para obtener problemas de pérdida de señal en casos de movilización normal de la estación móvil.

La operación del arreglo circular operado por arreglos lineales se puede extender ampliando el número de antenas y manteniendo el diseño del arreglo. Para ello se simula un sistema conformado por dos arreglos circulares de tres antenas cada uno. La suma de los dos arreglos circulares resulta en un arreglo en forma de triángulo equilátero, como se muestra en la Figura 5-26, en donde las configuraciones activas son el resultado de la utilización de arreglos broadside y end-fire en cada uno de los lados del triángulo. La simulación de la Rutina `plot_u_tri_v1` utiliza el modelo del dipolo ideal del Anexo C y expresada

en la Función `funcionU_v1`. Los valores de los pesos complejos utilizados se resumen en la Tabla 5-9, cuyos resultados se expresan en la Figura 5-27.

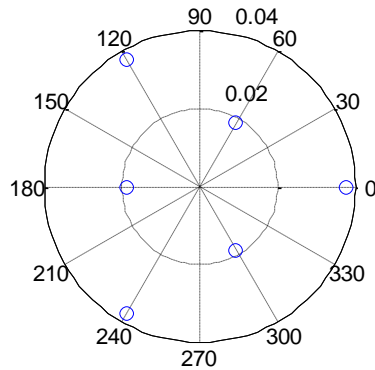


Figura 5-26: Arreglo triangular de seis antenas
La numeración de antenas es en sentido anti horario comenzando en 0 grados

Tabla 5-9: Configuraciones para el arreglo triangular de seis antenas

Configuración Activa	Pesos Complejos					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
Broadside [60]	1	1	1	0	0	0
End-fire [330]	1	i	-1	0	0	0
Broadside [0]	0	0	1	1	1	0
End-fire [90]	0	0	1	i	-1	0
Broadside [120]	1	0	0	0	1	1
End-fire [210]	-1	0	0	0	1	i

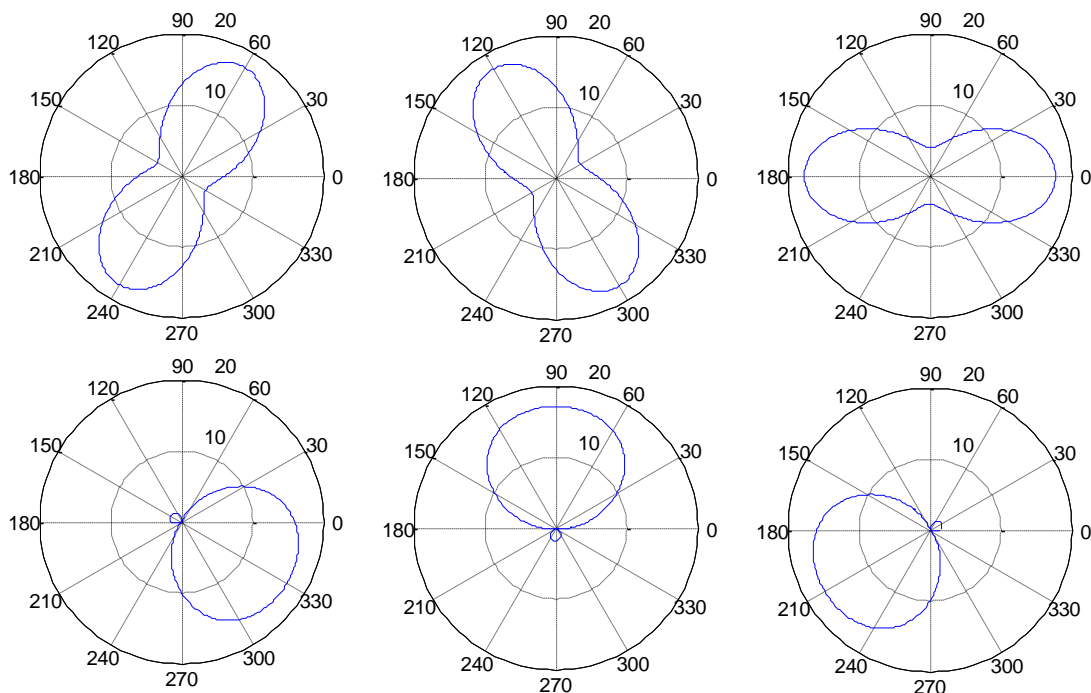


Figura 5-27: Patrones de radiación del arreglo triangular de seis antenas
Superior: Configuraciones lineales broadside Inferior: Configuraciones lineales end-fire

La simulación arroja dos importantes resultados: la utilización de más antenas aumenta la ganancia máxima del sistema y se requieren más modos de operación. La utilización de un mayor número de antenas permite aumentar la ganancia del arreglo, sin embargo se requiere de un número mayor de antenas activas para el efecto. La operación de los modos end-fire requiere de un conjunto de configuraciones adicionales para una adecuada operación. En total se requiere de un total de nueve configuraciones diferentes para que el arreglo pueda operar sin regiones de radiación nula. La conclusión que se puede obtener a partir de la simulación es que se deben utilizar todas las antenas para maximizar la ganancia y que se debe mantener el número de antenas al mínimo para minimizar la complejidad del sistema. Como alternativa se tiene que el sistema debe operar en un esquema de arreglo planar de antenas y no como un arreglo circular controlado por arreglos lineales.

5.2.3.3. Arreglo Planar

Considerando el arreglo circular de tres antenas de la Figura 5-9, se realiza la simulación como un arreglo planar utilizando la Rutina `plot_u_tri_v2` que utiliza el modelo del dipolo ideal del Anexo C y expresada en la Función `funcionU_v1`. Para comprobar la operación del arreglo planar, se definen los pesos complejos en la Tabla 5-10. Los resultados de la simulación se expresan en la Figura 5-28.

Tabla 5-10: Configuraciones para el arreglo planar de tres antenas

Configuración Activa	Pesos Complejos		
	w_1	w_2	w_3
1	1	i	1
2	i	1	i
3	-1	i	-1
4	i	-1	i
5	-1	i	1

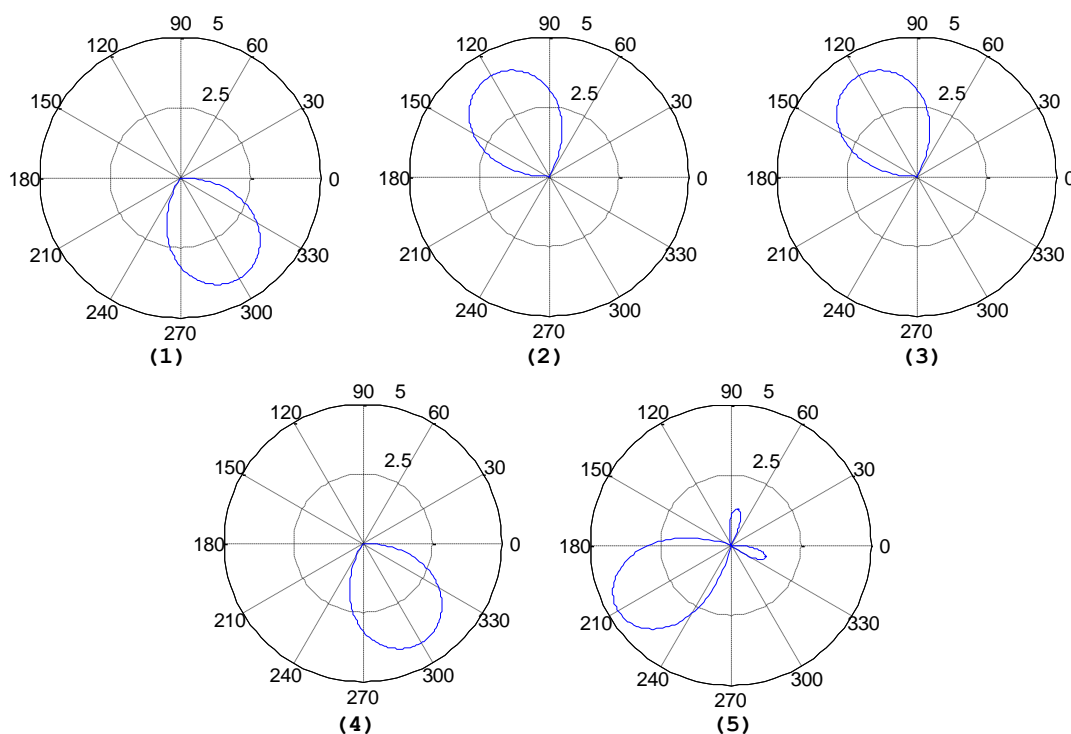


Figura 5-28: Patrones de radiación de un arreglo planar de tres antenas

Como resultado de la simulación, se tiene que se mejora la ganancia al mantener activas las tres antenas utilizando un peso complejo específico para cada componente del arreglo. Se concluye que es necesaria la utilización completa de las antenas y que la conformación del patrón de radiación se obtiene a través de la diferencia entre los pesos complejos.

Al cambiar la arquitectura del sistema de antena inteligente hacia una arquitectura basada en hardware, como en la Figura 5-2, se puede ampliar el número de antenas disponibles en el arreglo. Para obtener un sistema de procesamiento vía software se considera que se requiere el mínimo de elementos en el arreglo para obtener un dispositivo que sea implementable en la MS; sin embargo, una arquitectura en hardware requiere los elementos puntuales para cada antena en el arreglo. Considerando que el sistema debe ser compacto, se modifica el arreglo circular para añadir un cuarto elemento radiante. Para aprovechar las propiedades del arreglo circular, la cuarta

antena debe ubicarse considerando la simetría del arreglo. Un arreglo circular de cuatro elementos requiere un área libre mayor que un arreglo de tres antenas, por lo cual no es recomendable, considerando la necesidad de un arreglo compacto. Una solución es ubicar la cuarta antena en el centro de la circunferencia conformada por las tres antenas restantes del arreglo, obteniendo un arreglo planar con características de periodicidad angular en un espacio reducido, como se muestra en la Figura 5-29.

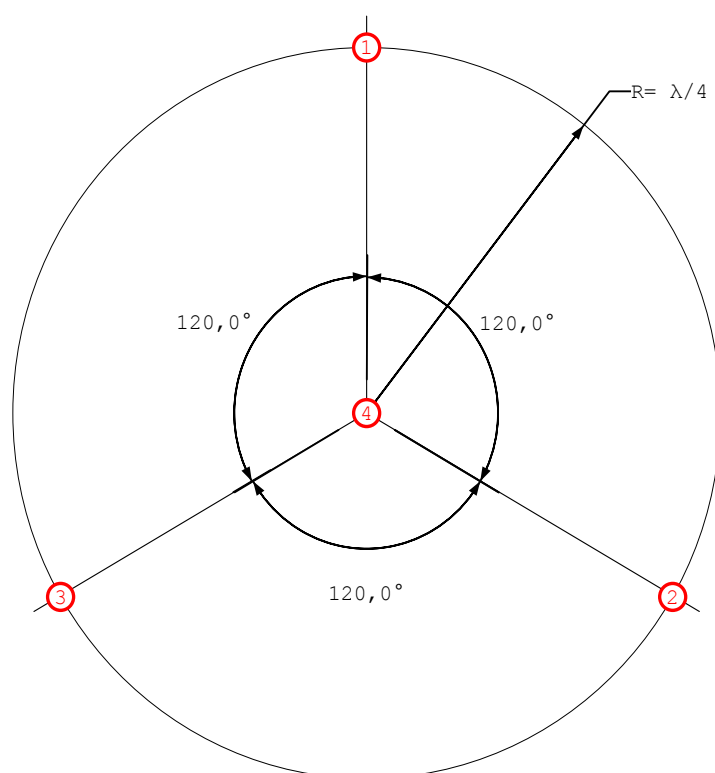


Figura 5-29: Arreglo planar de cuatro elementos

Aparte de las propiedades de periodicidad y de tamaño, es necesario mejorar las propiedades radiantes del arreglo. Para ello, y usando la arquitectura basada en hardware, se considera mantener todas las antenas del arreglo activas. Utilizando un divisor Wilkinson es posible alimentar homogéneamente cada una de las antenas. Para realizar la conformación de haz del arreglo, es necesario que las señales radiadas en cada antena se encuentren en fase para que se adicionen constructivamente. La compensación de fase

se puede realizar de varias maneras, siendo la más sencilla la compensación de fase en la línea de transmisión.

Considerando que la línea de transmisión introduce retardo en la señal entre el transmisor y la antena radiante, es posible modificar la longitud de cada línea de transmisión para que la señal tenga coherencia en una dirección dada. Para determinar las longitudes de las líneas de transmisión para cada antena, es necesario determinar el retardo de fase relativo entre cada antena. Para realizar el cálculo de las longitudes se considera que la estación móvil (MS) se encuentra en el campo lejano de la estación base (BS) y que la onda recibida se considera como una onda plana. La longitud del cable se determina a partir del retardo que tiene la señal recibida por cada antena respecto a la última antena en recibir la señal. La última antena no requiere la compensación en fase dado que las señales recibidas por las demás antenas deben ser retardadas. Por lo tanto, la longitud de la línea de transmisión depende del retardo con la "última antena", determinada por la DOA de diseño y el diseño del arreglo. Considerando que se compensa la fase en línea de transmisión, el retardo temporal que sufre la señal por la propagación entre las antenas debe ser igual al retardo temporal recíproco que se inserta en la línea de transmisión. Los retardos dependen de la distancia cubierta y por la velocidad de propagación. En el arreglo, la onda se propaga en el espacio libre a la velocidad de la luz c , cubriendo la distancia que separa a la antena que se le determina la longitud de línea de transmisión con la "última antena" y que determina geoméricamente en el diseño del arreglo. Por otro lado, en la línea de transmisión, el retardo depende de la velocidad de propagación, que depende del tipo de línea a utilizarse, y la distancia cubierta como parámetro a ser obtenido. De

esta manera, es posible determinar la longitud de la línea de transmisión a partir de parámetros como la separación de antenas y la velocidad de propagación en el cable. El análisis que converge en la Ecuación 45: considera d como distancia de propagación, t_{fs} como tiempo para la onda en espacio libre (Free Space - FS) y t_{tl} como tiempo para la onda en la línea de transmisión (Transmission Line - TL), cuya velocidad de propagación es un porcentaje p_{tl} de la velocidad de propagación en espacio libre.

$$t_{fs} = t_{tl}$$

$$\frac{d_{fs}}{c} = \frac{d_{tl}}{v_p}$$

$$\frac{d_{fs}}{c} = \frac{d_{tl}}{c * p_{tl}}$$

$$\boxed{d_{tl} = d_{fs} * p_{tl}}$$

Ecuación 45

La Ecuación 45 requiere conocer la información referente a la separación entre cualquier antena del arreglo y la "última antena", además de la velocidad de propagación en el cable elegido. Para determinar la "última antena", es necesario establecer la DOA de la SOI. Se escoge como la configuración predefinida para la DOA de 0 grados, con resultados periódicos en 120 grados y 240 grados, como se muestra en la Figura 5-30.

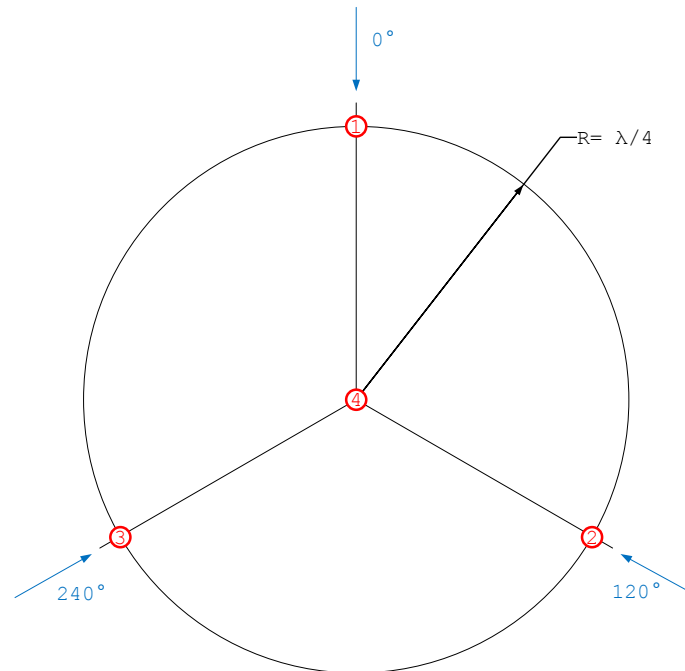


Figura 5-30: Set 1 de configuraciones para arreglo planar de cuatro antenas

Para la configuración de 0 grados de la Figura 5-30 se definen como últimas antenas a las antenas periféricas 2 y 3 por ser las últimas antenas por ser alcanzadas por la onda plana. Realizando el análisis geométrico, es posible determinar la distancia de retardo. La información de distancia de separación se expresa en la Tabla 5-11.

Tabla 5-11: Distancias de retardo en espacio libre para el set 1 de configuraciones

Antena	DOA 0°	DOA 120°	DOA 240°
1	0.375λ	0	0
2	0	0.375λ	0
3	0	0	0.375λ
4	0.125λ	0.125λ	0.125λ

Como resultado de la Tabla 5-11, se tiene que cada antena periférica requiere de dos líneas de transmisión diferentes para la conformación de haz, mientras que la antena 4 requiere únicamente de una línea de transmisión para cumplir con el set 1 de configuraciones. Otra forma de apreciarlo es la utilización de tres longitudes diferentes: dos de retardo nulo, uno de retardo máximo y el retardo estático para la antena central. Esta apreciación permite

considerar que se maneja un único set de líneas de retardo y se conmuta la salida de cada línea hacia su antena correspondiente. Este sistema de control se aprecia en la Figura 5-3, requiriendo un conmutador matricial multicanal 3x3 dado que la cuarta antena tiene una línea estática. Sin embargo, no es viable la obtención de un conmutador matricial 3x3 multicanal, por lo que es necesario la utilización del esquema de la Figura 5-4. La arquitectura definitiva requiere que para cada antena exista un par de líneas de transmisión dedicadas, en la cual se utiliza un par de conmutadores 1:2 para elegir la línea de transmisión a ser utilizada. Para optimizar más la utilización de líneas de transmisión dedicadas es necesario definir configuraciones extra para el arreglo. En este caso, se define una nueva configuración base considerando una SOI a 180 grados, con sus respectivas configuraciones periódicas en 60 grados y a 300 grados; como se muestra en la Figura 5-31.

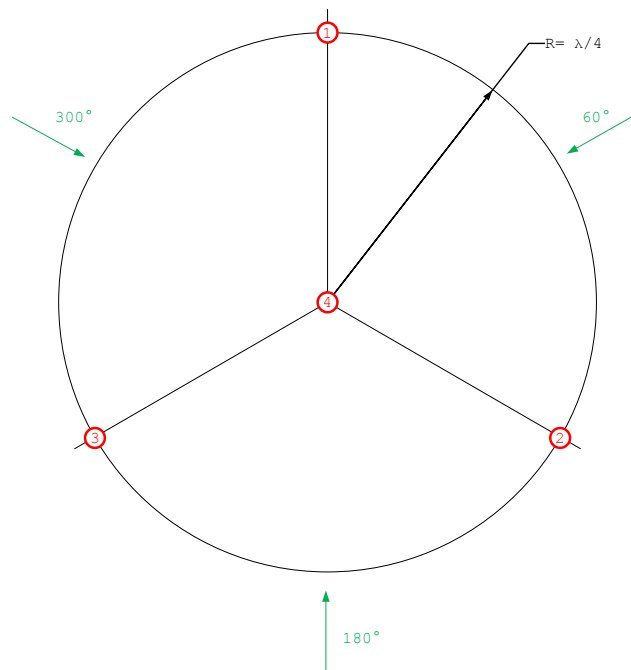


Figura 5-31: Set 2 de configuraciones para arreglo planar de cuatro antenas

Realizando un análisis similar al set 1, se determina que la última antena para la configuración de 180 grados es la

antena 1; y que las antenas 2 y 3 tienen el mismo tiempo de retardo. Realizando el análisis geométrico, es posible determinar las distancias de retardo para las cuatro antenas para las configuraciones de 60 grados, 180 grados y 300 grados; como se muestra en la Tabla 5-12.

Tabla 5-12: Distancias de retardo en espacio libre para el set 2 de configuraciones

Antena	DOA 60°	DOA 180°	DOA 300°
1	0.375λ	0	0.375λ
2	0.375λ	0.375λ	0
3	0	0.375λ	0.375λ
4	0.125λ	0.125λ	0.125λ

Considerando los resultados de la Tabla 5-12, se tiene que se utilizan dos tramos de línea larga, un tramo de línea corta y un tramo estático para la antena 4. En comparación al set 1, las longitudes de los tramos largo y corto son iguales para las antenas periféricas (antenas 1 a 3); sin embargo, la longitud del tramo para la antena 4 difiere del set 1 al set 2 por lo que la antena 4 también requiere un sistema de conmutación. En total, se requiere un total de 8 tramos de cable dedicados en total y un par para cada antena en dos conjuntos de configuraciones que permiten la definición de seis diferentes DOA en el arreglo de antena inteligente. Un resumen breve se presenta en la Figura 5-32 y en la Tabla 5-13.

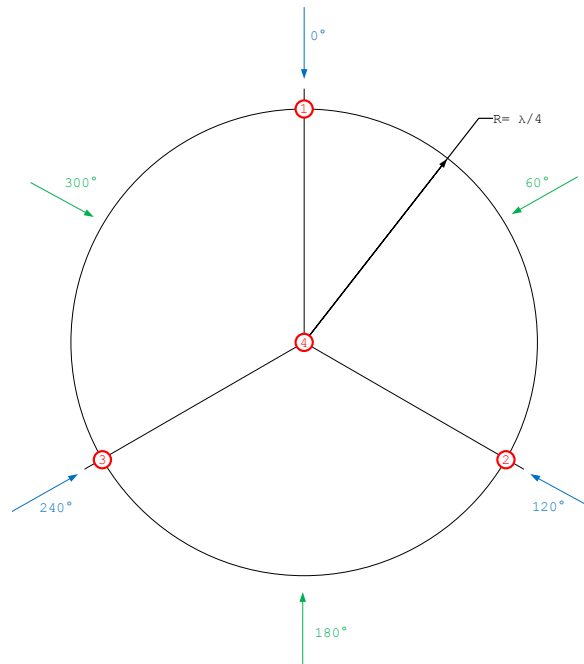


Figura 5-32: Set de configuraciones disponibles para el arreglo planar

Tabla 5-13: Configuraciones de retardo para arreglo planar a partir de la DOA

Antena	Tramo	Distancia	DOA					
			0	60	120	180	240	300
1	Corto	0						
	Largo	0.375λ						
2	Corto	0						
	Largo	0.375λ						
3	Corto	0						
	Largo	0.375λ						
4	Corto	0.125λ						
	Largo	0.250λ						

La simulación del arreglo planar utiliza el vector de radiación y es necesario determinar los pesos complejos w_n para cada antena; para ello es necesario determinar la fase que es insertada por cada línea de retardo. La fase de cada línea de retardo se obtiene al utilizar la Ecuación 34 con la componente de corriente transmitida I_0^+ . Si se considera el centro de coordenadas al inicio de la línea de retardo:

$$I^+(0) = I_0^+$$

$$I^+(d_{tl}) = I_0^+ e^{-jk d_{tl}} = I^+(0) e^{-jk d_{tl}}$$

Si se considera una distribución uniforme de potencia entre cada antena del arreglo, se tiene que el peso complejo en

función de la línea de retardo se calcula a partir de la Ecuación 46.

$$w_i = \frac{e^{-jkd_{t,i}}}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 46

Conociendo la línea de retardo de cada antena para cada configuración de arreglo, es posible determinar el peso complejo que debe utilizarse en las simulaciones de vector de radiación. La información acerca de los pesos complejos de cada antena se resume en la Tabla 5-14.

Tabla 5-14: Pesos complejos para las configuraciones de arreglo planar

DOA [grados]	Pesos complejos			
	w_1	w_2	w_3	w_4
0	0.5<-135°>	0.5<0°>	0.5<0°>	0.5<-45°>
60	0.5<-135°>	0.5<-135°>	0.5<0°>	0.5<-90°>
120	0.5<0°>	0.5<-135°>	0.5<0°>	0.5<-45°>
180	0.5<0°>	0.5<-135°>	0.5<-135°>	0.5<-90°>
240	0.5<0°>	0.5<0°>	0.5<-135°>	0.5<-45°>
300	0.5<-135°>	0.5<0°>	0.5<-135°>	0.5<-90°>

Para comprobar la relación entre los pesos complejos y la DOA se realiza una simulación mediante la Rutina `plot_u_tri_v1_4antenas` que utiliza el modelo del monopolo mejorado del Anexo C expresada en la Función `funcionU_v1`. La Rutina `plot_u_tri_v1_4antenas` utiliza los pesos complejos para la DOA de 0 y 180 grados de la Tabla 5-14; asimismo utiliza la información de la DOA de 60 grados para tratar de obtener un híbrido que trate de conservar la omnidireccionalidad en el patrón de radiación. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 5-33.

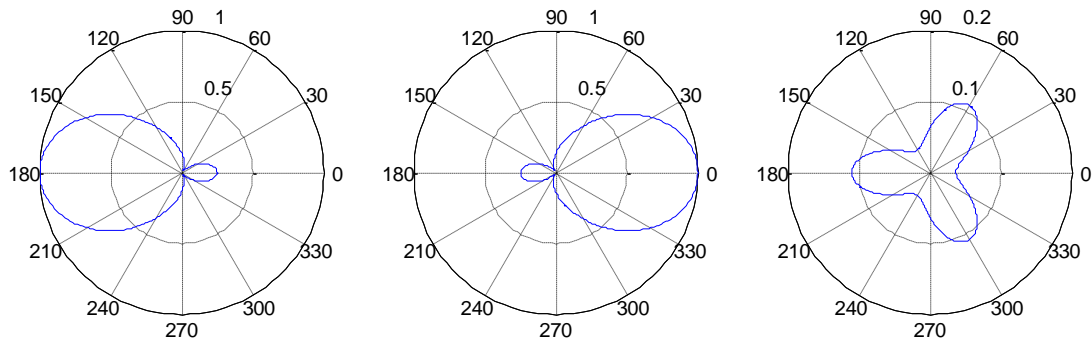


Figura 5-33: Patrones de radiación para el arreglo planar de cuatro antenas

Los patrones de radiación de la Figura 5-33 muestra que son similares los patrones de radiación entre las configuraciones complementarias para las DOA de 180 y 0 grados respectivamente. Sin embargo, el resultado arrojada por la configuración híbrida penaliza la ganancia del arreglo por aumentar los lóbulos de radiación. Por lo tanto, es preferible utilizar los modos complementarios aplicando rotación para maximizar la ganancia del sistema de arreglo conmutado.

Para obtener los patrones de radiación de todas las configuraciones posibles se desarrolla la Función `array_4_trans` que permite la obtención de los seis diferentes patrones de radiación del sistema, mostradas en la Figura 5-34. Para ello utiliza el modelo del monopolo mejorado del Anexo C y expresada en la Función `funcionU_v1`. Debido que se espera que el modelo de arquitectura utilizado corresponde a la Figura 5-4, el sistema de antena inteligente desconecta dos antenas en cada conmutación, generando estados intermedios que se estiman que existen en el proceso de conmutación; la Función `array_4_trans` también estima estos estados intermedios, mostrados en la Figura 5-35.

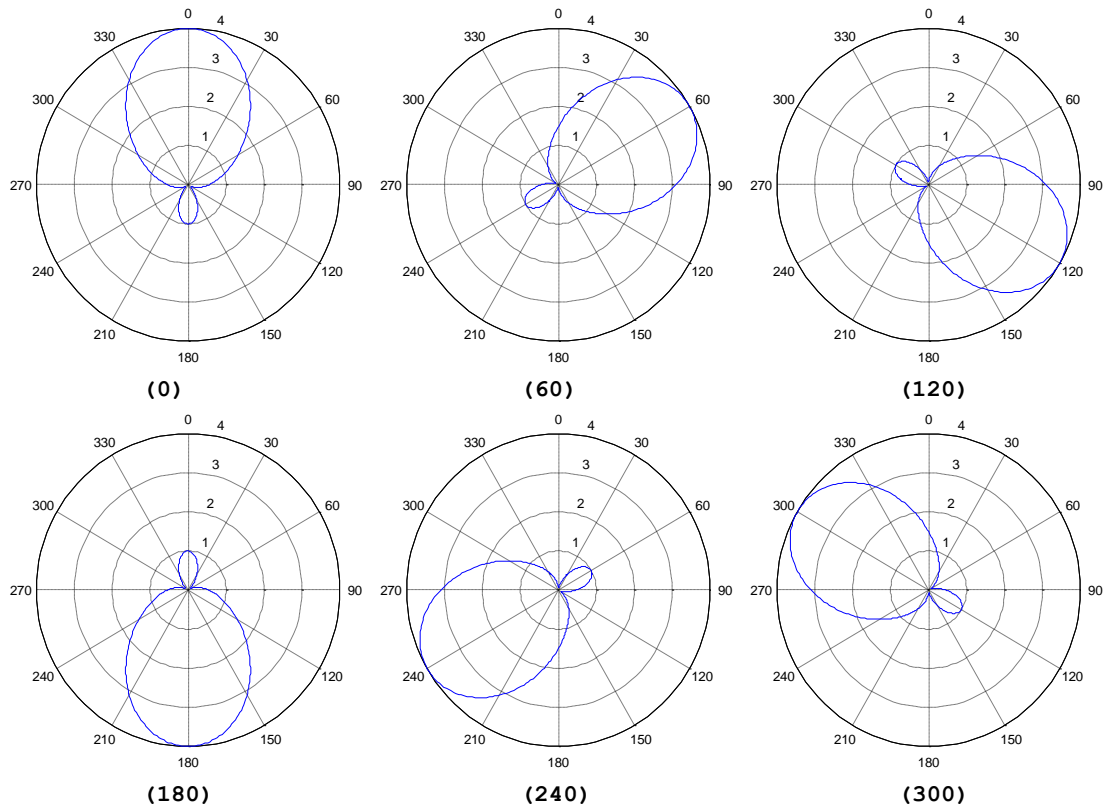


Figura 5-34: Patrones de radiación a partir de la DOA para el arreglo planar de cuatro antenas

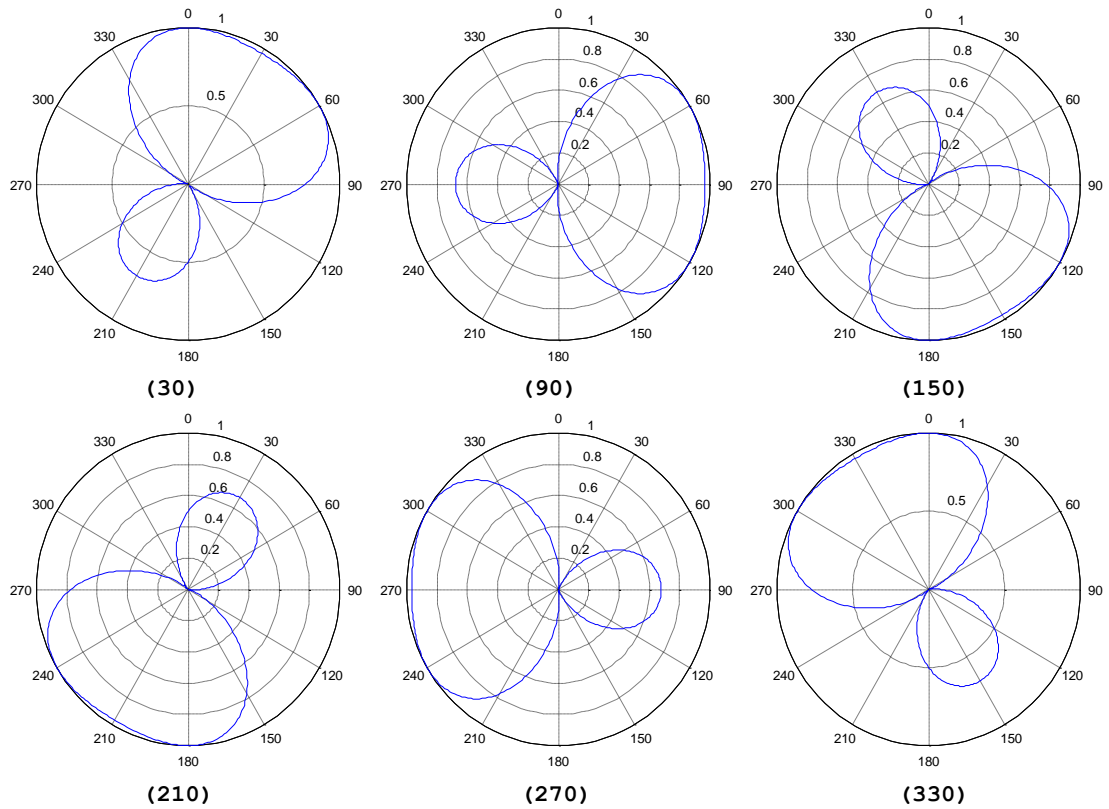


Figura 5-35: Estados intermedios para el arreglo de cuatro antenas

La Figura 5-34 muestra que las seis configuraciones propuestas resultan en la rotación de un patrón de radiación único, que tiene una ganancia máxima de 6 dB en la DOA. Los estados intermedios de la Figura 5-35 corresponden a patrones de radiación cuyo lóbulo de máxima radiación se encuentra en la mitad de las DOA de dos configuraciones estables. Debido a la disminución de elementos activos y a la repartición de potencia, la ganancia máxima de un estado intermedio es igual a la ganancia nominal de la antena utilizada en el arreglo. Para comparar los patrones de radiación, existe la Figura 5-36: donde el color verde representa los estados estables, el color azul representa los estados intermedios y el color rojo muestra el modelo de antena utilizado.

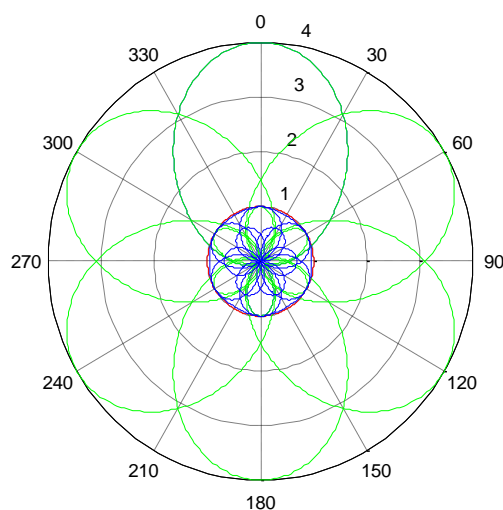


Figura 5-36: Patrones de radiación del arreglo de cuatro antenas

5.2.4. Análisis del Arreglo de Antenas

5.2.4.1. Efecto de la impedancia mutua en el patrón de radiación

Hasta ahora se ha considerado únicamente los efectos aditivos de los campos electromagnéticos en la conformación de haz, sin embargo los campos electromagnéticos también inducen efectos parásitos en las demás antenas del arreglo.

El efecto principal de los campos inducidos es la aparición de impedancias mutuas. Para determinar la impedancia mutua inducida por una antena en particular en el arreglo se utilizan la Ecuación 26 y la Ecuación 27 aplicada en la geometría de la Figura 5-29 considerando un dipolo de $\lambda/2$. La información de impedancias propias y mutuas se resumen en la Tabla 5-15. Para determinar la impedancia real de cada antena se utiliza la Ecuación 24 considerando que el arreglo se alimenta de manera homogénea. Para determinar la adecuada adaptación del arreglo debido a las impedancias mutuas, se debería adaptar las impedancias reales de las antenas. Considerando que la impedancia mutua modifica el coeficiente de reflexión de cada antena, en amplitud y fase, es necesario realizar la adaptación de impedancias con información de la Tabla 5-16.

Tabla 5-15: Matriz de impedancias mutuas del arreglo planar de cuatro antenas

Z_{ij}	1	2	3	4
1	72+42j	2.1-36.32j	2.1-36.32j	43-23j
2	2.1-36.32j	72+42j	2.1-36.32j	43-23j
3	2.1-36.32j	2.1-36.32j	72+42j	43-23j
4	43-23j	43-23j	43-23j	72+42j

Tabla 5-16: Impedancias ajustadas y coeficiente de reflexión para un arreglo planar de cuatro antenas

Antena	Impedancia		Coeficiente de Reflexión	
	Cartesiano	Polar	Cartesiano	Polar
1	119.2-33.64j	123<-15.75°>	0.43-0.11j	0.45<-14.68°>
2	119.2-33.64j	123<-15.75°>	0.43-0.11j	0.45<-14.68°>
3	119.2-33.64j	123<-15.75°>	0.43-0.11j	0.45<-14.68°>
4	201-27j	202.81<-7.65°>	0.61-0.04j	0.61<-3.99°>

Debido a la simetría del arreglo, la impedancia y el coeficiente de reflexión de la Tabla 5-16 para los valores de las antenas periféricas son iguales entre sí; sin embargo la diferencia de valores con la antena central indica que la adaptación debe realizarse en la cuarta antena. Para determinar el efecto de la impedancia mutua en el arreglo se realiza una simulación vía la Rutina `plot_u_tri_v2_4antenas` que utiliza la instancia de la

Función `funcionU_v2` con el modelo de dipolo mejorado del Anexo C. Para estimar el efecto de la impedancia de los patrones de radiación de la Figura 5-37 se utilizó el proceso de la Ecuación 44 que incorpora la impedancia normalizada a los pesos complejos.

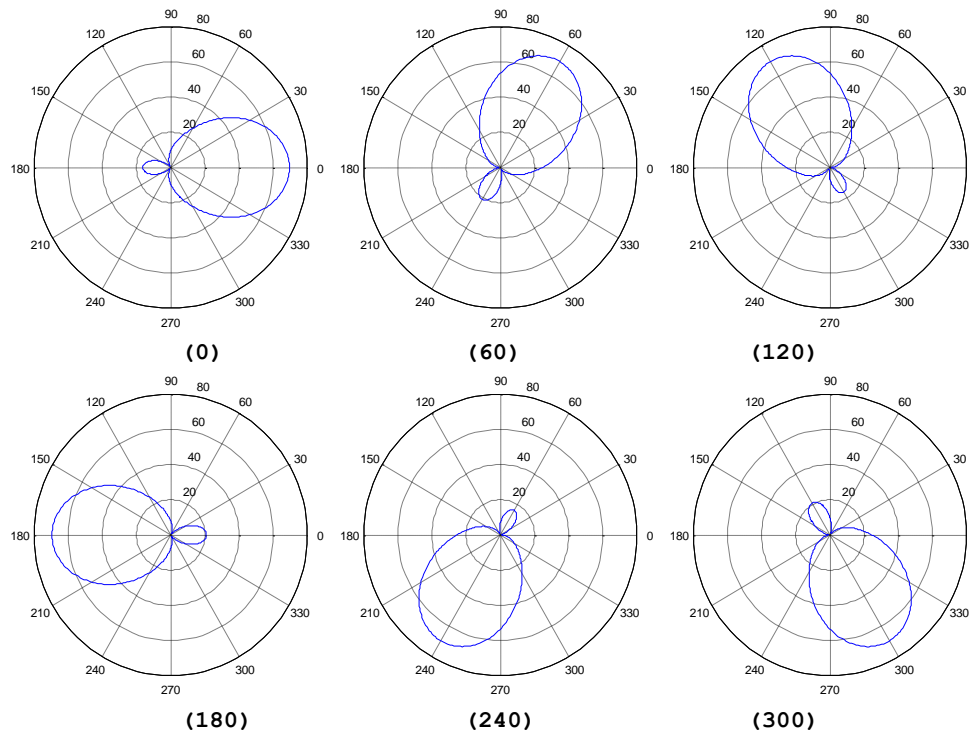


Figura 5-37: Patrones de radiación del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto de impedancia mutua

Comparando los resultados ideales de la Figura 5-34 y los resultados con impedancia mutua de la Figura 5-37 se tiene que existe una degeneración del lóbulo posterior del patrón de radiación base para ciertas configuraciones; sin embargo, este efecto es despreciable dado que el lóbulo posterior no se utiliza en el esquema de antena inteligente.

El parámetro del arreglo a adaptarse es la fase del coeficiente de reflexión de la antena cuatro y mantener la sincronía de la señal en el arreglo. Para adaptar la fase de la antena cuatro, es necesario igualar la fase del coeficiente de reflexión con el resto de antenas. Para ello se utiliza la Ecuación 36 considerando que si la distancia

obtenida tiene un signo negativo se tiene que añadir línea de transmisión para compensar la fase; si se tiene un signo positivo se retira la longitud en línea de transmisión para que el efecto de impedancia mutua complemente la fase introducida por la línea de transmisión.

$$\langle \Gamma_{01} \rangle = \langle \Gamma_{04} e^{j2kl_{fs}} \rangle$$

$$\langle \Gamma_{01} \rangle - \langle \Gamma_{04} \rangle = 2kl_{fs}$$

$$\boxed{l_{fs} \approx -0.0148\lambda}$$

Considerando el valor de l_{fs} se debe alargar la línea de transmisión de la cuarta antena en un 1.5% de la longitud de onda; sin embargo se tiene que considerar que la línea de transmisión reduce la velocidad de propagación, por lo cual la longitud del cable que se debe extender es menor que la mencionada.

Dado que se utiliza línea de transmisión para corregir el efecto de la impedancia mutua, en simulación que tiene que utilizar el valor de corrección para obtener el efecto de la no adaptación del sistema. Para ello se invierte la fase del factor de corrección. Con este concepto se desarrolló la Función `gamma_pattern_v1` que modela los patrones de radiación de los modos estables e intermedios basados en la configuración de la Rutina `array_pattern_v2`.

Los resultados de la Función `gamma_pattern_v1` se observan en la Figura 5-38 y la Figura 5-39 que se comparan con la Figura 5-34 y la Figura 5-35 respectivamente. En los estados intermedios no existen diferencias apreciables, sin embargo en los estados estables existe una disminución en el lóbulo posterior. El efecto de la impedancia mutua no es relevante debido a la aplicación del sistema inteligente de control que no utiliza el lóbulo posterior para la transmisión de señales.

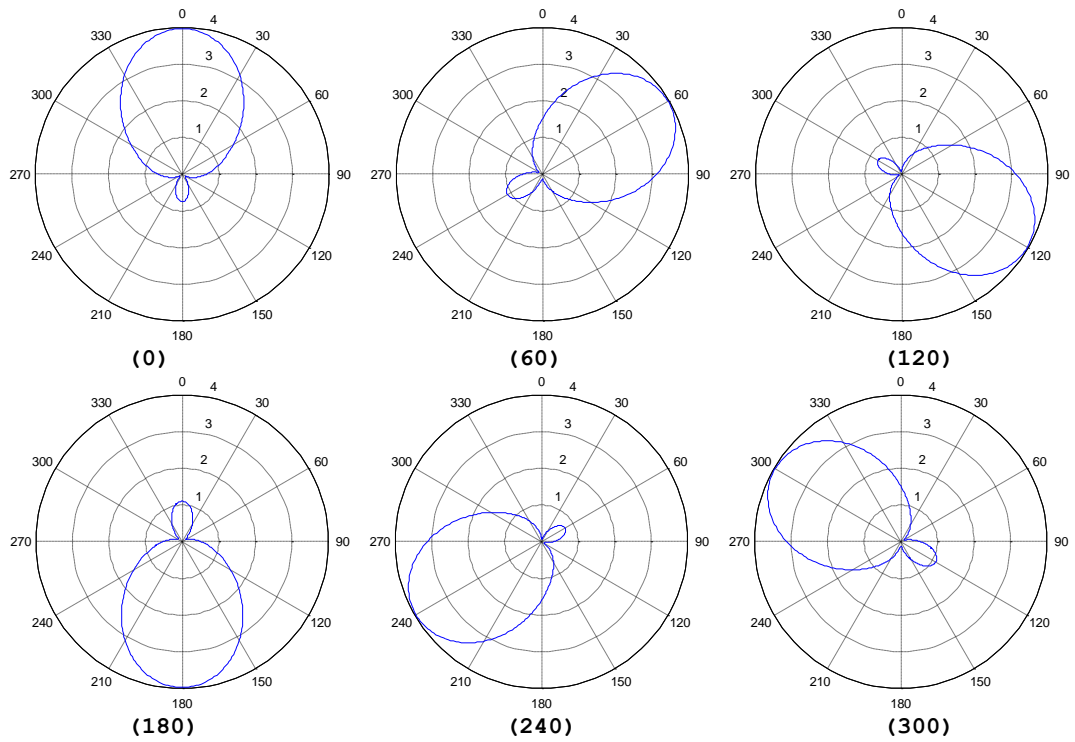


Figura 5-38: Patrones de radiación del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto del coeficiente de reflexión

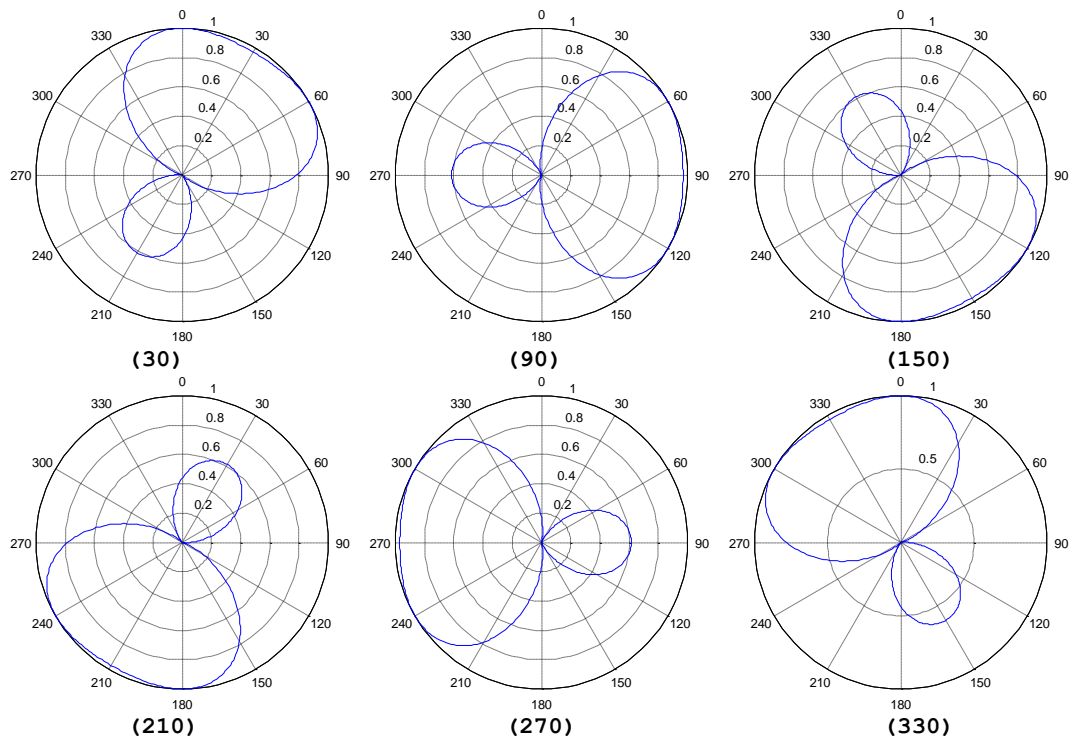


Figura 5-39: Patrones de radiación intermedios del arreglo planar de cuatro antenas considerando el efecto del coeficiente de reflexión

5.2.4.2. Efecto del factor de arreglo en las características de la antena

Otro efecto de la utilización de un arreglo de antenas es la alteración del patrón de radiación debido al factor de arreglo. Dado que las configuraciones de arreglo consideran un control planar end-fire, no existe un motivo teórico por el cual debiera existir una degradación del ancho de haz de elevación del arreglo. Para comprobar el efecto del arreglo sobre la elevación se desarrolla una simulación mediante la Rutina `plot_u_3d_4ant_v1`, que emplea el modelo de dipolo mejorado del Anexo C en la Función `funcionU_v2`. La Figura 5-40 muestra el efecto del factor de arreglo en la elevación del modelo utilizado: mientras que el ancho de haz del dipolo se estima en 78 grados, el arreglo tiene un ancho de haz degradado de 74 grados, una diferencia alrededor del 5%. La Figura 5-41, la Figura 5-42 y la Figura 5-43 funcionan para comparar físicamente la diferencia entre el modelo de antena, el arreglo y su factor de arreglo. La Figura 5-44 y la Figura 5-45 son medios alternativos para comparar las diferencias entre el dipolo y el arreglo de antenas en función del ancho de haz y el patrón de radiación. Como conclusión del análisis del ancho de haz en elevación se tiene que el factor de arreglo no tiene la capacidad para modificar el ancho de haz en elevación de forma drástica, caso contrario es el ancho de haz de acimut para el cual fue definida las configuraciones de arreglo.

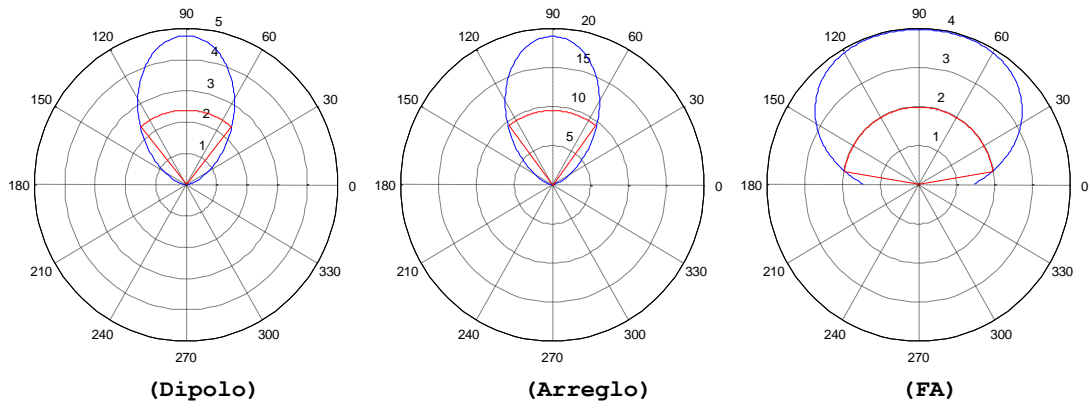


Figura 5-40: Patrón de elevación y ancho de haz para cada elemento de arreglo

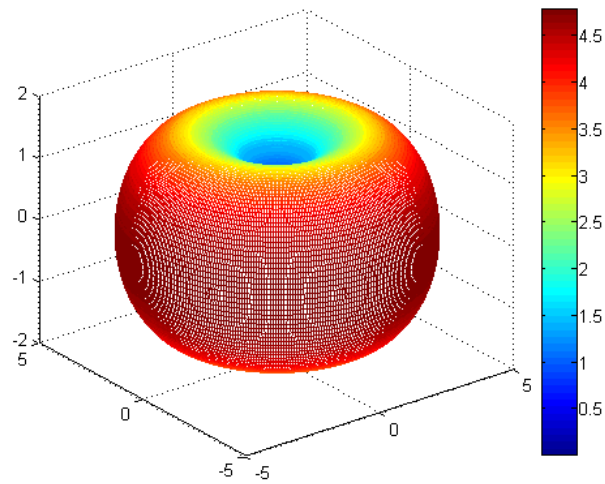


Figura 5-41: Patrón de radiación tridimensional para el modelo de dipolo mejorado

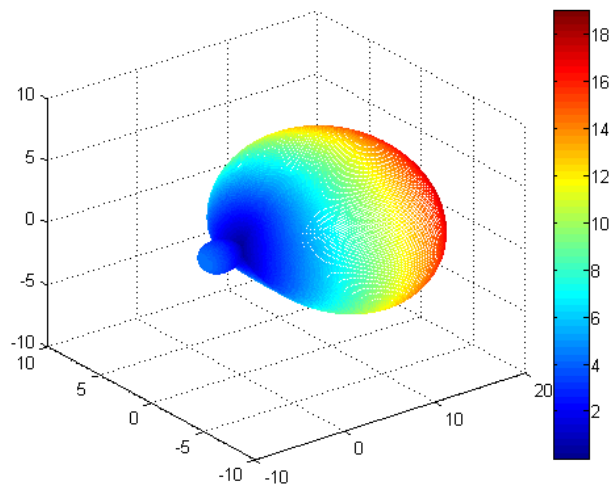


Figura 5-42: Patrón de radiación tridimensional para el arreglo planar de cuatro antenas

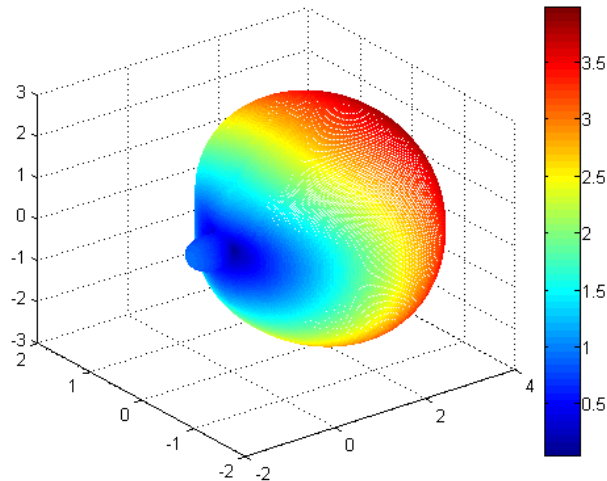


Figura 5-43: Factor de arreglo tridimensional para el arreglo planar de cuatro antenas

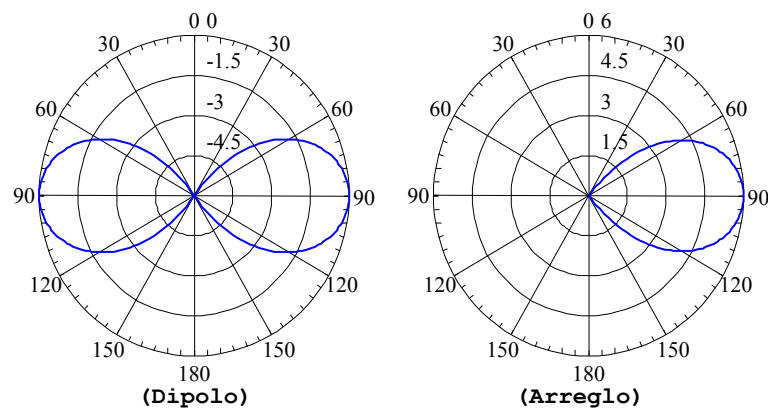


Figura 5-44: Patrón de radiación en elevación para el modelo de dipolo y el arreglo de antenas

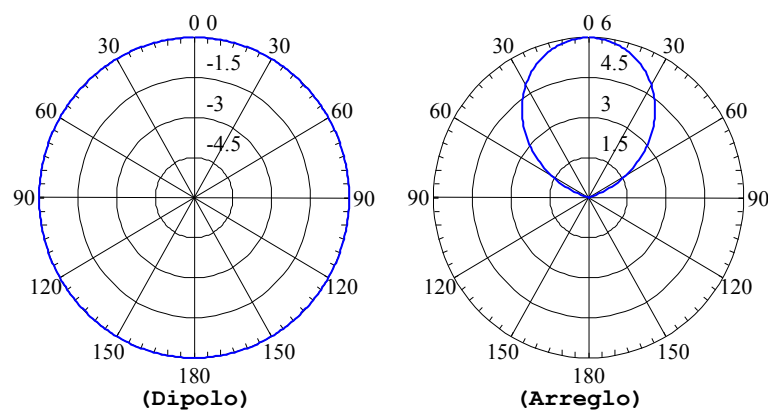


Figura 5-45: Patrón de radiación en acimut para el modelo de dipolo y el arreglo de antenas

5.2.4.3. Efecto del arreglo respecto a fuentes de ruido

Un efecto adicional de utilizar un arreglo de antenas es su capacidad como filtro de ruido. Debido que la configuración

de arreglo se diseña a partir de la DOA, el sistema es capaz de filtrar la información de la SOI respecto del ruido ambiental y de interferentes puntuales. La diferencia de dirección tiene como resultado que el ruido y las NSOI tienen una ganancia diferente que la SOI. Para comprobar el efecto filtro del arreglo se realiza un análisis mediante la Función `G_SNR_array_4_antenas` que utiliza el banco de arreglo Rutina `array_pattern_v1` que utiliza el modelo de monopolo mejorado del Anexo C implementado en la Función `funcionU_v1`. Los valores obtenidos de la simulación se aprecian como la razón entre la ganancia de la SOI versus la ganancia de ruido (G_{SNR}) o la razón entre la ganancia de la SOI versus la ganancia de una NSOI (G_{SIR}). Dado que el ruido ambiental carece de una DOA determinística, la ganancia que obtiene del arreglo es un promedio de la ganancia del arreglo. La Figura 5-46 muestra la ganancia de filtro de ruido en función de la DOA del SOI, teniendo una ganancia máxima de 4.5 dB; que se puede interpretar como un descenso del piso de ruido de hasta 4.5dB. Por otro lado, la ganancia que otorga el arreglo en función de la posición de un interferente puntual se estima mediante un mapeo de la ganancia de filtro en función de la DOA del SOI y la DOA del NSOI. Considerando el efecto de una configuración estática, la ganancia máxima de filtro se estima en alrededor de 17dB y un mínimo teórico de -17dB por simetría, visible en la Figura 5-47 y la Figura 5-48. Considerando el efecto de control se tiene que el caso mínimo se determina cuando el NSOI se encuentra en la DOA de la configuración de arreglo y la SOI se encuentra en el borde del ancho de haz; en este caso la ganancia decae hasta -3dB. Para visualizar el efecto de control, se simula la Función `G_SIR_array_4_antenas_smart`, cuyos resultados en la Figura 5-49 y la Figura 5-50 muestran un rango de ganancia entre 16dB y -1dB aproximadamente.

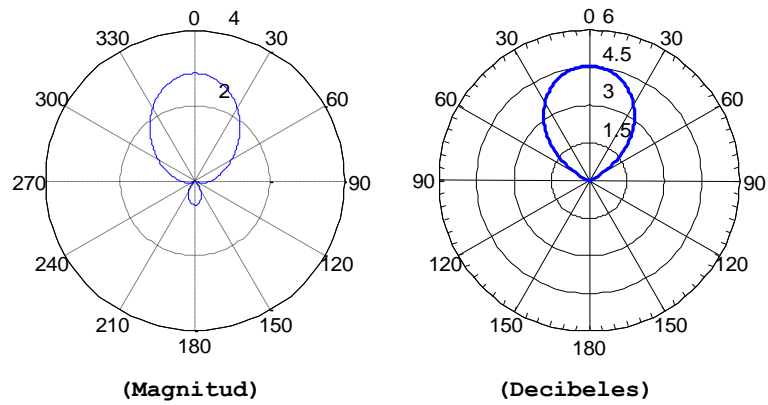


Figura 5-46: Ganancia del arreglo de antenas para la SNR

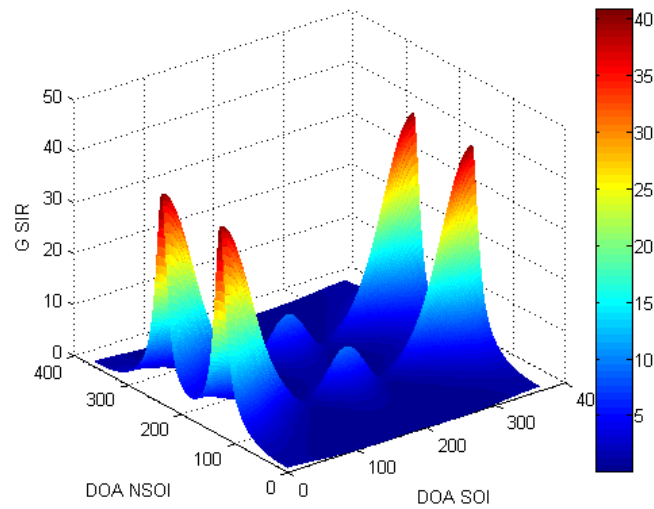


Figura 5-47: Ganancia en magnitud del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI

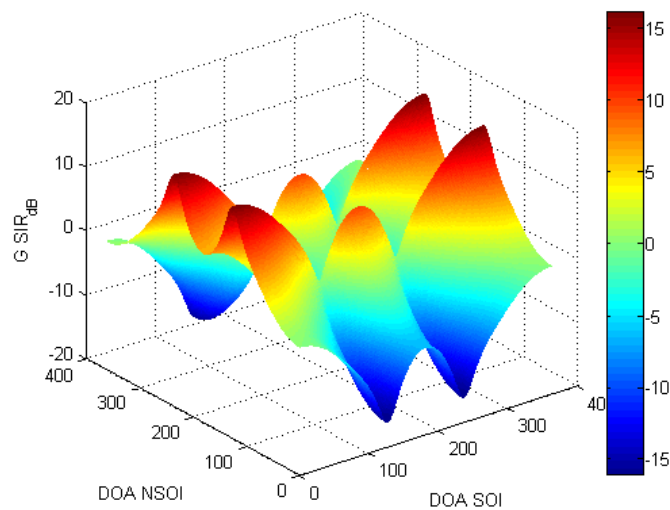


Figura 5-48: Ganancia en decibeles del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI

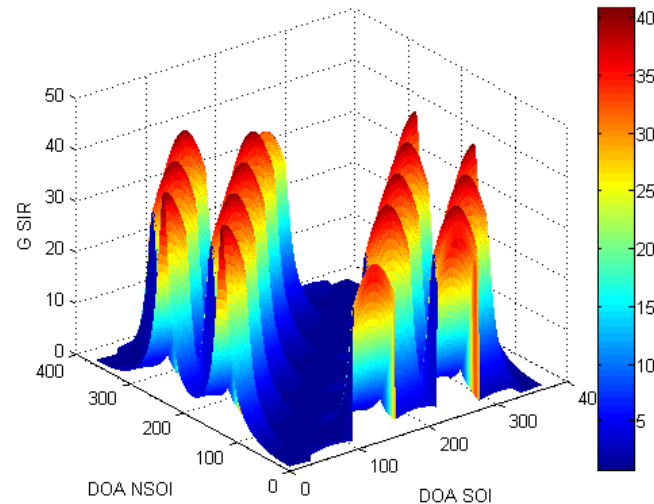


Figura 5-49: Ganancia en magnitud del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI aplicado control

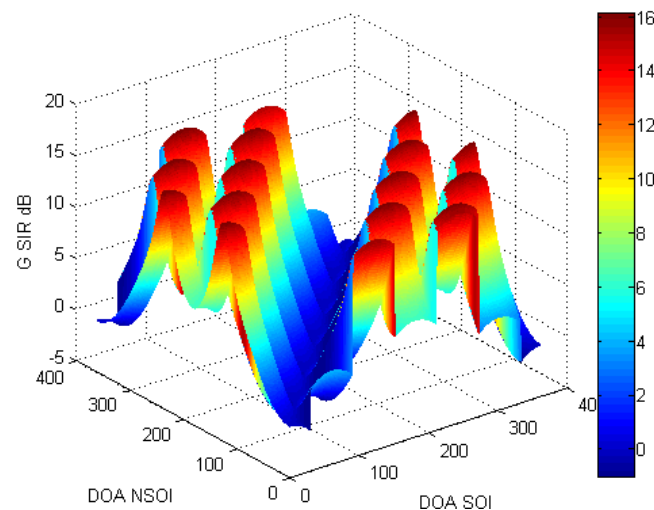


Figura 5-50: Ganancia en decibelios del arreglo de antenas para el SIR en función del SOI y NSOI aplicado control

5.2.4.4. Efecto de la polarización en el arreglo

Considerando la movilidad de la aeronave, es razonable creer que existen efectos de polarización en la recepción del arreglo. Si se considera la utilización de un dipolo de polarización vertical para la composición del arreglo, existe una afectación de naturaleza de coseno cuadrado en función de la inclinación del plano del arreglo. Considerando un caso nominal de inclinación de 45 grados, se tiene una pérdida de polarización de -3dB. El problema de polarización corresponde al tipo de antena utilizada en el arreglo, para compensar la polarización sería necesaria

una antena que maneje polarización vertical y horizontal; o una polarización circular o elipsoidal. También se puede diseñar un arreglo que opere con ambas polarizaciones en función de la inclinación. Sin embargo, las soluciones planteadas exceden los parámetros de diseño del sistema o las capacidades del equipamiento actualmente.

5.2.5. Elección de Antena y Arreglo

Con los resultados provistos, se tiene que la mejor opción es tratar de utilizar un arreglo de antenas omnidireccionales. Respecto al tipo de arreglo se selecciona una distribución circular que aporte simetría angular y que extienda los modos de operación a partir de las rotaciones de las diferentes configuraciones predefinidas.

5.3. Diseño del Sistema de Procesamiento y Control

5.3.1. Introducción

Basándonos en las arquitecturas de la Figura 5-2 y la Figura 5-4 se pueden extraer las diferentes tareas del procesador que controla la operación del sistema de antena inteligente:

- Obtener los datos de posición y dirección del receptor GNSS
- Estimar la dirección de arribo con los datos GNSS
- Gestionar la configuración de operación del arreglo

Considerando cada proceso implicado en el sistema de control como independiente, es posible el desarrollo paralelo y modular de cada uno de ellos.

El funcionamiento general del sistema de procesamiento y control se deriva en dos actividades principales:

1. Lecturas de datos seriales hasta la obtención de información nueva: El sistema realiza la lectura de tramas hasta la obtención de datos de posición y dirección nuevos. Al disponer de nueva información de alguno de los datos, el sistema levanta la bandera que indica la existencia de información nueva.
2. Aplicación de control a partir de la nueva información disponible: Al existir nueva información de posición y dirección, el sistema estima la DOA y determina si se debe aplicar un cambio de configuración a partir de la validez de la información y si la DOA se encuentra fuera de los dominios de la configuración activa. Después de procesar la información y aplicar la medida de control pertinente, el sistema de control baja las banderas de nueva información para indicar que la información ya ha sido utilizada y que se debe volver a los procesos de lectura serial.

La Figura 5-51 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la explicación anterior. Se considera que el sistema entrará al modo de procesamiento siempre y cuando disponga completamente de información actualizada, caso contrario seguirá en la lectura de datos seriales.

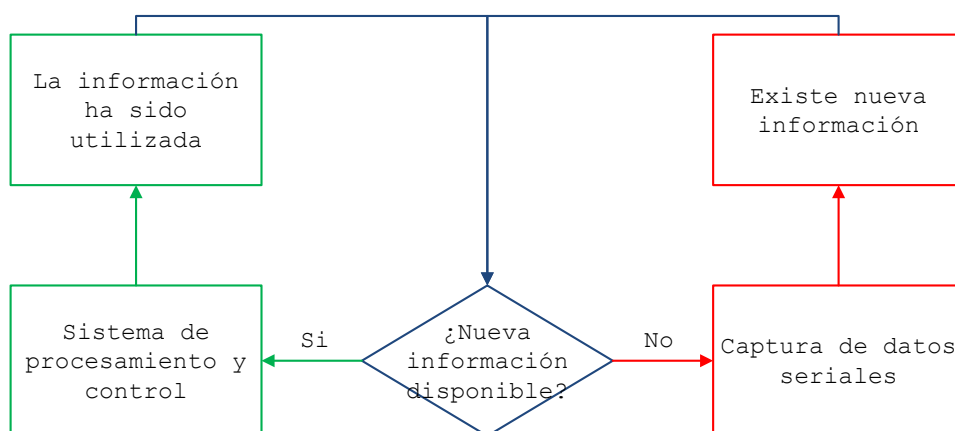


Figura 5-51: Diagrama de flujo principal del sistema de procesamiento y control

5.3.2. Obtención de datos del receptor GPS

5.3.2.1. Datos necesarios para la estimación de la DOA

El receptor GPS disponible en la MS utiliza un procesador de la familia LEA-5H de la compañía "u-blox", utilizando la versión 5 de firmware (u-blox AG, 2009). El receptor GPS disponible ofrece los datos necesarios para la estimación de la DOA:

- Posición del MS: Latitud y Longitud
- Dirección del MS: Acimut (Heading)

La información disponible del receptor GPS permite la estimación de la DOA a partir de la estimación del acimut de posición y la utilización directa del acimut de dirección a partir del valor de "heading" obtenido.

5.3.2.2. Protocolo de transmisión del receptor GPS

El receptor GPS utilizado dispone de un puerto serial TTL, lo que permite la conexión directa entre dispositivos que utilicen niveles binarios de operación TTL según la alimentación del receptor (3.2V o 5V) (u-blox AG, 2009). La velocidad de transmisión de datos del enlace serial es configurable, utilizando un valor de 38400 bps en la MS. La versión 5 del firmware permite la utilización de dos protocolos diferentes: NMEA y UBX; siendo el primero abierto y el segundo propietario (u-blox AG, 2009). En la MS se utiliza el protocolo UBX en la operación con los equipos de navegación, por lo que no se analizará la trama del protocolo NMEA.

La trama general del protocolo UBX posee los siguientes elementos (u-blox AG, 2009):

1. Dos bytes de sincronización: 0xB5 y 0X62.
2. Un byte de clase que identifica el tipo de información transmitida.
3. Un byte de identificación que indica el código de la información transmitida.
4. Dos bytes que indican la longitud de la información transmitida únicamente.
5. El paquete de información, que depende de la clase y la identificación, y que es de longitud variable.
6. Dos bytes de comprobación de integridad de la trama.

Para la estimación de la DOA son necesarios los datos de información, que se encuentran en la categoría NAV con un byte de clase 0x01 (u-blox AG, 2009). Revisando el manual de protocolos (u-blox AG, 2009), la información necesaria para la estimación de la DOA se encuentran en dos paquetes diferentes:

- NAV-POSLH (0x01 0x02) - Geodetic Position Solution: El paquete POSLLH ofrece información relativa a la latitud, longitud y elevación de la MS; así como la precisión de la información (u-blox AG, 2009). Del paquete POSLLH es de interés la información de latitud y longitud.
- NAV-VELNED (0x01 0x12) - Velocity Solution in NED: El paquete VELNED ofrece información acerca de la velocidad y la dirección del MS; al igual que POSLLH, también se ofrece información sobre la precisión de los datos (u-blox AG, 2009). Del paquete VELNED es de interés únicamente la información de dirección (heading).

Si bien el receptor GPS transmite la precisión de los datos, su lectura podría ralentizar la operación del sistema e invalidar la información adquirida.

5.3.2.3. Lectura de datos del receptor GPS

La Figura 5-52 muestra el proceso de lectura de datos seriales para la obtención de información de posición y dirección. El proceso prioriza la rápida captura de los datos de interés para agilizar toda la cadena de procesamiento. El algoritmo tiene la capacidad de identificar el inicio de trama, la clase y la identificación del paquete; con esta información determina si la trama tiene información importante que todavía no ha sido almacenado. En caso que ya exista información actualizada de posición o dirección, el algoritmo también puede descartar la trama para identificar la trama con la información restante que no ha sido almacenada. Cuando toda la información ha sido almacenada, el sistema de decisión continúa la línea de procesamiento.

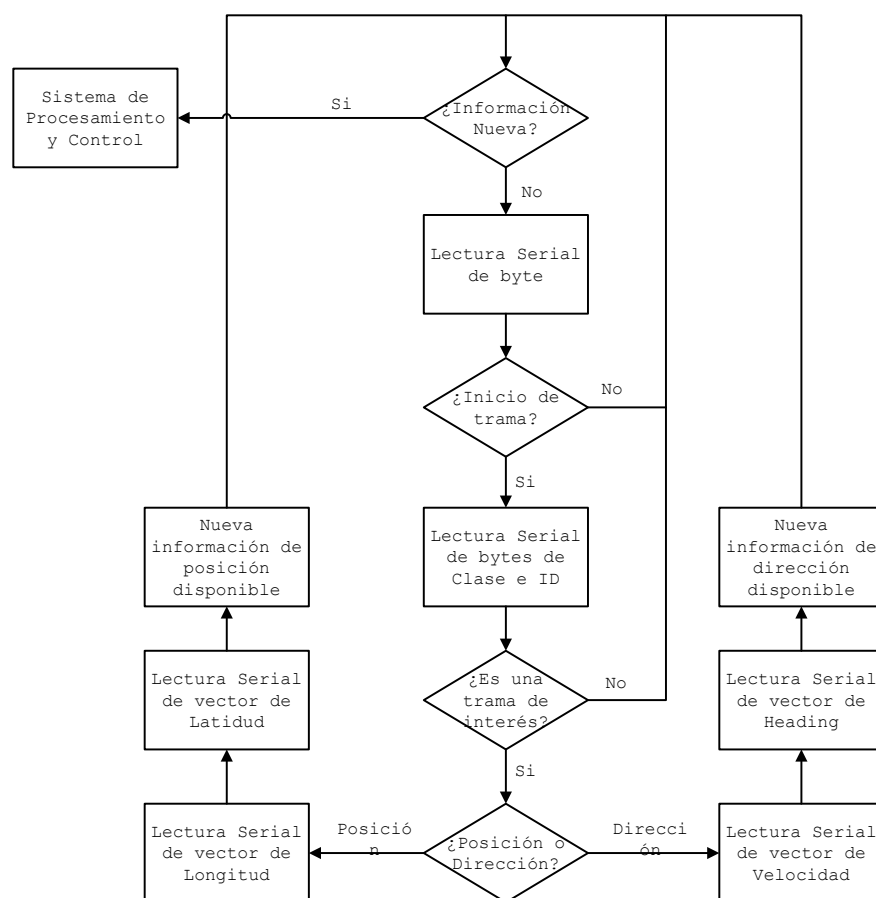


Figura 5-52: Diagrama de flujo de la lectura de datos seriales

5.3.3. Estimación de la Dirección de Arribo

5.3.3.1. Método de estimación de la DOA basado en GNSS

Un parámetro importante en un sistema de antena inteligente es la Dirección de Arribo de la Señal de Interés. El conocimiento de la DOA permite determinar los pesos complejos de cada antena del arreglo para mantener el enlace con la SOI. Arquitecturas tradicionales de antena inteligente obtienen la DOA a partir de la señal que reciben en cada antena, como se muestra en la Figura 4-1. Para que el sistema de procesamiento identifique la DOA de la SOI es necesaria la aplicación de un proceso de análisis espectral que le permita identificar la DOA a partir del espectro de frecuencia de la SOI. El sistema de procesamiento debe someterse a un proceso de calibración mediante una señal de entrenamiento para detectar el espectro de la SOI y estimar la DOA. Todo el proceso anterior requiere que se capture la señal de cada antena para estimar la DOA, para lo cual el sistema de procesamiento debe ser capaz de trabajar en la frecuencia de portadora de la SOI o en una frecuencia intermedia. La complejidad de un sistema de procesamiento similar necesario para estimar la DOA puede ser poco aplicable en una estación móvil compacta, como una VANT.

Para que el sistema de antena inteligente pueda implementarse en la MS es necesario modificar el procedimiento por el cual se estima la DOA. La respuesta a este requerimiento se podría encontrar en el propio diseño de la MS: la existencia de equipos de navegación entre los componentes de la MS. Es una suposición razonable que la MS como un ente autónomo posea equipos de navegación para su operación o monitoreo. Los equipos de navegación utilizan

información relacionada con la posición y la dirección de la MS.

Si bien la estimación de la DOA mediante un análisis espectral de la SOI es poco aplicable en la MS, una idea más razonable es tratar de estimar la DOA a partir de la posición física de la MS y la BS. Para estimar la DOA de esta manera, es necesario referenciar la posición de la BS en el centro de coordenadas ubicado en la MS. Asumiendo que la BS es inmóvil, es posible introducir su posición en el sistema de procesamiento como un dato constante; sin embargo, aunque la comunicación se realice entre dos MS, sólo se necesita que el sistema de procesamiento tenga conocimiento sobre la posición actual del otro usuario.

Para referenciar a la BS en el centro de coordenadas de la MS también es necesario conocer la rotación del centro de coordenadas. La MS, al igual que el arreglo de antenas, podría encontrarse en la misma posición espacial, pero podría dirigirse en cualquier dirección. Por este motivo es necesario conocer la dirección de movimiento de la MS y referenciar la BS respecto al arreglo de antenas.

En resumen, para determinar la dirección de arribo de la señal de interés proveniente de la estación base es necesario tener conocimiento de tres parámetros fundamentales:

- Posición de la BS, considerada como constante.
- Posición de la MS, obtenida a partir de los sistemas de navegación.
- Dirección de la MS, estimada a partir de la posición de la MS.

Considerando que el sistema de navegación posee únicamente un receptor de GNSS, la dirección de la MS se estima a partir del historial de posición de la MS. La estimación de

la dirección de la MS es un proceso que se puede realizar tanto dentro como fuera del receptor GNSS. Asumiendo que el receptor GNSS es capaz únicamente de proveer información de posición, el sistema de procesamiento debe estimar la dirección de la MS para calcular la DOA.

El método para estimar la DOA requiere dos ángulos importantes para su operación:

- Acimut de Posición: ángulo que referencia la posición de la BS desde la MS.
- Acimut de Dirección: ángulo que indica la dirección de movimiento de la MS.

Por convenciones generales, el acimut de posición y dirección se referencian respecto al norte en sentido horario. La dirección de arribo es el ángulo de entrada de la SOI en el arreglo de antenas, para lo cual es necesario referenciar el acimut de posición respecto al arreglo de antenas. Una estimación de la DOA es la diferencia entre el acimut de posición con el acimut de dirección, como se muestra en la Figura 5-53.

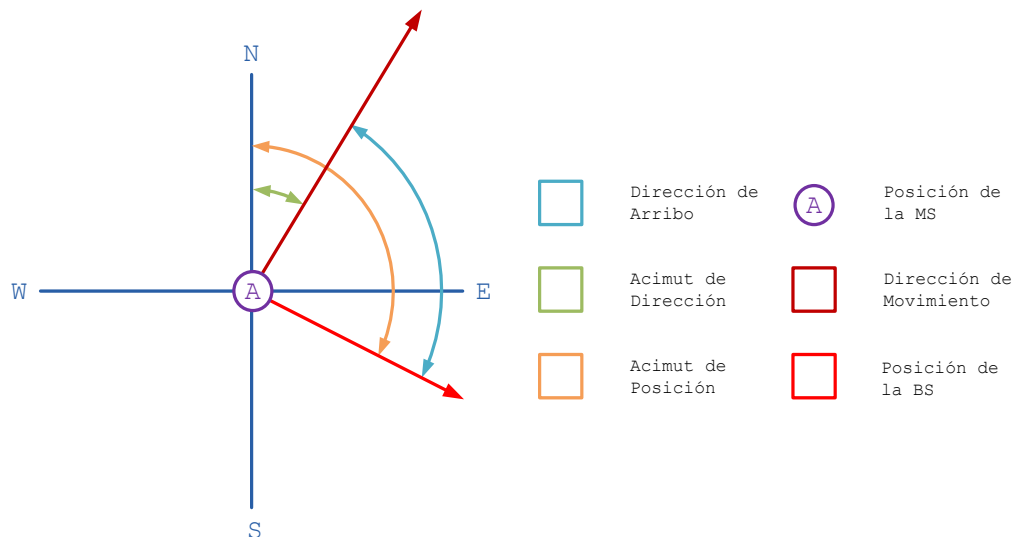


Figura 5-53: Estimación física de la DOA

La estimación del acimut de posición y la estimación del acimut de dirección son procedimientos similares, que requieren de ligeras modificaciones. Para la estimación del

acimut de posición es necesario conocer la posición de la MS y la posición de la BS. Se definen tres puntos para la construcción de un triángulo auxiliar, como en la Figura 5-54:

- Punto A: ubicado en el centro de coordenadas, en el caso de la estimación del acimut de posición corresponde a la posición de la MS.
- Punto B: es el punto objetivo del acimut, en el caso de la estimación del acimut de posición corresponde a la posición de la BS.
- Punto X: es el punto auxiliar necesario para la construcción de un triángulo. Se conforma a partir de la latitud del punto A y la longitud del punto B.

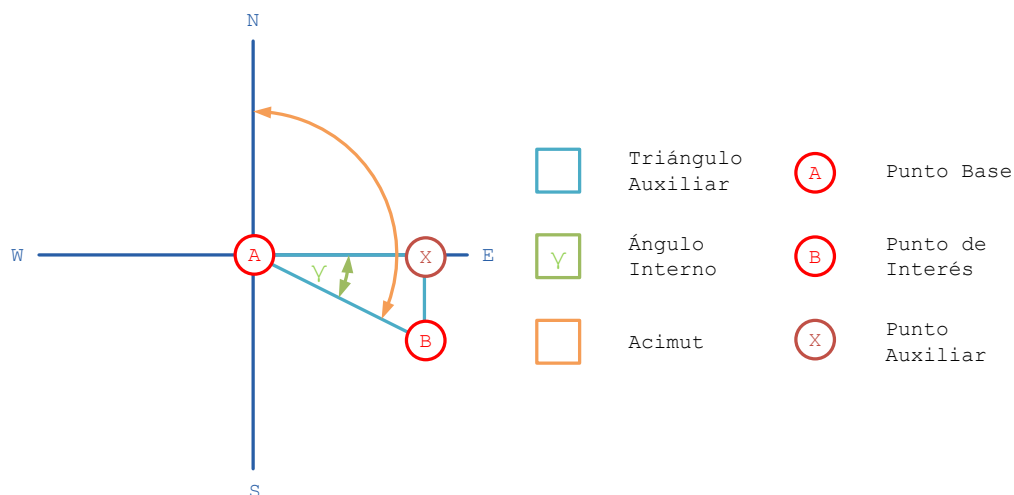


Figura 5-54: Estimación del acimut

La utilización del punto X permite la construcción de un triángulo auxiliar ABX , siendo de interés el ángulo interno γ y conformado por los segmentos AX y AB . Si se asume que la construcción del triángulo ABX es un triángulo rectángulo plano, se puede calcular γ a partir de funciones trigonométricas a partir de la Ecuación 43. La Ecuación 47 es una forma de obtener el ángulo interno. Para calcular el acimut es necesario identificar la posición relativa del punto B , proceso que se realiza al identificar el signo de

la diferencia de latitud y la diferencia de longitud. Conocida la posición relativa es posible obtener el acimut aplicando diferentes operaciones al ángulo interno, resumidas en la Tabla 5-17.

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{AX}{AB}\right)$$

Ecuación 47

Tabla 5-17: Criterios de estimación de acimut

Posición Relativa	Signo Diferencia Latitud	Signo Diferencia Longitud	Acimut (grados)
Noreste	Positivo	Positivo	$90^\circ - \gamma$
Sureste	Negativo	Positivo	$90^\circ + \gamma$
Suroeste	Negativo	Negativo	$270^\circ - \gamma$
Noroeste	Positivo	Negativo	$270^\circ + \gamma$

Se mencionó que la estimación del acimut de dirección es similar a la estimación del acimut de posición. Efectivamente, es posible obtener una estimación elemental del acimut de dirección con el procedimiento anterior; considerando un cambio en los puntos de referencia:

- Punto A: el centro de coordenadas es la posición anterior de la MS.
- Punto B: el punto objetivo es la posición actual de la MS.

Manejando la posición actual como el punto objetivo permite obtener una aproximación lineal de la dirección de la MS desde la última posición almacenada hacia la posición actual. En otras palabras, el acimut de dirección sería una extensión del movimiento entre las dos últimas posiciones conocidas de la MS. Calcular el acimut de dirección mediante el procedimiento indicado conlleva dos consideraciones importantes:

- La consideración principal sostiene que la estimación de la dirección es constante entre los puntos de estimación. No es del todo cierto dado que la dirección

se modifica por el movimiento constante de la aeronave, pero se considera que la diferencia entre el estimado y el real es despreciable.

- La utilización de las dos últimas posiciones las ubica en una distancia demasiado corta, que puede distorsionar la estimación como resultado del ruido o del error intrínseco de cualquier sistema GNSS.

Se plantea que la estimación del acimut de dirección obtenida por el método explicado se debe realizar siempre y cuando no se disponga de esta información de una fuente fiable. En caso de requerirse este procedimiento de estimación se considera que deben aplicarse medidas de control y estabilización a la estimación del acimut de dirección y a la dirección de arribo estimada.

5.3.3.2. Suposiciones en el modelo de estimación

El algoritmo para estimar la DOA a partir de información de posición GNSS presentado tiene dos bases muy importantes:

- El triángulo de la Figura 5-54 es un triángulo plano y rectángulo. Asumir un triángulo plano permite utilizar la ley coseno para triángulos planos. Un triángulo rectángulo permite utilizar únicamente funciones trigonométricas. Las consideraciones del triángulo auxiliar tienen como objetivo reducir los cálculos realizados en la estimación del acimut. La reducción de cálculos permitiría agilizar la operación del sistema de procesamiento sin disminuir la calidad de la estimación.
- La estimación del acimut de dirección es aceptable utilizando el método propuesto. Asumiendo un escenario en el cual se dispone únicamente datos de posición, el concepto es conveniente para obtener una estimación de la DOA sin requerir de equipamiento adicional, a parte del receptor GNSS.

Para establecer que el triángulo de la Figura 5-54 se puede manejar como plano y rectángulo, es necesario comprobar la estabilidad del ángulo interno formado por AX y BX . Para ello se diseña la Rutina `error_ang` que calcula el ángulo rectángulo, utilizando la ley coseno esférico de la Ecuación 48 (Swanston, 2006), y comparándolo con la distancia que separa al centro de coordenadas A del punto objetivo B de la Figura 5-54.

$$\cos(x) = \cos(a) \cos(b) + \frac{AB}{R_T} \sin(a) \sin(b)$$

Ecuación 48

La Ecuación 48 considera dentro de la Figura 5-54 los ángulos internos a , b y x y el arco esférico conformado por la normalización de la distancia AB , opuesta a x , para el radio terrestre R_T .

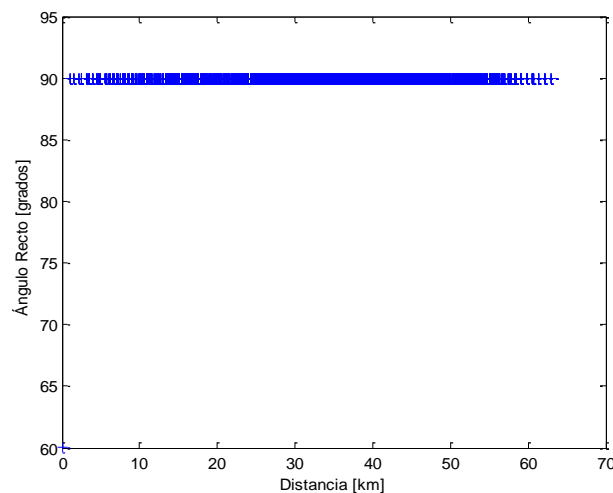


Figura 5-55: Estimación de ángulo recto obtenido a partir de Matlab 33: Rutina `error_ang`

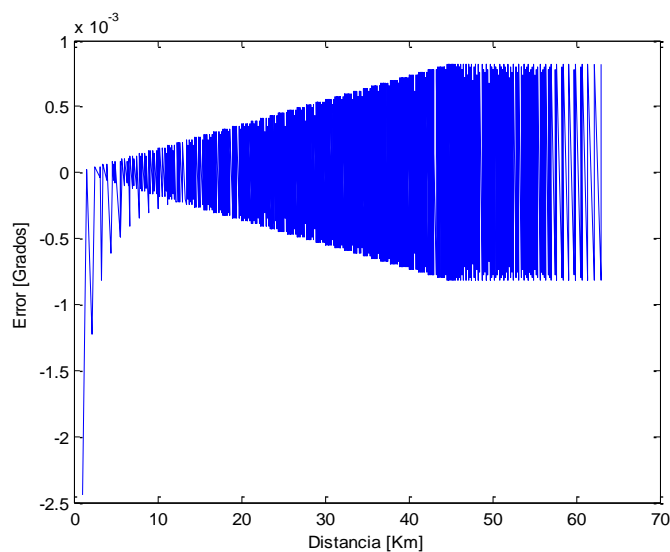


Figura 5-56: Error de ángulo recto obtenido a partir de Matlab 33: Rutina error_ang

Los resultados de la Figura 5-55 muestran que no existe una desviación notable del ángulo recto, a excepción de la distancia de cero kilómetros en donde el algoritmo estima con una distancia nula. El error obtenido, y apreciable en la Figura 5-56, muestra que la variación del ángulo recto crece en función de la distancia, pero este error se encuentra en la escala de centésimas de grado. El error en la distancia máxima se estima en alrededor de dos metros, que es insignificante para distancias de 60 kilómetros. Basados en los resultados de la Rutina error_ang es posible asumir, que a distancias de menos de 60 km, el triángulo auxiliar se comporta como un triángulo plano y rectángulo.

Para comprobar la estabilidad del acimut de dirección estimado a partir del método propuesto se crearon la Función alg_dir_test_01 y la Función alg_dir_test_02. Para la comparación se dispone de los datos de posición y dirección de un vehículo aéreo no tripulado de prueba. Se utilizó los datos de posición para estimar el acimut de dirección y compararlo con el acimut de dirección registrado por el autopiloto.

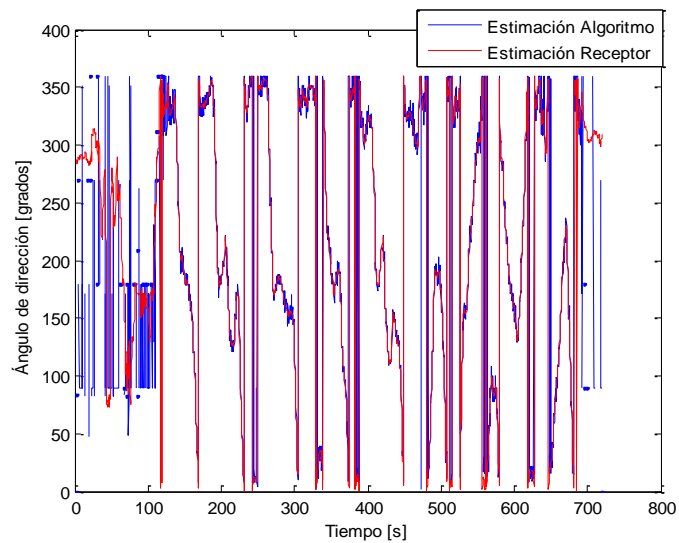


Figura 5-57: Comparación de las estimaciones del acimut de dirección

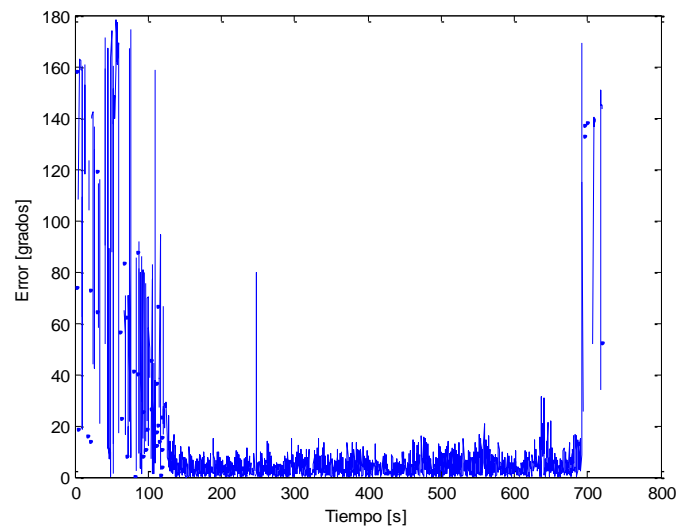


Figura 5-58: Error de la estimación del acimut de dirección basada en datos de posición

Tabla 5-18: Estadísticas del Error de estimación del acimut de dirección

Media [grados]	Desviación Estándar [grados]	Porcentaje de Fallas
10.85	28.93	11.49 %

La Figura 5-57 muestra el comportamiento dinámico de las dos estimaciones, mientras que la Figura 5-58 muestra la diferencia entre las dos estimaciones. La Figura 5-57 muestra que ambas estimaciones se comportan de manera similar, a excepción de las maniobras de despegue y aterrizaje donde la estimación propuesta falla. La Figura 5-58 muestra el nivel de ruido que existe en la estimación

del acimut de dirección propuesta, si se toma como información fiable la estimación de acimut de dirección registrada por el autopiloto. La Tabla 5-18 muestra las estadísticas del error del método propuesto, descartando mayoritariamente los instantes de despegue y aterrizaje, donde la media del error se encuentra en alrededor de 10 grados y es un valor alto. La desviación estándar muestra que el 95% de muestras se encuentran en una apertura cercana a los 60 grados, semejante a los dominios de control aplicado al arreglo de antenas propuesto. El porcentaje de fallas indica cuantas veces el algoritmo dio un valor no válido en la simulación, porcentaje cercano al 10% siendo relativamente alto pero posiblemente despreciable por el tiempo de actualización del dato. La información de la Tabla 5-18 se encuentra sesgada debido a las maniobras de despegue y aterrizaje, sin embargo la Figura 5-58 muestra un nivel de ruido relativamente alto, por lo que se recomienda priorizar los datos de dirección provistos por el receptor GNSS y dejar la alternativa propuesta en caso de no disponerse información de dirección de una fuente fiable.

5.3.3.3. Diseño del Algoritmo de Estimación de DOA

Cuando la captura de datos seriales conforme a la Figura 5-52 indica que existe nueva información, el algoritmo entra en la etapa de procesamiento y control. Dentro de la etapa de procesamiento y control se procede a la estimación de la DOA a partir del procedimiento presentado a continuación:

1. Conversión de datos: según las tramas de datos (u-blox AG, 2009), los datos almacenados en el proceso de lectura utilizan un total de 4 bytes para cada parámetro (longitud, latitud, velocidad y dirección). Debido que

el serial transmite y almacena un byte a la vez, es necesario que la información de interés se almacene en un arreglo tipo byte. Después de la lectura, se procede a la conversión del arreglo tipo byte a una variable de memoria de 4 bytes (formato "long").

2. Escalamiento de variables: las variables en formato "long" se vuelen a convertir a un formato de doble precisión (formato "double") para aplicar el escalamiento que existe en la información transmitida por el receptor GPS (u-blox AG, 2009).
3. Estimación del acimut de posición: con la información de posición de la MS y la BS se estima el acimut de posición a través de una función que estima el ángulo interno a partir de distancias con el punto auxiliar y que utiliza internamente la Ecuación 43 y los criterios de la Tabla 5-17.
4. Se estima la dirección de arribo a partir del modelo de la Figura 5-53 y se acota el dominio de la DOA en el rango [0; 360] para que el sistema de control tenga un rango limitado de valores.

5.3.4. Elección de Configuración Activa

5.3.4.1. Introducción

El desarrollo del sistema de control se inició cuando se consideraba todavía la utilización de un arreglo circular de tres antenas usando la conmutación de pares de antenas en configuraciones broadside y end-fire. El alcance teórico del sistema de control se limitó a demarcar los límites de decisión para el cambio de configuración de arreglo; sin embargo, el desarrollo de las demás técnicas de control y estabilización llegaron en el momento que se contó con información telemétrica y el arreglo se modificó hacia un arreglo planar de cuatro antenas.

El sistema de control diseñando maneja cuatro aspectos diferentes:

1. La validez de la información nueva capturada por la lectura serial.
2. La estabilidad de la información disponible y los datos estimados.
3. La necesidad de cambiar la configuración.
4. La elección de la configuración activa.

El sistema tiene preferencia a bloquear la configuración activa si la información disponible no es válida, la información válida o los datos estimados no son estables; o si la DOA todavía se encuentra dentro de los límites de operación de la configuración activa.

5.3.4.2. Límites de decisión de configuración de arreglo

Los límites de decisión de la configuración de arreglo indican los umbrales en los cuales una configuración de arreglo puede considerarse como activa. Si el sistema dispone de nueva información y se estima una DOA, es posible determinar si la DOA todavía se encuentra en la configuración activa comparando con los nuevos valores de los límites de decisión. Si se encuentra fuera, se determina que debe realizarse un cambio de configuración hacia otra que contenga a la DOA estimada.

Considerando el arreglo circular de la Figura 5-24 Izquierda, los límites de decisión no abarcan un área de operación equitativa entre las seis opciones diferentes. Los límites de decisión se dividen según el tipo de arreglo utilizado: broadside o end-fire. La configuración end-fire abarca un sector aproximado de 120° , siendo necesario únicamente los modos end-fire para una operación

omnidireccional. Sin embargo, las configuraciones broadside permiten mejorar la ganancia en los extremos de las configuraciones end-fire, por lo que los límites de decisión se toman en los puntos donde la ganancia entre los modos vecinos es igual. Así es como se obtiene el patrón de radiación controlado de la Figura 5-24 derecha al combinar límites de decisión broadside de ancho de 24° y límites de decisión end-fire de 36° (revísese el código Rutina `plot_u_trig_c`). También, debido a la presencia de dos lóbulos por configuración, es posible definir el rango dinámico de la DOA estimada entre 0° y 180° por la periodicidad de las configuraciones vecinas.

En el arreglo circular híbrido de cuatro antenas, se definieron dos configuraciones elementales que responden a la propagación de onda plana. Dado que las configuraciones son iguales en características, pero con una rotación de 180° ; se disponen de un total de seis configuraciones diferentes que alternan la posición del lóbulo principal. Siendo este el escenario, los límites de decisión se definen de forma simplificada al dividir el rango dinámico de 360° para las seis configuraciones diferentes, obteniendo que el ancho de los límites de decisión sea uniforme y de 60° cada uno.

5.3.4.3. Estabilización de la DOA

Considerando que la DOA estimada se encuentra sujeta a errores en la información del receptor GPS, es conveniente considerar que la DOA estimada no es un parámetro completamente estable.

Considerando que idealmente la DOA se comporta continuamente, se puede estabilizar la DOA estimada que entra en la cadena de control mediante un análisis diferencial. Por ejemplo, si la diferencia entre dos

estimaciones de DOA consecutivas tienen una diferencia menor al rango definido, la última DOA estimada entra en la cadena de control. Si la diferencia se encuentra fuera del rango definido, la DOA que entra en la cadena de control es la última DOA que fue validada; es decir que no cambia la DOA y que el sistema se bloquea virtualmente al no existir cambios en la DOA.

5.3.4.4. Estabilización de los datos del receptor GPS

Existe la posibilidad que el receptor GPS, por diversas causas, no es capaz de determinar la posición actual del MS; en este caso, el receptor continúa transmitiendo la última posición que tiene conocimiento. Debido a la falta de información, es necesario que el sistema sea capaz de bloquearse en caso que el receptor no actualice la posición. En este caso se realiza la comparativa diferencial entre los dos últimos datos de posición almacenados, si la diferencia sea idénticamente igual a cero el sistema debe bloquearse.

También es conocida la presencia de errores en la estimación de la posición por el receptor GPS, siendo uno de los parámetros más afectados el acimut de dirección al ser una estimación basada en la posición. Para evitar fallas del sistema, se considera que el sistema debe bloquearse si se detecta que la velocidad estimada es menor a la velocidad mínima requerida. Estar debajo de la velocidad mínima puede considerarse como que la MS se encuentra estática, y que por lo tanto, la estimación de dirección no puede ser del todo válida. Si la velocidad supera la velocidad mínima, se considera que la MS está en movimiento y que la información de dirección es válida. La elección de la velocidad mínima se puede determinar a

partir de una velocidad en la cual la MS se encuentra en el mínimo de operación; por ejemplo, en una VANT la velocidad mínima se puede definir por debajo de la velocidad de sustentación de la aeronave.

5.3.4.5. Estabilización de operación

Se mencionó que la DOA estimada no es completamente estable. Considerando que existe un parámetro de ruido, es razonable creer que si la DOA se encuentra cercana a los límites de decisión el componente de ruido puede forzar a procesos de cambio de configuración activa consecutivos e innecesarios. Dado que los componentes de conmutación tienen garantizados un número finito de ciclos de conmutación, es necesario que el sistema de control realice los cambios de configuración activa cuando realmente se necesita realizarlos.

Una alternativa es filtrar el ruido de la DOA estimada, proceso complejo debido a la periodicidad de la DOA. Otra alternativa es solapar los dominios de decisión de cada configuración, forzando que los límites de configuraciones vecinas no coincidan. El proceso sugerido se define como histéresis, y reduce la ocurrencia de conmutaciones consecutivas o innecesarias a partir de los rangos extendidos de los límites de decisión. Esta extensión tiene un límite definido por el ancho de haz del lóbulo principal del patrón de radiación del arreglo. Es preferible que el rango extendido no mitigue la ganancia del arreglo a más de -3dB (definición de ancho de haz).

5.3.4.6. Control de Conmutadores

Considerando la arquitectura de la Figura 5-4, a cada antena del arreglo le corresponde un par de conmutadores sincronizados y un par de líneas de retardo. Para que el

sistema de control transfiera la elección de configuración activa, debe ser capaz de escoger las salidas de cada uno de los conmutadores en función de las líneas de retardo necesarias para la conformación de haz.

Considerando que se controla la salida del conmutador de forma lógica, se realiza la conexión de las líneas de retardo de manera que un "1" lógico corresponda a la línea de transmisión de menor retardo para cada antena y un "0" lógico corresponde a la línea de mayor retardo. Con esta consideración, es posible definir la dinámica de conmutación del arreglo y los parámetros lógicos que resultan como salida del sistema de control hacia los conmutadores.

Tabla 5-19: Dinámica de conmutación de arreglo

Dirección de Haz Principal [grados]	SW4	SW3	SW2	SW1
0	█	█	█	
60		█		
120	█	█		█
180				█
240	█		█	█
300			█	
0	█	█	█	
60		█		
120	█	█		█
180				█
240	█		█	█
300			█	

Los resultados de la Tabla 5-19, considerando un cuadro opaco como "1", muestran que la antena central sufre de conmutaciones continuas entre configuraciones vecinas, mientras que las antenas periféricas sufren una conmutación cada 180° con su respectivo desfase relativo. También se tiene como resultado que en cada configuración existen tres antenas con la elección de línea corta o tres antenas con elección de línea larga. Se tiene que existen seis configuraciones habilitadas, sin embargo existen un total de 16 combinaciones posibles, por lo que se tiene que

existen 10 combinaciones "prohibidas" que no realizan la conformación de haz deseada y que de usarse alteraría la correcta operación del sistema.

5.3.4.7. Diseño del algoritmo de control

El algoritmo de control utiliza todos los instrumentos indicados anteriormente, priorizando la necesidad de bloquear el sistema de conmutación e indicando que la información ya ha sido utilizada. El almacenamiento de información diferencial involucra los procesos de validación de DOA y validación de latitud y longitud. Tanto los procesos de validación de límites, validación de latitud, validación de longitud y validación de movimiento se aplican de forma simultánea; es decir que el sistema se bloquea si falla alguna de las cuatro condiciones. La validación de DOA se aplica antes de la verificación de conmutación, debido que la validación de DOA bloquea indirectamente el sistema, mientras que las otras medidas la bloquean de forma directa.

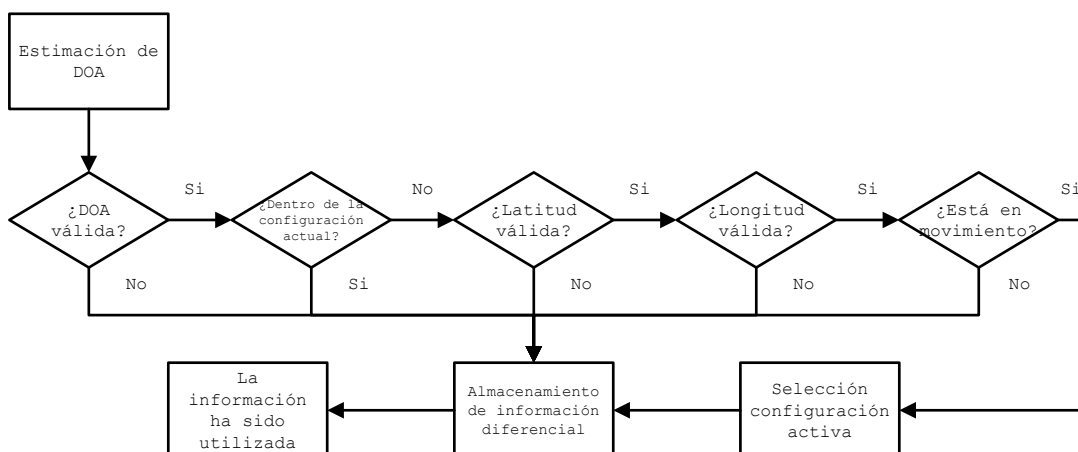


Figura 5-59: Diagrama de flujo del sistema de control

5.3.5. Simulación del Sistema de Control

5.3.5.1. Estimación de la DOA

La teoría desarrollada para la estimación de la DOA debe ser probada para su posterior implementación. Una forma de

probar el modelo es la realización de simulaciones con base de datos, cuyos parámetros fundamentales son la posición y la dirección de la estación base. Para realizar las simulaciones en Matlab se desarrolló la Función `geo_d` como implementación de la Ecuación 43 y la Función `ang_geo` como la implementación del algoritmo representado en la Figura 5-54 con el criterio de la Tabla 5-17. Para la representación de la simulación es necesario utilizar un toolbox externo de Matlab, denominado Matlab to Google Earth Toolbox (University of Amsterdam, 2007). El toolbox de conversión de Matlab a Google Earth permite la visualización de figuras y cuerpos geométricos en el ambiente de Google Earth, permitiendo la generación de archivos con la simulación. El ajuste de las rutinas de simulación se realizó con la Rutina `geo_script` y la Función `geo_ex_01`. Al momento de definir las rutinas de información no existían bancos de datos parecidos a la MS disponibles, por lo cual se generaron bancos de datos utilizando un automóvil en carretera utilizando la aplicación móvil My Tracks (Google Inc, 2013). El Anexo E ofrece muestras de los bancos de datos utilizados en cada etapa del desarrollo del sistema de control, en especial, los bancos de datos `geo_data_ex_01`, `geo_data_ex_02` y `geo_data_ex_03` se obtuvieron con el método previamente mencionado. La Función `geo_ex_02` fue el primer modelo de simulación funcional basado en banco de datos. El ambiente de simulación utiliza el banco de datos `geo_data_ex_02` mostrado en la Figura 5-60, trayectoria en el valle de Tumbaco cuyo BS se ubica en la cima del monte Ilaló con propósito de simulación.

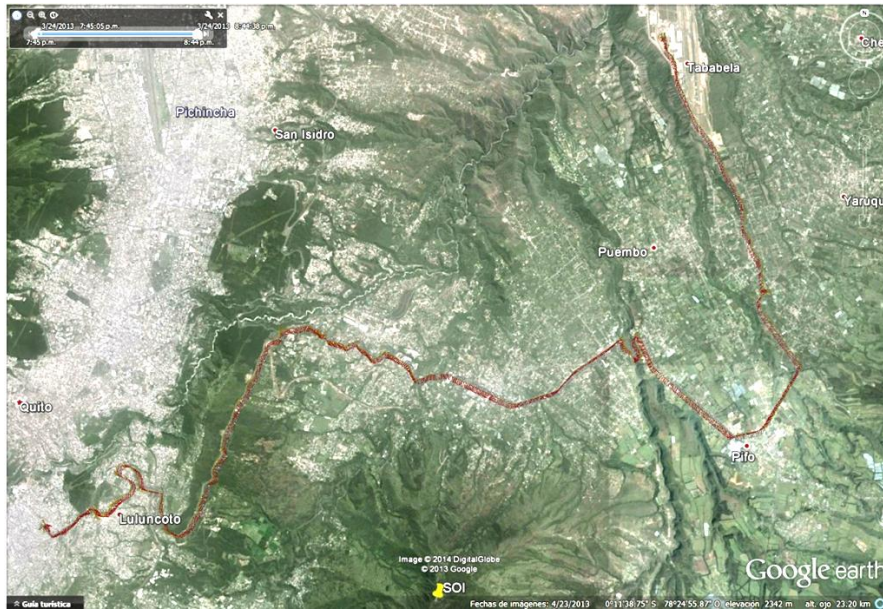


Figura 5-60: Simulación de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02

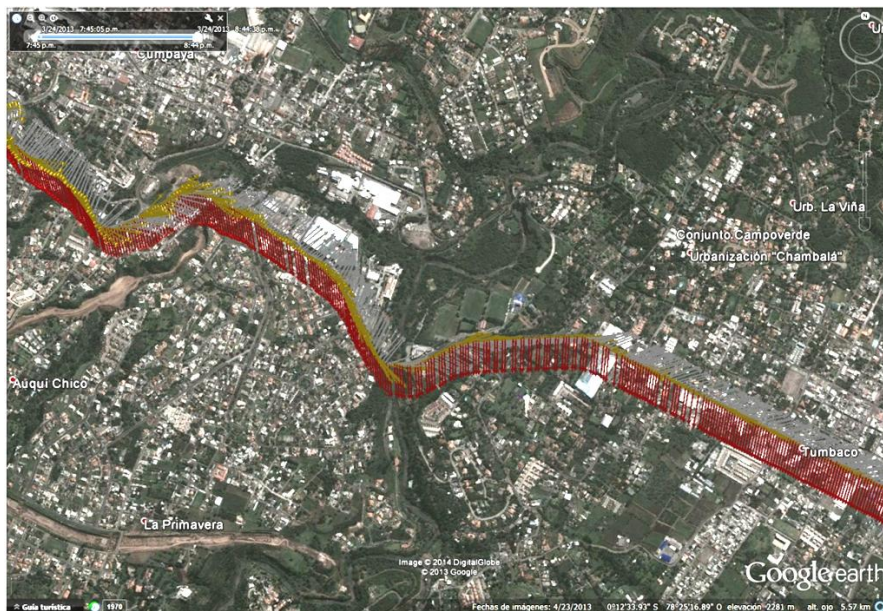


Figura 5-61: Muestra de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02



Figura 5-62: Captura de geo_ex_02 utilizando geo_data_ex_02

Utilizando la Figura 5-62 como referencia, el acimut de posición se muestra como una flecha roja, el acimut de dirección se muestra como una flecha dorada y la DOA referenciada al norte se muestra como un acimut que utiliza una flecha blanca. Para que la DOA se muestre de forma coherente tendría que referenciarse con el MS a través del acimut de dirección, causando que coincida con el acimut de posición. También se adicionó el tiempo en la simulación, sin embargo la visualización dinámica impide el correcto análisis por lo que se desactiva la visualización temporal de forma manual. Usando la Figura 5-61 para el análisis se tiene que cada vector apunta correctamente según su función, también la DOA se muestra con un comportamiento continuo y poco ruidoso a pesar de estimarse con el algoritmo diferencial de posición. Una manera de analizar el comportamiento de cada flecha se obtiene a través de la Función `geo_ex_03` que visualiza una MS estática. La implementación de la simulación permitía analizar los datos de los vectores, sin embargo es una subutilización de Google Earth, por lo que discontinuó el código como herramienta de análisis.

5.3.5.2. Simulación de Control

La Función `geo_ex_03` fue la única función de simulación de panel de instrumentos que se realizó en Google Earth por lo poco práctico que resulta el análisis. Considerando la idea involucrada en `geo_ex_03`, se desarrolló la Rutina `geo_rad` que determina la configuración de arreglo adecuada, usando las configuraciones para el arreglo circular con la utilización de dos elementos de la Figura 5-10. Debido a la referencia de coordenadas de la función polar, se simuló con una DOA de 140 grados, que en la visualización se convierte en 220 por ser el ángulo suplementario. Los resultados de la Figura 5-63 muestran la correcta selección

de la configuración activa para la DOA definida en color rojo. En el caso de la distribución, los puntos azules denotan la posición de la antena y el punto rojo la DOA; en el arreglo la configuración activa en rojo tiene coherencia con la DOA, mientras que las demás configuraciones azules están inactivas.

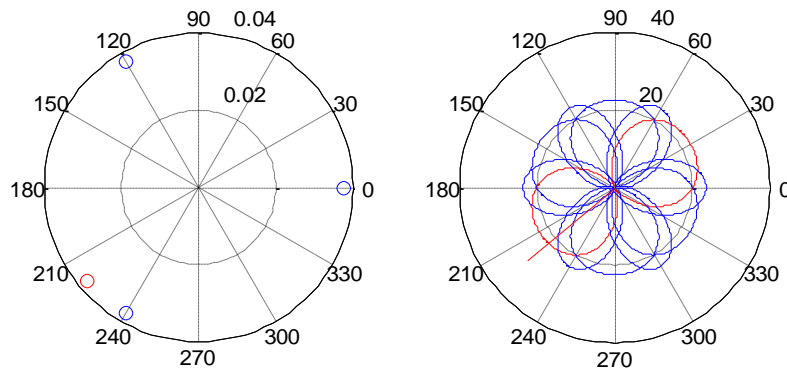


Figura 5-63: Simulación de selección de configuración activa a partir de la DOA
Izquierda: Distribución de arreglo Derecha: Patrón de Radiación

Para mostrar el funcionamiento dinámico del sistema de control se realizó una simulación utilizando la Función `geo_ex_04` que utiliza el banco de datos `geo_data_ex_02` y las configuraciones de arreglo utilizadas en la Rutina `geo_rad`. La Figura 5-64 es el resultado de la ejecución de la simulación. Analizando mediante la Figura 5-65 y la Figura 5-66 se tiene que el control logra mantener la DOA dentro de la configuración activa mostrando que el comportamiento de la DOA es continuo sin representar problemas.

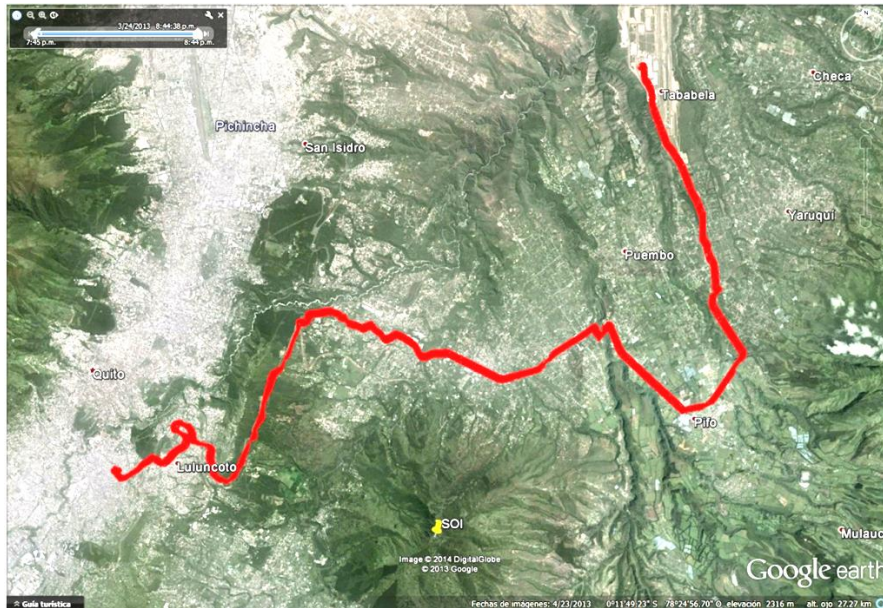


Figura 5-64: Simulación de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02

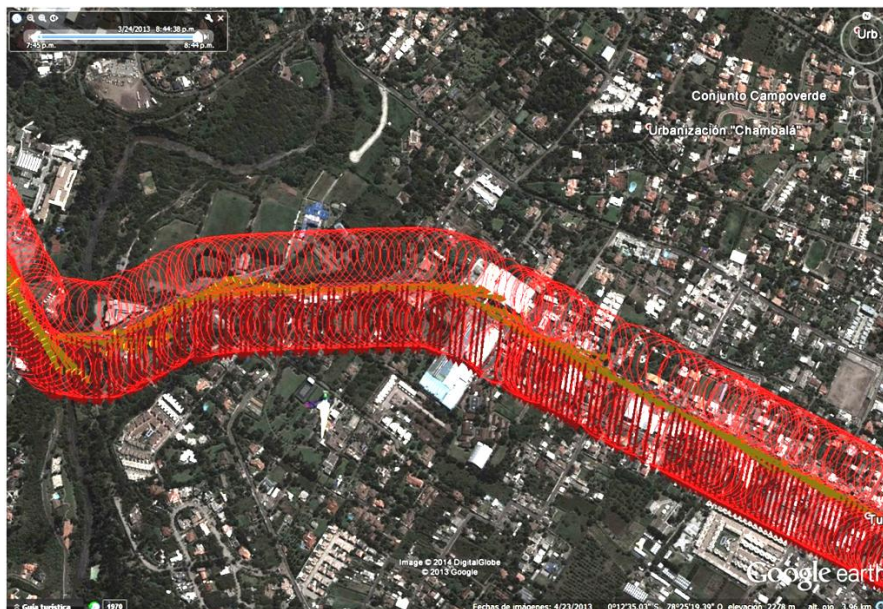


Figura 5-65: Muestra de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02

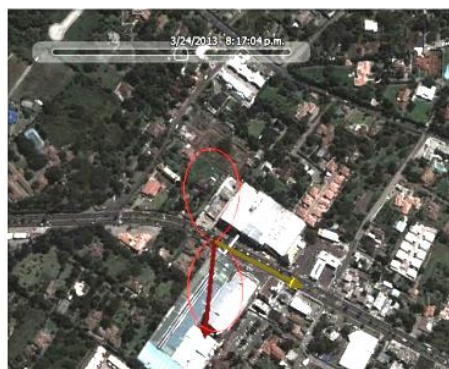


Figura 5-66: Captura de geo_ex_04 utilizando geo_data_ex_02

Para mostrar el funcionamiento en el caso real, se realizó la simulación con la Función `geo_ex_05` que utiliza el banco de datos generado `geo_data_ex_04` y que ofrece los mismos resultados de estabilidad que la Función `geo_ex_04`. Considerando el caso ideal, el sistema es capaz de otorgar la configuración activa ideal a partir de la DOA; sin embargo en el caso real es necesario considerar otros factores que afectan la estabilidad del sistema y que deben ser implementados.

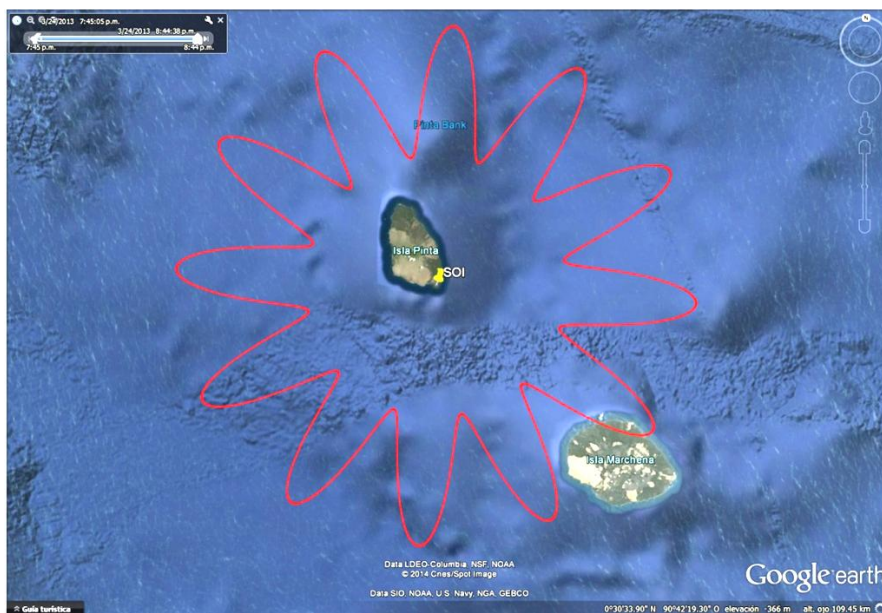


Figura 5-67: Simulación de `geo_ex_05` utilizando `geo_data_ex_04`

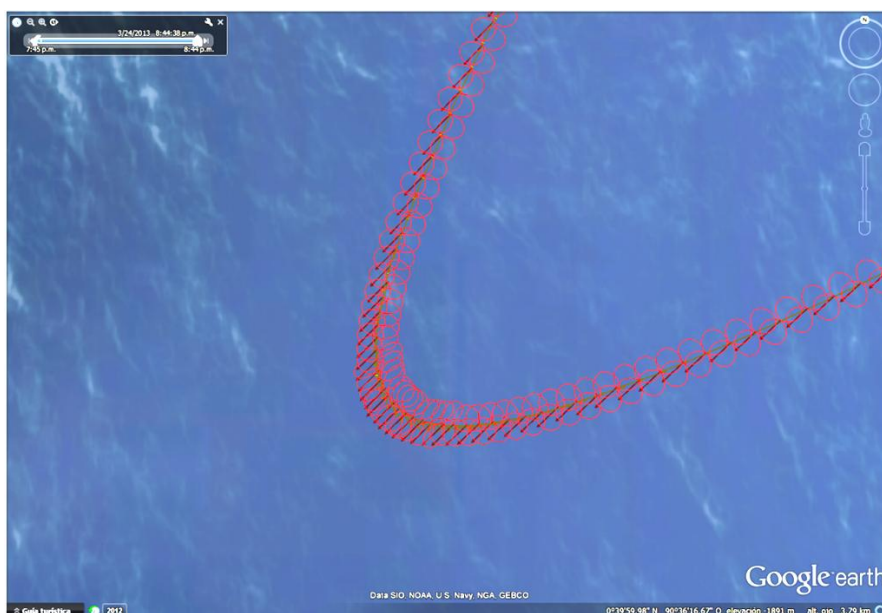


Figura 5-68: Muestra de `geo_ex_05` utilizando `geo_data_ex_04`



Figura 5-69: Captura de geo_ex_05 utilizando geo_data_ex_04

5.3.5.3. Aplicación del control por histéresis

Con el cambio de arquitectura hacia una arquitectura de control basada en hardware, se decidió mejorar el sistema de control para maximizar la vida útil de los componentes al reducir el número de conmutaciones realizadas. Una alternativa fue modificar dinámicamente los dominios de conmutación a partir de la configuración activa, agrandando y sobrelapando los dominios de operación. El cambio dinámico de los dominios de conmutación permite reducir las conmutaciones consecutivas al aplicar el concepto de histéresis. Como concepto de operación, se desarrolló la Rutina `trigger_controller` que realiza varios barridos en el rango de 0 a 360 grados para definir la DOA adecuada de tres opciones diferentes. Los resultados se muestran en la Figura 5-70, mostrando que una extensión de 5 grados en los límites ofrece una extensión de operación de 10 grados que deben recorrerse para volver al estado anterior. Esta extensión impide las conmutaciones consecutivas causadas por el ruido en la información de la estimación al alejar la DOA de los límites de decisión después de una conmutación. La extensión de los límites de decisión dependen de tres factores importantes: el patrón de radiación, el ruido de la estimación y la dinámica de la aeronave. El ancho de haz del patrón de radiación indica el límite máximo que pueden extenderse los dominios de

decisión, dado que si se sobrepasa el ancho de haz no se puede garantizar una ganancia adecuada. El límite mínimo de extensión dependerá de la estabilidad de la DOA que depende de factores como el ruido introducido en la estimación de la DOA, la distancia entre la BS y la MS; y la manera en la cual se desplaza la MS.

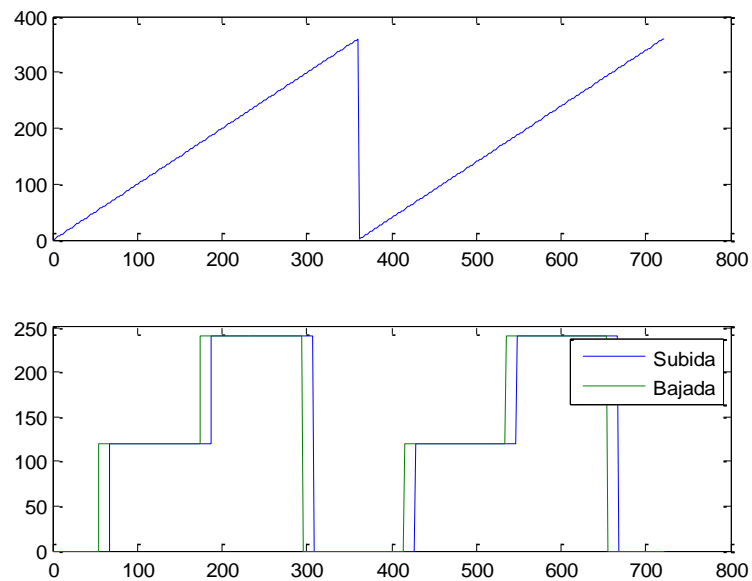


Figura 5-70: Simulación de barrido del algoritmo de histéresis
Arriba: Función analizada Abajo: Aplicación del algoritmo de histéresis

La aplicación del concepto de histéresis en el sistema de control se muestra con la Función `array_4_control` que muestra la aplicación del 5% de histéresis en las configuraciones de la Figura 5-35 para el arreglo planar de cuatro antenas.

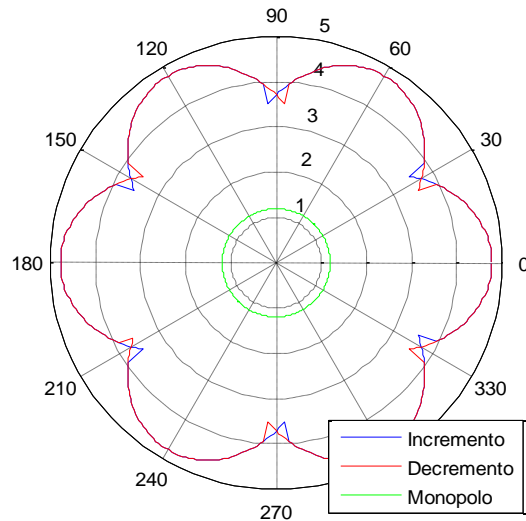


Figura 5-71: Aplicación de histéresis al 5% al arreglo planar de cuatro antenas

Los resultados de la Figura 5-71 muestran el efecto de añadir un 5% de histéresis sin comprometer el ancho de banda del sistema. Para tener un análisis más detallado se desarrolla la Rutina `plot_u_3d_4ant_v3_smart` que muestra el patrón de radiación en decibelios para los barridos en sentido horario, anti horario y una combinación considerando el peor escenario. La Figura 5-72 muestra que las ganancias en el límite de decisión cae -1.5 dB de la ganancia máxima, sin llegar al límite de ancho de haz. Considerando el peor escenario como la ganancia mínima del sistema en ambos sentidos, muestra una ganancia mínima aceptable y como parámetro del sistema. La Figura 5-73, la Figura 5-74 y la Figura 5-75 son representaciones tridimensionales de la Figura 5-72.

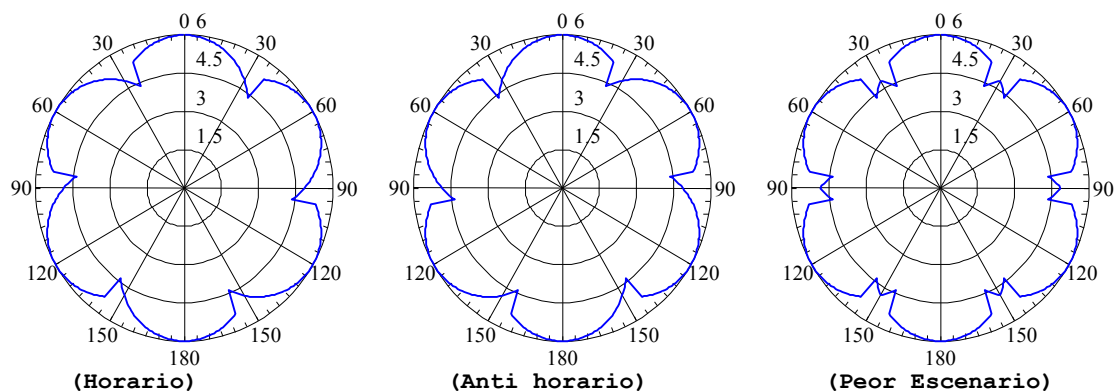


Figura 5-72: Patrón de radiación aplicado histéresis

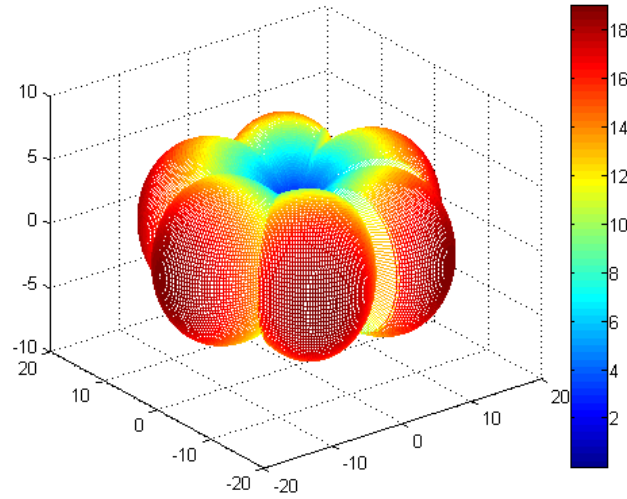


Figura 5-73: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis en sentido horario

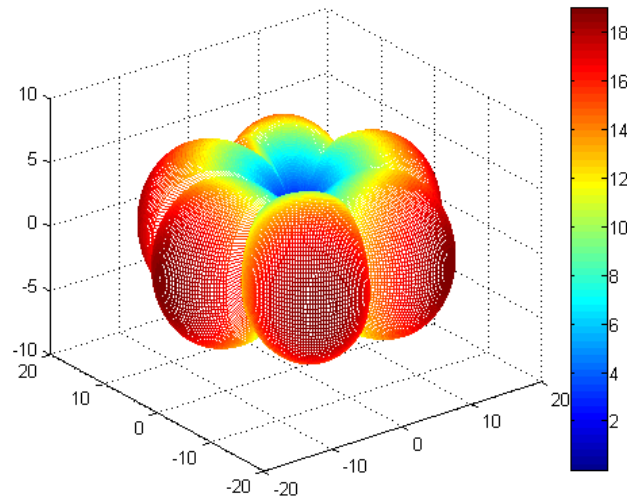


Figura 5-74: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis en sentido anti horario

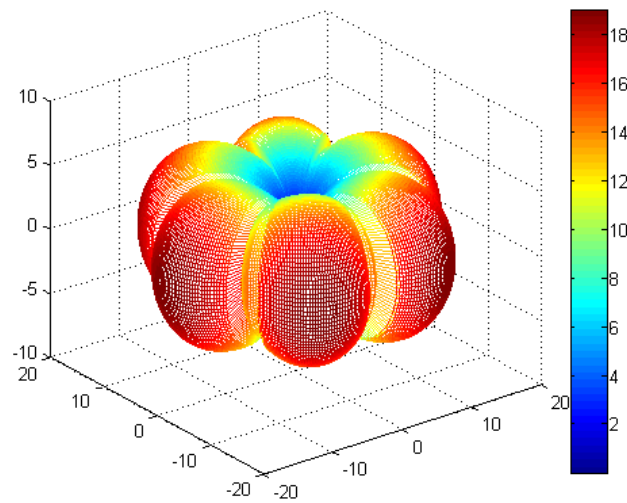


Figura 5-75: Patrón de radiación tridimensional aplicado histéresis considerando el peor escenario

5.3.5.4. Aplicación de la Validación de DOA

Considerando que la DOA debe comportarse de forma continua, es posible aplicar un elemento de control que bloquee el sistema en caso que la DOA comience a comportarse de forma aleatoria. El sistema puede funcionar de forma aleatoria si se encuentra sujeto a errores en la información del receptor GPS. Para proteger de los efector aleatorios se desarrolla el algoritmo diferencial de validación de DOA que verifica que el sistema actúe cuando dos estimaciones consecutivas de la DOA se encuentren dentro del rango diferencial aceptable. Para implementar el sistema se utiliza la simulación realizada en la Función `ang_validator_01` que muestra la activación del sistema con muestras consecutivas con valores cercanos. El resultado de la simulación se muestra en la Figura 5-76, en forma de una recta complementada con dos picos producidos por la periodicidad de la DOA, muestra la correcta operación del algoritmo de validación de DOA con un valor de 1 cuando los valores son cercanos y un valor de 0 cuando se encuentran fuera de rango. El rango debe ajustarse en función de la dinámica normal de la DOA y de la dinámica de la aeronave.

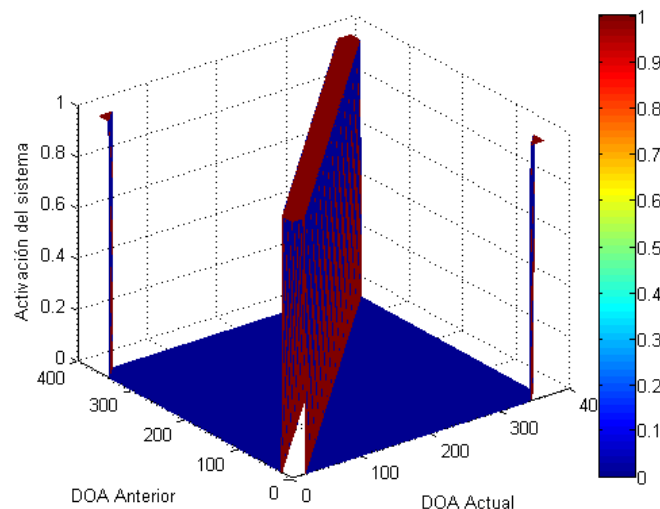


Figura 5-76: Barrido del algoritmo de validación de DOA

5.3.5.5. Aplicación de las mejoras en el sistema de control

Con la obtención de información de telemetría a partir del autopiloto de una aeronave, fue posible realizar simulaciones de operación más precisas del funcionamiento del sistema de control. Se utilizó el algoritmo propietario UTM2DEC que realiza la conversión de coordenadas UTM (Palacios, 2006). Para comprobar el funcionamiento del algoritmo UTM2DEC se realizó el trazado de la ruta mediante la Rutina `geo_tel_00` que utiliza el banco de datos `geo_data_ex_05` y que se muestra en la Figura 5-77.

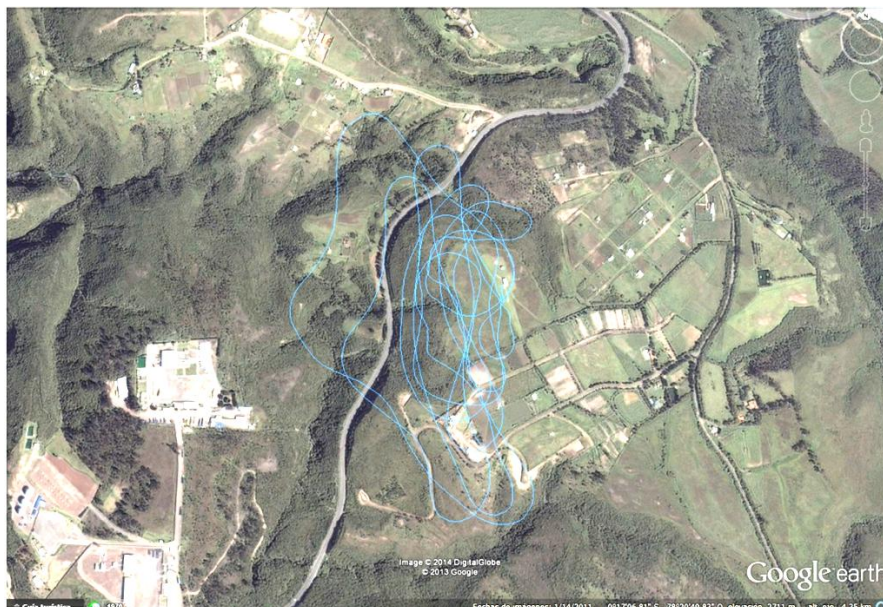


Figura 5-77: Ruta trazada a partir del banco de datos `geo_data_ex_05`

Para probar el funcionamiento del sistema de control aplicado el control por histéresis se realiza la simulación con la Función `geo_tel_01` con el banco `geo_data_ex_05`. La visualización del trayecto se muestra en la Figura 5-78.

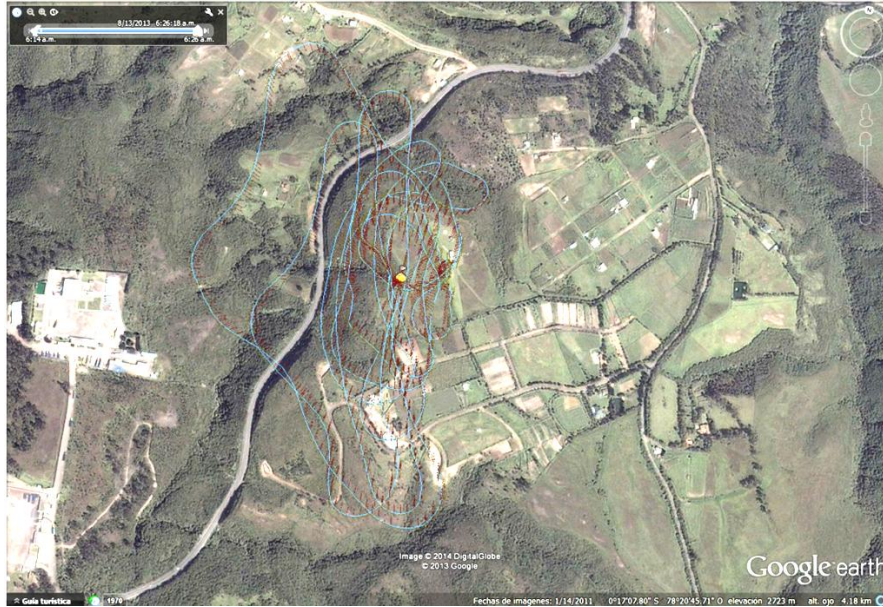


Figura 5-78: Simulación de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05

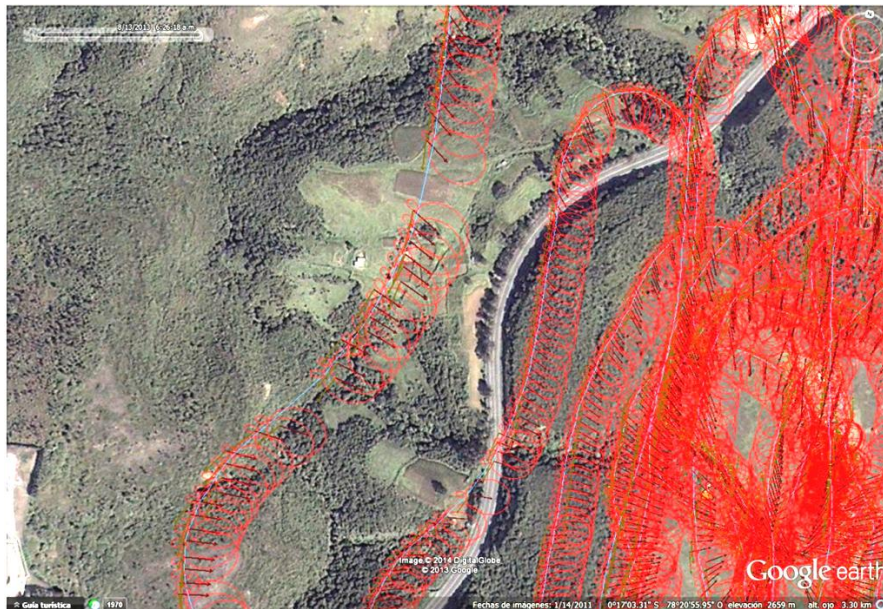


Figura 5-79: Muestra de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05



Figura 5-80: Captura de geo_tel_01 utilizando geo_data_ex_05

Ubicando la SOI en las coordenadas promedio del banco de datos `geo_data_ex_05` permite que el sistema opere bajo diferentes configuraciones. El análisis de la simulación muestra que el sistema elige la configuración adecuada a partir de la DOA, realizando la extensión por histéresis. Para obtener información cuantitativa, se realiza la simulación con la Función `dina_control_01` que permite estimar la intensidad de radiación a partir de la DOA, también permite determinar las conmutaciones realizadas por el sistema durante el desarrollo de la simulación.

La Figura 5-81 muestra las conmutaciones del sistema, especialmente una acumulación al inicio de la simulación, que se asume que se produce por las maniobras de despegue de la aeronave, donde la estimación de dirección falla y el sistema se comporta erráticamente. La Figura 5-82 muestra la intensidad de radiación del sistema; si se utiliza la información que aporta, es claro que el sistema maneja una ganancia aceptable a excepción de los instantes en los cuales el sistema se comporta erráticamente y no puede detectar la DOA adecuadamente.

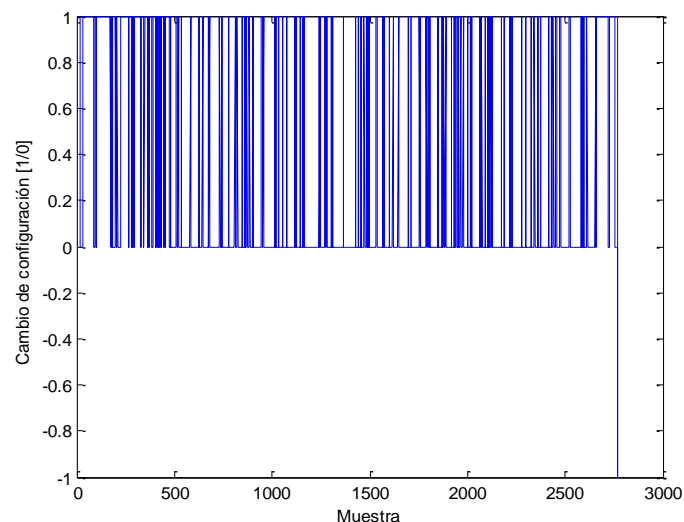


Figura 5-81: Dinámica de conmutación del sistema aplicado control por histéresis

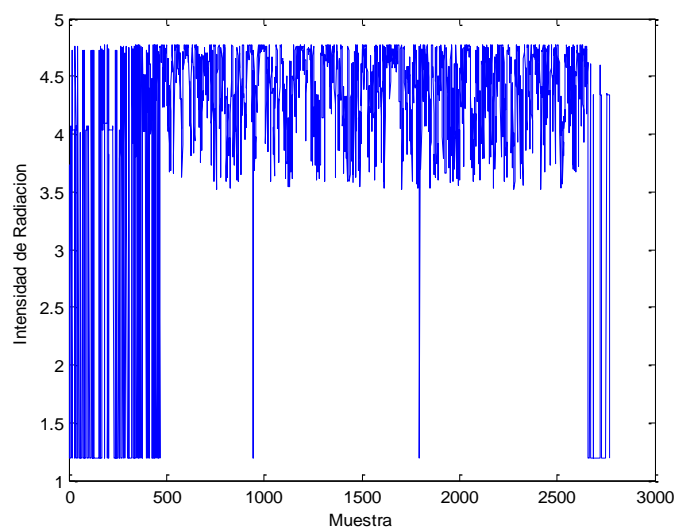


Figura 5-82: Intensidad de radiación del sistema aplicado control por histéresis

Los efectos de no estimar adecuadamente la DOA producen conmutaciones exageradas que reducirían el tiempo de vida de los componentes. Una solución es la validación de la DOA que no mejora la ganancia del sistema, pero reduce las conmutaciones producto del fallo del sistema en estimación. Para comparar la mejora se realiza la simulación basada en la Función `dina_control_02` que implementa la validación de DOA. La Figura 5-83 muestra la dinámica de conmutación con la implementación de la validación de la DOA, mostrando que el sistema se bloquea en los instantes que el sistema detecta fallas de continuidad de la DOA. Analizando la Figura 5-84 se muestra que no existen mejoras en la intensidad de radiación, en operación normal decae la ganancia en instantes que antes no se consideraban erráticos, sin embargo mantiene una ganancia media aceptable. La intensidad de radiación en los momentos erráticos no mejora, debido que el sistema se bloquea y la ganancia se obtiene de una configuración de arreglo estático.

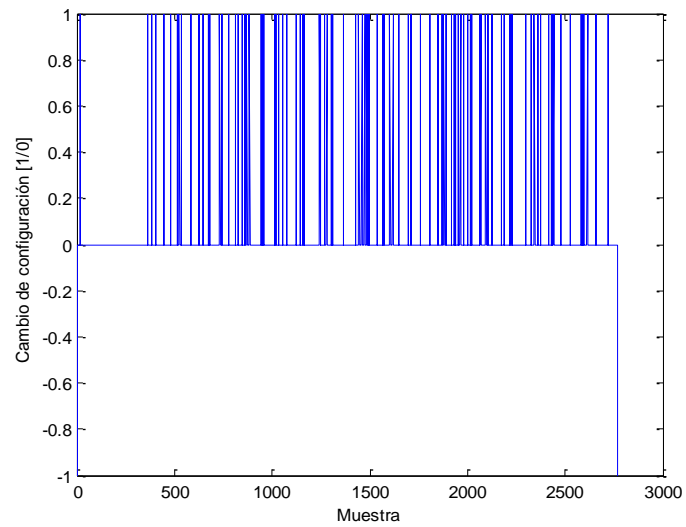


Figura 5-83: Dinámica de conmutación del sistema aplicado la validación de DOA

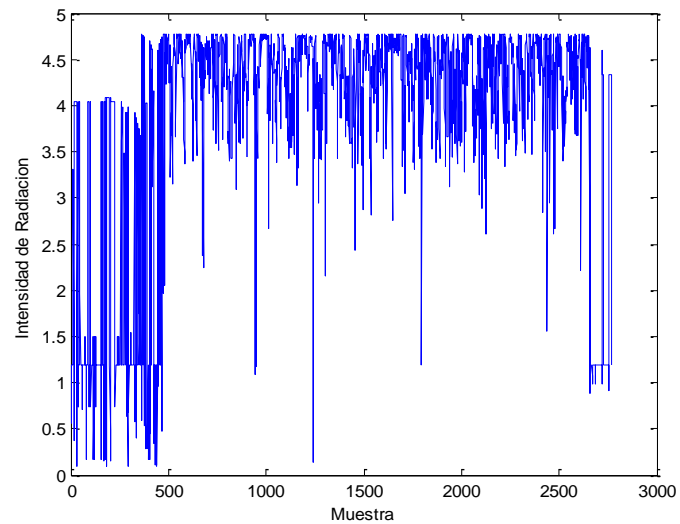


Figura 5-84: Intensidad de radiación del sistema aplicado la validación de DOA

Para probar los efectos combinados del control por histéresis, la validación de la DOA y la existencia de los estados intermedios se desarrolla una simulación basada en la Función `geo_tel_02`, que utiliza el banco de datos `geo_data_ex_05`.

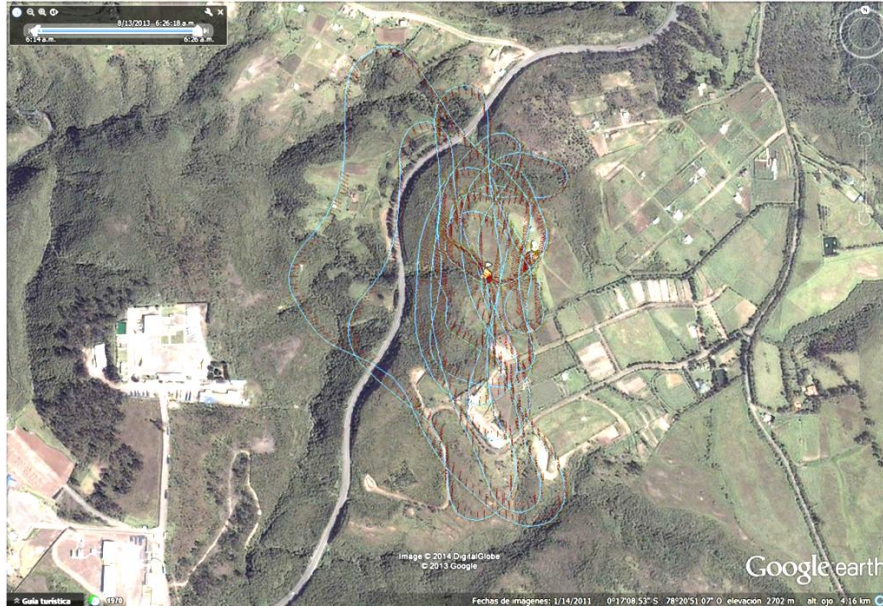


Figura 5-85: Simulación de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05

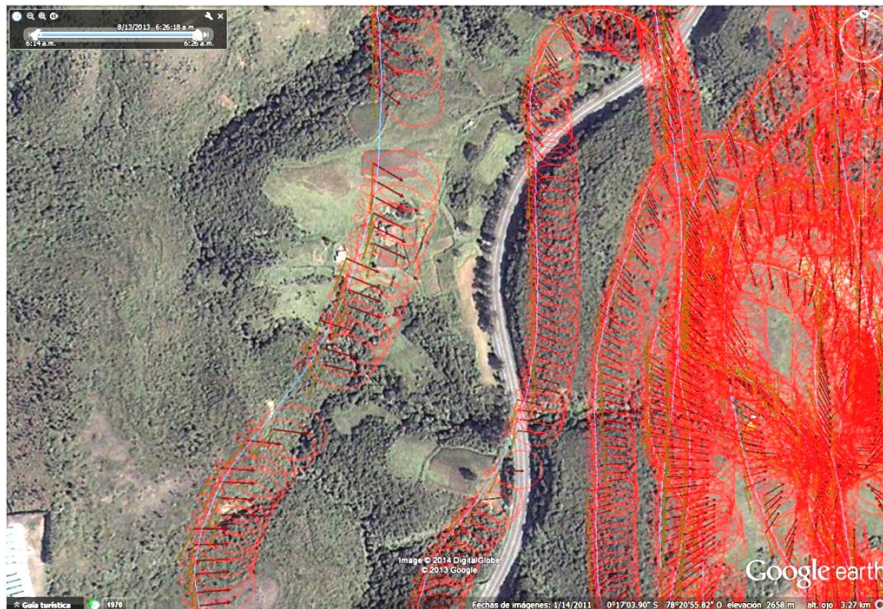


Figura 5-86: Muestra de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05



Figura 5-87: Captura de geo_tel_02 utilizando geo_data_ex_05

Los resultados de la simulación arrojan que el sistema se comporta de forma similar a las simulaciones previas. Los efectos del bloqueo del sistema y de los estados intermedios disminuyen la ganancia del arreglo. Para mejorar el comportamiento del sistema se decide utilizar la información de dirección del autopiloto con el costo de requerir más información. Para comprobar los efectos de la información de dirección se desarrolla una simulación utilizando la Función `geo_tel_03`, que utiliza el banco de datos `geo_data_ex_05`.

La Figura 5-89 se toma como muestra para el análisis, el cual arroja que el sistema mejora la estimación de la DOA al utilizar la información de dirección del autopiloto y que el sistema se comporta de forma más estable.

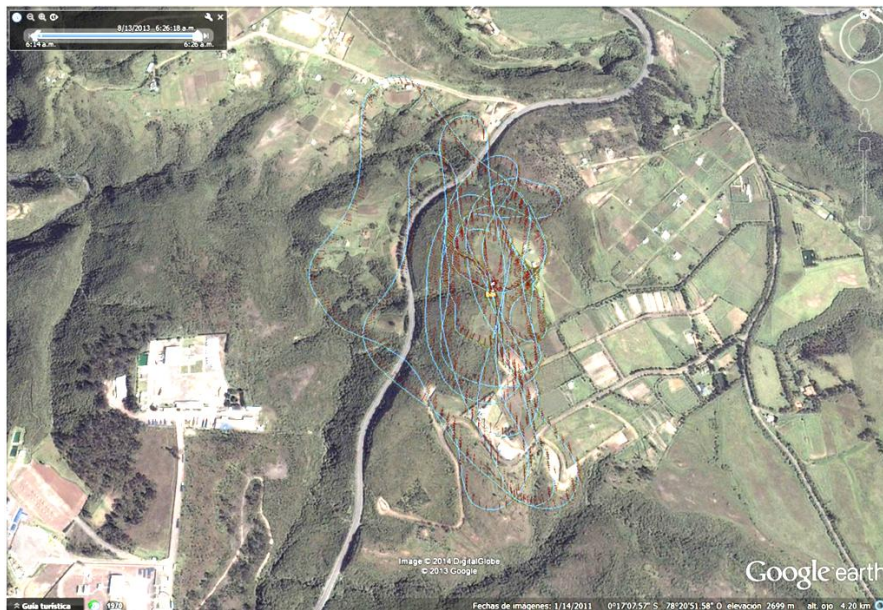


Figura 5-88: Simulación de `geo_tel_03` utilizando `geo_data_ex_05`

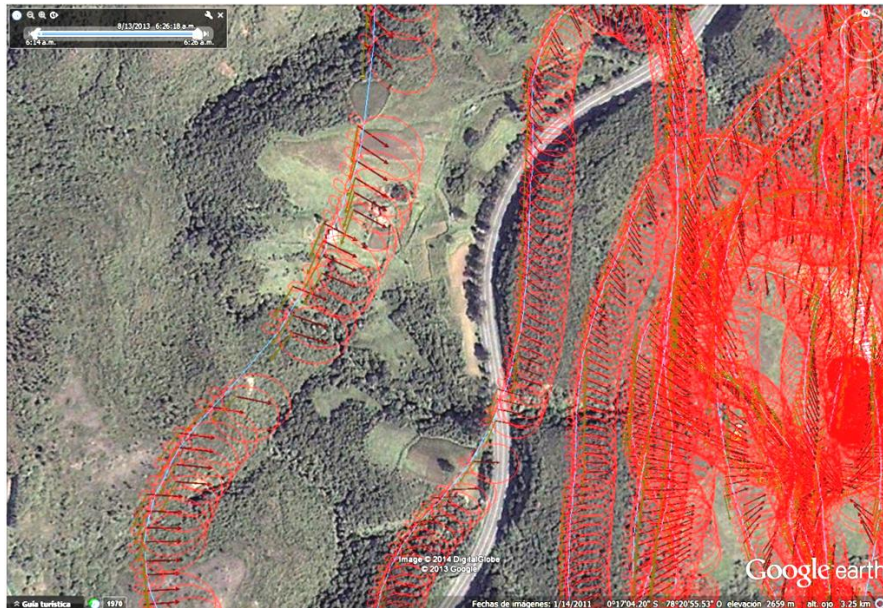


Figura 5-89: Muestra de geo_tel_03 utilizando geo_data_ex_05



Figura 5-90: Captura de geo_tel_03 utilizando geo_data_ex_05

Para comparar de forma cuantitativa el desempeño del sistema con la información de dirección del autopiloto se utiliza la Función `dina_control_03`, que determina la dinámica de conmutación del sistema y la intensidad de radiación dinámica. La Figura 5-91 muestra la dinámica de conmutación del sistema, el análisis muestra que el sistema ya no se bloquea en las maniobras de despegue y aterrizaje; indicando que la validación de DOA arroja la continuidad de operación. La intensidad de radiación de la Figura 5-92 muestra que se ha logrado mejorar la intensidad de radiación promedio del sistema al utilizar la información de dirección del autopiloto, incluso en las etapas de despegue y aterrizaje.

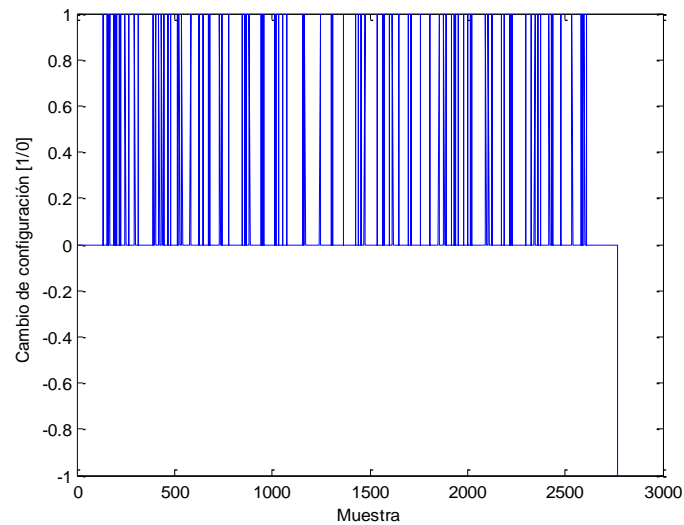


Figura 5-91: Dinámica de conmutación del sistema utilizando la dirección del autopiloto

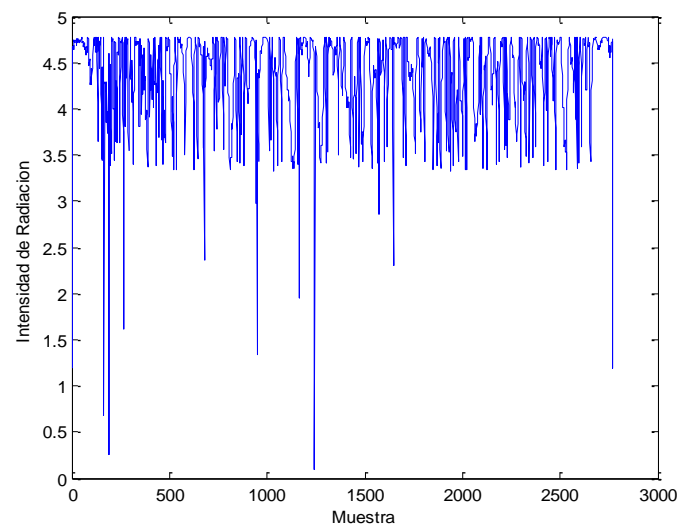


Figura 5-92: Intensidad de radiación del sistema utilizando la dirección del autopiloto

Para estimar los efectos de la aplicación del algoritmo de validación de la DOA y la utilización de la información de dirección provista en el banco de datos, es necesario extraer información estadística de las simulaciones de los códigos pertenecientes a la Función `dina_control_01`, la Función `dina_control_02` y la Función `dina_control_03`. Información como la media y la desviación estándar del estado estable comprendido entre las muestras 467 a 2667, la media y la desviación estándar de toda la simulación y

el conteo de cambio de configuración tanto en estado estable como el total de la simulación para cada rutina se resume en la Tabla 5-20:

Tabla 5-20: Información estadística del algoritmo original y las implementaciones de validación de DOA e información de dirección

	Original	Validación DOA	Heading
Media estable	4.3876	4.3327	4.3596
Desviación estándar estable	0.4063	0.5203	0.4391
Media total	4.0217	3.8623	4.3791
Desviación estándar total	1.0716	1.2157	0.4486
Cambio de configuración estable	184	101	80
Cambio de configuración total	636	107	101

La información de la Tabla 5-20 permite analizar el desempeño de cada mejora respecto al algoritmo original. Comparando la evolución del algoritmo de control con la implementación de la validación de la DOA se observa una caída en la media estable de un 1%, un incremento de la desviación estándar estable del 25%. En el total se observa una caída de desempeño con datos de un decremento de la media del 5% y un aumento de la desviación estándar del 20%. El objetivo de la validación de la DOA es bloquear el sistema si la estimación de DOA es inestable, las mejoras se notan en el conteo de cambio de configuraciones: en el estado estable decae un 45% y en el total se observa una reducción de 6 veces respecto al algoritmo original. Considerando que las diferencias en media son aceptables y la desviación estándar es similar en los dos escenarios, se puede concluir que la validación de la DOA funciona correctamente en un ambiente simulado sin penalizar excesivamente la operación estable. Comparando la utilización de la información de dirección en el algoritmo de control con la validación de DOA, se tiene una mejora en los parámetros estadísticos y en el conteo de cambios de configuración. En el intervalo estable se tiene un aumento de la media cercano al 1% y una reducción de la desviación estándar del 20%. En el total se nota un incremento de la

media del 13%, incluso superior que el algoritmo original, y una reducción de la desviación estándar cercana a la tercera parte de la desviación estándar de la validación de la DOA. En el conteo de cambios de configuración, la utilización de la información de dirección reduce un 20% el número de cambios de configuración en estado estable; y se logra triplicar el número de cambios de configuración en el estado inestable, obteniendo números similares de cambio de conmutación en el total. Debido que la información de dirección es más estable que la estimación diferencial de dirección que se desarrolló, como se observa en la Figura 5-57, se logra mejorar el desempeño del sistema de control con la utilización de dicha información. Incluso se tiene que la información de información en conjunto con la validación de la DOA reduce el número de cambios de configuración ejecutados con parámetros estadísticos de ganancia aceptables.

5.4. Sistemas y Equipos

5.4.1. Estudio de Dispositivos Existentes en el Mercado

Un aspecto importante a considerar en la elección de la arquitectura a emplearse y el sistema a diseñarse son los equipos y componentes disponibles. Desde un punto de vista teórico es posible realizar una implementación de casi cualquier tipo de arquitectura. En general es posible conciliar las discrepancias entre el modelo y su implementación física en una etapa de refinamiento. Sin embargo, llevar una arquitectura a un escenario de implementación involucra el considerar las limitaciones del sistema. Podría suceder que, una arquitectura bien diseñada no puede ser llevada a una etapa de prueba e implementación. Estas circunstancias se definen por las

limitaciones impuestas por la arquitectura y el sistema al que debe incorporarse.

Los criterios impuestos a la arquitectura a desarrollarse en resumen son: bajo costo, bajo consumo de potencia, bajo peso, mínima perturbación al desempeño de la aeronave, entre otras. Si uno o varios de estos criterios no se cumplen, simplemente la arquitectura es inviable de desarrollarse o de implementarse. Hasta ahora se ha definido una arquitectura elemental que define la operación general del sistema, pero no se ha considerado las estructuras o los equipos que permitirán cumplir el desarrollo de la arquitectura.

Una arquitectura de antena inteligente basada en un arreglo de antenas se puede desarrollar de varias maneras, considerando el tipo de antena a utilizarse o el tipo de control a implementarse. Para definir la arquitectura completa es necesario determinar un punto de partida para ampliar todas las opciones disponibles. En el caso de este proceso de diseño se eligió que el punto de partida del sistema sería la adaptabilidad del sistema. Para que el sistema mantenga un nivel alto de adaptabilidad se necesita una amplia capacidad de controlar las variables del sistema.

Las variables que se rigen al sistema son las dimensiones y diseño del arreglo de antenas; los datos de navegación de la aeronave, la señal recibida en cada antena y los retardos de la señal. El espacio y el tipo de MS objetivo restringe el diseño del arreglo de antenas, sin embargo las demás variables no se alteran por la naturaleza de la MS. Con esta información, el primer desarrollo de la arquitectura se orienta hacia el sistema de control. Se define que el sistema de control debe ser capaz de capturar

la señal de las antenas y del transmisor propio de la aeronave, así como los datos de navegación.

El equipo más adecuado para esta tarea es un procesador de alta velocidad que pueda trabajar con la señal en la frecuencia de 900MHz, ya sea en banda angosta o en banda intermedia. Aparte de poder trabajar a 900MHz es necesario que el procesador pueda direccionar las señales en transmisión y en recepción del sistema. Adicionalmente, se necesita que maneje los datos de navegación para evitar estimar la DOA con la información de recepción de cada antena; relegándola a un sistema de refuerzo. Un sistema de estas características en teoría funcionaría en transmisión como un arreglo directivo convencional, pero en recepción se mantendría omnidireccional al depender únicamente del algoritmo de control para recuperar la señal.

La alternativa del procesador ofrece amplias ventajas en el control y promete desarrollar una solución eficiente. Un punto teórico en contra proviene que la potencia sería administrada por el procesador y no por la radio, teniendo como efecto que parte de la potencia del radio se consume en el procesador y nunca es direccionado a través del sistema. Para la implementación de este sistema es necesario encontrar un sistema que permita realizar las tareas mencionadas y que cumpla con los criterios de implementación.

En la búsqueda del procesador surgen varios inconvenientes, entre ellos la falta de candidatos firmes que sean capaces de cumplir los criterios de implementación. Ya sea que el sistema no pueda entrar en la aeronave, el equipo es pesado, no tiene soporte a 900 MHz, o que el sistema soporta pocos puertos de RF; la búsqueda del procesador dejó posibles candidatos a considerarse.

Finalmente, dado que el factor económico decide la posibilidad de implementarse; se decide descartar la utilización de un procesador de alta velocidad dado su alto precio y las pocas garantías de un correcto funcionamiento. Por este motivo se decide que se debe reducir la adaptabilidad del sistema, de un sistema de haz adaptivo hacia un sistema de haz conmutado, para ampliar las opciones basadas en un sistema que opera enteramente en un ambiente de RF y que se relega el procesador a un simple controlador.

Utilizando una arquitectura basada en componentes RF se elimina la posibilidad de generar retardos de señal según la necesidad, dejando líneas de retardo predefinidas para ciertas configuraciones específicas del arreglo de antenas. El sistema utiliza un divisor Wilkinson para repartir la potencia a cada antena, y la señal se retarda utilizando línea de transmisión de una longitud dada. Si se limita las líneas de retardo a una por cada antena, es necesario que el dispositivo de control se comporte como un conmutador matricial.

El requisito indispensable del conmutador matricial es la capacidad de conectar simultáneamente una línea de retardo a cada una de las antenas, es decir un conmutador matricial multicanal. Realizando la búsqueda de conmutadores matriciales, los candidatos se limitan por su peso y tamaño; no por su precio. En este caso se definen varios candidatos posibles a considerarse.

Dado que resulta imposible encontrar un conmutador matricial multicanal se vuelve a diseñar la arquitectura, replanteado la manera en la cual el sistema conmuta la configuración activa. Se decide que cada antena tenga sus propias líneas de retardo y que el controlador conmute individualmente las líneas a utilizarse según sean los

requerimientos. Flexibilizando de esta manera la arquitectura, resulta sencillo encontrar candidatos para los conmutadores 1:2 que se requiere en la arquitectura. Con un amplio espectro de opciones, se concluye que la arquitectura se estabilizará en la actual configuración, necesitando definir los conmutadores individuales.

5.4.2. Dispositivos y Componentes que Integran el Sistema de Antena Inteligente

La arquitectura de antena inteligente de la Figura 5-4 requiere la utilización de diferentes componentes para su funcionamiento. Cada componente del sistema requiere características especiales para su funcionamiento, pero también debe cumplir los requisitos generales del diseño como el tamaño, peso y costo.

El primer dispositivo en ser considerado en la conformación del sistema de antena inteligente fue el procesador central. Inicialmente se consideró la utilización de un procesador que realice la adaptación de la señal, pero los costos de un procesador con las características necesarias excedería cualquier presupuesto razonable. Con la decisión de realizar la adaptación mediante dispositivos RF, el procesador requiere capacidades de transmisión de datos seriales. Adicionalmente, el procesador requiere poseer los puertos de control necesarios para controlar cada uno de los conmutadores SPDT. Finalmente, se decidió utilizar un micro controlador Arduino UNO R3 como el dispositivo encargado de estimar la DOA con los datos del receptor GPS, seleccionar la configuración de arreglo más adecuada y realizar la conmutación de las líneas de retardo.

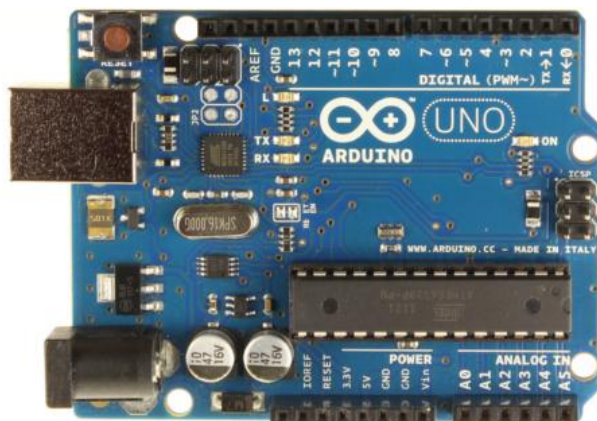


Figura 5-93: Micro controlador seleccionado (Arduino UNO R3) (Arduino)

El micro controlador tiene la tarea de determinar la configuración de arreglo adecuada, sin embargo la configuración se determina según las líneas de retardo elegidas utilizando los conmutadores. Los conmutadores SPDT elegidos deben ser controlados directamente por el micro controlador y evitar la fabricación de un circuito intermedio. Los conmutadores elegidos deben garantizar la transmisión bidireccional de señales para que el sistema de antena inteligente funcione, por lo cual se considera la utilización de conmutadores mecánicos. Al igual que cualquier componente de RF, se requiere que las pérdidas de cada componente no excedan 1dB para que la ganancia del sistema de antena inteligente no se anule por efecto de pérdidas. El modelo de conmutador elegido es el Teledyne CCR-33S8C-T que cumple con todos los requisitos descritos; sin embargo carece de terminación en los puertos, por lo cual es necesario caracterizar el funcionamiento del sistema en desconexión de uno o varios conmutadores.



Figura 5-94: Conmutador SPDT seleccionado (Teledyne CCR-33S8C-T) (Teledyne Technologies Incorporated)

Definido los componentes que permiten el cambio de línea de transmisión, es necesario determinar el dispositivo que permite dividir y combinar la potencia para cada antena del arreglo. Con esto en mente, se decide utilizar un divisor y combinador Wilkinson. El divisor Wilkinson que se pudo obtener es el Instock PD2140, que permite dividir la señal del transmisor para cada una de las cuatro antenas del arreglo.



Figura 5-95: Divisor / Combinador Wilkinson seleccionado (Instock PD2140) (INSTOCK Wireless Components)

El tipo de antena a utilizarse en el sistema de antena inteligente requiere un patrón de radiación omnidireccional en el plano horizontal, un ancho de haz aceptable y que su diseño físico no interfiera excesivamente la aerodinámica de la MS; considerando que debe tener el tamaño adecuado para ser utilizado en el arreglo de antenas. Se decidió utilizar la antena HG903RD-SM de L-Com que tiene un patrón

de radiación similar al modelo de dipolo mejorado y que utiliza una arquitectura de "coaxial sleeve".



Figura 5-96: Antena seleccionada (L-Com HG903RD-SM) (L-com, Inc.)

Finalmente, se decidió que todas las líneas de transmisión, especialmente las líneas de retardo, deberían ser adquiridas para garantizar su correcto funcionamiento. La compañía elegida fue RF-Connector, cuyos arreglos de cables tienen longitudes fijas en pulgadas. Para que las líneas de retardo funcionen adecuadamente fue necesario readecuar el radio del arreglo de antena. Para que el retardo que introducen los cables fueran los correctos, fue necesario reducir el radio del arreglo de antenas de un 25% de la longitud de onda hacia un 22%.

Investigando los costos de cada componente, se pudo realizar un presupuesto para los componentes y otro para los cables, que se muestran en la Tabla 5-21 y la Tabla 5-22.

Tabla 5-21: Presupuesto de dispositivos para sistema de antena inteligente

Equipos						
	Dispositivo	Marca	Modelo	Precio Individual	Cantidad	Total
1	Divisor Wilkinson 1:4	InStock	PD1140	\$ 50.00	1	\$ 50.00
2	Antena 3dbi	L-Com	HG903RD-SM	\$ 11.95	4	\$ 47.80
3	Switch SPDT	Teledyne	CCR-33S8C-T	\$ 157.43	8	\$ 1,259.44
4	Micro controlador	Arduino	Uno R3	\$ 45.00	1	\$ 45.00
*	Otros Materiales			\$ 50.00	1	\$ 50.00
Total						\$ 1,452.24

Tabla 5-22: Presupuesto de líneas de transmisión para sistema de antena inteligente

Líneas de Transmisión						
	Conexión	Marca	Modelo	Precio Individual	Cantidad	Total
5	Radio - Wilkinson	RF Cable Assembly	RFW-8840	\$ 15.85	1	\$ 15.85
6	Wilkinson - Switch	L-Com	CCS316-08	\$ 15.85	4	\$ 63.40
7	Línea de retardo	RF Cable Assembly	RFW-3260	\$ 30.00	8	\$ 240.00
8	Switch-Antena	RF Cable Assembly	RFW-5034	\$ 16.68	4	\$ 66.72
Total						\$ 385.97

Ante la necesidad de demostrar el funcionamiento real del sistema, es poco razonable presentar un presupuesto completo del sistema sin conocer si el sistema funciona con los equipos propuestos. Considerando este factor, se solicita un presupuesto menor al estimado de \$2500 para realizar una etapa de caracterización de componentes que permita mostrar que las diferentes etapas del sistema de antena inteligente funcionen. Con esto en mente, se modifica los presupuestos para incluir los componentes mínimos y otros que serán utilizados exclusivamente para las pruebas de caracterización, como son líneas de transmisión utilizadas para interconexión de componentes que no se conectan de la misma manera en el sistema de antena inteligente en comparación a las pruebas de caracterización. Los presupuestos para caracterización se presentan en la Tabla 5-23, manteniendo un presupuesto de cables similar al planteado en la Tabla 5-22.

Tabla 5-23: Presupuesto de dispositivos para pruebas de caracterización

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Total
1	Divisor Wilkinson 1:4	1	\$ 50.00
2	Antena 3dbi	4	\$ 47.80
3	Switch SPDT	2	\$ 327.98
4	Micro controlador	1	\$ 45.00
5	Cable Radio - Wilkinson	1	\$ 15.85
7	Cable Línea de retardo	6	\$ 180.00
8	Cable modificado Switch-Antena	4	\$ 66.72
*	Otros Materiales		\$ 50.00
		Total	\$ 783.35

El Anexo H muestra una descripción breve de los materiales para las pruebas de caracterización, junto con las facturas de la adquisición de los dispositivos.

6. Capítulo II: Caracterización de la Antena

Inteligente

6.1. Objetivos del Banco de Pruebas

Después de definir el diseño del sistema de antena inteligente, es necesario comprobar sus características operativas reales. La realización de pruebas para cada componente y sistema permitirá contrastar la operación real con la operación teórica del sistema. A pesar que es imposible llevar al sistema inteligente hacia una etapa de implementación, por la falta de una MS apta y los limitados recursos económicos, los resultados de las pruebas mostrarán las posibilidades de implementación del sistema en el futuro. La realización de las pruebas permitirá detectar fallas de operación de cada módulo y los requerimientos futuros para la integración completa del sistema.

Las pruebas se enfocan en determinar el funcionamiento del sistema en tres aspectos diferentes:

1. Funcionamiento real del arreglo de antenas.
2. Funcionamiento de los componentes del sistema.
3. Funcionamiento del algoritmo de control en tiempo real.

Para comprobar el funcionamiento del arreglo de antenas se definió el banco de pruebas de caracterización de antenas, que busca determinar si los componentes adquiridos para el arreglo de antenas como son las antenas y las líneas de retardo corresponden al diseño del arreglo, o si el diseño

del arreglo debe sufrir modificaciones para alcanzar el desempeño deseado. Dentro de este banco de pruebas se considera el efecto de la utilización de dispositivos reales, tanto en penalizaciones como en sus capacidades de integración como sistema y dentro de la MS. Considerando que el sistema utiliza conmutadores para adaptarse, es necesario determinar el efecto de utilizar esta topología. Con tal de caracterizar los conmutadores y los efectos de su desconexión se define el banco de pruebas de caracterización de control de antenas. Finalmente, es necesario caracterizar y ajustar el algoritmo de control para su utilización dentro del sistema de antena inteligente. Con el objetivo de comprobar la correcta conmutación del sistema, se diseña el banco de pruebas de caracterización del algoritmo de control.

La realización de estos bancos de prueba permite comprobar mayoritariamente el funcionamiento del sistema de antena inteligente con una fracción del costo total del sistema, facilitando la posterior etapa de integración utilizando la mayoría de componentes adquiridos en la etapa de caracterización.

6.2. Pruebas de Caracterización de Arreglo de Antenas

6.2.1. Prueba de Caracterización de Línea de Retardo

La arquitectura de la Figura 5-4 indica que el procesamiento de la señal se realiza a través de conmutadores que direccionan las señales hacia líneas de transmisión de una longitud específica. El objetivo de estas líneas de transmisión es de retrasar la señal que las atraviesa para otorgar la fase adecuada para operar una configuración de arreglo de antenas específico. Para que el sistema de antena inteligente opere adecuadamente, es

necesario comprobar las propiedades de las líneas de transmisión que se utilizan como líneas de retardo en parámetros de operación como el retardo de propagación y la fase introducida. Si los parámetros de retardo o fase no son los adecuados, la solución más sencilla es reconfigurar la distribución física del arreglo de antenas, aumentando o reduciendo el radio de la circunferencia de las antenas periféricas del arreglo.

Prueba 1: Estimación de la fase de las líneas de retardo

Objetivo: Determinar que la fase producida por cada línea de retardo concuerde con los requerimientos del arreglo de antenas.

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Redes
- Cables de interconexión
- Líneas de retardo
- Juego de Conectores

Esquema:

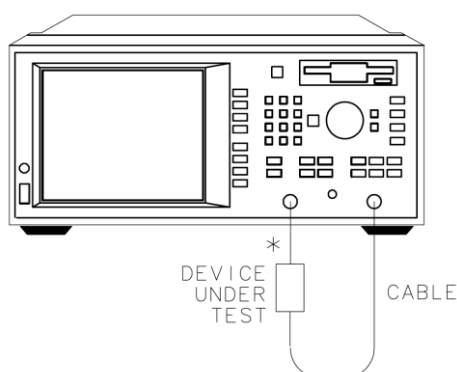


Figura 6-1: Esquema para la primera prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000)

Método de Medición:

Para la medición de la fase se utiliza el analizador de redes. Conectado el cable de prueba al analizador de redes

es posible determinar el retardo en fase de la señal en función de la frecuencia. En la prueba se utilizaron dos cables de 6 pulgadas para la conexión entre el analizador de redes y el cable de prueba. Debido a la naturaleza del análisis, no se estima la fase de los cables de conexión por cuanto el análisis diferencial elimina la fase introducida por los mismos. Las mediciones se presentan en la Figura 6-2, Figura 6-3, Figura 6-4, y Tabla 6-1.

Mediciones:

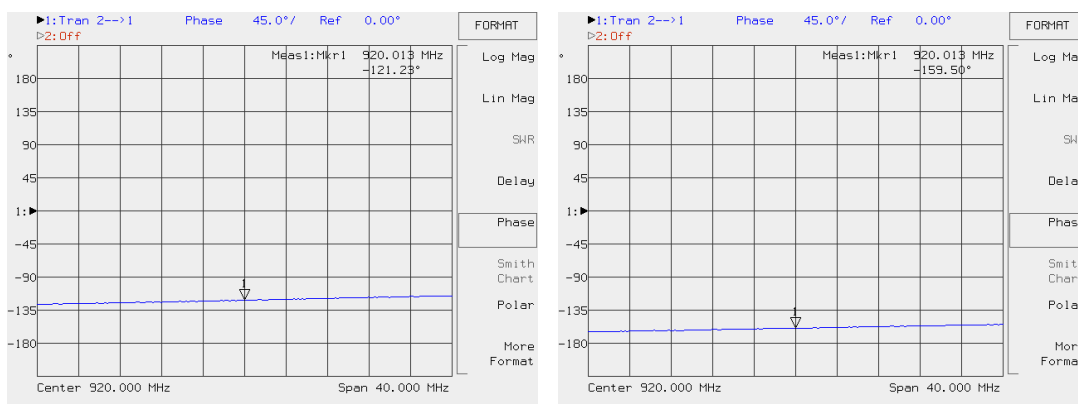


Figura 6-2: Medición de fase para el cable de 2 in (izquierda) y 3 in (derecha)

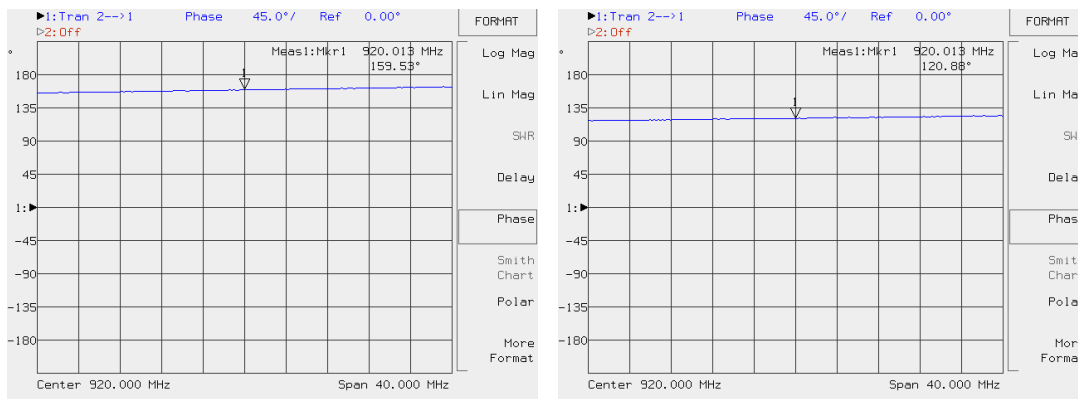


Figura 6-3: Medición de fase para el cable de 4 in (izquierda) y 5 in (derecha)

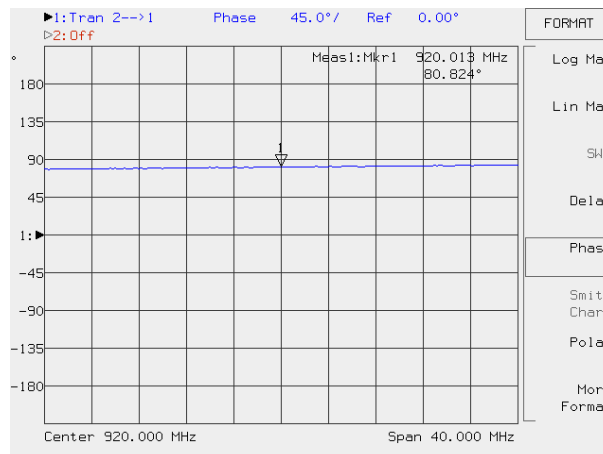


Figura 6-4: Medición de fase para el cable de 6 in

Tabla 6-1: Retardo de fase en función de la longitud del cable de prueba

Longitud de Cable [in]	2	3	4	5	6
Fase obtenida [grados]	-121.23	-159.50	159.53	120.88	80.824

Método de Análisis:

El análisis de la fase de las líneas de retardo consiste en obtener la diferencia de fase entre el cable de 2 pulgadas y el resto de cables. Todos los cables tienen una longitud adicional de 2 pulgadas para conectarse entre dispositivos, por lo que esta adición de fase debe ser eliminada. La fase esperada se estima a partir de la diferencia de longitud de los cables y del porcentaje de la velocidad de la luz de la velocidad de propagación del cable $p_{tl}=0.694$ (Blattenberger), considerando la frecuencia de operación del sistema de 920 MHz. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 6-2.

Resultados:

Tabla 6-2: Estimación del error de fase para las líneas de retardo

Longitud de Cable [in]	2	3	4	5	6
Diferencia de Longitud [in]	0	1	2	3	4
Diferencia de Fase [grados]	0	-38.27	-79.24	-117.89	-158.77
Fase esperada [grados]	0	-40.41	-80.81	-121.22	-161.62
Error Porcentual	0%	5.29%	1.94%	2.74%	1.77%

Conclusiones:

Los resultados del análisis muestran que el error porcentual detectado en la diferencia de fase se encuentran

en valores menores al 10% del valor de fase esperado, por lo que se puede concluir que el arreglo de antenas no necesita ajustes debido a las líneas de retardo por cuanto las fases que se introducen son las que se esperaban.

Prueba 2: Estimación del retraso temporal de las líneas de retardo

Objetivo: Determinar que el retraso temporal producido por cada línea de retardo concuerde con los requerimientos del arreglo de antenas.

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Redes
- Cables de interconexión
- Líneas de retardo
- Juego de Conectores

Esquema:

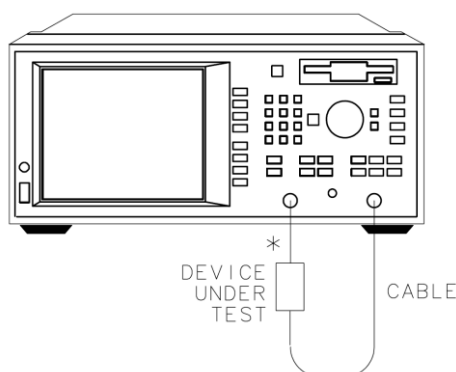


Figura 6-5: Esquema para la segunda prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000)

Método de Medición:

La medición del tiempo de retardo es similar a la prueba de retardo de fase. Se caracteriza el retardo de cada cable utilizando el analizador de redes, sin embargo se considera que la dimensión del tiempo de retardo es comparable con los niveles de ruido del sistema. Para obtener un valor de retardo aceptable, se realizan varias muestras de barrido

en el analizador de redes para obtener un valor medio. Adicionalmente se obtiene una muestra de cada cable con la función "Average" del analizador de redes, que minimiza el efecto del ruido. En total se realizan un total de cinco muestras normales y una muestra con la función "Average" del analizador para los valores de cable de 2, 3, 4, 5 y 6 pulgadas. Para la conexión se utilizan dos cables de seis pulgadas, pero debido al análisis diferencial no se estima el retardo de los cables de conexión por cuanto este parámetro se elimina en el análisis.

Mediciones:

Tabla 6-3: Retardo promedio obtenido en función de la longitud del cable

Muestra Promedio	2 [in]	3 [in]	4 [in]	5 [in]	6 [in]
Muestra 1 [ns]	-0.83	-0.69	-0.58	-0.50	-0.33
Muestra 2 [ns]	-0.78	-0.68	-0.62	-0.48	-0.37
Muestra 3 [ns]	-0.75	-0.69	-0.52	-0.52	-0.37
Muestra 4 [ns]	-0.79	-0.72	-0.59	-0.52	-0.32
Muestra 5 [ns]	-0.81	-0.70	-0.62	-0.43	-0.39
"Average" [ns]	-0.82	-0.71	-0.59	-0.47	-0.35
Promedio [ns]	-0.80	-0.70	-0.59	-0.49	-0.36

Método de Análisis:

El análisis es similar al realizado para la fase, pero en este caso se utilizan los valores promedio de la muestra obtenida con la función "Average" del analizador de redes y el promedio de las muestras restantes. Se realiza la diferencia entre los diferentes cables y los valores promedio para el cable de dos pulgadas. Se calcula el valor de error porcentual a partir de los valores esperados, que se estima a partir del tiempo que la onda electromagnética propagarse en el espacio libre. El análisis de las muestras de la Tabla 6-3 se muestran en la Tabla 6-4 para la muestra de la función "Average" y la Tabla 6-5 para el promedio de las muestras restantes.

Resultados:

Tabla 6-4: Estimación del error de retardo para las líneas de retardo

Diferencia [in]	Valor Esperado [ns]	Diferencia Función "Average" [ns]	Error Porcentual
0	0.00	0.00	0
1	0.12	0.11	-9.83%
2	0.24	0.23	-4.10%
3	0.37	0.35	-4.37%
4	0.49	0.47	-4.10%

Tabla 6-5: Estimación del error de retardo para las líneas de retardo

Diferencia [in]	Valor Esperado [ns]	Diferencia Promedio [ns]	Error Porcentual
0	0.00	0.00	0
1	0.12	0.10	-18.85%
2	0.24	0.21	-13.93%
3	0.37	0.31	-15.57%
4	0.49	0.44	-10.04%

Conclusiones:

Los resultados del análisis muestran que los datos obtenidos utilizando la función Average del analizador de redes tienen un menor porcentaje de error que los datos obtenidos sin la utilización de dicha función. Los valores de error porcentual se encuentran en rangos aceptables respecto a la capacidad de utilizar los cables como líneas de retardo según el diseño del arreglo de antenas. Se concluye que los valores de fase y retardo de las líneas de transmisión permiten su utilización dentro del diseño de antena inteligente sin tener que modificar la distribución física del arreglo de antenas.

6.2.2. Prueba de Caracterización de Arreglo de Antenas

El sistema de antena inteligente funciona con el cambio conmutado de las configuraciones de radiación del arreglo de antenas. Para que el sistema funcione correctamente y sea candidato a implementarse en la MS es necesario corroborar las propiedades radiantes de las configuraciones del arreglo de antenas. Las características radiantes del

arreglo de antenas a comprobarse con la ganancia máxima y el ancho de haz efectivo. La ganancia máxima permite estimar el rango en el cual se puede extender la distancia máxima de enlace. El ancho de haz en acimut permite comprobar si el número de configuraciones disponibles son suficientes para la operación del sistema; y el ancho de haz en elevación es un indicador de la inclinación máxima que puede permitir el sistema de antena inteligente en operación.

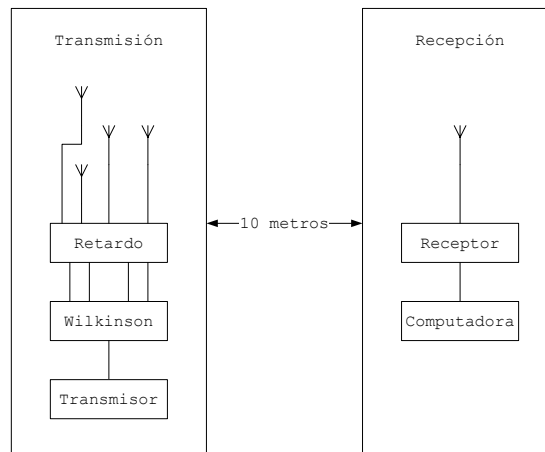
Prueba 3: Caracterización del arreglo de antenas

Objetivo: Comprobar que el funcionamiento del arreglo de antenas concuerde con el diseño teórico y que pueda ser utilizado en el sistema de antena inteligente.

Escenario: Prueba de campo realizada en la cima del cerro Monjas, previa autorización de la Dirección General de Aviación Civil.

Equipos:

- Líneas de retardo
- Cables de interconexión
- Divisor Wilkinson
- 4 antenas para el arreglo
- Montura de arreglo de antenas
- 1 antena para la estación de recepción
- 2 routerboard Mikrotik RB411
- 2 fuentes PoE
- 2 tarjetas Ubiquiti XR9
- 2 mesas
- 2 extensiones de 10 metros
- 1 computadora

Esquema :**Figura 6-6: Esquema para la tercera prueba****Método de Medición:****Figura 6-7: Arreglo de antenas**

Para caracterizar el arreglo de antenas es necesario utilizar una cámara anecoica o realizar una prueba de campo abierto y así reducir el efecto del multipath. Debido a que no existe una cámara anecoica disponible en el momento de caracterizar el arreglo de pruebas, se decide realizar la caracterización mediante una prueba de campo. Los requisitos para la prueba de campo son: distancia de campo lejano y apertura de campo. Se requiere de una distancia de campo lejano para considerar al arreglo como puntual y las ondas electromagnéticas del enlace se puedan considerar como ondas planas. Se requiere que exista la cantidad mínima de objetos en el campo de prueba para evitar la

existencia de multipath. Para la frecuencia de operación del sistema de 920 MHz (longitud de onda aproximada de 33 centímetros) se define que una distancia aproximada de 10 metros (aproximadamente 30 longitudes de onda), es suficiente para caracterizar el arreglo de antenas. Se podría utilizar una mayor distancia para reducir el efecto del multipath, sin embargo se requeriría mayores esfuerzos logísticos para la realización de la prueba. Teniendo en cuenta la necesidad de reducir el multipath en el escenario y los requerimientos logísticos de la prueba (ambiente seco, recursos eléctricos, superficie plana), se decidió realizar la prueba en instalaciones de la Dirección General de Aviación Civil ubicadas en la cima del cerro Monjas. Pidiendo la autorización respectiva y comprobando que los equipos utilizados para la prueba no interfieran con los equipos de las instalaciones, se realizó la prueba de caracterización del arreglo de antenas.

La prueba de caracterización del arreglo de antenas consiste en la utilización de dos equipos transmisores iguales separados a una distancia aproximada de 10 metros. Una estación utiliza el arreglo de antenas (estación de transmisión) y la otra estación utiliza una antena omnidireccional (estación de recepción). La prueba de caracterización consiste en medir la potencia recibida en la estación de recepción para posiciones específicas del arreglo de antenas en sus dos configuraciones canónicas (0 grados y 180 grados). Las direcciones clave para el arreglo de antenas son: dirección de máxima radiación, 30 grados de acimut respecto a la dirección de máxima radiación y 30 grados de elevación respecto a la dirección de máxima radiación. La primera dirección permite estimar la ganancia máxima del arreglo, la segunda dirección permite estimar si los límites de decisión del sistema de control son

adecuados para la operación del sistema y la tercera dirección permite estimar la inclinación máxima del sistema. Para eliminar las características del escenario, antes de realizar las mediciones con cada configuración del arreglo se realizan mediciones utilizando únicamente una antena del arreglo de antenas, como se muestra en la Figura 6-8.

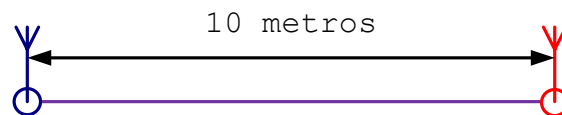


Figura 6-8: Medición de control

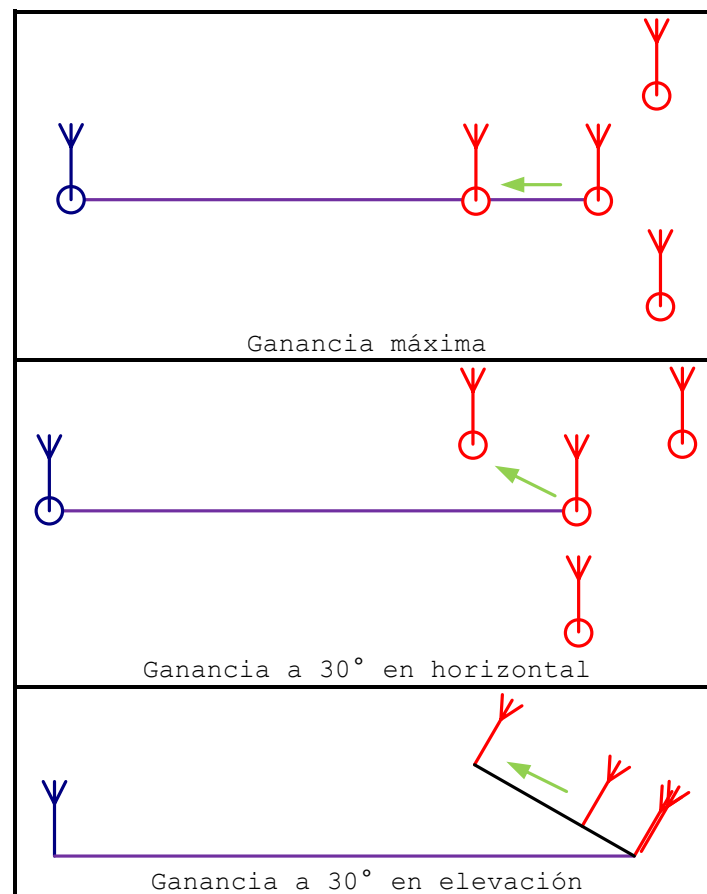


Figura 6-9: Esquema de Mediciones para la configuración 1 (DOA=0°)

Para la caracterización del arreglo de antenas se realizaron mediciones en tres puntos críticos: ganancia en dirección de ganancia máxima, ganancia a 30 grados en horizontal de la dirección de ganancia máxima y ganancia a 30 grados en elevación de la dirección de ganancia máxima.

La disposición física del arreglo en cada medición se muestra en la Figura 6-9 para la configuración 1 y la Figura 6-10 para la configuración 2. Se utiliza en el análisis el promedio de las tres muestras, que se resume en la Tabla 6-6 para la configuración 1 y la Tabla 6-7 para la configuración 2.

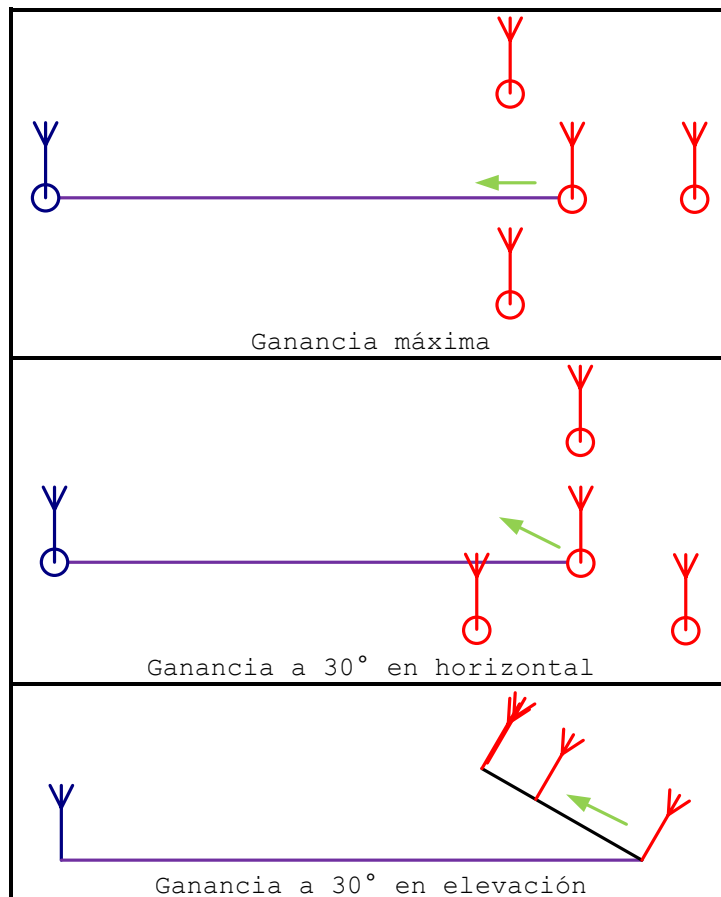


Figura 6-10: Esquema de Mediciones para la configuración 2 (DOA=60°)

Mediciones:

Tabla 6-6: Mediciones de potencia recibida para DOA=0° del arreglo de antenas

Medición	Ganancia [dBm]			
	Control	Máxima	30° en Horizontal	30° en Elevación
1	-80	-77	-80	-78
2	-79	-77	-79	-77
3	-80	-77	-79	-78
Promedio	-79.66	-77	-79.33	-77.33

Tabla 6-7: Mediciones de potencia recibida para DOA=60° del arreglo de antenas

Medición	Ganancia [dBm]			
	Control	Máxima	30° en Horizontal	30° en Elevación
1	-73	-69	-74	-72
2	-73	-69	-74	-72
3	-74	-70	-74	-73
Promedio	-73.33	-69.33	-74	-72.33

Método de Análisis:

Para el análisis del arreglo de antenas se utiliza los datos de la simulación de la Rutina `array_pattern_v2`, considerando los resultados de pérdidas en los componentes estimados en la prueba de caracterización de pérdidas con un valor de -0.889 dB. Con el objetivo de evitar distorsionar el patrón de radiación teórico, la ganancia de elevación en decibeles se obtiene mediante la razón entre la potencia del arreglo en la posición inclinada para la potencia del modelo de antena utilizado en la dirección de máxima ganancia. Adicionalmente, se considera el efecto de la polarización en una inclinación de 30 grados con un valor de -1.249 dB, que corresponde a una degeneración del 75% de la potencia de la señal en magnitud. El resumen de la ganancia estimada se presenta en la Tabla 6-8. Se realizan dos estimaciones del error en esta caracterización: la primera estima el error a partir de la ganancia estimada de cada configuración con la ganancia obtenida en la prueba; la segunda consiste en estimar el error de la caída de ganancia en los puntos de elevación y lóbulo respecto al punto de ganancia máxima. La estimación del error en ganancia se muestra en la Tabla 6-9 y la estimación del error de caída de ganancia se muestra en la Tabla 6-10.

Tabla 6-8: Estimación de la ganancia real del arreglo de antenas

Configuración	Ganancia	Máxima	30° en Horizontal	30° en Elevación
DOA=0°	Teórico [dB]	6.02	4.97	4.55
	Penalizaciones [dB]	-0.889	-0.889	-2.138
	Estimado [dB]	5.131	4.081	2.412
DOA=60°	Teórico [dB]	6.02	4.99	4.55
	Penalizaciones [dB]	-0.889	-0.889	-2.138
	Estimado [dB]	5.131	4.101	2.412

Resultados:**Tabla 6-9: Cálculo del error en la ganancia del arreglo de antenas**

Configuración	Ganancia	Máxima	30° en Horizontal	30° en Elevación
DOA=0°	Estimado [dB]	5.131	4.081	2.412
	Medido [dB]	2.66	0.33	2.33
	Error [%]	-48.15 %	-91.91 %	-3.39 %
DOA=60°	Estimado [dB]	5.131	4.101	2.412
	Medido [dB]	4	-0.66	1
	Error [%]	-22.04 %	-116.09 %	-58.54 %

Tabla 6-10: Cálculo del error usando la diferencia de ganancia

Configuración	Diferencia	Horizontal	Elevación
DOA=0°	Estimado [dB]	-1.05	-2.724
	Medido [dB]	-2.33	-0.33
	Error [%]	121.90 %	-87.89 %
DOA=60°	Estimado [dB]	-1.03	-2.724
	Medido [dB]	-4.66	-3
	Error [%]	352.43 %	10.13 %

Interpretación y Conclusiones:

Los resultados del análisis arrojan que el patrón de radiación obtenido en la medición difiere del modelo teórico realizado en el diseño. Parte del error encontrado se encuentra en la resolución de 1dB del sistema de lectura propio de los transmisores, que impide obtener valores más precisos de potencia. Sin embargo, una variación de 1dB no explica la diferencia entre la información estimada y la información obtenida de la prueba; en otras palabras, la resolución de la medición no afecta la conclusión del análisis y las mediciones de la prueba son consideradas válidas.

Para estimar si la divergencia del funcionamiento real del arreglo se debe a la frecuencia utilizada en los equipos,

que no necesariamente es la frecuencia del diseño, se realiza una simulación de la caída de ganancia. Para ello se utiliza la Función `lob_vs_freq` considerando que el radio del arreglo y la longitud de la antena son fijos. La Figura 6-11 muestra los resultados de la simulación, para el rango de operación de la antena, resultados que muestran que la frecuencia no explica la caída de ganancia.

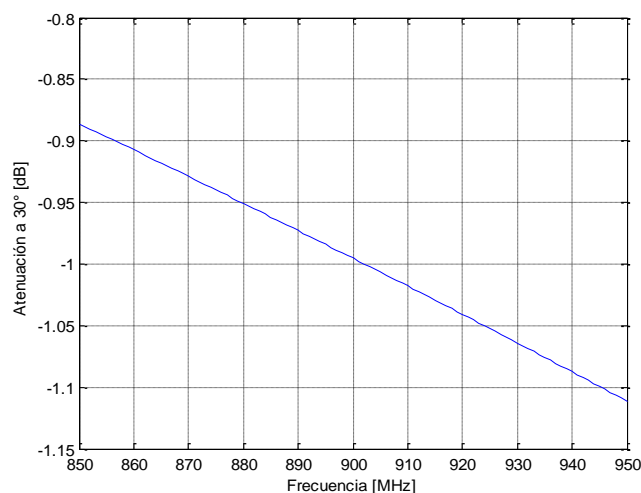


Figura 6-11: Atenuación a 30 grados en función de la frecuencia

A pesar que los resultados de la prueba muestran que el patrón de radiación obtenido no corresponde al diseño del arreglo de antenas empleado; sin embargo, es posible que la modificación en el funcionamiento del arreglo de antenas se deba a las capacidades de discriminación del receptor. Si se maneja la hipótesis que el receptor interpreta la señal recibida como un producto del multipath de la SOI. Al existir varias señales, es posible que el receptor decida escoger la señal de mayor intensidad como la SOI y que esta señal en realidad se encuentre penalizada por el efecto de la discriminación del resto de señales. Para determinar el efecto de la discriminación de la señal, se decide realizar un análisis geométrico utilizando una señal sinusoidal como la SOI, en los escenarios donde la señal se encuentre a 0 grados y a 30 grados. Utilizando la Figura 5-29 como

referencia, se determina la fase de cada señal a la salida del arreglo, considerando la fase de la señal en el espacio libre y la fase por la línea de retardo. Los cálculos de fase se presentan en la Tabla 6-11 para una señal a 0 grados y la Tabla 6-12 para una señal ubicada a 30 grados.

Tabla 6-11: Fase para una señal a 0 grados con una configuración de 0 grados

Antena	1	2	3	4
Fase propagación	0	-0.75π	-0.75π	-0.5π
Fase línea de retardo	-0.75π	0	0	-0.25π
Fase total	-0.75π	-0.75π	-0.75π	-0.75π

Tabla 6-12: Fase para una señal a 30 grados con una configuración de 0 grados

Antena	1	2	3	4
Fase propagación	0	-0.43π	-0.87π	-0.43π
Fase línea de retardo	-0.75π	0	0	-0.25π
Fase total	-0.75π	-0.43π	-0.87π	-0.68π

Para obtener la señal que recupera el receptor, es necesario sumar las señales sinusoidales de cada evento y obtener la relación en decibeles entre la señal de mayor intensidad a 30 grados y la señal a 0 grados.

$$S(0) = \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi)$$

$$\hat{S}(0) = 4 * \sin(\omega t - 0.75\pi)$$

Ecuación 49

$$S(30) = \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.43\pi) + \sin(\omega t - 0.87\pi) + \sin(\omega t - 0.68\pi)$$

$$S(30) = \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi + 0.32\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi - 0.12\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi + 0.07\pi)$$

$$S(30) = \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi)\cos(0.32\pi) + \cos(\omega t - 0.75\pi)\sin(0.32\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi)\cos(0.12\pi) - \cos(\omega t - 0.75\pi)\sin(0.12\pi) + \sin(\omega t - 0.75\pi)\cos(0.07\pi) + \cos(\omega t - 0.75\pi)\sin(0.07\pi)$$

$$S(30) = \sin(\omega t - 0.75\pi) [1 + \cos(0.32\pi) + \cos(0.12\pi) + \cos(0.07\pi)] + \cos(\omega t - 0.75\pi) [\sin(0.32\pi) - \sin(0.12\pi) + \sin(0.07\pi)]$$

$$S(30) = \sin(\omega t - 0.75\pi) [1 + 0.544 + 0.934 + 0.978] \\ + \cos(\omega t - 0.75\pi) [0.839 - 0.356 + 0.209]$$

$$S(30) = 3.456 \sin(\omega t - 0.75\pi) + 0.692 \cos(\omega t - 0.75\pi)$$

$$S(30) = 2.734 \sin(\omega t - 0.75\pi) + \sin(\omega t + 0.243\pi)$$

$$\boxed{\hat{S}(30) = 2.734 \sin(\omega t - 0.75\pi)}$$

Ecuación 50

$$L = 20 \log \left(\frac{\hat{S}(30)}{\hat{S}(0)} \right)$$

$$L = 20 \log \left(\frac{2.734 \sin(\omega t - 0.75\pi)}{4 * \sin(\omega t - 0.75\pi)} \right)$$

$$L = 20 \log \left(\frac{2.734}{4} \right)$$

$$\boxed{L = -3.31 [dB]}$$

Ecuación 51

El valor obtenido de -3.31 dB en la Ecuación 51 explica adecuadamente la penalización de ganancia por el efecto de la coherencia de la señal en el receptor, sin embargo se maneja la hipótesis que la fase de la segunda señal es suficiente para que el receptor lo maneje como dos señales distintas. Se sugiere que se compruebe dicha teoría en una prueba de laboratorio que utilice líneas de retardo y un segundo divisor Wilkinson para eliminar los efectos de la prueba de campo y determinar el límite de discriminación. Utilizando las líneas de retardo adicionales, es posible obtener los retardos de fase para una DOA dada; utilizando las líneas de retardo normales para la configuración activa y el segundo Wilkinson para recombinar, es posible obtener la señal recombinada sin utilizar el arreglo de antenas.

A pesar que los resultados de las pruebas muestran pérdidas notables, las características del arreglo real son suficientes para ser implementados dentro del sistema

considerando que el ancho de haz en acimut es similar a los límites de operación de cada configuración disponible. La ganancia obtenida, considerando la resolución de la lectura de potencia en el receptor, es similar a la esperada en el modelo teórico. Es preferible estimar la ganancia máxima del sistema en 3dB y una ganancia mínima en el límite de decisión de 0 dB. La ganancia que aporta el arreglo de antenas actual permite tener una mejora en distancia de hasta el 41%, comparada con la utilización de una sola antena del arreglo.

6.2.3. Prueba de Caracterización de Pérdidas

Para analizar la conveniencia de implementar la solución de un sistema de antena inteligente, es necesario comprobar que la ganancia del sistema sea lo suficientemente superior a las pérdidas introducidas por los componentes utilizados. Utilizando la arquitectura de la Figura 5-4, la señal de radiofrecuencia atraviesa diferentes componentes a través del sistema de antena inteligente. Utilizando la señal transmitida, es posible enumerar los elementos en los cuales se propaga la señal:

1. Cable de conexión entre el transmisor y el divisor Wilkinson.
2. Divisor Wilkinson.
3. Cable de conexión entre el divisor Wilkinson y el conmutador.
4. Los conmutadores de línea de transmisión.
5. El cable utilizado para retardar la señal, ubicado entre los conmutadores.
6. Cable de conexión entre el conmutador y la antena.

La señal para llegar a la antena tendría que atravesar un total de tres dispositivos diferentes y cuatro cables de conexión; siendo uno de los cables de longitud variable.

Prueba 4: Caracterización de pérdidas en cables

Objetivo: Estimar las pérdidas producidas por la utilización de los cables de conexión y las líneas de retardo.

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Redes
- Cables de interconexión
- Líneas de retardo
- Juego de Conectores

Esquema:

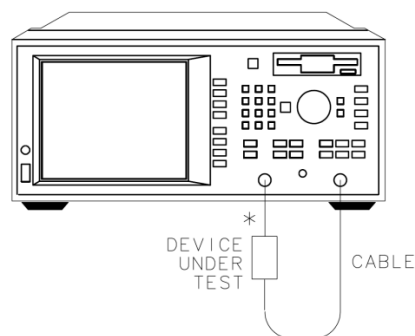


Figura 6-12: Esquema para la cuarta prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000)

Método de Medición:

Para determinar la pérdida introducida por cada componente se realiza una prueba de laboratorio utilizando un analizador de redes. Para medir las pérdidas en cables se utilizan únicamente dos cables de 6 pulgadas que se deben caracterizar y los conectores necesarios para conectar los cables en el analizador de redes. Para estimar las pérdidas introducidas por los cables de conexión se utiliza un tercer cable de 6 pulgadas como cable de análisis. De esta manera, el resultado del analizador de redes corresponde a las pérdidas de los tres cables de igual longitud. Con esta condición, es posible determinar la pérdida de inserción del cable de 6 pulgadas como un tercio de la pérdida

mostrada por el analizador de redes. Con este valor, es posible determinar las pérdidas introducidas por los demás cables restando las pérdidas de los cables de conexión. Realizando la consideración adicional de incluir las pérdidas de los conectores en las pérdidas del cable, es necesario determinar las pérdidas de los cables únicamente por la longitud de cada uno. Las pérdidas en cables se realizaron para las longitudes de 2 a 6 pulgadas debido que son los cables utilizados en las líneas de retardos o en los cables de interconexión. Los valores obtenidos en el analizador de redes y el valor de las pérdidas del cable por longitud se muestran en la Tabla 6-13.

Mediciones:

Tabla 6-13: Mediciones de las pérdidas de propagación en función de la longitud del cable

Longitud [in]	2	3	4	5	6
Medición [dB]	-0.252	-0.272	-0.288	-0.276	-0.315
Pérdidas del Cable [dB]	-0.042	-0.062	-0.078	-0.066	-0.105

Método de Análisis:

Para contrastar los resultados obtenidos con el analizador de redes, se utiliza la información técnica del cable RG316(Blattenberger) para determinar las pérdidas en función de la longitud del cable. Para estimar la diferencia entre el valor obtenido en la prueba y el valor esperado en función de la información técnica del cable se utiliza el estimador del error porcentual. La información del error se resume en la Tabla 6-14.

Resultados:

Tabla 6-14: Cálculo del error de las pérdidas en los cables de transmisión

Longitud [in]	2	3	4	5	6
Pérdidas Reales [dB]	-0.042	-0.062	-0.078	-0.066	-0.105
Pérdidas Estimadas [dB]	-0.033	-0.05	-0.066	-0.083	-0.1
Error Porcentual	27.27%	24%	18.18%	-20.77%	5%

Conclusiones:

La principal causa del error se encuentra en la adición de las pérdidas de los conectores en la pérdida general del cable y no únicamente en las pérdidas por longitud de la estimación. Si bien los errores porcentuales son relativamente altos, se los considera como valores válidos por la existencia de pérdidas en los conectores.

Prueba 5: Caracterización de pérdidas en dispositivos

Objetivo: Estimar las pérdidas producidas en cada dispositivo utilizado en el sistema de antena inteligente

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Redes
- Divisor Wilkinson
- Conmutador 2:1
- Cables de interconexión
- Juego de Conectores

Esquema:

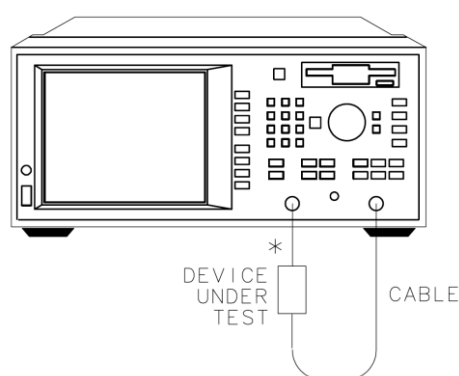


Figura 6-13: Esquema para la quinta prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000)

Método de Medición:

Para la comprobación de las pérdidas de inserción del divisor Wilkinson y del conmutador, se realizó la prueba utilizando cuatro cables de 6 pulgadas para la conexión. Al

igual que en la prueba de los cables se completó la conexión utilizando un quinto cable de 6 pulgadas para estimar las pérdidas introducidas por cada cable de conexión. En este caso, se debe restar cuatro veces las pérdidas del cable de 6 pulgadas del dato obtenido del analizador de redes para obtener el valor real de las pérdidas introducidas por cada dispositivo. Los valores obtenidos en el analizador de redes y el valor de las pérdidas del cable por longitud se muestran en la Tabla 6-15.

Mediciones:

Tabla 6-15: Mediciones de pérdidas para la caracterización de dispositivos

Componente	Pérdidas Reales [dB]	Pérdidas Estimadas [dB]
Cable 6 in	-0.625	-0.125
Conmutador conectado	-0.556	-0.056
Conmutador desconectado	-94.715	-94.215
Wilkinson - Puerto 1	-7.032	-6.532
Wilkinson - Puerto 2	-6.946	-6.446
Wilkinson - Puerto 3	-7.018	-6.518
Wilkinson - Puerto 4	-7.039	-6.539

Método de Análisis:

Las pérdidas obtenidas en el analizador de redes para los puertos del divisor Wilkinson responden a la repartición de potencia 1:4 del propio divisor. Por la división de potencia, cada salida del divisor Wilkinson debería tener exactamente un cuarto de la potencia a la entrada del divisor; con un valor equivalente de -6dB a la salida del divisor. Para obtener las pérdidas de inserción del divisor Wilkinson es necesario eliminar el efecto de la división de potencia. Al igual que la prueba para los cables, se realiza un análisis comparativo de error porcentual para el conmutador y para el divisor Wilkinson a partir de la información de las hojas técnicas. En el caso del conmutador en desconexión, las pérdidas son lo

suficientemente bajas y se considera como un puerto abierto. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 6-16.

Resultados:

Tabla 6-16: Cálculo de error en las pérdidas de dispositivos

Pérdidas	Real [dB]	Estimadas [dB]	Error Porcentual
Cable 6 in	-0.125	-0.1	25%
Conmutador conectado	-0.056	-0.2 (min)	-72%
Wilkinson - Puerto 1	-0.532	-0.8 (max)	-33.5%
Wilkinson - Puerto 2	-0.446	-0.8 (max)	-44.25%
Wilkinson - Puerto 3	-0.518	-0.8 (max)	-35.25%
Wilkinson - Puerto 4	-0.539	-0.8 (max)	-32.625%

Conclusiones:

Los valores obtenidos para los componentes discretos son menores para las estimaciones realizadas en las hojas técnicas, sin embargo el error podría encontrarse en la estimación de las pérdidas introducidas por los cables de conexión. Considerando los valores de pérdidas como valores válidos, es posible estimar la pérdida total del sistema debido a los componentes, como se muestra en la Tabla 6-17.

Tabla 6-17: Estimación de las pérdidas reales en el sistema real

Componente	Pérdida [dB]
Cable Transmisor - Wilkinson	-0.125
Divisor Wilkinson (Peor Escenario)	-0.539
Cable Wilkinson - Conmutador 1	-0.125
Conmutador 1	-0.056
Cable de retardo (Peor Escenario)	-0.1
Conmutador 2	-0.056
Cable Conmutador 2 - Antena	-0.125
Total de pérdidas	-1.126

Con la estimación de pérdidas, es posible estimar la ganancia efectiva del sistema de antena inteligente al restar las pérdidas. Tras realizar la operación, se obtiene un valor cercano a los 4.87 dB de ganancia máxima, que representa algo más del triple de potencia radiada. Se concluye que las pérdidas del sistema, si bien superan 1dB de pérdidas, no es suficientemente elevado para considerar

que el sistema de antena inteligente no debería ser implementado.

6.3. Pruebas de Caracterización de Control de Antenas

6.3.1. Prueba de Caracterización de Conmutador SPDT

Los componentes que realizan la acción de control del sistema de antena inteligente son los conmutadores SPDT. Los conmutadores tienen la tarea de cambiar la línea de transmisión utilizada para propagar la señal desde el divisor/combinador Wilkinson hacia cada antena. Con el objetivo de integrar los conmutadores dentro de la arquitectura de antena inteligente de la Figura 5-4 es necesario determinar ciertos parámetros de operación como son: tiempo de conmutación, corriente de alimentación y pérdidas. Los parámetros de pérdidas se caracterizaron en pruebas anteriores, resultando en factores de pérdidas similares a los especificados en la hoja técnica del conmutador y que el efecto de la desconexión es equivalente a un circuito abierto, cuyo producto debe ser analizado en el divisor/combinador Wilkinson y no en el conmutador. Los parámetros de tiempo de conmutación y corriente de alimentación se analizan mediante una prueba de laboratorio.

Prueba 6: Caracterización de los conmutadores SPDT

Objetivo: Estimar los parámetros de operación de los conmutadores SPDT

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Osciloscopio
- Generador de Señales
- Multímetro
- 2 Conmutadores SPDT
- Protoboard
- Cables de interconexión
- Juego de Conectores

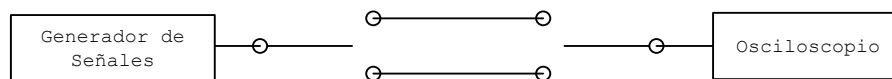
Esquema:

Figura 6-14: Esquema para la sexta prueba

Método de Medición:

La prueba de laboratorio consiste en emular la operación de los conmutadores dentro del sistema de antena inteligente, para lo cual se utilizan dos conmutadores en una conexión similar a la Figura 5-4, en donde los extremos de los conmutadores se conectan a un generador de señales y a un osciloscopio. Para analizar únicamente el efecto de la conmutación se utilizan cables de la misma longitud en reemplazo de los cables de línea de retardo de la arquitectura de antena inteligente. La prueba evalúa el tiempo de conmutación combinado de los conmutadores al enviar la señal de conmutación a la otra entrada del conmutador y medir el tiempo que el osciloscopio no recibe señal del generador de señales. Los resultados de la prueba se muestra en la Figura 6-15.

Para medir la corriente de alimentación se utiliza un amperímetro conectado entre la fuente y la alimentación de los conmutadores. Para obtener un valor de corriente se envía la señal de cambio de canal de los conmutadores.

Mediciones:

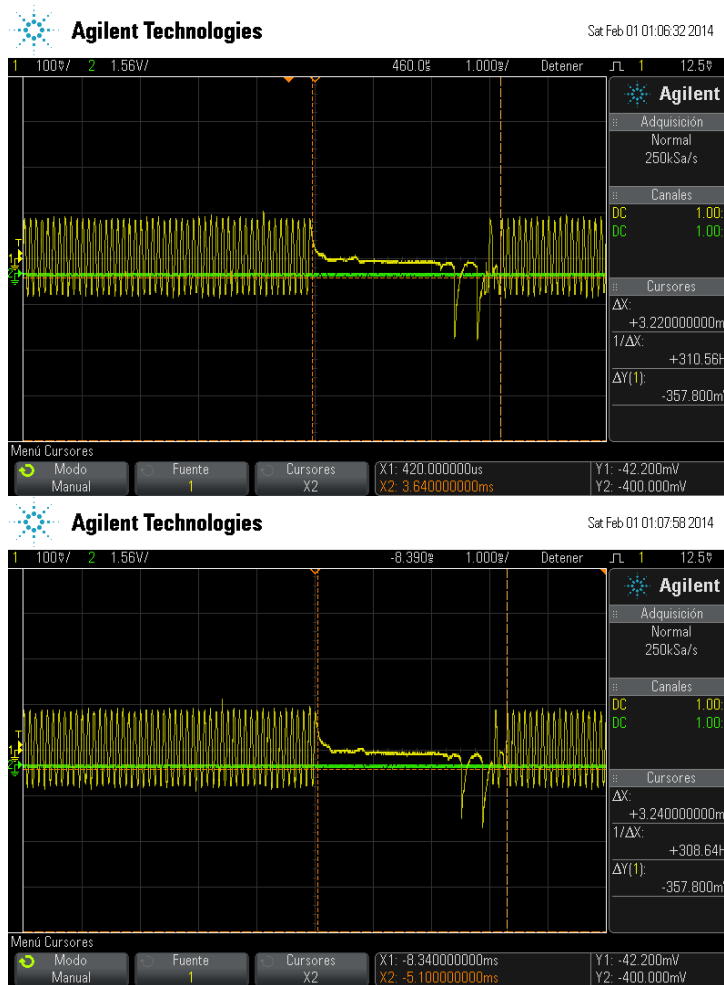


Figura 6-15: Mediciones del tiempo de conmutación para un par de conmutadores

Tabla 6-18: Parámetros de operación de dos conmutadores SPDT

Parámetro de prueba	Valor Obtenido
Tiempo de Conmutación 1	3.22 [ms]
Tiempo de Conmutación 2	3.24 [ms]
Corriente de Alimentación ON	215 [mA]
Corriente de Alimentación OFF	0 [mA]
Corriente en puerto lógico "1"	580 [µA]
Corriente en puerto lógico "0"	0 [µA]

Método de Análisis:

El análisis de las muestras se realiza mediante la obtención del error porcentual obtenido contrastando con los valores especificados en la hoja técnica. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 6-19.

Resultados:

Tabla 6-19: Cálculo del error en los parámetros de funcionamiento del conmutador

Parámetro de prueba	Valor Obtenido	Valor Esperado	Error Porcentual
Tiempo de Conmutación 1	3.22 [ms]	10 [ms] (max)	-67.8%
Tiempo de Conmutación 2	3.24 [ms]	10 [ms] (max)	-67.6%
Corriente de Alimentación	215 [mA]	280 [mA] (max)	-23.21%

Conclusiones:

Los resultados del análisis muestran que los valores de error son relativamente altos, sin embargo el signo negativo muestra que el error se encuentra por debajo del umbral máximo de operación de los conmutadores. Se concluye que los conmutadores operan dentro de los parámetros de operación de la hoja técnica. Otro resultado de la prueba realizada es la presencia de corriente en la alimentación de los conmutadores únicamente cuando se envía la señal de cambio de canal. Este resultado es positivo por cuanto existe consumo de potencia de los conmutadores únicamente cuando se realiza un cambio de configuración. Debido a la naturaleza secuencial del controlador utilizado, el consumo de potencia de los conmutadores se realiza de pares en función del tiempo que el controlador mantiene la señal de cambio de canal. Se estima que en un cambio de configuración vecina existiría un incremento de potencia de dos vatios durante un tiempo programado de 30 milisegundos que le toma al controlador el cambio de canal para dos pares de conmutadores. Este parámetro de potencia es considerablemente menor que utilizar un amplificador bidireccional de un vatio que tiene que amplificar en ambas direcciones de forma continua.

Adicionalmente, se tiene que la corriente en los puertos lógicos es de alrededor de 580 microamperios por lo que es despreciable a nivel de potencia y es un valor aceptable

para que el controlador opere en una conexión directa al par de conmutadores.

6.3.2. Prueba de Reflexión de Componentes

Considerando que los resultados de pérdidas para el conmutador indican que se comporta como un puerto abierto en el momento de desconexión, es necesario analizar el comportamiento del sistema en ese instante. El componente que se encontraría afectado principalmente es el divisor Wilkinson al alterarse la carga de uno de sus puertos.

Prueba 7: Reflexión de potencia causada por conmutadores

Objetivo: Estimar las cantidades de potencia reflejada consumidos por los diferentes componentes ante la desconexión de uno o varios conmutadores SPDT

Escenario: Prueba de laboratorio realizada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Redes
- Divisor Wilkinson
- 4 antenas
- Cables de interconexión
- Juego de Conectores

Esquema:

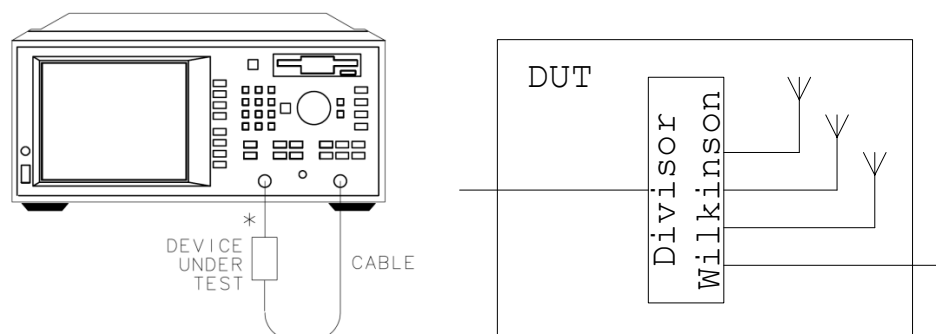


Figura 6-16: Esquema para la séptima prueba (Agilent Technologies, Inc., 2000)

Método de Medición:

Para comprobar el funcionamiento del divisor Wilkinson durante una desconexión, es necesario analizar el efecto causado por la desconexión de uno o varios puertos en los puertos restantes. Para estimar la redistribución de potencia del puerto abierto en los puertos restantes es necesario utilizar el analizador de redes de dos formas diferentes:

1. Mediciones en reflexión para estimar el efecto de la desconexión en el puerto de entrada del divisor Wilkinson.
2. Mediciones en transmisión para estimar el efecto de la desconexión en un puerto de salida del divisor Wilkinson, siendo elegido uno de los puertos extremos para las diferentes pruebas.

En la prueba, se conecta el puerto de salida del analizador de redes en el puerto de entrada del divisor Wilkinson y el puerto de entrada del analizador de redes se conecta el cuarto puerto de salida del divisor Wilkinson. Se conectaron directamente las antenas del arreglo directamente en los puertos restantes del divisor Wilkinson para mantener el sistema lo más balanceado posible.

Para reducir el efecto de utilizar las antenas como cargas durante la prueba, como ruido y reflexiones de la señal transmitida, se estima el funcionamiento del sistema con todos los puertos conectados. Los datos obtenidos para el control se muestran en la Tabla 6-20 para la reflexión y la Tabla 6-21 para la transmisión. Adicionalmente, se muestra una captura de la prueba de reflexión en la Figura 6-17 y la Figura 6-18 para la prueba de transmisión.

Mediciones:

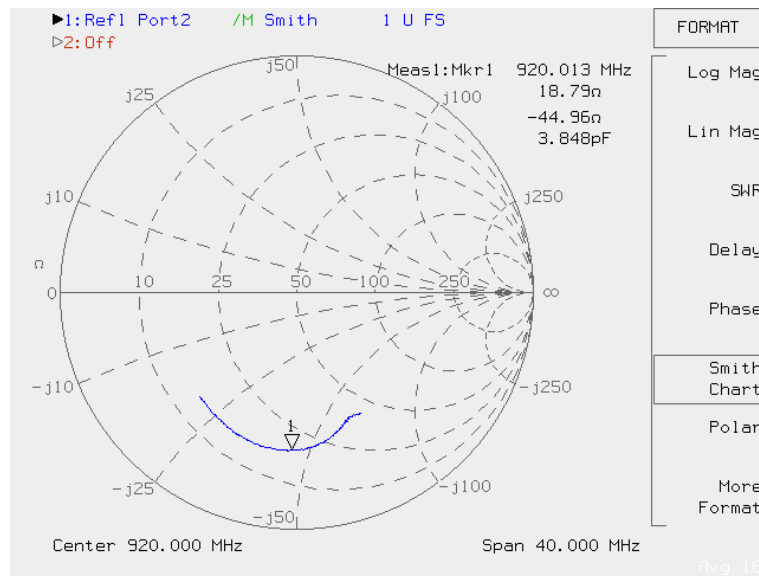


Figura 6-17: Captura de la prueba de reflexión de control del divisor Wilkinson

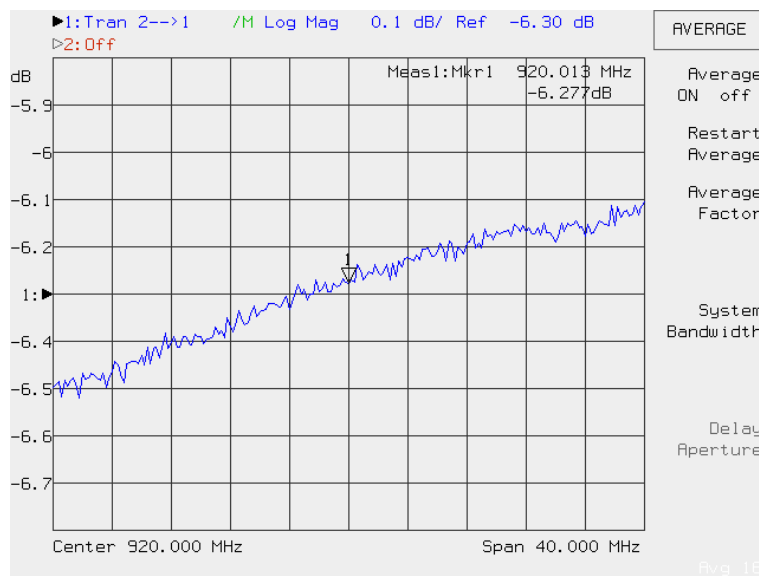


Figura 6-18: Captura de la prueba de transmisión de control del divisor Wilkinson

Tabla 6-20: Impedancia de entrada del divisor Wilkinson bajo diferentes eventos

Evento	R [Ohm]	X [Ohm]
Wilkinson Cargado	23.5561	-43.82
Puerto 1 abierto	38.71	-58.87
Puerto 2 abierto	40.89	-46.94
Puerto 3 abierto	40.64	-62.6
Puerto 4 abierto	44.61	-60.29
Wilkinson Descargado	205.6	-320.5

Tabla 6-21: Atenuación de la señal de puerto 4 bajo diferentes eventos

Evento	Media [dB]	Desviación Estándar [dB]
Con Cargas	-6.288	0.1167
Puerto 1 Desconectado	-6.452	0.0729
Puerto 2 Desconectado	-6.443	0.1019
Puerto 3 Desconectado	-6.579	0.0784
Dos Puertos Desconectados	-6.594	0.0637
Tres Puertos Desconectados	-6.9	0.0208

Método de Análisis:

Para estimar la potencia que se direcciona a cada puerto de salida se realiza la diferencia entre el valor de potencia obtenido en la prueba y el valor obtenido con la medición de control. La estimación de la potencia en el puerto de antena se realiza de la siguiente manera: utilizando el valor de impedancia obtenido de la prueba se estima el coeficiente de reflexión. Asumiendo que la alimentación del analizador de redes es constante, se puede realizar la diferencia entre el coeficiente de reflexión de la prueba y el coeficiente de reflexión de control. Como el coeficiente de reflexión se estima en niveles de voltaje, la potencia reflejada por la desconexión se puede estimar con la conversión a decibeles del resultado anterior.

La prueba de desconexión busca cuantificar la potencia reflejada hacia el receptor y los puertos conectados; así como la potencia que se consume dentro del divisor Wilkinson. Los datos de transmisión tratan de estimar la potencia reflejada que se dirige hacia los puertos conectados, en tanto que los datos de reflexión se utilizan para estimar la potencia reflejada hacia el receptor. La potencia restante se considera que es consumida por el divisor Wilkinson. Los eventos considerados son: desconexión de un puerto y desconexión total del sistema. En el caso de transmisión se considera desconexión total a

la utilización del puerto 4 únicamente para la medición y el resto de puertos desconectados. La longitud de la línea de transmisión utilizada en las pruebas de transmisión no se considera debido que el análisis diferencial anula el efecto, así como el efecto de la división de potencia y las pérdidas del divisor. En las pruebas de reflexión se realiza una conexión directa del divisor Wilkinson, por lo cual los valores de coeficiente de reflexión son directamente válidos para el análisis. Los valores obtenidos de la utilización del analizador de redes se guardan en el Anexo G. El análisis de los datos procede de la siguiente manera: en las pruebas de reflexión la potencia se obtiene como la diferencia entre el coeficiente de reflexión de control y el coeficiente de reflexión del evento; en las pruebas de transmisión es la diferencia entre la potencia de control y la potencia del evento. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 6-22 para la prueba de reflexión y en la Tabla 6-23 para la prueba de transmisión.

Resultados:

Tabla 6-22: Resultados de las pruebas de reflexión en el divisor Wilkinson

Evento	$ T $	$ T ^2 - \Gamma_c ^2$
Wilkinson Cargado (Γ_c)	0.625	0
Puerto 1 abierto	0.5721	0.0633
Puerto 2 abierto	0.471	0.1686
Puerto 3 abierto	0.5872	0.0458
Puerto 4 abierto	0.5801	0.0541
Wilkinson Descargado	0.947	0.506

Tabla 6-23: Resultados de las pruebas de transmisión en el divisor Wilkinson

Evento	Atenuación [dB]	Potencia [W]	Diferencia [mW]
Wilkinson Cargado	-6.288	0.2350	0
Puerto 1 abierto	-6.452	0.2263	8.7
Puerto 2 abierto	-6.443	0.2268	8.2
Puerto 3 abierto	-6.579	0.2198	15.2
Puerto 4 abierto	-6.594	0.2190	16
Wilkinson Descargado	-6.9	0.2042	31

Conclusiones:

El promedio de la prueba de reflexión muestra una potencia reflejada promedio del 8.3% de la potencia total ($1[W]$). Las pruebas de transmisión muestran que existe un desvío de potencia hacia el resto de antenas de un 1.22% por antena. Realizando los cálculos pertinentes, se tiene que la potencia reflejada por un puerto abierto se distribuye de la siguiente manera: el 33% de la potencia que alimenta al puerto abierto se dirige hacia el receptor, el 14.64% se dirige hacia los otros puertos y el resto (52.36%) es consumido por el divisor Wilkinson. Para minimizar la potencia reflejada, el sistema de control debe actuar secuencialmente sobre cada par de conmutadores y reflejar únicamente un octavo de la potencia del transmisor.

6.4. Pruebas de Caracterización de Algoritmo de Control**6.4.1. Prueba de Comunicación con Receptor GPS**

Para implementar el sistema de control en el micro controlador Arduino Uno R3 es necesario comprobar que el micro controlador sea capaz de leer las tramas del receptor GPS. Para ello se utiliza una rutina de eco serial, que reenvía la información que recibe. Ajustando el baud rate a 38400 bps, el micro controlador es capaz de leer las tramas que transmite el receptor GPS, ya sea con el terminal del compilador o con un hiperterminal de terceros. Como el micro controlador Arduino realiza el eco hacia la computadora es posible realizar un puente entre el receptor GPS y la computadora para la utilización de la aplicación propietaria del receptor GPS u-blox. La Figura 6-19 muestra la pantalla principal de la aplicación propietaria u-center, que muestra la información recibida por el GPS, tales como la posición, elevación, satélites utilizados,

dirección, tiempo, entre otros. Además de visualizar la información provista por el GPS, la aplicación permite la observación de los paquetes del protocolo UBX recibidos, así como los datos que el receptor GPS ha enviado hacia el micro controlador que lo ha enviado hacia la computadora. Para determinar los paquetes transmitidos se utiliza el monitor de paquetes de la Figura 6-20 y para la lectura de datos se utiliza el monitor de datos de la Figura 6-21.

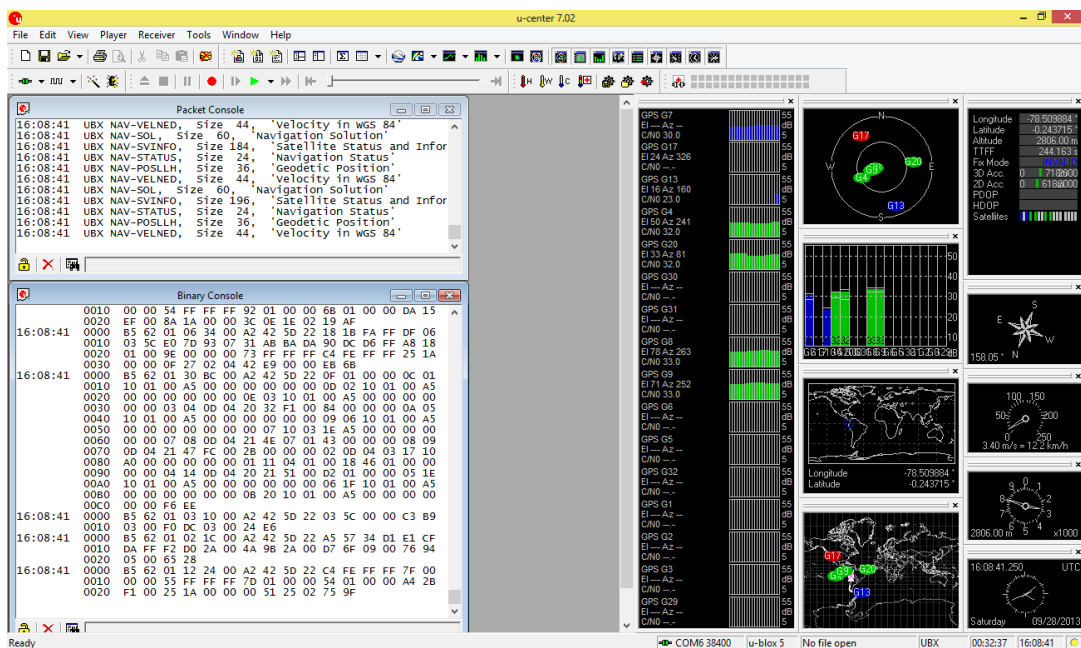


Figura 6-19: Pantalla principal del programa u-center

Con la información del monitor de paquetes de la Figura 6-20, es posible visualizar que el receptor GPS está transmitiendo los paquetes NAV-POSLH y NAV-VELNED, necesarios para la operación del sistema de control dado que en estos paquetes existe la información acerca de la posición y la dirección.

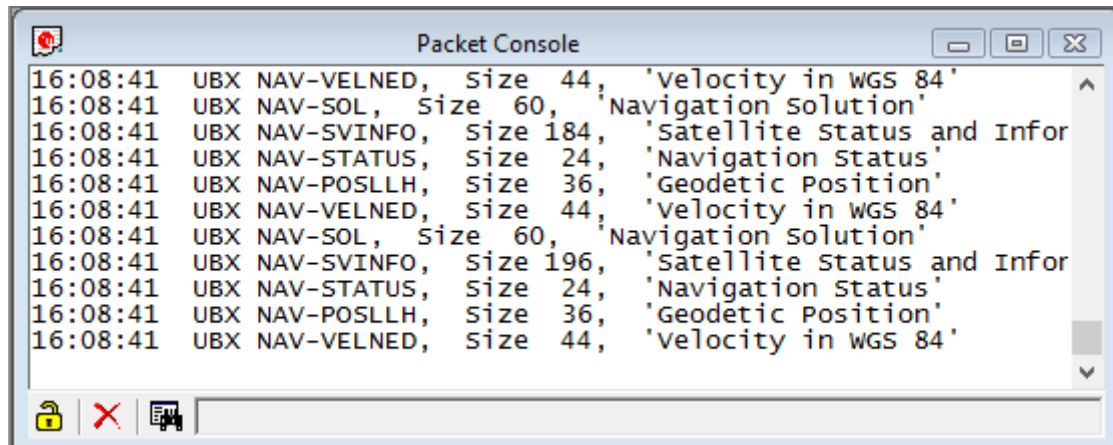


Figura 6-20: Monitor de paquetes de u-center

Con el monitor de datos de la Figura 6-21 se puede visualizar la transmisión de tramas en bytes del receptor GPS. Con esta información, en conjunto con el manual de usuario, es posible determinar la estrategia de lectura de datos seriales que permitirán la captura de los datos de interés como la posición, dirección y velocidad.

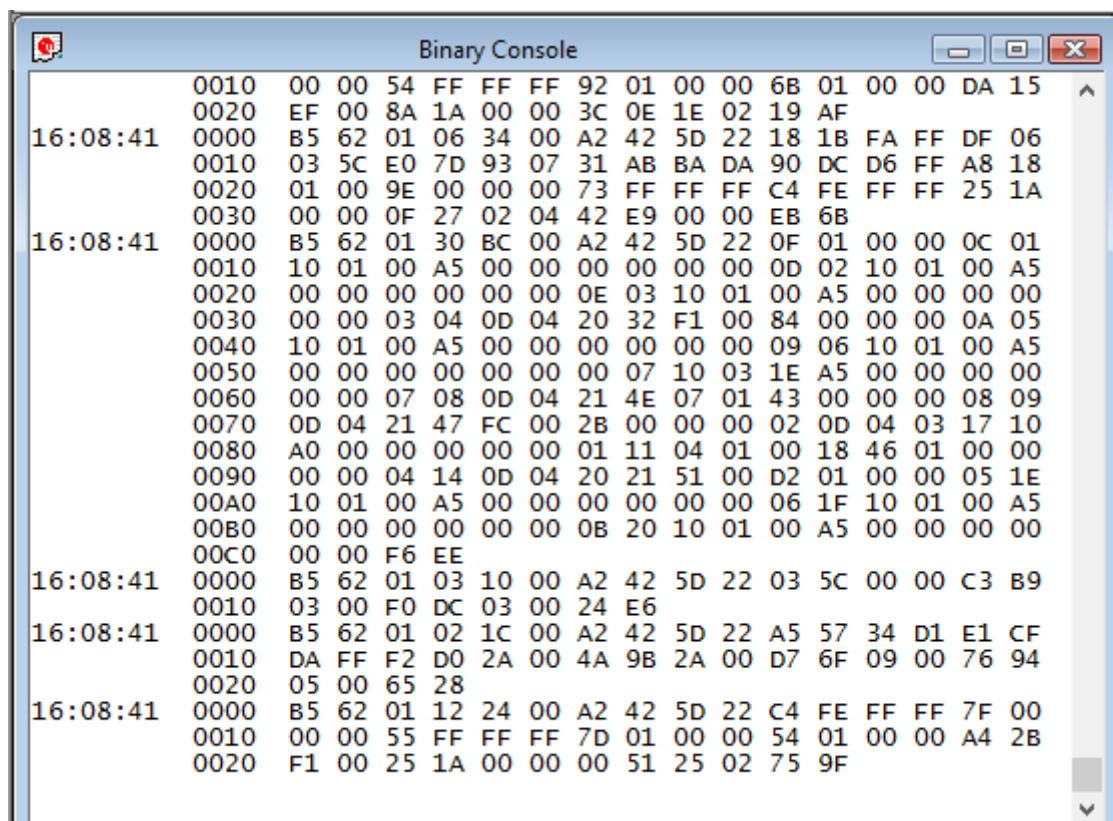


Figura 6-21: Monitor de datos de u-center

6.4.2. Prueba de Captura de Datos

Con la información del monitor de datos y del manual del receptor (u-blox AG, 2009), fue posible determinar los datos que deberían ser almacenados para cada trama. La Tabla 6-24 y la Tabla 6-25 muestran las estrategias de captura para las tramas NAV-POSLH Y NAV-VELNED respectivamente.

Tabla 6-24: Esquema de captura de la trama NAV-POSLH

Bytes	Tipo	Captura	Byte Offset	Fin Captura
B5 62	HEADER	Si	0	
01 02	NAV POS	Si	2	
1C 00	DATA SIZE		4	
44 48 00 00	itow		6	
00 00 00 00	lat	Si	10	
00 00 00 00	lon	Si	14	
00 00 00 00	height		18	Si
98 BD FF FF	hMSL		22	
FF FF FF FF	hAcc		26	
FF FF FF FF	vAcc		30	
F6 B6	Checksum		34	

Tabla 6-25: Esquema de captura de la trama NAV-VELNED

Bytes	Tipo	Captura	Byte Offset	Fin Captura
B5 62	HEADER		0	
01 12	NAV-VELNED		2	
24 00	DATA SIZE		4	
44 48 00 00	Itow		6	
00 00 00 00	velN		10	
00 00 00 00	velE		14	
00 00 00 00	velD		18	
00 00 00 00	Speed	si	22	
00 00 00 00	gSpeed		26	
00 00 00 00	Heading	Si	30	
B2 87 01 00	sAcc		34	si
00 51 25 02	cAcc		38	
75 2C	Checksum		42	

Usando el esquema de operación de la Figura 5-52 se implementó el código sketch_sep29a que permite la lectura de los datos seriales con las estrategias de la Tabla 6-24 y la Tabla 6-25. La estrategia utilizada permite la rápida identificación de las tramas de interés y permite la recuperación de los datos necesarios para el control. La estrategia prioriza la velocidad para discriminar

rápidamente tramas que no aportan información y detectar las tramas con interés. Al no verificarse la integridad de la trama, es necesario capturar los datos de la forma más estable posible, para ello se define un tiempo de espera de 300 ms entre cada lectura de byte para estabilizar el buffer del serial en el micro controlador. Para facilitar el trabajo de ajuste, el código `sketch_sep29a` tiene secuencias de lectura de datos para cada byte de lectura, almacenando los datos de interés en vectores y los datos sin interés en un espacio de memoria que no se utiliza.

Los datos son almacenados en vectores de bytes, debido a que los datos de interés utilizan cuatro bytes. El código `sketch_sep30a` implementa la conversión de datos: primero convierte el vector de datos byte en un vector long (4 bytes) para combinarlos en uno solo respetando el orden de los bytes. Después convierte el valor long en un valor de punto flotante para ser utilizado en las operaciones posteriores. Los datos que son capturados son: latitud, longitud, dirección y velocidad. La información de velocidad se captura por la posible necesidad de implementarse futuras cadenas de control.

6.4.3. Prueba de Funcionamiento de Algoritmo de Control

Prueba 10: Prueba de funcionamiento del sistema de control

Se utiliza el código `sketch_sep18a` como implementación en Arduino del sistema de control para el arreglo planar de cuatro antenas con los sistemas de control por histéresis y la validación de DOA. Para probar el funcionamiento del sistema se realizó un barrido horario y anti horario de la DOA y se conectaron diodos led a la salida de los puertos del micro controlador. Los led se configuraron para que

activen según los criterios de línea de transmisión de la Tabla 5-19. Los resultados de la simulación muestran que el sistema se comporta como se esperaba en la Tabla 5-19 con un tiempo promedio estimado de 50 microsegundos comprendidos entre la estimación de la DOA y la elección de arreglo.

Para comprobar el funcionamiento del sistema de control independientemente del arreglo en las pruebas de campo se desarrolló un módulo de pruebas que consiste en un juego de seis leds que indican la dirección de la configuración activa y que se muestra en la Figura 6-22.

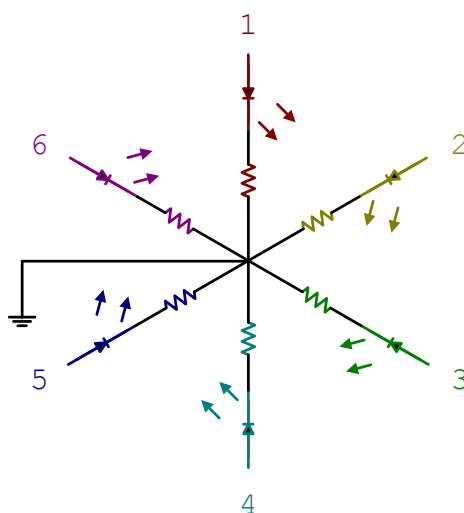


Figura 6-22: Módulo de pruebas de configuración activa

Para comprobar el funcionamiento del módulo de pruebas se utilizó el código `test_clockside`, que se basa en el código `sketch_sep18a` adaptado al módulo de pruebas. El resultado mostró que el sistema podía barrer en cualquiera de las seis configuraciones disponibles con el módulo de pruebas, como se muestra en la Figura 6-22. La utilización del módulo de pruebas de detección de DOA es necesaria para identificar de forma directa el correcto o incorrecto funcionamiento del código aplicado en el micro controlador sin la necesidad de crear un banco de datos. El módulo de

detección de DOA permite detectar fallas que pueden ser corregidas en pruebas posteriores.

En la primera prueba se utilizó el código `test_smart_control` que realiza la lectura de datos seriales y aplica el sistema de control para la DOA estimada, usando el control por histéresis y la validación de DOA, para activar el led que corresponde a la configuración activa. El principal resultado de la prueba fue que el módulo se bloqueaba al inicio de la prueba, debido a que el receptor GPS no tenía la información de efeméresis de los satélites y por lo tanto no transmitía información nueva.

Para corregir el error, se desarrolló una prueba utilizando el código `test_smart_control_v2` que aplica el bloqueo si la información de longitud, latitud o dirección en formato long tiene un valor nulo. Si tienen un valor nulo, corresponde cuando el receptor GPS no actualiza la información, y por lo tanto no es válida. Aparecieron dos circunstancias importantes tras la utilización del código `test_smart_control_v2`:

- a) El sistema se comportaba aleatoriamente cuando el vehículo utilizado se movía a baja velocidad.
- b) El sistema era incapaz de utilizar las configuraciones 4, 5 y 6 del arreglo.

Para corregir la primera falla se decidió utilizar el valor de velocidad capturado para aplicar un criterio de límite de velocidad a partir de una velocidad mínima de operación. Si se detecta que la velocidad es menor que el límite se bloquea el sistema. La segunda falla se debe a la diferencia entre la función `mod` utilizada en las simulaciones de Matlab y la función `mod` de la librería de Arduino. Para corregir la falla se adicionó 360 grados al valor de la DOA antes de aplicarse la función `mod`. También

se refinó el proceso de elección de configuración activa al definir de forma clara todos los casos posibles para cuando el sistema obtenga un valor inválido se bloquee al no encontrar un caso válido.

Todas estas mejoras se aplicaron en el código `test_smart_control_v3_reg`, que también tiene la capacidad de transmitir la información de telemetría a un computador por el cable de comunicación USB. Con esta información, es posible almacenar la información de telemetría mediante un computador con hiperterminal. La información de telemetría se puede compilar en un banco de datos que se puede utilizar para análisis posteriores y más detallados. Producto de la utilización del código `test_smart_control_v3_reg` se obtiene el banco de datos `geo_data_ex_06`, que maneja información de telemetría como: latitud, longitud, dirección, DOA, configuración activa, velocidad y bloqueo del sistema. La información de telemetría de `geo_data_ex_06` se utilizó para la simulación comparativa basada en la Función `geo_test_smart_01`, que también realiza la simulación ideal del sistema con la información de captura y la compara con la información de telemetría.

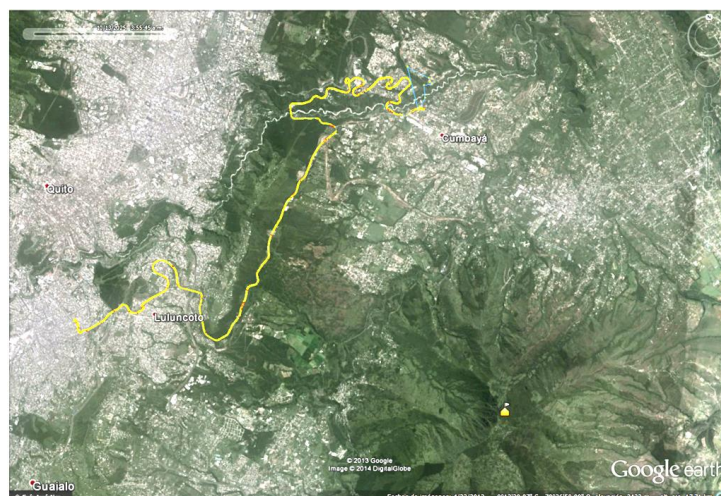


Figura 6-23: Simulación de `geo_test_smart_01` utilizando `geo_data_ex_06`

La simulación muestra que el patrón de radiación de la simulación en rojo difiere del patrón de radiación de la telemetría en amarillo, como se aprecia en la Figura 6-25. La diferencia se puede encontrar en el hecho que el sistema se encuentra en el límite de decisión y por lo tanto ambas configuraciones son posibles. También se debe a la diferencia entre el procesamiento en tiempo real del micro controlador y el procesamiento directo de Matlab, difiriendo sus metodologías y sus aproximaciones. Sin embargo, la configuración activa seleccionada, si bien difieren, no implica la pérdida de señal porque ambas pruebas mantienen la DOA dentro de la configuración activa.



Figura 6-24: Muestra de `geo_test_smart_01` utilizando `geo_data_ex_06`

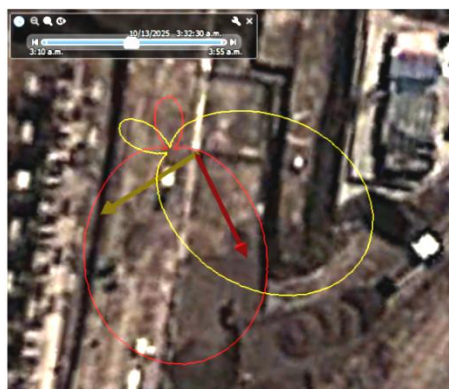


Figura 6-25: Captura de `geo_test_smart_01` utilizando `geo_data_ex_06`

Para obtener datos cuantitativos, se utiliza la Función `test_smart_01` que estima la intensidad de radiación a partir de la información de telemetría del banco de datos

geo_data_ex_06. Los resultados de la Figura 6-26 muestran que se puede esperar un adecuado piso de ganancias para el sistema implementado en la realidad, sin embargo el sistema bloquea la configuración activa en los instantes de baja velocidad. Este bloqueo de velocidad se obtiene por la diferencia en las características del MS utilizado (vehículo terrestre) y el MS objetivo (aeronave), por lo cual no deberían existir bloqueos de velocidad en el MS objetivo. También el sistema bloquea la configuración activa ante la falta de información, por lo que se maneja la información de la memoria hasta que el sistema obtenga información válida.

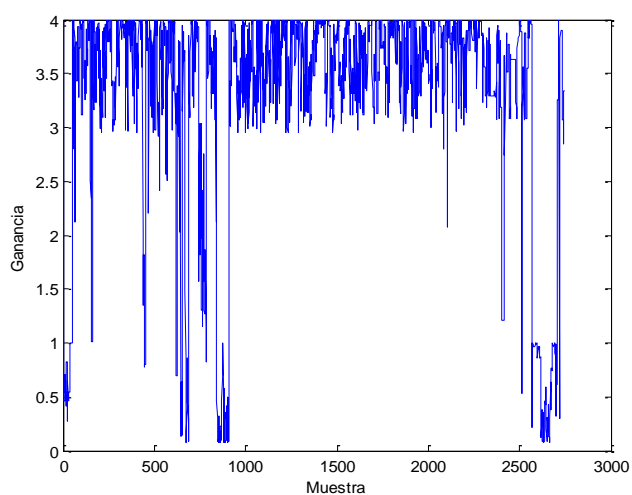


Figura 6-26: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_06

Debido a los análisis obtenidos de la Función geo_ex_03 y la Rutina geo_rad, se decidió que las simulaciones deberían presentar un formato de panel de instrumentos para comprender toda la dinámica de operación del sistema. Concibiendo una evolución, se desarrolló la Función dina_plot_smart_01 que graba un video de la simulación con un formato de panel de instrumentos que permite un mejor análisis que las simulaciones basadas en Google Earth.

La Función dina_plot_smart_01 mostrada en la Figura 6-27 tiene las siguientes características: la DOA se muestra

como un vector verde si el sistema no bloquea la configuración activa por velocidad, rojo si bloquea la configuración activa por velocidad; la configuración actual en color azul y en color cian si fue aplicada un cambio de configuración; el ancho de haz en color magenta y el progreso de la simulación. Si bien estos datos parecen ser suficientes y permiten un adecuado análisis de la simulación es necesario ubicar más información que permita identificar el desarrollo de la simulación.

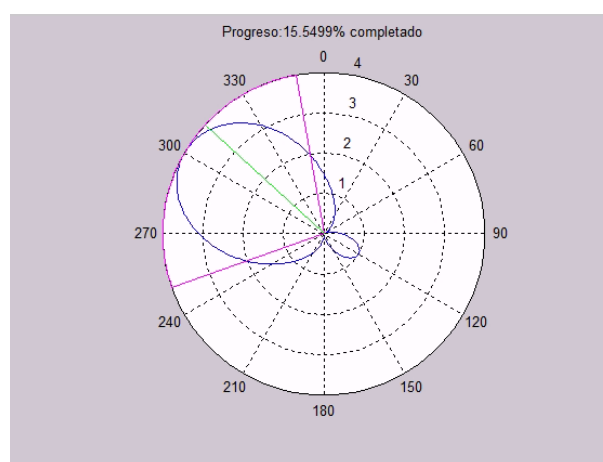


Figura 6-27: Captura de dina_plot_smart_01.mp4

6.4.4. Sintonización de Parámetros de Control

Para obtener mejores análisis se desarrolló la Función `dina_plot_smart_02` como evolución de Función `dina_plot_smart_01`, aportando información como la posición y tiempo de la simulación; y la ubicación del norte en el plano. La mejora se aprecia en la Figura 6-28.

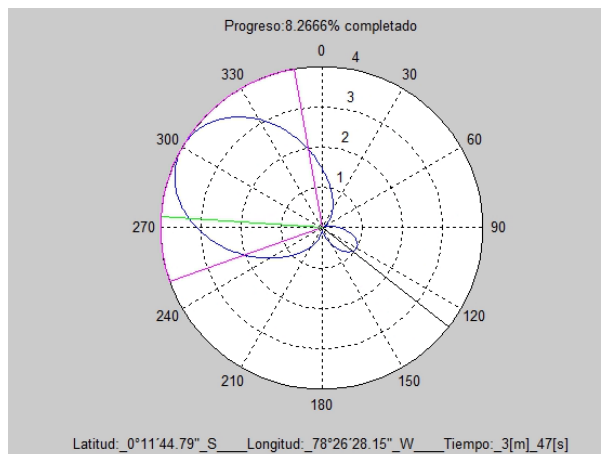


Figura 6-28: Captura de dina_plot_smart_02_test_code.mp4

El análisis de `dina_plot_smart_02_test_code.mp4` arroja que debe ajustarse el porcentaje de histéresis de 5% utilizado hasta ahora, debido que se detectó que existían varias conmutaciones consecutivas que deben ser mitigadas por el control por histéresis. También se decidió optimizar la tarea de la captura de datos seriales al utilizar lazos para la captura de los vectores y de la información basura. Con eso en mente se utilizó el código `test_smart_control_compact_v3_reg` para pruebas con rangos de histéresis al 10% y al 15% con sus respectivos bancos de prueba `geo_data_ex_07` y `geo_data_ex_08`.

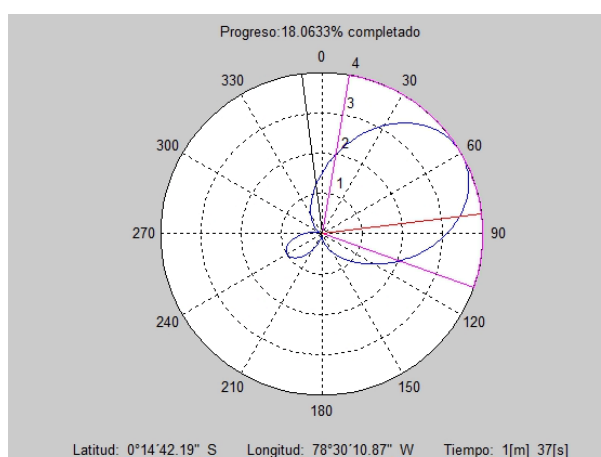


Figura 6-29: Captura de dina_plot_smart_02_test_01.mp4

Debido a una falla logística, la información del banco de datos `geo_data_ex_07` se capturó de forma parcial, por lo que es imposible realizar una estimación de funcionamiento

al 10% de extensión de rango de histéresis (extensión aproximada de 6 grados). Con la información de geo_data_ex_08 analizado en dina_plot_smart_02_test_01.mp4 se obtuvo un resultado desalentador: la compactación del código de control en el micro controlador generaba fallos en la captura de la información de los datos del receptor GPS. Como resultado de la falla es imposible realizar un análisis al 15% de extensión de rango de histéresis (9 grados aproximadamente). La conclusión de las pruebas es la no compactación del algoritmo de captura de datos seriales. Si bien se utiliza más memoria del micro controlador, la captura de datos es más estable cuando se utiliza una instrucción por captura.

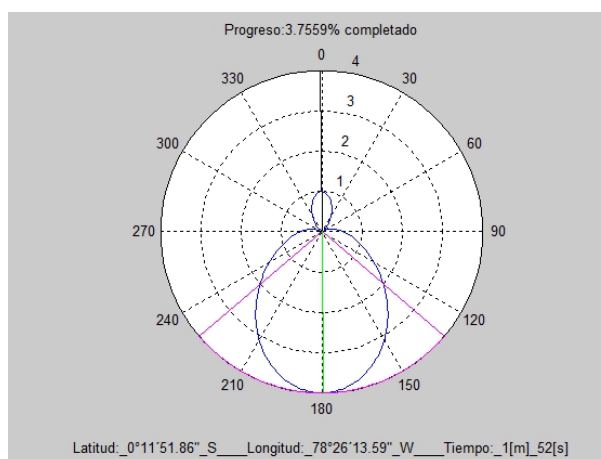


Figura 6-30: Captura de dina_plot_smart_02_test_02.mp4

Por la falla de compactación de código, se volvió a utilizar el código test_smart_control_v3_reg para la pruebas de ajuste de rango de extensión de histéresis. Como resultados de las pruebas se obtuvieron las bases de datos geo_data_ex_09 y geo_data_ex_10 que corresponden respectivamente a extensiones del 15% y del 10%.

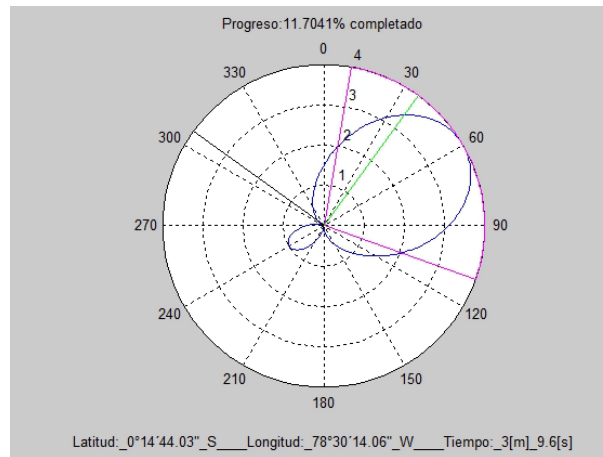


Figura 6-31: Captura de dina_plot_smart_02_test_03.mp4

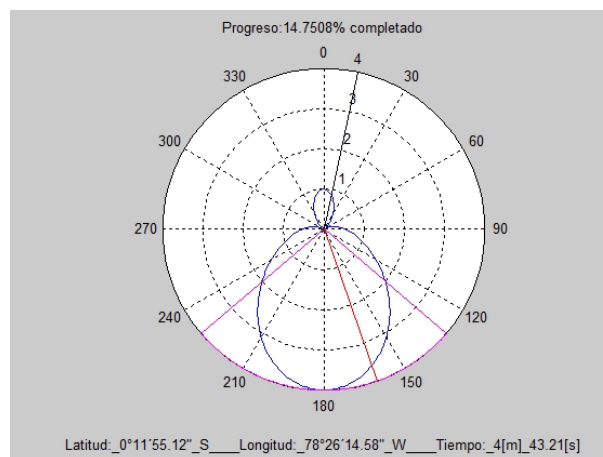


Figura 6-32: Captura de dina_plot_smart_02_test_04.mp4

Para reforzar el análisis visual se realiza un análisis estadístico a los bancos de datos `geo_data_ex_06`, `geo_data_ex_09` y `geo_data_ex_10`, representados en la Figura 6-26, la Figura 6-33 y la Figura 6-34; las estadísticas se resumen en la Tabla 6-26 utilizando un parámetro de ganancia de potencia adimensional.

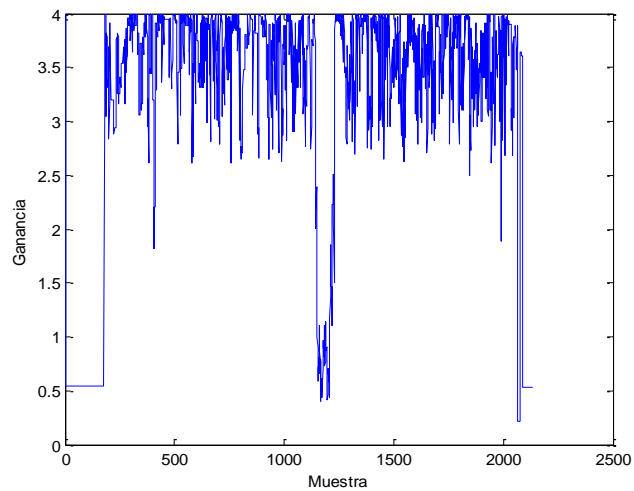


Figura 6-33: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_09

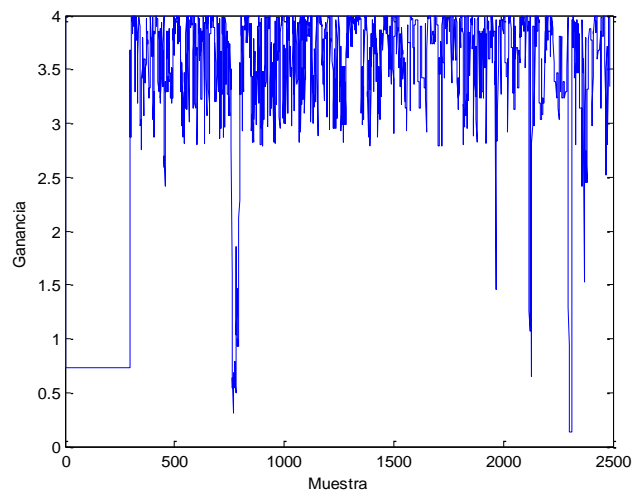


Figura 6-34: Ganancia estimada con datos de telemetría de geo_data_ex_10

Tabla 6-26: Resultados estadísticos para valores de histéresis del 5%, 10% y 15%

Histéresis	5%	10%	15%
Incremento de dominio	3°	6°	9°
Banco de datos	geo_data_ex_06	geo_data_ex_10	geo_data_ex_09
Muestras	2746	2488	2136
Ganancia media	3.2617	3.2242	3.1982
Desviación estándar	1.0566	1.0620	1.1159
Activaciones	161	99	77
% Activación	5.86%	3.98%	3.60%
Activaciones consecutivas	20	4	2
% Activaciones consecutivas	12.42%	4.04%	2.59%

Los resultados de los análisis se obtienen a partir de dina_plot_smart_02_test_03.mp4 para una extensión de 10% y dina_plot_smart_02_test_04.mp4 para una extensión de 15%.

El análisis estadístico muestra que existe una mejora importante con la extensión de la histéresis del 5% al 10%, con una reducción de la ganancia media de 1%. El ajuste de histéresis permite una reducción de la incidencia porcentual de activaciones consecutivas a una tercera parte. El ajuste de la histéresis del 10% hacia el 15% muestra una reducción de la ganancia media de 1% y una reducción de la incidencia porcentual de activaciones consecutivas a la mitad. Sin embargo, a pesar que la modificación de la histéresis no modifica excesivamente la ganancia media o el porcentaje de activación del sistema, es preferible utilizar una configuración de histéresis del 10% por cuanto la aplicación de histéresis reduce únicamente 2 activaciones consecutivas y es necesario minimizar el efecto de la histéresis en la ganancia. Un fallo del sistema se detectó en `dina_plot_smart_02_test_04.mp4` debido que el sistema debía bloquearse cuando el receptor GPS no actualiza información. Sin embargo, el receptor GPS envía el último dato disponible y no información nula. Por este motivo se implementó un bloqueo diferencial con los datos tipo long de longitud, latitud y dirección. La implementación de la mejora se realizó en el código `test_smart_control_v4_reg` para que no se presente el problema en caso que se requiera realizar futuras pruebas o en la implementación del sistema de antena inteligente.

7. Discusiones

El desarrollo de las pruebas de caracterización permitió obtener diferentes resultados en cada componente del sistema de antena inteligente. Los resultados obtenidos de la caracterización del arreglo de antenas indican la divergencia entre el modelo diseñado y el resultado de aplicar el diseño con componentes reales. A pesar que

existe una reducción de la ganancia del arreglo, es posible utilizar el arreglo sin modificaciones porque cumple con los requerimientos del sistema de control y con niveles de ganancia superiores en comparación con la utilización únicamente de una antena del arreglo. El sistema de control ha demostrado su funcionalidad en escenarios de operación en tiempo real y escenarios de simulación con datos de una MS candidata. La caracterización de los componentes restantes muestra que sus parámetros de operación se encuentran dentro de los parámetros de funcionamiento considerados en el diseño del sistema de antena inteligente.

Sin embargo, los resultados de las pruebas de caracterización muestran que es necesario realizar ajustes en la mayoría de componentes del sistema para adaptarse al modelo real y a un transmisor en particular. La prueba de caracterización del arreglo de antenas muestra que es necesario modificar el arreglo de antenas para que mejore la calidad de la señal recibida en el equipo de transmisión. También existe la necesidad de realizar la adaptación de impedancia de cada antena del arreglo para optimizar la potencia irradiada por el sistema. La prueba de reflexión en el divisor Wilkinson indica que se deben considerar los efectos de desconexión de uno o varios de los conmutadores en el sistema de control con el objetivo de minimizar dichos efectos.

A pesar de las penalizaciones del diseño real, los resultados de las pruebas de caracterización muestran que el sistema tiene altas posibilidades de funcionar adecuadamente si se implementa en un vehículo aéreo no tripulado.

8. Conclusiones

Al llegar al final del alcance del desarrollo del sistema de antena inteligente propuesto, es necesario determinar si el sistema de implementarse cumple con los requerimientos establecidos.

Con la arquitectura de antena inteligente propuesta de la Figura 5-4 es posible obtener un sistema de antena inteligente que permite extender la distancia máxima de cobertura sin importar la posición ni la dirección de la aeronave en relación a la estación base. Dichas características se logran mediante un compromiso entre la operación del sistema de control y las capacidades del arreglo de antenas escogido. El diseño del arreglo de antenas permite extender la distancia máxima del enlace de forma ideal en un 68%, considerando las penalizaciones del sistema actual es posible reducir la extensión de la distancia máxima en alrededor del 30% minimizando las posibilidades de perder el enlace en una posición particular de la aeronave. El diseño del arreglo de antenas se complementa con el sistema de control que permite escoger la configuración activa a través de líneas de retardo. Utilizando ocho pares de línea de retardo con ocho conmutadores es posible obtener seis configuraciones de arreglo a partir de dos configuraciones base y la rotación de las mismas. El sistema de control es el elemento que permite que el sistema alcance los niveles de ganancia mencionados sin perder conectividad con la estación base. El diseño del algoritmo de control, no solo permite determinar la DOA de la estación base utilizando información de un receptor GPS, también permite la utilización de un micro controlador de bajos recursos para seleccionar la configuración activa del sistema mediante conmutadores. El algoritmo de control logra seleccionar la

configuración activa al utilizar diferentes criterios de activación utilizando únicamente información de un receptor GPS.

Considerando el sistema completo, y el banco de pruebas realizado, se puede concluir que el diseño de antena inteligente propuesto es un excelente candidato a ser implementado en un vehículo aéreo no tripulado si se considera que es una alternativa que no penaliza excesivamente el espacio de ocupación ni peso y con un consumo de potencia relativamente bajo en comparación a otras alternativas. Si se contrasta el desempeño del diseño presentado con otras alternativas, el sistema de antena inteligente diseñado reduce sus capacidades al permitir un sistema de bajo costo que puede ser abordado por cualquier grupo que desea mejorar el funcionamiento de su sistema de comunicaciones actual. En otras palabras, con un costo de alrededor de \$3000, es posible obtener un sistema que extiende la distancia de enlace en un 30% sin aumentar el consumo de potencia y que se puede adaptar a casi cualquier sistema de comunicaciones.

9. Recomendaciones

Considerando que el desarrollo actual del sistema de antena inteligente terminó con la caracterización de componentes y sistemas puntuales, es necesario realizar varias recomendaciones para el desarrollo futuro del sistema de antena inteligente propuesto.

Existen varias recomendaciones que se pueden realizar respecto al arreglo de antenas, entre ellas determinar las modificaciones a realizarse ante un transmisor en particular y la necesidad de realizar la adaptación de impedancias. Se debería realizar ajustes en la distribución de elementos radiantes y en sus respectivas líneas de

retardo para aumentar la ganancia del arreglo que se pierde por efecto de la coherencia en el receptor. Con el reajuste en la distribución del arreglo se vuelve necesario realizar la adaptación de antenas y optimizar la potencia irradiada por el arreglo. Para determinar la impedancia de entrada de cada antena del arreglo, se sugiere realizar una prueba de campo que permite cuantizar dicho parámetro. La realización de una prueba de campo permitirá obtener la impedancia a adaptarse sin la necesidad de cuantizar la impedancia propia de la antena, el efecto de la impedancia mutua y la impedancia obtenida a través del circuito interno de adaptación de cada antena. Se sugiere que todos los circuitos de adaptación ocupen la misma longitud de línea de transmisión para no alterar excesivamente el retardo de cada señal, para que las líneas de retardo se encarguen de sincronizar las señales de cada antena.

Se recomienda caracterizar completamente el efecto de realizar una conmutación dentro del sistema de antena inteligente. Si bien se tiene los resultados de una prueba que muestran el efecto de la conmutación en la señal, es necesario determinar el efecto de la conmutación en la señal que se transmite a través del sistema de antena inteligente. Dado que se tiene cuantizado el efecto de desconexión en el divisor Wilkinson, es necesario realizar adecuaciones en el algoritmo de control para que se minimicen los efectos. Se sugiere que la acción de control se realice para cada antena y se continúe la acción de selección cuando se estabilicen los conmutadores. Adicionalmente, si se considera que existe consumo de potencia únicamente cuando se activan los relés en los conmutadores, es necesario que se realice una conmutación secuencialmente de pares de conmutadores para no disparar

el consumo de potencia del sistema en periodos cortos de tiempo.

Existen varias maneras de mejorar el algoritmo de control del sistema de antena inteligente, entre ellos comprobar el sistema en un escenario real, la optimización del código de implementación, la adaptación de los criterios de activación del sistema, la posibilidad de garantizar la calidad de servicio y la posibilidad de realizar un control remoto del sistema. Considerando que el sistema de control nunca se ha probado en un escenario de tiempo de real, utilizando una aeronave no tripulada, es necesaria la realización de esta prueba para la detección de posibles fallas del sistema que posiblemente no se presentaron durante las pruebas realizadas. Mediante la optimización progresiva del código, si bien no existiría una mejora considerable en la operación actual, permitiría la implementación de mejoras sin saturar la memoria del micro controlador. Dentro de estas mejoras, se considera la posibilidad que los parámetros de operación de los criterios de activación del sistema de control se puedan adaptar. Mediante técnicas de control avanzado, es posible que los parámetros de operación de los mecanismos de histéresis, velocidad mínima, validación de DOA, entre otras se puedan modificar dinámicamente, sin la necesidad de realizar una calibración en función de las características de la estación móvil. Un punto débil del sistema es su incapacidad de detectar caídas de enlace. Como mejora en este sentido, se sugiere que se implemente un mecanismo que le permita detectar al sistema la existencia de enlace, como un mensaje de saludo desde la estación base, y un mecanismo adicional que le permita recuperar el enlace. Considerando las posibilidades del sistema de antena inteligente, se considera que el

algoritmo de control podría recibir indicaciones de control externo para modificar la operación del sistema. Un mecanismo de control remoto permitiría que el sistema de antena inteligente pueda cambiar de estación base, o incluso se pueda comunicar con otra estación móvil.

Las recomendaciones generales para el sistema de antena inteligente son la realización de la etapa de implementación en un usuario móvil. Para ello se requeriría la adquisición completa de todos los componentes, la integración completa del sistema y pruebas de caracterización; y la integración en sí con el usuario móvil. La integración del sistema debe contemplar todas las conexiones de energía y entre cada componente del sistema, así como cualquier conexión con algún componente externo. Se sugiere caracterizar el sistema completo y operativo para detectar fallas de integración y también para estimar adecuadamente los efectos de reflexión ante una o varias desconexiones en caso que el receptor posea un sistema de amplificación. Finalmente, se sugiere que se realice una prueba de operación completa en el usuario móvil para cuantizar el funcionamiento real del sistema.

Recomendaciones adicionales son: implementar un sistema de antena inteligente en la estación base que puede utilizar conjuntamente métodos de análisis espectral y la información de posición del usuario móvil para estimar la dirección de arribo. También se recomienda que el sistema de control pueda actualizar la posición de la estación de interés, para que pueda operar de tal manera que no sea necesario la configuración de este parámetro y que no exista una distinción en la operación entre MS y BS y la operación entre dos MS. Finalmente, se recomienda la utilización del algoritmo de seguimiento en otras aplicaciones diferentes a la planteada en esta tesis.

10. Bibliografía

- Agilent Technologies, Inc. (2000). *Agilent Technologies 8712ET and 8714ET RF Network Analyzers: User's Guide*. Agilent Technologies, Inc.
- Arduino. (s.f.). *Arduino - ArduinoBoardUno*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- Balanis, C. (1996). *Antenna Theory: Analysis and Design* (Second ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Balanis, C., & Ioannides, P. (2007). *Introduction to Smart Antennas* (First ed.). Morgan & Claypool Publishers.
- Bellofiore, S., Balanis, C., Foutz, J., & Spanias, A. (2002). Smart-antenna systems for mobile communication networks. Part 1: Overview and antenna design. *Antennas and Propagation Magazine* , 44 (3), 145-154.
- Bellofiore, S., Foutz, J., Balanis, C., & Spanias, A. (2002). Smart-antenna system for mobile communication networks. Part 2: Beamforming and network throughput. *Antennas and Propagation Magazine* , 44 (4), 106-114.
- Blattenberger, K. (s.f.). *Coaxial Cable Specifications Cables Chart - RF Cafe*. Obtenido de RF Cafe: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/coax-chart.htm>
- Cuesta, F., & Játiva, R. (2013). Desarrollo de Métodos de Seguimiento para un Sistema de Antena Inteligente basado en GPS. *Avances en Ciencias e Ingeniería* , 5 (2), C45-C49.
- Cuesta, F., & Játiva, R. (2013). Diseño y simulación de antena inteligente asistida por GPS para un vehículo aéreo no tripulado. *Avances en Ciencias e Ingeniería* , 5 (1), C14-C21.
- Franco, J. S. (1999). *Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética*. Madrid, España: Addison-Wesley Iberoamericana España S. A.
- Google Inc. (9 de Agosto de 2013). *My Tracks*, 2.0.2. Obtenido de Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.maps.mytracks>

INSTOCK Wireless Components. (s.f.). *RoHS Power Divider, Combiner, RF Splitter, SMA Female Jack, 4-Way, PD2140, 4Way RoHS Splitter*. Obtenido de http://www.instockwireless.com/rf_power_splitter_combiner_divider_pd2140.htm

Ippolito, L. (2008). *Satellite Communications System Engineering*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.

Kaplan, E., & Hegarty, C. (Eds.). (2006). *Understanding GPS: Principles and Applications* (Second ed.). 685 Canton Street Norwood, MA 02062: Artech House.

L-com, Inc. (s.f.). *900 MHz 3 dBi Rubber Duck Antenna - SMA Male Connector*. Obtenido de <http://www.l-com.com/wireless-antenna-900-mhz-3-dbi-rubber-duck-antenna-sma-male-connector>

Orfanidis, S. (1999-2010). *Electronic Waves and Antennas*.

Palacios, R. (27 de Agosto de 2006). *utm2deg - File Exchange - Matlab Central*. Obtenido de Matlab Central: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10914-utm2deg>

Pozar, D. (2005). *Microwave Engineering* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Swanston, G. (2006). *Topografía: mensaje gráfico geoespacial*. Caracas: UCV, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Teledyne Technologies Incorporated. (s.f.). *Series CCR-33S/CR-33S*. Obtenido de http://www.teledynecoax.com/pdf/coaxialswitches/CCR-33S_CR-33S%20LATCHING.pdf

u-blox AG. (2009). *u-blox 5 Receiver Description: Including Protocol Specification*. Manual.

Ulaby, F. (2007). *Fundamentals of Applied Electromagnetics* (Fifth ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.

University of Amsterdam. (Abril de 2007). *Matlab to Google Earth Toolbox*. Obtenido de Matlab Central: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/12954-google-earth-toolbox>

Urrutia, J. (2006). *Cartografía, orientación y GPS*.
Basauri: Etor-Ostoa.

11. Anexos

Anexo A: Glosario de Abreviaturas

AF:	Factor de Arreglo (Array Factor)
A/D:	Análogo-Digital
BS:	Estación Base (Base Station)
CSI:	Información de Estado de Canal (Channel State Information)
DGNSS:	GNSS Diferencial
DOA:	Dirección de Arribo (Direction Of Arrival)
DSP:	Procesador Digital de Señales (Digital Signal Processor)
DUT:	Device Under Test
D/A:	Digital-Análogo
FEM:	Fuerza Electro-Magnética
GNSS:	Sistema Global de Navegación Satelital (Global Navigation Satellite System)
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
MS:	Estación Móvil (Movil Station)
NSOI:	Señal de Interés Nulo (No Signal Of Interest)
PA:	Haz Adaptativo (Phased Array)
PIRE:	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
RF:	Radio Frecuencia
SB:	Haz Conmutado (Switiched-Beam)
SIR:	Relación Señal a Interferente (Signal-to-Interference Ratio)

SNR:	Relación Señal a Ruido (Signal-to-Noise Ratio)
SOI:	Señal de Interés (Signal Of Interest)
SPDT:	Conmutador Single pole, double throw
TOA:	Tiempo de Arribo (Time Of Arrival)
ULA:	Arreglo Lineal Uniforme (Uniform Linear Array)
VANT:	Vehículo Aéreo No Tripulado
WGS:	World Geodetic System

Anexo B: Listado de Variables y Constantes

Variables:

Símbolo	Nombre	Relación entre variables
G	Ganancia	
BW	Ancho de Haz (Beam width)	
Z	Impedancia	$Z = R + jX$
R	Resistencia	$Z = R + jX$
X	Reactancia	$Z = R + jX$
Z_{ii}	Impedancia Propia	Ecuación 21
Z_{ij}	Impedancia Mutua	Ecuación 21
$V(z)$	Voltaje en línea de transmisión	Ecuación 33
V_0^+	Voltaje incidente	Ecuación 33
V_0^-	Voltaje reflejado	Ecuación 33
$I(z)$	Corriente en línea de transmisión	Ecuación 34
I_0^+	Corriente incidente	Ecuación 34
I_0^-	Corriente reflejada	Ecuación 34
Z_0	Impedancia característica de línea de transmisión	Ecuación 35
Z_L	Impedancia de carga	Ecuación 37
$\Gamma(z)$	Coefficiente de reflexión en línea de transmisión	Ecuación 36
Γ_0	Coefficiente de reflexión en carga	Ecuación 37
V	Potencial Eléctrico (Voltaje)	Ecuación 21
$\tilde{V}(z)$	Voltaje en línea de transmisión debido a una carga	Ecuación 38
$\tilde{I}(z)$	Corriente en línea de transmisión debido a una carga	Ecuación 39
$Z_{in}(z)$	Impedancia de entrada	Ecuación 41
I	Corriente Eléctrica	Ecuación 21
k	Constante de Fase	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
λ	Longitud de Onda	$c = \lambda * f$
f	Frecuencia	$c = \lambda * f$
d	Distancia entre antenas	
l	Longitud característica de una antena	
\vec{E}	Campo Eléctrico	Ecuación 1
\vec{H}	Campo Magnético	Ecuación 2
\vec{A}	Vector Potencial Magnético	Ecuación 3
(r, θ, φ)	Coordenadas esféricas	
\vec{J}	Densidad de corriente eléctrica	Ecuación 3
\vec{F}	Vector de Radiación	Ecuación 9
U	Intensidad de Radiación	Ecuación 16
ϵ	Permitividad	
μ	Permeabilidad	
AF	Factor de Arreglo (Array Factor)	Ecuación 17
w_n	Peso de alimentación de antena	Ecuación 17

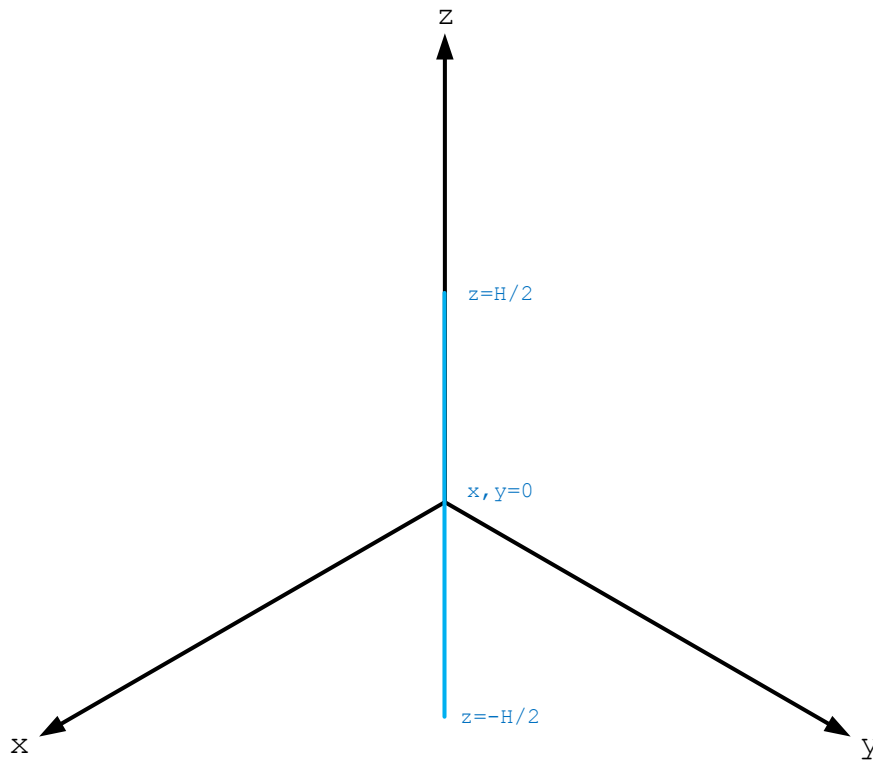
Símbolo	Nombre	Relación entre variables
β	Desfasaje de Alimentación de Arreglo	Ecuación 17
γ	Ángulo de Elevación	Ecuación 17
ψ	Fase compleja	Ecuación 17
e	Excentricidad de elipsoide	Ecuación 42
b	Radio Menor de elipsoide	Ecuación 42
a	Radio Mayor de elipsoide	Ecuación 42
AB	distancia entre puntos A y B	Ecuación 43
φ_A	Latitud del punto A	Ecuación 43
λ_A	Longitud del punto A	Ecuación 43
I_{eq}	Corriente equivalente de arreglo	Ecuación 44
t_{fs}	Retardo en el espacio libre	Ecuación 45
t_{tl}	Retardo en línea de transmisión	Ecuación 45
d_{fs}	Distancia recorrida en el espacio libre	Ecuación 45
d_{tl}	Distancia recorrida en línea de transmisión	Ecuación 45
v_p	Velocidad de propagación en línea de transmisión	Ecuación 45
p_{tl}	Razón entre la velocidad de propagación y la velocidad de la luz	Ecuación 45
$S(\text{DOA})$	Señal recombinada a partir de la configuración activa y una DOA especificada	Ecuación 49
L	Pérdidas de potencia	Ecuación 51
Γ_C	Coeficiente de reflexión de control para prueba de reflexión	
$ x ; \angle x$	Magnitud y fase de x	

Constantes :

Símbolo	Nombre	Valor
j	Unidad Compleja	$j = \sqrt{-1}$
η_0	Impedancia Intrínseca del Espacio Libre	$\eta_0 \cong 120\pi [\Omega]$
ϵ_0	Permitividad del Espacio Libre	$\epsilon_0 \cong \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \left[\frac{F}{m} \right]$
μ_0	Permeabilidad del Espacio Libre	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$
c	Velocidad de la luz en el vacío	$c = 2.998 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$
R_T	Radio Terrestre	$R_T = 6378.137 [km]$
a	WGS84: Semieje Mayor	$a = 6378.1370 [km]$
b	WGS84: Semieje Menor	$b = 6356.7523142 [km]$
e^2	WGS84: Excentricidad	$e^2 = 0.00669437999014$

Anexo C: Modelos de Antenas a partir de su Vector de Radiación

C1. Modelo de Dipolo infinitesimal con densidad de corriente uniforme



Considerando un dipolo de longitud H que se encuentra en el centro de coordenadas y ortogonal al plano xy , es necesario definir su vector de densidad de corriente:

$$\vec{J} = J_x \hat{x} + J_y \hat{y} + J_z \hat{z}$$

Debido a las características del dipolo se definen sus densidades de corriente vectoriales:

$$J_x = 0$$

$$J_y = 0$$

$$J_z = \begin{cases} I\delta(x)\delta(y) & -\frac{H}{2} < z < \frac{H}{2} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Utilizando la definición cartesiana del vector de radiación de la Ecuación 9 se tiene que se necesita calcular la componente en z , dado que los componentes en x e y de la densidad de corriente son nulas:

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} J_z(x', y', z') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} dx' dy' dz'$$

$$\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y} + k_z \hat{z}$$

$$\vec{r}' = x' \hat{x} + y' \hat{y} + z' \hat{z}$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I \delta(x) \delta(y) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} e^{jk_z z'} dx' dy' dz'$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x') e^{jk_x x'} dx' \int_{-\infty}^{\infty} \delta(y') e^{jk_y y'} dy' \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \frac{I}{jk_z} e^{jk_z z'} \Big|_{z'=-\frac{H}{2}}^{z'=\frac{H}{2}}$$

$$F_z = \frac{I}{jk_z} \left(e^{jk_z \frac{H}{2}} - e^{-jk_z \frac{H}{2}} \right)$$

$$F_z = \frac{2I}{k_z} \sin \left(k_z \frac{H}{2} \right)$$

$$F_z = \frac{H * I}{k_z \frac{H}{2}} \sin \left(k_z \frac{H}{2} \right)$$

$$F_z = H * I * \text{sinc} \left(k_z \frac{H}{2} \right)$$

Ecuación 52

$$\vec{F} = F_z \hat{z}$$

$$\vec{F} = H * I * \text{sinc} \left(k_z \frac{H}{2} \right) \hat{z}$$

Para utilizar el vector de radiación en la Ecuación 16 es necesario convertir al vector de radiación a coordenadas esféricas:

$$F_\theta = \cos(\theta) \cos(\phi) F_x + \cos(\theta) \sin(\phi) F_y - \sin(\theta) F_z$$

$$F_\theta = -\sin(\theta) H * I * \text{sinc} \left(k_z \frac{H}{2} \right)$$

$$F_\theta = -\sin(\theta)H * I * \operatorname{sinc}\left(k\cos(\theta)\frac{H}{2}\right)$$

$$F_\phi = -\sin(\phi)F_x + \cos(\phi)F_y$$

$$F_\phi = 0$$

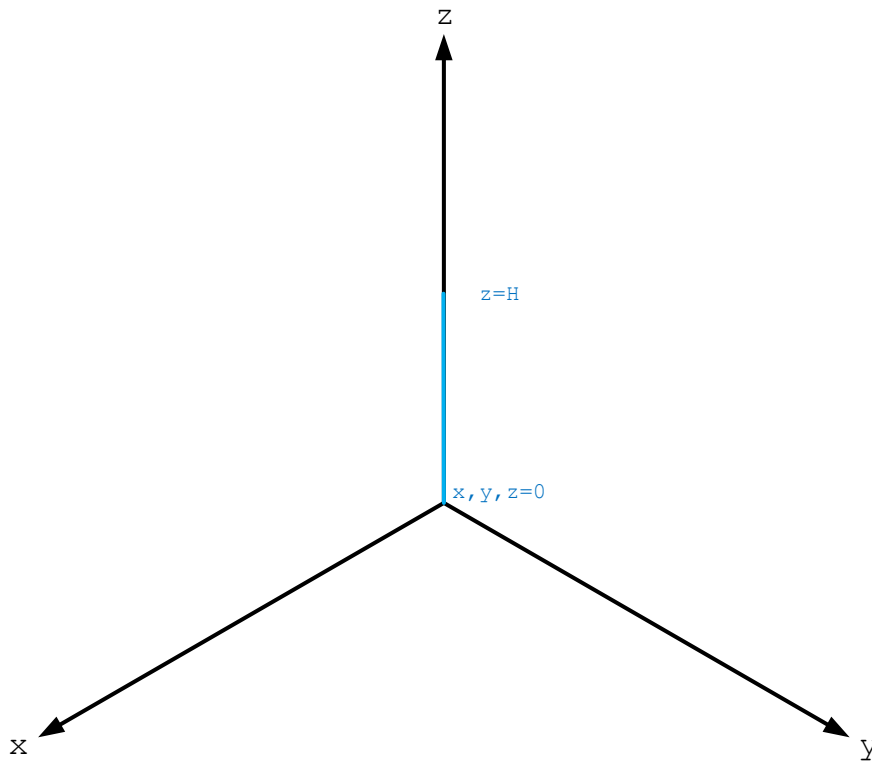
$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|F_\theta|^2 + |F_\phi|^2]$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} \left[\left| -\sin(\theta)H * I * \operatorname{sinc}\left(k_z\frac{H}{2}\right) \right|^2 + |0|^2 \right]$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} \left[\left| \sin(\theta)H * I * \operatorname{sinc}\left(k_z\frac{H}{2}\right) \right|^2 \right]$$

Ecuación 53

C2. Modelo de Monopolo infinitesimal con densidad de corriente senoidal



Considerando un monopolo de longitud H que se encuentra en el centro de coordenadas y ortogonal al plano xy , es necesario definir su vector de densidad de corriente:

$$\vec{J} = J_x \hat{x} + J_y \hat{y} + J_z \hat{z}$$

Debido a las características del dipolo se definen sus densidades de corriente vectoriales:

$$J_x = 0$$

$$J_y = 0$$

$$J_z = \begin{cases} I \cos\left(\frac{\pi}{2H}z\right) \delta(x)\delta(y) & 0 < z < H \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Utilizando la definición cartesiana del vector de radiación de la Ecuación 9 se tiene que se necesita calcular la componente en z , dado que los componentes en x e y de la densidad de corriente son nulas:

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} J_z(x', y', z') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} dx' dy' dz'$$

$$\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y} + k_z \hat{z}$$

$$\vec{r}' = x' \hat{x} + y' \hat{y} + z' \hat{z}$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^H I \cos\left(\frac{\pi}{2H} z'\right) \delta(x) \delta(y) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} e^{jk_z z'} dx' dy' dz'$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x') e^{jk_x x'} dx' \int_{-\infty}^{\infty} \delta(y') e^{jk_y y'} dy' \int_0^H I \cos\left(\frac{\pi}{2H} z'\right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \int_0^H I \cos\left(\frac{\pi}{2H} z'\right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \int_0^H I \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{2H} z'} + e^{-j\frac{\pi}{2H} z'}}{2} \right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_0^H e^{j\frac{\pi}{2H} z'} e^{jk_z z'} dz' + \int_0^H e^{-j\frac{\pi}{2H} z'} e^{jk_z z'} dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_0^H \exp\left(j\frac{\pi}{2H} z' + jk_z z'\right) dz' + \int_0^H \exp\left(-j\frac{\pi}{2H} z' + jk_z z'\right) dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_0^H \exp\left(jz' \left(k_z + \frac{\pi}{2H}\right)\right) dz' + \int_0^H \exp\left(jz' \left(k_z - \frac{\pi}{2H}\right)\right) dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2j} \left[\frac{1}{k_z + \frac{\pi}{2H}} \exp\left(jz' \left(k_z + \frac{\pi}{2H}\right)\right) \Big|_{z'=0}^{z'=H} + \frac{1}{k_z - \frac{\pi}{2H}} \exp\left(jz' \left(k_z - \frac{\pi}{2H}\right)\right) \Big|_{z'=0}^{z'=H} \right]$$

$$F_z = \frac{H * I}{j} \left[\frac{1}{2Hk_z + \pi} \left[\exp\left(jH \left(k_z + \frac{\pi}{2H}\right)\right) - \exp\left(j0 \left(k_z + \frac{\pi}{2H}\right)\right) \right] + \frac{1}{2Hk_z - \pi} \left[\exp\left(jH \left(k_z - \frac{\pi}{2H}\right)\right) - \exp\left(j0 \left(k_z - \frac{\pi}{2H}\right)\right) \right] \right]$$

$$F_z = \frac{H * I}{j} \left[\frac{1}{2Hk_z + \pi} \left[\exp\left(jH \left(k_z + \frac{\pi}{2H}\right)\right) - 1 \right] + \frac{1}{2Hk_z - \pi} \left[\exp\left(jH \left(k_z - \frac{\pi}{2H}\right)\right) - 1 \right] \right]$$

Ecuación 54

$$\vec{F} = F_z \hat{z}$$

Para utilizar el vector de radiación en la Ecuación 16 es necesario convertir al vector de radiación a coordenadas esféricas:

$$F_\theta = \cos(\theta)\cos(\phi)F_x + \cos(\theta)\sin(\phi)F_y - \sin(\theta)F_z$$

$$F_\theta = -\sin(\theta)H * I * \text{sinc}\left(k_z \frac{H}{2}\right)$$

$$\boxed{F_\theta = -\sin(\theta)F_z}$$

$$F_\phi = -\sin(\phi)F_x + \cos(\phi)F_y$$

$$\boxed{F_\phi = 0}$$

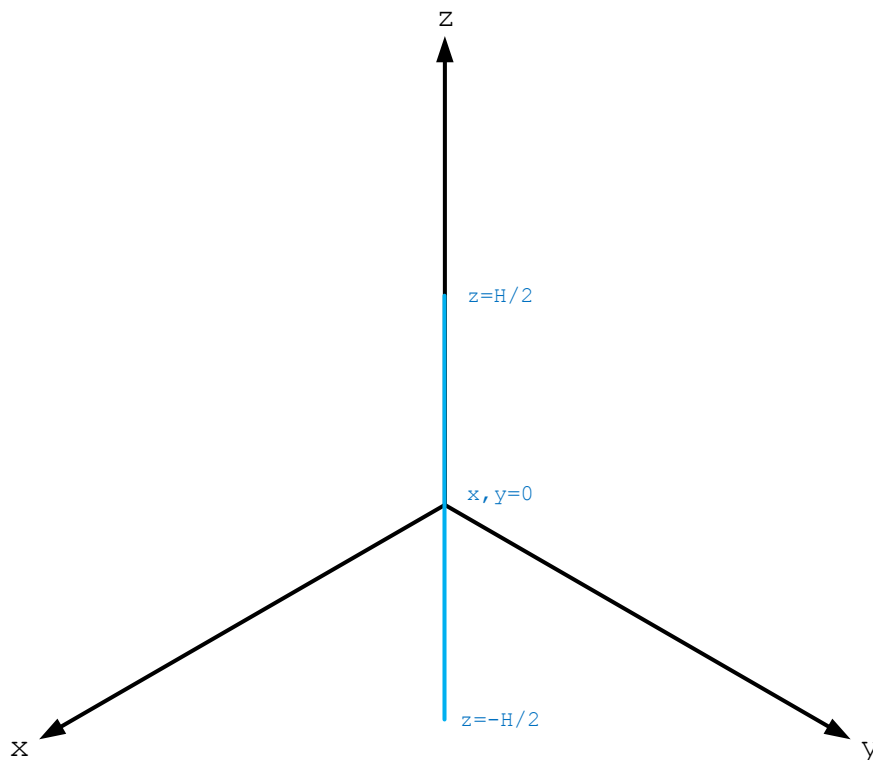
$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|F_\theta|^2 + |F_\phi|^2]$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|-\sin(\theta)F_z|^2 + |0|^2]$$

$$\boxed{U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} \left[\left[\sin(\theta) \frac{H * I}{j} \left[\frac{\exp\left(jH\left(k\cos(\theta) + \frac{\pi}{2H}\right)\right) - 1}{2Hk\cos(\theta) + \pi} + \frac{\exp\left(jH\left(k\cos(\theta) - \frac{\pi}{2H}\right)\right) - 1}{2Hk\cos(\theta) - \pi} \right] \right]^2 \right]}$$

Ecuación 55

C3. Modelo de Dipolo infinitesimal con densidad de corriente senoidal



Considerando un monopolo de longitud H que se encuentra en el centro de coordenadas y ortogonal al plano xy , es necesario definir su vector de densidad de corriente:

$$\vec{J} = J_x \hat{x} + J_y \hat{y} + J_z \hat{z}$$

Debido a las características del dipolo se definen sus densidades de corriente vectoriales:

$$J_x = 0$$

$$J_y = 0$$

$$J_z = \begin{cases} I \cos\left(\frac{\pi}{H} z\right) \delta(x) \delta(y) & -\frac{H}{2} < z < \frac{H}{2} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Utilizando la definición cartesiana del vector de radiación de la Ecuación 9 se tiene que se necesita calcular la componente en z , dado que los componentes en x e y de la densidad de corriente son nulas:

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} J_z(x', y', z') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} dx' dy' dz'$$

$$\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y} + k_z \hat{z}$$

$$\vec{r}' = x' \hat{x} + y' \hat{y} + z' \hat{z}$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I \cos\left(\frac{\pi}{H} z'\right) \delta(x) \delta(y) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} e^{jk_z z'} dx' dy' dz'$$

$$F_z = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x') e^{jk_x x'} dx' \int_{-\infty}^{\infty} \delta(y') e^{jk_y y'} dy' \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I \cos\left(\frac{\pi}{H} z'\right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I \cos\left(\frac{\pi}{H} z'\right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} I \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{H} z'} + e^{-j\frac{\pi}{H} z'}}{2} \right) e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} e^{j\frac{\pi}{H} z'} e^{jk_z z'} dz' + \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} e^{-j\frac{\pi}{H} z'} e^{jk_z z'} dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{H} z' + jk_z z'\right) dz' + \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \exp\left(-j\frac{\pi}{H} z' + jk_z z'\right) dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2} \left[\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \exp\left(jz' \left(k_z + \frac{\pi}{H}\right)\right) dz' + \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \exp\left(jz' \left(k_z - \frac{\pi}{H}\right)\right) dz' \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2j} \left[\frac{1}{k_z + \frac{\pi}{H}} \exp\left(jz' \left(k_z + \frac{\pi}{H}\right)\right) \Big|_{z'=-\frac{H}{2}}^{z'=\frac{H}{2}} + \frac{1}{k_z - \frac{\pi}{H}} \exp\left(jz' \left(k_z - \frac{\pi}{H}\right)\right) \Big|_{z'=-\frac{H}{2}}^{z'=\frac{H}{2}} \right]$$

$$F_z = \frac{I}{2j} \left[\frac{1}{k_z + \frac{\pi}{H}} \left[\exp\left(j\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H}\right)\right) - \exp\left(-j\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H}\right)\right) \right] \right.$$

$$\left. + \frac{1}{k_z - \frac{\pi}{H}} \left[\exp\left(j\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H}\right)\right) - \exp\left(-j\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H}\right)\right) \right] \right]$$

$$F_z = I \left[\frac{1}{k_z + \frac{\pi}{H}} \left[\sin\left(\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H}\right)\right) \right] + \frac{1}{k_z - \frac{\pi}{H}} \left[\sin\left(\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H}\right)\right) \right] \right]$$

$$F_z = \frac{H}{2} I \left[\frac{1}{\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H} \right)} \left[\sin \left(\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H} \right) \right) \right] + \frac{1}{\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H} \right)} \left[\sin \left(\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H} \right) \right) \right] \right]$$

$$\boxed{F_z = \frac{H}{2} I \left[\operatorname{sinc} \left(\frac{H}{2} \left(k_z + \frac{\pi}{H} \right) \right) + \operatorname{sinc} \left(\frac{H}{2} \left(k_z - \frac{\pi}{H} \right) \right) \right]}$$

Ecuación 56

$$\boxed{\vec{F} = F_z \hat{z}}$$

Para utilizar el vector de radiación en la Ecuación 16 es necesario convertir al vector de radiación a coordenadas esféricas:

$$F_\theta = \cos(\theta) \cos(\phi) F_x + \cos(\theta) \sin(\phi) F_y - \sin(\theta) F_z$$

$$F_\theta = -\sin(\theta) H * I * \operatorname{sinc} \left(k_z \frac{H}{2} \right)$$

$$\boxed{F_\theta = -\sin(\theta) F_z}$$

$$F_\phi = -\sin(\phi) F_x + \cos(\phi) F_y$$

$$\boxed{F_\phi = 0}$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|F_\theta|^2 + |F_\phi|^2]$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} [|-\sin(\theta) F_z|^2 + |0|^2]$$

$$\boxed{U(\theta, \phi) = \frac{\eta k^2}{32\pi^2} \left[\left| \sin(\theta) \frac{H}{2} I \left[\operatorname{sinc} \left(\frac{H}{2} \left(k \cos(\theta) + \frac{\pi}{H} \right) \right) + \operatorname{sinc} \left(\frac{H}{2} \left(k \cos(\theta) - \frac{\pi}{H} \right) \right) \right] \right|^2 \right]}$$

Ecuación 57

C4. Modelo de Desplazamiento de Antena

Si consideramos el caso en el cual la antena se encuentra desplazada del centro de coordenadas, pero es ortogonal al plano xy , se tiene la siguiente densidad de corriente infinitesimal:

$$\vec{J} = J_x \hat{x} + J_y \hat{y} + J_z \hat{z}$$

$$J_x = 0$$

$$J_y = 0$$

$$J_z = f(z) \delta(x - \Delta x) \delta(y - \Delta y)$$

$$F_{z\Delta} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} J_z(x', y', z') e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}'} dx' dy' dz'$$

$$\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y} + k_z \hat{z}$$

$$\vec{r}' = x' \hat{x} + y' \hat{y} + z' \hat{z}$$

$$F_{z\Delta} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(z') \delta(x' - \Delta x) \delta(y' - \Delta y) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} e^{jk_z z'} dx' dy' dz'$$

$$F_{z\Delta} = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x' - \Delta x) e^{jk_x x'} dx' \int_{-\infty}^{\infty} \delta(y' - \Delta y) e^{jk_y y'} dy' \int_{-\infty}^{\infty} f(z') e^{jk_z z'} dz'$$

$$F_{z\Delta} = e^{jk_x \Delta x} e^{jk_y \Delta y} \int_{-\infty}^{\infty} f(z') e^{jk_z z'} dz'$$

$$\boxed{F_{z\Delta} = e^{jk_x \Delta x} e^{jk_y \Delta y} F_z}$$

Ecuación 58

La Ecuación 58 muestra que el desplazamiento de una antena se puede separar del modelo de antena utilizado. Este resultado es útil para el modelado de arreglos de antena en donde se requiere ubicar espacialmente a los elementos radiantes bajo la misma configuración de antena.

Anexo D: Códigos de Simulación de Matlab

Por comodidad, se enlistan los diferentes códigos de simulación realizados en Matlab, ordenados por su fecha de creación, mostrando el desarrollo del diseño:

Matlab 1: Función AF...	247	Matlab 17: Rutina	
Matlab 2: Función AF2.	248	geo_script.....	264
Matlab 3: Función AF3..	249	Matlab 18: Función	
Matlab 4: Función AF4..	250	geo_ex_01.....	265
Matlab 5: Función AF5..	251	Matlab 19: Función	
Matlab 6: Función funcionU		geo_ex_02.....	267
.....	252	Matlab 20: Función	
Matlab 7: Rutina plotU.	253	geo_ex_03.....	269
Matlab 8: Rutina plotU_2254		Matlab 21: Rutina geo_rad	
Matlab 9: Rutina plotU_1255		271
Matlab 10: Rutina plotU_3		Matlab 22: Función	
.....	256	geo_ex_04.....	273
Matlab 11: Rutina		Matlab 23: Función	
plot_u_tri.....	257	geo_ex_05.....	276
Matlab 12: Rutina sph_plot		Matlab 24: Función func	
.....	258	ionU_v1.....	279
Matlab 13: Función		Matlab 25: Rutina	
funcionU_sp.....	259	plot_u_tri_v1.....	280
Matlab 14: Rutina		Matlab 26: Rutina	
plot_u_trig_c.....	260	plot_u_tri_v2.....	281
Matlab 15: Función geo_d262		Matlab 27: Rutina	
Matlab 16: Función ang_geo		plot_u_tri_v1_4antenas.	282
.....	263	Matlab 28: Función	
		fast_ang_geo.....	283

Matlab 29: Rutina	Matlab 43: Función
alg_test_01(fast) 284	alg_dir_test_01 312
Matlab 30: Función	Matlab 44: Función
sph_ang_geo 285	geo_tel_03 313
Matlab 31: Rutina	Matlab 45: Función
alg_test_02 286	dina_control_03 317
Matlab 32: Rutina	Matlab 46: Rutina
trigger_controller 287	plot_u_tri_v2_4antenas . 320
Matlab 33: Rutina error_ang	Matlab 47: Rutina
..... 289	plot_u_3d_4ant_v1 322
Matlab 34: Rutina	Matlab 48: Función
geo_tel_00 290	funcionU_v3_iso 325
Matlab 35: Función	Matlab 49: Rutina
geo_tel_01 291	plot_u_3d_4ant_v2_iso.. 326
Matlab 36: Función	Matlab 50: Rutina
array_4_trans 295	plot_u_3d_4ant_v3_smart 327
Matlab 37: Funcion	Matlab 51: Función
array_4_control 297	geo_test_smart_01 333
Matlab 38: Función	Matlab 52: Función
ang_validator_01 300	test_smart_01 338
Matlab 39: Función	Matlab 53: Función
dina_control_01 301	polar_clockside 340
Matlab 40: Función	Matlab 54: Función
dina_control_02 304	dina_plot_smart_01 341
Matlab 41: Función	Matlab 55: Rutina
geo_tel_02 307	array_pattern_v1 343
Matlab 42: Función	Matlab 56: Función
funcionU_v2 311	dina_plot_smart_02 345

Matlab 57: Función		Matlab 61: Rutina	
G_SNR_array_4_antenas..	347	array_pattern_v2.....	351
Matlab 58: Función		Matlab 62: Función	
polar_dB_v2.....	348	alg_dir_test_03.....	353
Matlab 59: Función		Matlab 63: Función	
alg_dir_test_02.....	349	gamma_pattern_v1.....	355
Matlab 60: Función		Matlab 64: Función	
G_SIR_array_4_antenas_smart		lob_vs_freq.....	357
.....	350		

Matlab 1: Función AF

Formato: AF(d,lambda,zp)

Descripción: Devuelve el factor de arreglo de un arreglo de antenas mediante el método de polinomios de Schelkunoff. Si se introducen n puntos nulos zp, el algoritmo devuelve el factor de arreglo de n+1 antenas espaciados una distancia d con una longitud de onda lambda.

Fecha de Creación: 15 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 15 de Enero de 2013

Código:

```
function AF(d,lambda,zp)
angle=(0:359)*pi/180;
zp=zp*pi/180;
ze=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(zp));
z=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(angle));
af=(z-ze(1));
    for k=2:length(zp)
        af=af.*(z-ze(k));
    end
afr=real(af);
afn=af/max(abs(af));
afdB=20*log10(afn);
figure
polar(angle,af);
%plot(angle*180/pi,afdB),axis([0,360,-25,0])
```

Matlab 2: Función AF2

Formato: AF2(d,lambda,n)

Descripción: Realiza un barrido del factor de arreglo obtenido a través del método de polinomios de Schelkunoff. Utilizando un arreglo de n antenas separados una distancia d y con una longitud de onda lambda, AF2 realiza un barrido de cero específico.

Fecha de Creación: 15 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 15 de Enero de 2013

Código:

```
function AF2(d,lambda,n)
angle=(0:5:360)*pi/180;
zp=angle;
ze=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(zp));
z=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(angle));
    aux=1;
    for k=1:n-1
        aux=aux.*(z-ze(1));
    end
    af=aux;
for q=2:length(zp);
    aux=1;
    for k=1:n-1
        aux=aux.*(z-ze(q));
    end
    af=[af;aux];
end

afr=real(af);
afn=af/max(max(abs(af)));
afdB=20*log10(afn);
[X,Y]=meshgrid(0:5:360,0:5:360);
mesh(X,Y,afdB)
```

Matlab 3: Función AF3

Formato: AF3(d,lambda,zp,n,c)

Descripción: Determina el factor de arreglo obtenido a través del método de polinomios de Schelkunoff. Utilizando un sistema de antenas lineal de n antenas, con separación d y longitud de onda lambda, AF3 calcula el factor de arreglo para un cero en particular y un offset de alimentación c.

Fecha de Creación: 16 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Enero de 2013

Código:

```
function AF3(d,lambda,zp,n,c)
angle=(0:359)*pi/180;
zp=zp*pi/180;
ze=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(zp));
z=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(angle));
af=(z-ze).^(n-1)/(n-1)+c;
afr=real(af);
afn=af/max(abs(af));
afdB=20*log10(afn);
figure
%polar(angle,afr);
%plot(angle*180/pi,afdB),axis([0,360,-25,0])
plot(angle*180/pi,afr)
```

Matlab 4: Función AF4

Formato: AF4(d,lambda,zp,c)

Descripción: Variante de Función AF3 con n=3, especificando un arreglo lineal de tres antenas.

Fecha de Creación: 16 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Enero de 2013

Código:

```
function AF4(d,lambda,zp,c)
angle=(0:359)*pi/180;
zp=zp*pi/180;
ze=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(zp));
z=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(angle));
af=(z-ze).^2/(2)+c;
afr=real(af);
afn=af/max(abs(af));
afdB=20*log10(afn);
figure
%polar(angle,afr);
%plot(angle*180/pi,afdB),axis([0,360,-25,0])
plot(angle*180/pi,afr)
```

Matlab 5: Función AF5

Formato: AF5(d,lambda,c)

Descripción: Variante de barrido, similar a Función AF2, usando Función AF4 con n=3, especificando un arreglo lineal de tres antenas.

Fecha de Creación: 16 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Enero de 2013

Código:

```
function AF5(d,lambda,c)
angle=(0:5:360)*pi/180;
zp=(0:5:180)*pi/180;
ze=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(zp));
z=exp(-i*d*2*pi/lambda*cos(angle));
af=(z-ze(1)).^(2)/(2)+c;
for q=2:length(zp);
    aux=(z-ze(q)).^(2)/(2)+c;
    af=[af;aux];
end

afr=real(af);
afn=af/max(max(abs(af)));
afdB=20*log10(afn);
[X,Y]=meshgrid(0:5:360,0:5:180);
mesh(X,Y,afr)
```

Matlab 6: Función funcionU

Formato: `u=funcionU(theta,phi,I,a,lamda,l,r)`

Descripción: Función que calcula la intensidad de radiación dado un ángulo de elevación θ y un ángulo de acimut ϕ . La intensidad de radiación se compone por un arreglo de dipolos infinitesimales de longitud l y longitud de onda λ . Los dipolos se disponen en un arreglo circular de radio r , separados angularmente, donde los parámetros de cada antena se resumen en el vector a y con alimentación de corriente I .

Fecha de Creación: 24 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 24 de Enero de 2013

Código:

```
function u=funcionU(theta,phi,I,a,lamda,l,r)
k=2*pi/lamda;
kx=k*sin(theta)*cos(phi);
ky=k*sin(theta)*sin(phi);
kz=k*cos(theta);

pos=2*pi/length(a)*(0:(length(a)-1));
x=r*cos(pos);
y=r*sin(pos);

[KX,X]=meshgrid(kx,x);
[KY,Y]=meshgrid(ky,y);
[KX,A]=meshgrid(kx,a);

B=A.*exp(1i*KX.*X).*exp(1i*KY.*Y);

J_z=I*l*sinc(kz*l/2)*sum(B);
f_theta=-sin(theta)*J_z;
u=15*pi/(lamda)^2*abs(f_theta).^2;
```


Matlab 7: Rutina plotU

Formato: plotU

Descripción: Utilizando la Función AF produce el patrón de radiación a un determinado ángulo de radiación de una única antena.

Fecha de Creación: 24 de Enero de 2013

Última fecha de Actualización: 28 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/6;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[0 1 0];
I=1;
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
u=funcionU(theta,phi,I,a,lamda,l,r);
u=u/max(abs(u));
udB=20*log10(abs(u));
if min(abs(u))==0
    minu=-40;
elseif min(udB)>=-3
    minu=-4;
else
    minu=min(udB);
end
rho=2*pi/length(a)*(0:(length(a)-1));
rp=r*ones(size(a));

figure
subplot(1,3,1)
polar(rho,rp,'o')
subplot(1,3,2)
polar(phi,u)
subplot(1,3,3)
polar_dB(phi*180/pi,udB,-3,0,10,'-')

```

Matlab 8: Rutina plotU_2

Formato: plotU_2

Descripción: Utilizando la Función AF produce cinco distintos patrones de máxima radiación para un arreglo circular de cuatro antenas.

Fecha de Creación: 18 de Febrero de 2013

Última fecha de Actualización: 18 de Febrero de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/6;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[1 0 1 0; 1 1 0.2 -1; 1 1 -1 -1; 1 1 -1 0.2; 0 1 0 1];
I=1;
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r=lamda/2;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u=funcionU(theta,phi,I,a(i,:),lamda,l,r);
    u=u/max(abs(u));
    udB=20*log10(abs(u));
    if min(abs(u))==0
        minu=-40;
    elseif min(udB)>=-3
        minu=-4;
    else
        minu=min(udB);
    end
    rho=2*pi/length(a(i,:))*(0:(length(a(i,:))-1));
    rp=r*ones(size(a(i,:)));

    figure
    subplot(1,3,1)
    polar(rho,rp,'o')
    subplot(1,3,2)
    polar(phi,u)
    subplot(1,3,3)
    polar_dB(phi*180/pi,udB,-3,0,10,'-')
end

```

Matlab 9: Rutina plotU_1

Formato: plotU_1

Descripción: Utilizando la Función AF produce los patrones de radiación de dos arreglos de antenas. Se considera un equitativo consumo de potencia entre los dos arreglos.

Fecha de Creación: 19 de Febrero de 2013

Última fecha de Actualización: 28 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/6;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[0 1 0 1; 1 0 0 0];
I=[1/sqrt(2) 1];
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r=lamda/2;
for k=1:2
u=funcionU(theta,phi,I(k),a(k,:),lamda,l,r);
max(abs(u))
%u=u/max(abs(u));
%udB=20*log10(abs(u));
%if min(abs(u))==0
%   minu=-40;
%elseif min(udB)>=-3
%   minu=-4;
%else
%   minu=min(udB);
%end
rho=2*pi/length(a(k,:))*(0:(length(a(k,:))-1));
rp=r*ones(size(a(k,:)));

figure
subplot(1,2,1)
polar(rho,rp,'o')
subplot(1,2,2)
polar(phi,u)
%subplot(1,3,3)
%polar_dB(phi*180/pi,udB,-3,0,10,'-')
end

```

Matlab 10: Rutina plotU_3

Formato: plotU_3

Descripción: Utilizando la Función AF produce los patrones de máxima radiación de seis arreglos de antenas. Se considera un equitativo consumo de potencia entre los diferentes arreglos.

Fecha de Creación: 19 de Febrero de 2013

Última fecha de Actualización: 28 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[1 0 1 0; 1 1 0.2 -1; 1 1 -1 -1; 1 1 -1 0.2; 0 1 0 1;1 0 0
0];
I=1./sqrt(sum((a') .^2));
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u=funcionU(theta,phi,I(i),a(i,:),lamda,l,r);
    max(abs(u));
    %u=u/max(abs(u));
    %udB=20*log10(abs(u));
    %if min(abs(u))==0
    %    minu=-40;
    %elseif min(udB)>=-3
    %    minu=-4;
    %else
    %    minu=min(udB);
    %end
    rho=2*pi/length(a(i,:))*(0:(length(a(i,:))-1));
    rp=r*ones(size(a(i,:)));

    figure
    subplot(1,2,1)% (1,3,1)
    polar(rho,rp,'o')
    subplot(1,2,2)% (1,3,2)
    polar(phi,u)
    %subplot(1,3,3)
    %polar_dB(phi*180/pi,udB,-3,0,10,'-')
end

```

Matlab 11: Rutina plot_u_tri

Formato: plot_u_tri

Descripción: Utilizando la Función AF produce los diferentes patrones de radiación para las diferentes configuraciones broadside y endfire de las combinaciones binarias de los antenas en un arreglo circular de tres antenas. Se considera la introducción de la misma potencia en las diferentes configuraciones.

Fecha de Creación: 8 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 22 de Julio de 2013

Código:

```

%close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi1=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[0 1 -1;1 0 -1;1 -1 0;1 1 0;1 0 1;0 1 1;0 1 0];
I=1./sqrt(sum((abs(a')).^2));
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u1(i,:)=funcionU(theta,phi1,I(i),a(i,:),lamda,l,r);
    rho=2*pi/length(a(i,:))*(0:(length(a(i,:))-1));
    rp=r*ones(size(a(i,:)));

    figure
    subplot(1,2,1)%(1,3,1)
    polar(rho,rp,'o')
    subplot(1,2,2)%(1,3,2)
    polar(phi1,u1(i,:))
end

```

Matlab 12: Rutina sph_plot

Formato: sph_plot

Descripción: Versión tridimensional de Rutina plot_u_tri. Utilizando la Función AF produce los diferentes patrones de radiación tridimensionales para las diferentes configuraciones broadside y endfire de las combinaciones binarias de los antenas en un arreglo circular de tres antenas. Se considera la introducción de la misma potencia en las diferentes configuraciones.

Fecha de Creación: 9 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 9 de Abril de 2013

Código:

```
close all, clear, echo off, clc

ph=linspace(0,2*pi,360);
th=linspace(0,pi,180);

[phi, theta]=meshgrid(ph,th);

a=[0 1 -1;1 0 -1;1 -1 0;1 1 0;1 0 1;0 1 1];
I=1./sqrt(sum((a').^2));
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
R=0*phi;
phi=R;
theta=R;
for i=1:length(th)
    u=funcionU(th(i),ph,I(1),a(1,:),lamda,l,r);
    u=abs(u);
    R(i,:)=u;
    phi(i,:)=ph;
    theta(i,:)=th(i)*ones(1,360);
end

%range=0:10;
%[XX YY ZZ] = meshgrid(range, range, range);
%[XX YY ZZ] = sph2cart(theta*pi/180,phi*pi/180,R);
ZZ=R.*cos(theta);
XX=R.*sin(theta).*cos(phi);
YY=R.*sin(theta).*sin(phi);
mesh(XX,YY,ZZ)
```

Matlab 13: Función `funcionU_sp`

Formato: `u=funcionU_sp (theta,phi,I,a,lamda,l,r)`

Descripción: Variante vectorial de Función `funcionU`. Función que calcula la intensidad de radiación dado un ángulo de elevación `theta` y un ángulo de acimut `phi`. La intensidad de radiación se compone por un arreglo de dipolos infinitesimales de longitud `l` y longitud de onda `lamda`. Los dipolos se disponen en un arreglo circular de radio `r`, separados angularmente, donde los parámetros de cada antena se resumen en el vector `a` y con alimentación de corriente `I`.

Fecha de Creación: 9 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 9 de Abril de 2013

Código:

```
function u=funcionU_sp (theta,phi,I,a,lamda,l,r)
k=2*pi/lamda;
kx=k*sin(theta).*cos(phi);
ky=k*sin(theta).*sin(phi);
kz=k*cos(theta);

pos=2*pi/length(a)*(0:(length(a)-1));
x=r*cos(pos);
y=r*sin(pos);

[KX,X]=meshgrid(kx,x);
[KY,Y]=meshgrid(ky,y);
[KX,A]=meshgrid(kx,a);

B=A.*exp(1i*KX.*X).*exp(1i*KY.*Y)

J_z=I*l*sinc(kz*l/2)*sum(B);
f_theta=-sin(theta).*J_z;
u=15*pi/(lamda)^2*abs(f_theta).^2;
```

Matlab 14: Rutina plot_u_trig_c

Formato: plot_u_trig_c

Descripción: Rutina que genera el patrón de radiación tridimensional, suponiendo un control por dirección entre las configuraciones broadside y endfire binarias. Se basa en la Rutina sph_plot y la Rutina plot_u_tri.

Fecha de Creación: 10 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 31 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc

ph=pi/180*(0:360);
th=pi/180*(0:180);

%a=[0 1 -1;1 0 -1;1 -1 0;1 1 0;1 0 1;0 1 1];
%I=1./sqrt(sum((a').^2));

lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;

R=zeros(length(th),length(ph));
RC=R;
for j=1:length(ph)

    alpha=mod(ph(j)*180/pi,180);

    if (alpha>=12 & alpha<48)
        a=[1 0 -1];
    elseif (alpha>=48 & alpha<72)
        a=[1 1 0];
    elseif (alpha>=72 & alpha<108)
        a=[0 1 -1];
    elseif (alpha>=108 & alpha<132)
        a=[1 0 1];
    elseif (alpha>=132 & alpha<168)
        a=[1 -1 0];
    else
        a=[0 1 1];
    end

    I=1./sqrt(sum((a).^2));

    for i=1:length(th)
        u=funcionU(th(i),ph,I,a,lamda,l,r);
        u=abs(u);
        R(i,:)=u;
    end
end

```



```
        phi(i,:) = ph;
        theta(i,:) = th(i) * ones(1, length(ph));
    end
    RC(:, j) = R(:, j);

end

Rp = RC(ceil(length(th)/2), :);
rho = 2 * pi / length(a) * (0 : (length(a) - 1));
rp = r * ones(size(a));

ZZ = RC .* cos(theta);
XX = RC .* sin(theta) .* cos(phi);
YY = RC .* sin(theta) .* sin(phi);

figure
subplot(1, 2, 1) % (1, 3, 1)
polar(rho, rp, 'o')
subplot(1, 2, 2) % (1, 3, 2)
polar(ph, Rp)
figure
mesh(XX, YY, ZZ, RC)
```

Matlab 15: Función geo_d

Formato: `D12=geo_d(P1,P2)`

Descripción: Función que implementa la ecuación Ecuación 43 en Matlab.

Fecha de Creación: 10 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 26 de Agosto de 2013

Código:

```
function D12=geo_d(P1,P2);  
D12 = 6378.137 * acos( cos( P1(1) ) * cos( P2(1) ) * cos(  
P2(2) - P1(2) ) + sin( P1(1) ) * sin( P2(1) ) );  
D12=real(D12);
```

Matlab 16: Función ang_geo

Formato: alpha=ang_geo(P1,P2)

Descripción: Función que implementa el algoritmo de cálculo de acimut entre el centro de referencia P1 y el punto aleatorio P2 en coordenadas de latitud y longitud.

Fecha de Creación: 10 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 8 de Agosto de 2013

Código:

```
function alpha=ang_geo(P1,P2);
%P1: centro de coordenadas
%P2: objeto de medición
%alpha: ángulo de dirección horario con el 0 en el norte
P1=P1*pi/180;
P2=P2*pi/180;
PH=[P1(1) P2(2)];
D12 = geo_d(P1,P2); %D en Km,Lat y Long en rad
D1H = geo_d(P1,PH);
D2H = geo_d(P2,PH);

gamma=acosd((D1H^2+D12^2-D2H^2)/(2*D1H*D12));
delta=P2-P1;
if (delta(1)>=0) & (delta(2)<0)
    alpha=gamma+270;
elseif (delta(1)>=0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90-gamma;
elseif (delta(1)<0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90+gamma;
else
    alpha=270-gamma;
end
alpha=real(alpha);
```

Matlab 17: Rutina geo_script

Formato: geo_script

Descripción: Rutina que utiliza Función ang_geo y Función geo_d en el algoritmo de control para ser mostrado en Google Earth.

Fecha de Creación: 10 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 10 de Abril de 2013

Código:

```
%P1: Pos actual avion, P2:Pos base, P3:Pos anterior avion
P1=[-0.8155 -78.0791]; %P(1)=Lat,P(2)Long
P2=[-1.0593 -78.1833];
P3=[-0.8155 -78.1791];
alpha_pos=ang_geo(P1,P2);
alpha_dir=ang_geo(P3,P1);
alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);

alpha_c=mod(alpha_rad,180);
if (alpha_c>=0 & alpha_c<60)
    coef=[1 0 -1];
elseif (alpha_c>=60 & alpha_c<120)
    coef=[0 1 -1];
else
    coef=[1 -1 0];
end

arrowStr = 'redcone.dae';

%kmlStr =
ge_quiver3(P1(2),P1(1),2400,sin(alpha_dir*pi/180),cos(alpha_dir*pi/180),0);
kmlStr =
ge_quiver3(P1(2),P1(1),2400,sin(alpha_dir*pi/180),cos(alpha_dir*pi/180),0,...
            'modelLinkStr',arrowStr,...
            'arrowScale',1e3,...
            'altitudeMode','relativeToGround',...
            'msgToScreen',true);
ge_output('Dir.kml',kmlStr);
```

Matlab 18: Función geo_ex_01

Formato: geo_ex_01()

Descripción: Utilizando las rutinas de exportación de Matlab a Google Earth (University of Amsterdam, 2007), esta rutina simula los datos de geo_data_ex_01 con el algoritmo de control indicando el acimut de posición y el acimut de dirección.

Fecha de Creación: 10 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 11 de Abril de 2013

Código:

```
function geo_ex_01()

geo_data_ex_01
%Define the location of the Collada model origin:
X = data(:,2); %latitude [degrees]
Y = data(:,3); %longitude [degrees]
Z = data(:,4); %elevation [m]
time = data(:,1); %tiempo

PB=[-0.262038 -78.418726 3150];
%Initialize kml strings as null character arrays:
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';

%Use Google's date format:
S = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
arrowrad = 'redcone.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
for a=2:length(time)

    tStart = datestr(time(a-1),S);
    tEnd = datestr(time(a),S);

    alpha_dir=ang_geo([X(a-1) Y(a-1)], [X(a) Y(a)]);
    %vary heading
    U1 = cos(deg2rad(alpha_dir));
    V1 = sin(deg2rad(alpha_dir));
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(X(a),Y(a),Z(a),U1,V1,W1,...
                    'modelLinkStr',arrowdir,...
                    'arrowScale',5e3,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
                    'timeSpanStop',tEnd,...
                    'msgToScreen',true)];
```

```

alpha_pos=ang_geo([X(a) Y(a)],PB(1:2));
%vary heading
U2 = cos(deg2rad(alpha_pos));
V2 = sin(deg2rad(alpha_pos));
W2 = 0;
kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(X(a),Y(a),Z(a),U2,V2,W2,...
                    'modelLinkStr',arrowrad,...
                    'arrowScale',1e3,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
                    'timeSpanStop',tEnd,...
                    'msgToScreen',true)];

%kmlStr1 =
ge_quiver3(X(a),Y(a),Z(a),U,V,W,'timeSpanStart',tStart,'timeSpanStop',tEnd);
end

%Add xyz-axes to the kml file to facilitate
%better interpretation:

%Organize the results into a folder structure:
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('radiacion',kmlStr2);

%Write the 3 foldered kmlStr's to a file:
ge_output('map_ex_01.kml',[f01,f02]);
%ge_output('map_ex_01.kml',kmlStr1);

```

Matlab 19: Función geo_ex_02

Formato: geo_ex_02()

Descripción: Utilizando las rutinas de exportación de Matlab a Google Earth (University of Amsterdam, 2007), esta rutina simula los datos de geo_data_ex_02 con el algoritmo de control indicando el acimut de posición, el acimut de dirección y la dirección de arribo estimada.

Fecha de Creación: 11 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 22 de Abril de 2013

Código:

```
function geo_ex_02()

geo_data_ex_02
%Define the location of the Collada model origin:
X = data(:,3); %latitude [degrees]
Y = data(:,2); %longitude [degrees]
Z = data(:,4); %elevation [m]
time = data(:,1); %tiempo

PB=[-0.262038 -78.418726 3150];
%Initialize kml strings as null character arrays:
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';
kmlStr4 = '';

%Use Google's date format:
S = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
arrowrad = 'white_arrow.dae';
for a=2:length(time)

    tStart = datestr(time(a-1),S);
    tEnd = datestr(time(a),S);

    alpha_dir=ang_geo([X(a-1) Y(a-1)], [X(a) Y(a)]);
    %vary heading
    U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
    V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(Y(a),X(a),Z(a),U1,V1,W1,...
                    'modelLinkStr',arrowdir,...
                    'arrowScale',5e3,...
                    'altitudeMode','absolute',...

```

```

        'timeSpanStart', tStart, ...
        'timeSpanStop', tEnd, ...
        'msgToScreen', true)];

alpha_pos=ang_geo([X(a) Y(a)], [PB(1) PB(2)]);
%vary heading
U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
W2 = 0;
kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Y(a),X(a),Z(a),U2,V2,W2,...
        'modelLinkStr', arrowpos, ...
        'arrowScale', 5e3, ...
        'altitudeMode', 'absolute', ...
        'timeSpanStart', tStart, ...
        'timeSpanStop', tEnd, ...
        'msgToScreen', true)];
alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
%vary heading
U3 = sin(alpha_rad*pi/180);
V3 = cos(alpha_rad*pi/180);
W3 = 0;
kmlStr3 =
[kmlStr3,ge_quiver3(Y(a),X(a),Z(a),U3,V3,W3,...
        'modelLinkStr', arrowrad, ...
        'arrowScale', 5e3, ...
        'altitudeMode', 'absolute', ...
        'timeSpanStart', tStart, ...
        'timeSpanStop', tEnd, ...
        'msgToScreen', true)];

%kmlStr1 =
ge_quiver3(X(a),Y(a),Z(a),U,V,W,'timeSpanStart',tStart,'timeSpanStop',tEnd);

        kmlStr4 =
[kmlStr4,ge_text(Y(a),X(a),Z(a),tEnd,...
        'altitudeMode', 'absolute', ...
        'timeSpanStart', tStart, ...
        'timeSpanStop', tEnd, ...
        'msgToScreen', true)];
end

%Add xyz-axes to the kml file to facilitate
%better interpretation:

%Organize the results into a folder structure:
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion',kmlStr3);
f04 = ge_folder('tiempo',kmlStr4);

%Write the 3 foldered kmlStr's to a file:
ge_output('map_ex_02.kml',[f01,f02,f03,f04]);
%ge_output('map_ex_01.kml',kmlStr1);

```


Matlab 20: Función geo_ex_03

Formato: geo_ex_03()

Descripción: Utilizando las rutinas de exportación de Matlab a Google Earth (University of Amsterdam, 2007), esta rutina simula los datos de geo_data_ex_02 con el algoritmo de control indicando el acimut de posición, el acimut de dirección y la dirección de arribo estimada.

Fecha de Creación: 16 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Abril de 2013

Código:

```
function geo_ex_03()

geo_data_ex_02
%Define the location of the Collada model origin:
X = data(:,3); %latitude [degrees]
Y = data(:,2); %longitude [degrees]
Z = data(:,4); %elevation [m]
time = data(:,1); %tiempo

PB=[-0.262038 -78.418726 3150];
%Initialize kml strings as null character arrays:
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';

%Use Google's date format:
S = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
arrowrad = 'white_arrow.dae';
for a=2:length(time)

    tStart = datestr(time(a-1),S);
    tEnd = datestr(time(a),S);

    alpha_dir=ang_geo([X(a-1) Y(a-1)], [X(a) Y(a)]);
    %vary heading
    U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
    V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(Y(1),X(1),Z(1),U1,V1,W1,...
                    'modelLinkStr',arrowdir,...
                    'arrowScale',5e3,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
```

```

        'timeSpanStop', tEnd, ...
        'msgToScreen', true)];

alpha_pos=ang_geo([X(a) Y(a)], [PB(1) PB(2)]);
%vary heading
U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
W2 = 0;
kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Y(1),X(1),Z(1),U2,V2,W2,...
    'modelLinkStr', arrowpos, ...
    'arrowScale', 5e3, ...
    'altitudeMode', 'absolute', ...
    'timeSpanStart', tStart, ...
    'timeSpanStop', tEnd, ...
    'msgToScreen', true)];
alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
%vary heading
U3 = sin(alpha_rad*pi/180);
V3 = cos(alpha_rad*pi/180);
W3 = 0;
kmlStr3 =
[kmlStr3,ge_quiver3(Y(1),X(1),Z(1),U3,V3,W3,...
    'modelLinkStr', arrowrad, ...
    'arrowScale', 5e3, ...
    'altitudeMode', 'absolute', ...
    'timeSpanStart', tStart, ...
    'timeSpanStop', tEnd, ...
    'msgToScreen', true)];

%kmlStr1 =
ge_quiver3(X(a),Y(a),Z(a),U,V,W, 'timeSpanStart', tStart, 'timeSpanStop', tEnd);
end

%Add xyz-axes to the kml file to facilitate
%better interpretation:

%Organize the results into a folder structure:
f01 = ge_folder('direccion', kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion', kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion', kmlStr3);

%Write the 3 foldered kmlStr's to a file:
ge_output('map_ex_03.kml', [f01, f02, f03]);
%ge_output('map_ex_01.kml', kmlStr1);

```

Matlab 21: Rutina geo_rad

Formato: geo_rad

Descripción: Rutina que muestra gráficamente el algoritmo de control dado acimut de posición y acimut de radiación.

Fecha de Creación: 22 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 23 de Abril de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Algoritmo de direccionamiento
%P1: Pos actual avion, P2:Pos base, P3:Pos anterior avion
%P1=[-0.8155 -78.0791]; %P(1)=Lat,P(2)Long
%P2=[-1.0593 -78.1833];
%P3=[-0.8155 -78.1791];
%alpha_pos=ang_geo(P1,P2);
%alpha_dir=ang_geo(P3,P1);
%alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Algoritmo de coeficientes
alpha_rad=140;
alpha_r=360-alpha_rad;
alpha_c=mod(alpha_r,180);

color=['b','b','b','b','b','b'];
if (alpha_c>=12 & alpha_c<48)
    color(1)='r';
elseif (alpha_c>=48 & alpha_c<72)
    color(2)='r';
elseif (alpha_c>=72 & alpha_c<108)
    color(3)='r';
elseif (alpha_c>=108 & alpha_c<132)
    color(4)='r';
elseif (alpha_c>=132 & alpha_c<168)
    color(5)='r';
else
    color(6)='r';
end

%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[1 0 -1;1 1 0;0 1 -1;1 0 1;1 -1 0;0 1 1];
I=1./sqrt(sum((a').^2));
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma

```

```
u(i,:) = funcionU(theta, phi, I(i), a(i,:), lamda, l, r);

end
rho = 2*pi/length(a(i,:)) * (0:(length(a(i,:))-1));
rp = r*ones(size(a(i,:)));

figure
subplot(1,2,1)
polar(rho, rp, 'o'), hold on

polar(alpha_r*pi/180, r, 'ro')
subplot(1,2,2)
for i=1:ma
polar(phi, u(i,:), color(i)), hold on
end
polar([0, alpha_r*pi/180], [0, 1.25*max(max(u))], 'r')
```

Matlab 22: Función geo_ex_04

Formato: geo_ex_04()

Descripción: Utilizando las rutinas de exportación de Matlab a Google Earth (University of Amsterdam, 2007), esta rutina simula los datos de geo_data_ex_02 con el algoritmo de control indicando el acimut de posición, el acimut de dirección y el patrón de radiación de la configuración actual de arreglo.

Fecha de Creación: 23 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 23 de Abril de 2013

Código:

```
function geo_ex_04()
%Hint: Trouble
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[1 0 -1;1 1 0;0 1 -1;1 0 1;1 -1 0;0 1 1];
I=1./sqrt(sum((a').^2));
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u(i,:)=funcionU(theta,phi,I(i),a(i,:),lamda,l,r);
end

geo_data_ex_02
%Define the location of the Collada model origin:
X = data(:,3); %latitude [degrees]
Y = data(:,2); %longitude [degrees]
Z = data(:,4); %elevation [m]
time = data(:,1); %tiempo

PB=[-0.262038 -78.418726 3150];
%Initialize kml strings as null character arrays:
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';

%Use Google's date format:
S = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
arrowrad = 'white_arrow.dae';
tic
for i=2:length(time)
```

```

tStart = datestr(time(i-1),S);
tEnd = datestr(time(i),S);

alpha_dir=ang_geo([X(i-1) Y(i-1)], [X(i) Y(i)]);
%vary heading
U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
W1 = 0;
kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(Y(i),X(i),Z(i),U1,V1,W1,...
    'modelLinkStr',arrowdir,...
    'arrowScale',5e3,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

alpha_pos=ang_geo([X(i) Y(i)], [PB(1) PB(2)]);
%vary heading
U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
W2 = 0;
kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Y(i),X(i),Z(i),U2,V2,W2,...
    'modelLinkStr',arrowpos,...
    'arrowScale',5e3,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
alpha_c=mod(alpha_rad,180);

if (alpha_c>=12 & alpha_c<48)
    ur=u(1,:);
elseif (alpha_c>=48 & alpha_c<72)
    ur=u(2,:);
elseif (alpha_c>=72 & alpha_c<108)
    ur=u(3,:);
elseif (alpha_c>=108 & alpha_c<132)
    ur=u(4,:);
elseif (alpha_c>=132 & alpha_c<168)
    ur=u(5,:);
else
    ur=u(6,:);
end
y1=ur.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Y(i);
x1=ur.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+X(i);
z1=Z(i)*ones(size(phi));

kmlStr3=[kmlStr3,ge_plot3(y1,x1,z1,...
    'lineColor','FFFF0000',...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

clc

```

```
(i-1)/(length(time)-1)*100
end
toc

%Add xyz-axes to the kml file to facilitate
%better interpretation:

%Organize the results into a folder structure:
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion',kmlStr3);

%Write the 3 foldered kmlStr's to a file:
ge_output('map_ex_04.kml',[f01,f02,f03]);
%ge_output('map_ex_01.kml',kmlStr1);
```

Matlab 23: Función geo_ex_05

Formato: geo_ex_05()

Descripción: Utilizando las rutinas de exportación de Matlab a Google Earth (University of Amsterdam, 2007), esta rutina simula los datos de geo_data_ex_04 con el algoritmo de control indicando el acimut de posición, el acimut de dirección y el patrón de radiación de la configuración actual de arreglo.

Fecha de Creación: 24 de Abril de 2013

Última fecha de Actualización: 25 de Abril de 2013

Código:

```
function geo_ex_05()

addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth'
)

%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[1 0 -1;1 1 0;0 1 -1;1 0 1;1 -1 0;0 1 1];
I=1./sqrt(sum((a').^2));
n=5;
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u(i,:)=funcionU(theta,phi,I(i),a(i,:),lamda,l,r);
end

geo_data_ex_04
%Define the location of the Collada model origin:
X = data(:,3); %latitude [degrees]
Y = data(:,2); %longitude [degrees]
Z = data(:,4); %elevation [m]
time = data(:,1); %tiempo

PB=[0.542349 -90.724703];
%Initialize kml strings as null character arrays:
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';

%Use Google's date format:
S = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
```



```
        'timeSpanStop', tEnd, ...  
        'msgToScreen', true)];  
  
    clc  
    (i-1)/(length(time)-1)*100  
end  
toc  
  
%Add xyz-axes to the kml file to facilitate  
%better interpretation:  
  
%Organize the results into a folder structure:  
f01 = ge_folder('direccion', kmlStr1);  
f02 = ge_folder('posicion', kmlStr2);  
f03 = ge_folder('radiacion', kmlStr3);  
  
%Write the 3 foldered kmlStr's to a file:  
ge_output('map_ex_05.kml', [f01, f02, f03]);  
%ge_output('map_ex_01.kml', kmlStr1);
```

Matlab 24: Función funcionU_v1

Formato: `u=funcionU_v1(theta,phi,param,lamda,l)`

Descripción: Evolución de Función `funcionU` y Función `funcionU_sp` que cambia el ingreso de información para diferentes configuraciones de arreglos, incluyendo amplitud, fase de señal y ubicación circular de elemento radiante. Adicionalmente se añadieron diferentes modelos de antenas como dipolo real e infinitesimal y monopolo real e infinitesimal.

Fecha de Creación: 30 de Mayo de 2013

Última fecha de Actualización: 9 de Septiembre de 2013

Código:

```
function u=funcionU_v1(theta,phi,param,lamda,l)
%A colorful canvas
%param=[a;r;pos];
a=param(1,:); %amplitud y fase de alimentación
r=param(2,:); %radio de posición de antena
pos=param(3,:); %ángulo de posición de antena

%I=1./sqrt(sum((abs(a')).^2)); %corriente equivalente
[ma, na, pa]=size(param);
I=1/sqrt(na);

k=2*pi/lamda;
kx=k*sin(theta)*cos(phi);
ky=k*sin(theta)*sin(phi);
kz=k*cos(theta);

x=r.*cos(pos);
y=r.*sin(pos);
[KX,X]=meshgrid(kx,x);
[KY,Y]=meshgrid(ky,y);
[KX,A]=meshgrid(kx,a);

B=A.*exp(1i*KX.*X).*exp(1i*KY.*Y);

%J_i=I*l*sinc(kz*l/2); %%Dipolo Ideal
J_i=I*(j*kz-
exp(j*l*kz).*(k*sin(k*l)+j*kz.*cos(k*l))./(kz.^2-k^2)); %%
Monopolo mejorado
%J_i=I*(sin(l/2*(kz+k))./(kz+k)+sin(l/2*(kz-k))./(kz-k));
%%Dipolo Mejorado

J_z=J_i*sum(B);

f_theta=-sin(theta)*J_z;
u=15*pi/(lamda)^2*abs(f_theta).^2;
```

Matlab 25: Rutina plot_u_tri_v1

Formato: plot_u_tri_v1

Descripción: Usando la Función funcionU_v1, el programa genera los diagramas de radiación para diferentes configuraciones de dos arreglos circulares de tres antenas cada uno con relación de radio 2:1 y con una rotación de 180 grados.

Fecha de Creación: 30 de Mayo de 2013

Última fecha de Actualización: 30 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));

lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r1=lamda/4;
r2=lamda/8;
param(:, :,1)=[ 1 1 1 0 0 0; r1 r2 r1 r2 r1 r2;
(0:5)*pi/3];
param(:, :,2)=[ 1 1i -1 0 0 0; param(2,:,1); param(3,:,1)];
param(:, :,3)=[ 0 0 1 1 1 0; param(2,:,1); param(3,:,1)];
param(:, :,4)=[ 0 0 1 1i -1 0; param(2,:,1); param(3,:,1)];
param(:, :,5)=[ 1 0 0 0 1 1; param(2,:,1); param(3,:,1)];
param(:, :,6)=[-1 0 0 0 1 1i; param(2,:,1); param(3,:,1)];
[ma, na, pa]=size(param);
for j=1:pa
    u(j, :)=funcionU_v1(theta,phi,param(:, :,j),lamda,l);

    figure
    subplot(1,2,1)% (1,3,1)
    polar(param(3, :,j),param(2, :,j), 'o')
    subplot(1,2,2)% (1,3,2)
    polar(phi,u(j, :))
end

```

Matlab 26: Rutina plot_u_tri_v2

Formato: plot_u_tri_v2

Descripción: Usando la Función funcionU_v1, el programa genera los diagramas de radiación para diferentes configuraciones de un arreglo circular de tres antenas.

Fecha de Creación: 30 de Mayo de 2013

Última fecha de Actualización: 30 de Mayo de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));
a=[0 1 0;1 li 1;li 1 li;-1 li -1;li -1 li;-1 li 1];
I=1./sqrt(sum((abs(a')).^2));
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r=lamda/4;
[ma, na]=size(a);
for i=1:ma
    u(i,:)=funcionU(theta,phi,I(i),a(i,:),lamda,l,r);
    rho=2*pi/length(a(i,:))*(0:(length(a(i,:))-1));
    rp=r*ones(size(a(i,:)));

    figure
    subplot(1,2,1)%(1,3,1)
    polar(rho,rp,'o')
    subplot(1,2,2)%(1,3,2)
    udB(i,:)=10*log10(u(i,:)./u(1,:));
    uplot(i,:)=max([1;0]*udB(i,:));
    polar(phi,uplot(i,:))
end

```

Matlab 27: Rutina plot_u_tri_v1_4antenas

Formato: plot_u_tri_v1_4antenas

Descripción: Usando la Función funcionU_v1, el programa genera los diagramas de radiación para diferentes configuraciones de un arreglo circular de tres antenas y una cuarta antena centrada. Se considera el retardo de señal por onda plana.

Fecha de Creación: 17 de Julio de 2013

Última fecha de Actualización: 23 de Agosto de 2013

Código:

```

close all, clear, echo off, clc
%dir=pi/4;
phi2=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
%zhi=pi/3;
%a=cos(zhi+pi/2*(0:3));

lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=[pi/4 3*pi/4]; %mejor op(2)
param(:, :, 2)=[exp(-i*[0 op(2) op(2) pi/2]); r1 r1 r1 r2;
(0:2)*2*pi/3 0];
param(:, :, 3)=[exp(-i*[op(2) 0 0 op(1)]); r1 r1 r1 r2;
(0:2)*2*pi/3 0];
param(:, :, 4)=[exp(-i*[op(2) op(2) op(2) 0]); r1 r1 r1 r2;
(0:2)*2*pi/3 0];
param(:, :, 1)=[0 0 0 4; r1 r1 r1 r2; (0:2)*2*pi/3 0];
[ma, na, pa]=size(param);
for j=1:pa
    u2(j, :)=funcionU_v1(theta, phi2, param(:, :, j), lamda, l);
    if j>1
        u2(j, :)=u2(j, :)./u2(1, :);
    end
    figure
    subplot(1,2,1)% (1,3,1)
    polar(param(3, :, j), param(2, :, j), 'o')
    subplot(1,2,2)% (1,3,2)
    polar(phi2, u2(j, :))
end

```

Matlab 28: Función fast_ang_geo

Formato: alpha=fast_ang_geo(P1,P2)

Descripción: Versión de Función ang_geo que considera un triángulo plano para reducir cálculos.

Fecha de Creación: 6 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 26 de Agosto de 2013

Código:

```
function alpha=fast_ang_geo(P1,P2);
%P1: centro de coordenadas
%P2: objeto de medición
%alpha: ángulo de dirección horario con el 0 en el norte
P1=P1*pi/180;
P2=P2*pi/180;
PH=[P1(1) P2(2)];
D12 = geo_d(P1,P2); %D en Km,Lat y Long en rad
D1H = geo_d(P1,PH);

gamma=acosd(D1H/D12);
delta=P2-P1;
if (delta(1)>=0) & (delta(2)<0)
    alpha=gamma+270;
elseif (delta(1)>=0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90-gamma;
elseif (delta(1)<0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90+gamma;
else
    alpha=270-gamma;
end
alpha=real(alpha);
```

Matlab 29: Rutina alg_test_01(fast)

Formato: alg_test_01(fast)

Descripción: Análisis comparativa entre los algoritmos
Función ang_geo y Función fast_ang_geo, usando la
información de geo_data_ex_02.

Fecha de Creación: 6 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Agosto de 2013

Código:

```

%%Comparación de Algoritmos 01: fast vs norm
clear,close all,clc
geo_data_ex_02

PB=[-0.262038 -78.418726];

PT=fliplr(data(:,2:3));

[md nd]=size(PT);

P1=PB*pi/180;
for i=1:md
P2=PT(i,:)*pi/180;
PH=[P1(1) P2(2)];
D12 = geo_d(P1,P2); %D en Km,Lat y Long en rad
D1H = geo_d(P1,PH);
D2H = geo_d(P2,PH);
angle(i,1)=acosd((D1H^2+D2H^2-D12^2)/(2*D1H*D2H));
angle(i,2)=ang_geo(P1*180/pi,P2*180/pi);
angle(i,3)=fast_ang_geo(P1*180/pi,P2*180/pi);
end
subplot(4,1,1)
plot(1:md,angle(:,1));
subplot(4,1,2)
plot(1:md,angle(:,2:3));
subplot(4,1,3)
plot(1:md,abs(diff(angle(:,2:3)')));
subplot(4,1,4)
plot(1:md,angle(:,1)-abs(diff(angle(:,2:3)')));

```


Matlab 30: Función sph_ang_geo

Formato: `alpha=sph_ang_geo(P1,P2)`

Descripción: Versión de Función `ang_geo` que considera un triángulo esférico.

Fecha de Creación: 7 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Agosto de 2013

Código:

```
function alpha=sph_ang_geo(P1,P2);
%P1: centro de coordenadas
%P2: objeto de medición
%alpha: ángulo de dirección horario con el 0 en el norte
P1=P1*pi/180;
P2=P2*pi/180;
PH=[P1(1) P2(2)];
R=6378.137;

D12 = geo_d(P1,P2)/R; %D en Km,Lat y Long en rad
D1H = geo_d(P1,PH)/R;
D2H = geo_d(P2,PH)/R;

gamma=acosd((cos(D2H)-
cos(D12)*cos(D1H))/(sin(D12)*sin(D1H)));

delta=P2-P1;
if (delta(1)>=0) & (delta(2)<0)
    alpha=gamma+270;
elseif (delta(1)>=0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90-gamma;
elseif (delta(1)<0) & (delta(2)>=0)
    alpha=90+gamma;
else
    alpha=270-gamma;
end
alpha=real(alpha);
```

Matlab 31: Rutina alg_test_02

Formato: alg_test_02

Descripción: Análisis comparativa entre los algoritmos
Función sph_ang_geo y Función fast_ang_geo, usando la
información de geo_data_ex_02.

Fecha de Creación: 7 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 12 de Agosto de 2013

Código:

```

%%Comparación de Algoritmos 02: fast vs spherical
clear,close all,clc
geo_data_ex_02

PB=[-0.262038 -78.418726];

PT=fliplr(data(:,2:3));

[md nd]=size(PT);

P1=PB*pi/180;
R=6378.137;

for i=1:md
P2=PT(i,:)*pi/180;
PH=[P1(1) P2(2)];
D12 = geo_d(P1,P2)/R; %D en Km,Lat y Long en rad
D1H = geo_d(P1,PH)/R;
D2H = geo_d(P2,PH)/R;
angle(i,1)=acosd((cos(D12) -
cos(D1H)*cos(D2H))/(sin(D1H)*sin(D2H)));
angle(i,2)=sph_ang_geo(P1*180/pi,P2*180/pi);
angle(i,3)=fast_ang_geo(P1*180/pi,P2*180/pi);
end

subplot(4,1,1)
plot(1:md,angle(:,1)),title('Variación de Ángulo Recto');
subplot(4,1,2)
plot(1:md,angle(:,2:3)),title('Comparativa de
Algoritmos'),legend('Esférico','Fast');
subplot(4,1,3)
plot(1:md,abs(diff(angle(:,2:3)'))),title('Diferencia de
Algoritmos');
subplot(4,1,4)
plot(1:md,angle(:,1) -
abs(diff(angle(:,2:3)'))),title('Diferencia entre variación
de ángulo recto y diferencia de Algoritmos');

```

Matlab 32: Rutina trigger_controller

Formato: trigger_controller

Descripción: Rutina que prueba el control por histéresis del algoritmo de control.

Fecha de Creación: 21 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 21 de Agosto de 2013

Código:

```

clear,clc,close all
lim_up=[0 66];
lim_down=[294 360];
ang=[0:360 1:360];
stat=0;
control=0*ang;
pos=0;
for i=1:length(ang)
    a=ang(i);
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=60 && a<180)
            pos=120;
            lim_up=[120 186];
            lim_down=[54 120];
        elseif (a>=180 && a<300)
            pos=240;
            lim_up=[240 306];
            lim_down=[174 240];
        else
            pos=0;
            lim_up=[0 66];
            lim_down=[294 360];
        end
    end
    control(i)=pos;
end
control2=0*ang;
pos=0;
for i=length(ang):-1:1
    a=ang(i);
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)

```

```
    if (a>=60 && a<180)
        pos=120;
        lim_up=[120 186];
        lim_down=[54 120];
    elseif (a>=180 && a<300)
        pos=240;
        lim_up=[240 306];
        lim_down=[174 240];
    else
        pos=0;
        lim_up=[0 66];
        lim_down=[294 360];
    end
    end
    control2(i)=pos;
end
subplot(2,1,1)
plot(ang)
subplot(2,1,2)
plot(1:length(ang),[control;control2]),legend('Subida','Bajada')
end
```

Matlab 33: Rutina error_ang

Formato: error_ang

Descripción: Caracterización del error del algoritmo de la
Función fast_ang_geo en función de la distancia.

Fecha de Creación: 25 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 29 de Septiembre de 2013

Código:

```
clear,clc,close all
center=[-78.49049 -0.2348];
data=[center(1)+(-0.2:0.005:0.2)*2;center(2)+(-
0.2:0.005:0.2)*2]';
[m n]=size(data);
P1=fliplr(center)*pi/180;
comp=zeros(m^2,2);
R=6378.137;
for i=1:m
    for j=1:m
        k=j+(i-1)*m;
        P2=[data(j,2) data(i,1)]*pi/180;
        PH=[P1(1) P2(2)];
        D12 = geo_d(P1,P2)/R; %D en Km,Lat y Long en rad
        D1H = geo_d(P1,PH)/R;
        D2H = geo_d(P2,PH)/R;
        comp(k,1)=acosd((cos(D12)-
cos(D1H)*cos(D2H))/(sin(D1H)*sin(D2H)));
        comp(k,2)=D12*R;
    end
end
figure
plot(comp(:,2),comp(:,1),'+')
comp(:,2)=1000*comp(:,2);
mpow=2*floor(log10(sum(comp(:,2))));
aux=0*comp;
counter=zeros(1,10);
M=m^2;
for i=1:mpow
    counter=0*counter;
    aux=0*aux;
    for j=1:M
        j
        num=floor(rem(comp(j,2)/10^(i-1),10))+1;
        counter(num)=counter(num)+1;
        index=sum(counter(1:num));
        aux=[aux(1:index-1,:); comp(j,:); aux(index:M-1,:)];
    end
    comp=aux;
end
comp(:,2)=comp(:,2)/1000;
figure
plot(comp(2:M,2),comp(2:M,1)-90),xlabel('Distancia
[Km]'),ylabel('Error [Grados]')
figure
semilogy(comp(2:M,2),abs(comp(2:M,1)-90))
```

Matlab 34: Rutina geo_tel_00

Formato: geo_tel_00

Descripción: Trazado de la ruta de la aeronave, basado en los datos de autopiloto de geo_data_ex_05.

Fecha de Creación: 26 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 26 de Agosto de 2013

Código:

```

addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth'
)

geo_data_ex_05

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1)*1.1574e-5+datenum('13_08_13__11_14_19',S2);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_').*ones(length(xx),1)
),char('N').*ones(length(xx),1));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);

kmlStr1='';

kmlStr1 =ge_plot3(Lon,Lat,alt,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'lineWidth',1.2,...
    'lineColor','ff32a4ff');

f01 = ge_folder('ruta',kmlStr1);
ge_output('map_tel_00.kml',f01);

```

Matlab 35: Función geo_tel_01

Formato: geo_tel_01()

Descripción: Aplicación del sistema de control a la información de autopiloto de geo_data_ex_05. Trayectoria pasada a Google Earth (University of Amsterdam, 2007).

Fecha de Creación: 26 de Agosto de 2013

Última fecha de Actualización: 28 de Agosto de 2013

Código:

```
function geo_tel_01()
addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth')
)

geo_data_ex_05

%%%Control Init%%%
lim_up=[0 33];
lim_down=[327 360];
stat=0;
sel=1;
S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1)*1.1574e-5+datenum('13_08_13__11_14_19',S2);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_'.*ones(length(xx),1)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

kmlStr0='';
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';
kmlStr4 = '';
kmlStr5 = ge_point(PB(2),PB(1),0,...
    'altitudeMode','relativeToGround',...

'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon2.png');

arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
arrowrad = 'white_arrow.dae';

kmlStr0 =ge_plot3(Lon,Lat,alt,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'lineWidth',1.2,...
    'lineColor','ff32a4ff');
```

```

%%% Antenna Array %%%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
param(:, :, 1)=[0 0 0 4; r_ant; ang_ant];
param(:, :, 2)=[exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]); r_ant;
ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]); r_ant;
ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]); r_ant;
ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]); r_ant;
ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]); r_ant;
ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]); r_ant;
ang_ant];%300
%                ANT1  ANT3  ANT2  ANT4
[ma, na, pa]=size(param);

for j=1:pa
    u(j, :)=funcionU_v1(theta,phi,param(:, :, j), lamda, l);
    figure
    polar(phi, u(j, :))
end

%%%Simulación%%%
for k=2:length(time)-1

    tStart = datestr(time(k), S1);
    tEnd = datestr(time(k+1), S1);

    alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)], [Lat(k)
Lon(k)]);
    %vary heading
    U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
    V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1, ge_quiver3(Lon(k), Lat(k), alt(k), U1, V1, W1, ...
    'modelLinkStr', arrowdir, ...
    'arrowScale', 5e2, ...
    'altitudeMode', 'absolute', ...
    'timeSpanStart', tStart, ...
    'timeSpanStop', tEnd, ...
    'msgToScreen', true)];

    alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);
    %vary heading
    U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
    V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
    W2 = 0;

```



```

        kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Lon(k),Lat(k),alt(k),U2,V2,W2,...
                    'modelLinkStr',arrowpos,...
                    'arrowScale',5e2,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
                    'timeSpanStop',tEnd,...
                    'msgToScreen',true)];

    alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
    a=alpha_rad;
    %%Control por histéresis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=[27 60];
            lim_up=[60 93];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;
            lim_down=[87 120];
            lim_up=[120 153];
        elseif (a>=150 && a<210) %180
            sel=5;
            lim_down=[147 180];
            lim_up=[180 213];
        elseif (a>=210 && a<270) %240
            sel=6;
            lim_down=[207 240];
            lim_up=[240 273];
        elseif (a>=270 && a<330) %300
            sel=7;
            lim_down=[267 300];
            lim_up=[300 333];
        else %0
            sel=2;
            lim_down=[327 360];
            lim_up=[0 33];
        end
    end

    ur=u(sel,:);
    y1=ur.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lon(k);
    x1=ur.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lat(k);
    z1=alt(k)*ones(size(phi));

    kmlStr3=[kmlStr3,ge_plot3(y1,x1,z1,...
                              'lineColor','FFFF0000',...
                              'altitudeMode','absolute',...
                              'timeSpanStart',tStart,...
                              'timeSpanStop',tEnd,...
                              'msgToScreen',true)];
    kmlStr4=[kmlStr4,ge_point(Lon(k),Lat(k),alt(k),...

```

```
'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon48.png',...
    'iconScale',0.5,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

clc
(k-1)/(length(time)-2)*100
sel
end

f00 = ge_folder('ruta',kmlStr0);
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion',kmlStr3);
f04 = ge_folder('Avion',kmlStr4);
f05 = ge_folder('Base',kmlStr5);

ge_output('map_tel_01.kml',[f00,f01,f02,f03,f04,f05]);
```

Matlab 36: Función array_4_trans

Formato: array_4_trans()

Descripción: Usando la Función funcionU_v1, el programa genera los diagramas de radiación para diferentes configuraciones de un arreglo circular de tres antenas y una cuarta antena centrada; también considera los estados intermedios producto de la conmutación del sistema. Se considera el retardo de señal por onda plana.

Fecha de Creación: 1 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 9 de Agosto de 2013

Código:

```
function array_4_trans()
close all

phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :,2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :,8) = [antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9) = [antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
```

```

param(:, :, 10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :, 13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);
u(1, :)=4*funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, l);
figure
polar(phi, u(1, :))
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, l);
figure
polar(phi, u(k, :))
end

figure
polar(phi, u(2, :)), hold on
for k=1:pa
if(k==1)
str='r';
elseif(k<8)
str='g';
else
str='b';
end
polar(phi, u(k, :), str), hold on
end
end

```

Matlab 37: Función array_4_control

Formato: array_4_control()

Descripción: Usando la Función funcionU_v1, la Rutina plot_u_tri_v1_4antenas, la Función array_4_trans y la Rutina trigger_controller, el programa utiliza las configuraciones de arreglo para mostrar el efecto de aplicar el control por histéresis. También muestra los diferentes estados intermedios para contrastar la pérdida de ganancia.

Fecha de Creación: 2 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 17 de Agosto de 2013

Código:

```
function array_4_control()

lim_up=[0 33];
lim_down=[327 360];
stat=0;
sel=1;

phi=linspace(0, 2*pi,361);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 1)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

iso=[2*antena(1, :); r_ant; ang_ant];

[ma, na, pa]=size(param);
```

```

for j=1:pa
    u(j,:)=funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,j),lamda,l);
end
uiso=funcionU_v1(theta,phi,iso,lamda,l);
for j=1:361
    a=phi(j)*180/pi;
    %%%Control por histéresis%%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=2;
            lim_down=[27 60];
            lim_up=[60 93];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=3;
            lim_down=[87 120];
            lim_up=[120 153];
        elseif (a>=150 && a<210) %180
            sel=4;
            lim_down=[147 180];
            lim_up=[180 213];
        elseif (a>=210 && a<270) %240
            sel=5;
            lim_down=[207 240];
            lim_up=[240 273];
        elseif (a>=270 && a<330) %300
            sel=6;
            lim_down=[267 300];
            lim_up=[300 333];
        else %0
            sel=1;
            lim_down=[327 360];
            lim_up=[0 33];
        end
    end
    sel
    ur=u(sel,:);
    array_dinal(j)=ur(j);
end

for j=361:-1:1
    a=phi(j)*180/pi;
    %%%Control por histéresis%%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=2;

```

```

        lim_down=[27 60];
        lim_up=[60 93];
elseif (a>=90 && a<150) %120
    sel=3;
    lim_down=[87 120];
    lim_up=[120 153];
elseif (a>=150 && a<210) %180
    sel=4;
    lim_down=[147 180];
    lim_up=[180 213];
elseif (a>=210 && a<270) %240
    sel=5;
    lim_down=[207 240];
    lim_up=[240 273];
elseif (a>=270 && a<330) %300
    sel=6;
    lim_down=[267 300];
    lim_up=[300 333];
else %0
    sel=1;
    lim_down=[327 360];
    lim_up=[0 33];
end
end
sel
ur=u(sel,:);
array_dina2(j)=ur(j);
end
figure
polar(phi,array_dina1),hold on
polar(phi,array_dina2,'r'),hold on

polar(phi,uiso,'g'),legend('Increase','Decrease','Original')

(mean(array_dina1)+mean(array_dina2))/2

```

Matlab 38: Función ang_validator_01

Formato: ang_validator_01()

Descripción: Función que prueba el algoritmo de validación de DOA.

Fecha de Creación: 8 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 8 de Agosto de 2013

Código:

```
function ang_validator_01()
ang=0:360;
[A0, A1]=meshgrid(ang,ang);
V=0*A0;
delta=0.05*360;
for i=1:361
    for j=1:361
        if (abs(A0(i,j)-A1(i,j))<=delta)
            V(i,j)=1;
        elseif (abs(A0(i,j)+360-A1(i,j))<=delta)
            V(i,j)=1;
        elseif (abs(A0(i,j)-360-A1(i,j))<=delta)
            V(i,j)=1;
        else
            V(i,j)=0;
        end
    end
end
end

mesh(A0,A1,V)
```


Matlab 39: Función dina_control_01

Formato: [time st uc2]=dina_control_01()

Descripción: Simulación de la intensidad de radiación del sistema de antena inteligente aplicando el sistema de control a la información de autopiloto de geo_data_ex_05 (University of Amsterdam, 2007).

Fecha de Creación: 8 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Octubre de 2013

Código:

```
function [time st uc2]=dina_control_01()

geo_data_ex_05

%%%Control Init%%%
lim_up=[0 33];
lim_down=[327 360];
stat=0;
sel=1;
S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_'.*ones(length(xx),1)
)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1,:); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :,2)=[antena(2,:) .*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[antena(2,:) .*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
```

```

param(:, :, 4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :, 8)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :, 9)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :, 10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :, 13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);

u(1, :)=4*funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, l);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, l);
end

%%Simulación%%
uc1=max(u(1, :))*ones(size(time));
uc2=uc1;
st=-1*ones(size(time));

for k=2:length(time)-1

tStart = datestr(time(k), S1);
tEnd = datestr(time(k+1), S1);

alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)], [Lat(k)
Lon(k)]);

alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir, 360);
a=alpha_rad;

%%Control por histéresis%%
if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2)) || ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
stat=0;
else
stat=1;
end

if (stat==1)
if (a>=30 && a<90) %60

```

```

        sel=3;
        lim_down=[27 60];
        lim_up=[60 93];
elseif (a>=90 && a<150) %120
    sel=4;
    lim_down=[87 120];
    lim_up=[120 153];
elseif (a>=150 && a<210) %180
    sel=5;
    lim_down=[147 180];
    lim_up=[180 213];
elseif (a>=210 && a<270) %240
    sel=6;
    lim_down=[207 240];
    lim_up=[240 273];
elseif (a>=270 && a<330) %300
    sel=7;
    lim_down=[267 300];
    lim_up=[300 333];
else %0
    sel=2;
    lim_down=[327 360];
    lim_up=[0 33];
end
end

ur=u(sel,:);

if(~isnan(a))
    if (stat==1)
        ur=u(floor(a/60)+8,:);
    end
    uc1(k)=ur(floor(a)+1);
    ur=u(sel,:);
    uc2(k)=ur(floor(a)+1);
end
st(k)=stat;
end
figure
subplot(2,1,1)
plot(time,uc1)
subplot(2,1,2)
plot(time,uc2)
figure
plot(time,st)
figure
plot(time,uc2),xlabel('Muestra'),ylabel('Intensidad de
Radiacion'),title('Algorimo original')

```

Matlab 40: Función dina_control_02

Formato: [time st uc2]=dina_control_02()

Descripción: Simulación de la intensidad de radiación del sistema de antena inteligente aplicando el sistema de control y la detección de dirección de arribo a la información de autopiloto de geo_data_ex_05 (University of Amsterdam, 2007).

Fecha de Creación: 8 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Octubre de 2013

Código:

```
function [time st uc2]=dina_control_02()

geo_data_ex_05

%%Control Init%%
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_'.*ones(length(xx),1)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
```

```

%%Estados Estables%%
                                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :, 2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300
%%Estados Transitivos%%
param(:, :, 8)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :, 9)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :, 10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :, 13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);
u(1, :)=4*funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, l);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, l);
end

%%Simulación%%
ucl=max(u(1, :))*ones(size(time));
uc2=ucl;
st=-1*ones(size(time));
for k=2:length(time)-1

tStart = datestr(time(k), S1);
tEnd = datestr(time(k+1), S1);

alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)], [Lat(k)
Lon(k)]);

alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir, 360);
a0=alpha_rad;

if (abs(a0-a1)<=delta1)
a=a0;
elseif (abs(a0+360-a1)<=delta1)
a=a0;
elseif (abs(a0-360-a1)<=delta1)
a=a0;
else
a=a;
end

```

```

    %%Control por histéresis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2)) || ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=60+[-1*border 0];
            lim_up=60+[0 border];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;
            lim_down=120+[-1*border 0];
            lim_up=120+[0 border];
        elseif (a>=150 && a<210) %180
            sel=5;
            lim_down=180+[-1*border 0];
            lim_up=180+[0 border];
        elseif (a>=210 && a<270) %240
            sel=6;
            lim_down=240+[-1*border 0];
            lim_up=240+[0 border];
        elseif (a>=270 && a<330) %300
            sel=7;
            lim_down=300+[-1*border 0];
            lim_up=300+[0 border];
        else %0
            sel=2;
            lim_down=360+[-1*border 0];
            lim_up=0+[0 border];
        end
    end

    ur=u(sel,:);

    if(~isnan(a0))
        if (stat==1)
            ur=u(floor(a0/60)+8,:);
        end
        uc1(k)=ur(floor(a0)+1);
        ur=u(sel,:);
        uc2(k)=ur(floor(a0)+1);
    end
    a1=a0;
    st(k)=stat;
end
figure
subplot(2,1,1)
plot(time,uc1)
subplot(2,1,2)
plot(time,uc2)
figure
plot(time,st)
figure
plot(time,uc2),xlabel('Muestra'),ylabel('Intensidad de
Radiacion'),title('Algorimo modificado')

```

Matlab 41: Función geo_tel_02

Formato: geo_tel_02()

Descripción: Simulación de los datos de autopiloto de geo_data_ex_05 en Google Earth (University of Amsterdam, 2007). El sistema de control incluye la detección de DOA.

Fecha de Creación: 8 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 9 de Septiembre de 2013

Código:

```
function geo_tel_02()
addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth')

geo_data_ex_05

%%%Control Init%%%
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1)*1.1574e-5+datenum('13_08_13__11_14_19',S2);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_'.*ones(length(xx),1)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

kmlStr0='';
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';
kmlStr4 = '';
kmlStr5 = ge_point(PB(2),PB(1),0,...
    'altitudeMode','relativeToGround',...

'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon2.png');

arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
```

```

arrowrad = 'white_arrow.dae';

    kmlStr0 =ge_plot3(Lon,Lat,alt,...
        'altitudeMode','absolute',...
        'lineWidth',1.2,...
        'lineColor','ff32a4ff');

%%% Antenna Array %%%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%%Estados Estables%%
                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :,2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%300
%%%Estados Transitivos%%
param(:, :,8) = [antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9) = [antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :,10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :,11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :,12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :,13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);
u(1, :)=4*funcionU_v1(theta,phi,param(:, :,1), lamda, l);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta,phi,param(:, :,k), lamda, l);
    %figure
    %polar(phi,u(j, :))
end

%%%Simulación%%%
for k=2:length(time)-1

```



```

tStart = datestr(time(k),S1);
tEnd = datestr(time(k+1),S1);

    alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)], [Lat(k)
Lon(k)]);
    %vary heading
    U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
    V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(Lon(k),Lat(k),alt(k),U1,V1,W1,...
                    'modelLinkStr',arrowdir,...
                    'arrowScale',5e2,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
                    'timeSpanStop',tEnd,...
                    'msgToScreen',true)];

    alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);
    %vary heading
    U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
    V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
    W2 = 0;
    kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Lon(k),Lat(k),alt(k),U2,V2,W2,...
                    'modelLinkStr',arrowpos,...
                    'arrowScale',5e2,...
                    'altitudeMode','absolute',...
                    'timeSpanStart',tStart,...
                    'timeSpanStop',tEnd,...
                    'msgToScreen',true)];

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
a0=alpha_rad;

    if (abs(a0-a1)<=delta1)
        a=a0;
    elseif (abs(a0+360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    elseif (abs(a0-360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else
        a=a;
    end
    %%Control por histéresis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2)) || ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=60+[-1*border 0];
            lim_up=60+[0 border];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;

```

```

        lim_down=120+[-1*border 0];
        lim_up=120+[0 border];
    elseif (a>=150 && a<210) %180
        sel=5;
        lim_down=180+[-1*border 0];
        lim_up=180+[0 border];
    elseif (a>=210 && a<270) %240
        sel=6;
        lim_down=240+[-1*border 0];
        lim_up=240+[0 border];
    elseif (a>=270 && a<330) %300
        sel=7;
        lim_down=300+[-1*border 0];
        lim_up=300+[0 border];
    else %0
        sel=2;
        lim_down=360+[-1*border 0];
        lim_up=0+[0 border];
    end
end
ur=u(sel,:);
if(~isnan(a0))
    if (stat==1)
        ur=u(floor(a0/60)+8,:);
    end
end

y1=ur.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lon(k);
x1=ur.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lat(k);
z1=alt(k)*ones(size(phi));

kmlStr3=[kmlStr3,ge_plot3(y1,x1,z1,...
    'lineColor','FFFF0000',...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];
kmlStr4=[kmlStr4,ge_point(Lon(k),Lat(k),alt(k),...
    'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon48.png',...
    'iconScale',0.5,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

clc
(k-1)/(length(time)-2)*100
sel
al=a0;
end

f00 = ge_folder('ruta',kmlStr0);
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion',kmlStr3);
f04 = ge_folder('Avion',kmlStr4);
f05 = ge_folder('Base',kmlStr5);

ge_output('map_tel_02.kml',[f00,f01,f02,f03,f04,f05]);

```

Matlab 42: Función funcionU_v2

Formato: `u=funcionU_v2(theta,phi,param,lamda,l)`

Descripción: Variante para modificaciones de Función `funcionU_v1`. Realizado para evitar perder retro compatibilidad.

Fecha de Creación: 7 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Octubre de 2013

Código:

```
function u=funcionU_v2(theta,phi,param,lamda,l)
%Answer to the Ultimate Question of Life, the Universe, and
Everything
%param=[a;r;pos];
a=param(1,:); %amplitud y fase de alimentación
r=param(2,:); %radio de posición de antena
pos=param(3,:); %ángulo de posición de antena

I=1./sqrt(sum((abs(a')).^2)); %corriente equivalente
%[ma, na, pa]=size(param);
%I=1/sqrt(na);

k=2*pi/lamda;
kx=k*sin(theta)*cos(phi);
ky=k*sin(theta)*sin(phi);
kz=k*cos(theta);

x=r.*cos(pos);
y=r.*sin(pos);

[KX,X]=meshgrid(kx,x);
[KY,Y]=meshgrid(ky,y);
[KX,A]=meshgrid(kx,a);

B=A.*exp(1i*KX.*X).*exp(1i*KY.*Y);

J_i=I*1*sinc(kz*l/2); %%Dipolo Ideal
%J_i=I*(j*kz-
exp(j*1*kz).*(k*sin(k*1)+j*kz.*cos(k*1)))./(kz.^2-k^2); %%
Monopolo mejorado
J_i=I*(sin(1/2*(kz+k))./(kz+k)+sin(1/2*(kz-k))./(kz-k));
%%Dipolo Mejorado

J_z=J_i*sum(B);

f_theta=-sin(theta)*J_z;
u=15*pi/(lamda)^2*abs(f_theta).^2;
```

Matlab 43: Función alg_dir_test_01

Formato: alg_dir_test_01()

Descripción: Comparativa entre la estimación del acimut de dirección versus el acimut de dirección ofrecido por el autopiloto, usando la información de geo_data_ex_05.

Fecha de Creación: 14 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 14 de Septiembre de 2013

Código:

```
function alg_dir_test_01()

geo_data_ex_05

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';
time=data(:,1)*1.1574e-5+datenum('13_08_13__11_14_19',S2);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
head=data(:,6)/10;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_',1.*ones(length(xx),1)
)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
dir=0*head;
for k=2:length(time)-1
    alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)],[Lat(k)
Lon(k)]);
    dir(k)=alpha_dir;
end
figure
subplot(3,1,1)
plot(time,head)
subplot(3,1,2)
plot(time,dir)
subplot(3,1,3)
plot(time,abs(head-dir))
mean(abs(head-dir))
```

Matlab 44: Función geo_tel_03

Formato: geo_tel_03()

Descripción: Simulación de los datos de autopiloto de en Google Earth (University of Amsterdam, 2007). El sistema de control incluye la detección de DOA y los datos de dirección.

Fecha de Creación: 14 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 14 de Septiembre de 2013

Código:

```
function geo_tel_03()
addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth')
)

geo_data_ex_05

%%%Control Init%%%
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1)*1.1574e-5+datenum('13_08_13__11_14_19',S2);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
head=data(:,6)/10;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_',.*ones(length(xx),1)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

kmlStr0='';
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';
kmlStr4 = '';
kmlStr5 = ge_point(PB(2),PB(1),0,...
    'altitudeMode','relativeToGround',...

'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon2.png');
arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
```

```

arrowrad = 'white_arrow.dae';

    kmlStr0 =ge_plot3(Lon,Lat,alt,...
        'altitudeMode','absolute',...
        'lineWidth',1.2,...
        'lineColor','ff32a4ff');

%%% Antenna Array %%%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%Estados Estables%%
                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :,2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)])];
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)])];
r_ant; ang_ant];%300
%%Estados Transitorios%%
param(:, :,8) = [antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9) = [antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :,10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :,11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :,12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :,13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);
    u(1, :)=4*funcionU_v1(theta,phi,param(:, :,1), lamda, l);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta,phi,param(:, :,k), lamda, l);
    %figure
    %polar(phi,u(j, :))
end

%%%Simulación%%%
for k=1:length(time)-1
    tStart = datestr(time(k), S1);

```

```

tEnd = datestr(time(k+1),S1);

alpha_dir=head(k);
%vary heading
U1 = sin(alpha_dir*pi/180);
V1 = cos(alpha_dir*pi/180);
W1 = 0;
kmlStr1 =
[kmlStr1,ge_quiver3(Lon(k),Lat(k),alt(k),U1,V1,W1,...
    'modelLinkStr',arrowdir,...
    'arrowScale',5e2,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)],[PB(1) PB(2)]);
%vary heading
U2 = sin(alpha_pos*pi/180);
V2 = cos(alpha_pos*pi/180);
W2 = 0;
kmlStr2 =
[kmlStr2,ge_quiver3(Lon(k),Lat(k),alt(k),U2,V2,W2,...
    'modelLinkStr',arrowpos,...
    'arrowScale',5e2,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir,360);
a0=alpha_rad;

    if (abs(a0-a1)<=delta1)
        a=a0;
    elseif (abs(a0+360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    elseif (abs(a0-360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else
        a=a;
    end
%%Control por histéresis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=60+[-1*border 0];
            lim_up=60+[0 border];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;
            lim_down=120+[-1*border 0];
            lim_up=120+[0 border];

```

```

elseif (a>=150 && a<210) %180
    sel=5;
    lim_down=180+[-1*border 0];
    lim_up=180+[0 border];
elseif (a>=210 && a<270) %240
    sel=6;
    lim_down=240+[-1*border 0];
    lim_up=240+[0 border];
elseif (a>=270 && a<330) %300
    sel=7;
    lim_down=300+[-1*border 0];
    lim_up=300+[0 border];
else %0
    sel=2;
    lim_down=360+[-1*border 0];
    lim_up=0+[0 border];
end
end

ur=u(sel,:);
if(~isnan(a0))
    if (stat==1)
        ur=u(floor(a0/60)+8,:);
    end
end

y1=ur.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lon(k);
x1=ur.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lat(k);
z1=alt(k)*ones(size(phi));

kmlStr3=[kmlStr3,ge_plot3(y1,x1,z1,...
    'lineColor','FFFF000',...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];
kmlStr4=[kmlStr4,ge_point(Lon(k),Lat(k),alt(k),...
'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon48.png',...
    'iconScale',0.5,...
    'altitudeMode','absolute',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

clc
(k-1)/(length(time)-2)*100
sel
a1=a0;
end

f00 = ge_folder('ruta',kmlStr0);
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion',kmlStr3);
f04 = ge_folder('Avion',kmlStr4);
f05 = ge_folder('Base',kmlStr5);

ge_output('map_tel_03.kml',[f00,f01,f02,f03,f04,f05]);

```


Matlab 45: Función dina_control_03

Formato: [time st uc2]=dina_control_03()

Descripción: Simulación de la intensidad de radiación del sistema de antena inteligente aplicando el sistema de control, la detección de dirección de arribo a la información de autopiloto de geo_data_ex_05, usando también la información de dirección.

Fecha de Creación: 17 de Septiembre de 2013

Última fecha de Actualización: 16 de Octubre de 2013

Código:

```
function [time st uc2]=dina_control_03()

geo_data_ex_05

%%%Control Init%%%
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=data(:,1);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
head=data(:,6)/10;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_'.*ones(length(xx),1)
),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
PB=[mean(Lat) mean(Lon)];

phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
```

```

param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300
%%Estados Transitivos%%
param(:, :, 8)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :, 9)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :, 10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :, 13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);
u(1, :)=4*funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, l);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, l);
end

%%Simulación%%
uc1=max(u(1, :))*ones(size(time));
uc2=uc1;
st=-1*ones(size(time));
for k=2:length(time)-1

tStart = datestr(time(k), S1);
tEnd = datestr(time(k+1), S1);

alpha_dir=head(k);

alpha_pos=fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);

alpha_rad=mod(alpha_pos-alpha_dir, 360);
a0=alpha_rad;

if (abs(a0-a1)<=delta1)
a=a0;
elseif (abs(a0+360-a1)<=delta1)
a=a0;
elseif (abs(a0-360-a1)<=delta1)
a=a0;
else
a=a;
end

```

```

    %%Control por histéresis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2)) || ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=60+[-1*border 0];
            lim_up=60+[0 border];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;
            lim_down=120+[-1*border 0];
            lim_up=120+[0 border];
        elseif (a>=150 && a<210) %180
            sel=5;
            lim_down=180+[-1*border 0];
            lim_up=180+[0 border];
        elseif (a>=210 && a<270) %240
            sel=6;
            lim_down=240+[-1*border 0];
            lim_up=240+[0 border];
        elseif (a>=270 && a<330) %300
            sel=7;
            lim_down=300+[-1*border 0];
            lim_up=300+[0 border];
        else %0
            sel=2;
            lim_down=360+[-1*border 0];
            lim_up=0+[0 border];
        end
    end

    ur=u(sel,:);

    if(~isnan(a0))
        if (stat==1)
            ur=u(floor(a0/60)+8,:);
        end
        uc1(k)=ur(floor(a0)+1);
        ur=u(sel,:);
        uc2(k)=ur(floor(a0)+1);
    end
    a1=a0;
    st(k)=stat;
end
figure
subplot(2,1,1)
plot(time,uc1)
subplot(2,1,2)
plot(time,uc2)
figure
plot(time,st)
figure
plot(time,uc2),xlabel('Muestra'),ylabel('Intensidad de
Radiacion'),title('Algorimo modificado con dirección de GPS')

```

Matlab 46: Rutina plot_u_tri_v2_4antenas

Formato: plot_u_tri_v2_4antenas

Descripción: Usando la Función funcionU_v2, el programa genera los diagramas de radiación para diferentes configuraciones de un arreglo circular de tres antenas y una cuarta antena centrada. También genera los estados intermedios de conmutación. Se realiza la corrección por efecto de la impedancia mútua del arreglo. Se considera el retardo de señal por onda plana.

Fecha de Creación: 7 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 8 de Octubre de 2013

Código:

```

phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];

z_imp=sqrt([ones(1,3)*(119.2 -53.64j) (201-27j)]/(72+42j));
%z_imp=ones(1,4);

ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :,2)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%300
%%Estados Transitivos%%
param(:, :,8)=[z_imp.*antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1)
0]); r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9)=[z_imp.*antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1)
0]); r_ant; ang_ant];%60-120

```

```

param(:, :, 10)=[z_imp.*antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0
0]); r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[z_imp.*antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4)
0]); r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[z_imp.*antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4)
0]); r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :, 13)=[z_imp.*antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0
0]); r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);

u(1, :)=4*funcionU_v2(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, 1);
for k=2:pa
u(k, :)=funcionU_v2(theta, phi, param(:, :, k), lamda, 1);
figure
polar(phi, u(k, :))
end

```

Matlab 47: Rutina plot_u_3d_4ant_v1

Formato: plot_u_3d_4ant_v1

Descripción: Usando la Función funcionU_v2, el programa genera los diagramas de radiación tridimensionales del modelo de antena utilizada, el arreglo con una configuración estándar y el factor de arreglo obtenido.

Fecha de Creación: 15 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 8 de Marzo de 2014

Código:

```

ph=pi/180*(0:360);
th=pi/180*(0:180);

lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];

z_imp=sqrt([ones(1,3)*(119.2 -53.64i) (78.3-
66.96i)]/(72+42j));
%z_imp=ones(1,4);

ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 2)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%0

Ra=zeros(length(th), length(ph));
Ri=Ra;

for k=1:length(th)
    u=funcionU_v2(th(k), ph, param(:, :, 1), lamda, 1);

    Ri(k, :)=u;
    phi_i(k, :)=ph;
    theta_i(k, :)=th(k)*ones(1, length(ph));
end

ZZi=Ri.*cos(theta_i);
XXi=Ri.*sin(theta_i).*cos(phi_i);
YYi=Ri.*sin(theta_i).*sin(phi_i);

```

```

figure
mesh(XXi,YYi,ZZi,Ri)

figure
plot(0:180,Ri(:,1)>(max(Ri(:,1))/2))
figure
polar((0:180)/180*pi,Ri(:,1)','b'),hold on

polar((0:180)/180*pi,max(Ri(:,1))/2*(Ri(:,1)>(max(Ri(:,1))/2))
),'r')

for k=1:length(th)
    u=funcionU_v2(th(k),ph,param(:,:,2),lamda,1);

    Ra(k,:)=u;
    phi_a(k,:)=ph;
    theta_a(k,:)=th(k)*ones(1,length(ph));
end

ZZa=Ra.*cos(theta_a);
XXa=Ra.*sin(theta_a).*cos(phi_a);
YYa=Ra.*sin(theta_a).*sin(phi_a);

figure
mesh(XXa,YYa,ZZa,Ra)

figure
plot(0:180,Ra(:,1)>(max(Ra(:,1))/2))
figure
polar((0:180)/180*pi,Ra(:,1)','b'),hold on

polar((0:180)/180*pi,max(Ra(:,1))/2*(Ra(:,1)>(max(Ra(:,1))/2))
),'r')

Rg=Ra./(Ri+eps);
Rg(1,:)=mean(Rg(2,:))*ones(1,length(ph));
Rg(length(th),:)=mean(Rg(length(th)-
1,:))*ones(1,length(ph));
ZZg=Rg.*cos(theta_a);
XXg=Rg.*sin(theta_a).*cos(phi_a);
YYg=Rg.*sin(theta_a).*sin(phi_a);

figure
mesh(XXg,YYg,ZZg,Rg)

figure
plot(0:180,Rg(:,1)>(max(Rg(:,1))/2))
figure
polar((0:180)/180*pi,Rg(:,1)','b'),hold on

polar((0:180)/180*pi,max(Rg(:,1))/2*(Rg(:,1)>(max(Rg(:,1))/2))
),'r')

th_i=[0:180 180:360];
ph_i=0:360;

el_i=[Ri(:,1);flipud(Ri(:,181))];
az_i=Ri(91,:);

```

```
el_i_dB=10*log10(el_i/max(el_i));
az_i_dB=10*log10(az_i/max(az_i));

figure
polar_dB(th_i,el_i_dB,max(el_i_dB)-6,max(el_i_dB),4,'-')
figure
polar_dB(ph_i,az_i_dB,max(az_i_dB)-6,max(az_i_dB),4,'-')

th_a=[0:180 180:360];
ph_a=0:360;

el_a=[Ra(:,1);flipud(Ra(:,181))]' ;
az_a=Ra(91,:);

el_a_dB=10*log10(el_a/max(el_i));
az_a_dB=10*log10(az_a/max(az_i));

figure
polar_dB(th_a,el_a_dB,0,6,4,'-')
figure
polar_dB(ph_a,az_a_dB,0,6,4,'-')
```


Matlab 48: Función funcionU_v3_iso

Formato: `u=funcionU_v3_iso(theta,phi,param,lamda)`

Descripción: Variante de la Función `funcionU_v2` cuyo objetivo es modelar una antena isotrópica ideal, sin embargo el sistema únicamente se comporta con un dipolo infinitesimal.

Fecha de Creación: 15 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 15 de Octubre de 2013

Código:

```
function u=funcionU_v3_iso(theta,phi,param,lamda)
%param=[a;r;pos];
a=param(1,:); %amplitud y fase de alimentación
r=param(2,:); %radio de posición de antena
pos=param(3,:); %ángulo de posición de antena

I=1./sqrt(sum((abs(a')).^2)); %corriente equivalente
%[ma, na, pa]=size(param);
%I=1/sqrt(na);

k=2*pi/lamda;
kx=k*sin(theta)*cos(phi);
ky=k*sin(theta)*sin(phi);
kz=k*cos(theta);

x=r.*cos(pos);
y=r.*sin(pos);

[KX,X]=meshgrid(kx,x);
[KY,Y]=meshgrid(ky,y);
[KX,A]=meshgrid(kx,a);

B=A.*exp(1i*KX.*X).*exp(1i*KY.*Y);

J_z=I*sum(B);

J_x=I*sum(B)*0;

J_y=I*sum(B)*0;

f_theta=cos(theta)*(cos(phi)*J_x+sin(phi)*J_y)-
sin(theta)*J_z;
f_phi=-sin(phi)*J_x+cos(phi)*J_y;
u=15*pi/(lamda)^2*(abs(f_theta).^2+abs(f_phi).^2);
```

Matlab 49: Rutina plot_u_3d_4ant_v2_iso

Formato: plot_u_3d_4ant_v2_iso

Descripción: Variante de la Rutina plot_u_3d_4ant_v1 aplicando la Función funcionU_v3_iso para obtener directamente el factor de arreglo a partir de un modelo de antena isotrópica.

Fecha de Creación: 15 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 15 de Octubre de 2013

Código:

```

ph=pi/180*(0:360);
th=pi/180*(0:180);

lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
z_imp=sqrt([ones(1,3)*(119.2 -53.64i) (78.3-
66.96i)]/(72+42j));
%z_imp=ones(1,4);
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];
%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%Estados Estables%%          ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 2)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%0
Ra=zeros(length(th),length(ph));
Ri=Ra;
    for k=1:length(th)
        for j=1:length(ph)
Ra(k, j)=funcionU_v3_iso(th(k),ph(j),param(:, :, 2),lamda);
        phi_a(k, j)=ph(j);
        theta_a(k, j)=th(k);
        end
    end

ZZ=Ra.*cos(theta_a);
XX=Ra.*sin(theta_a).*cos(phi_a);
YY=Ra.*sin(theta_a).*sin(phi_a);

figure
mesh(XX, YY, ZZ, Ra)
figure
plot(0:180, Ra(:, 1)>(max(Ra(:, 1))/2))
figure
polar((0:180)/180*pi, Ra(:, 1)', 'b'), hold on

polar((0:180)/180*pi, max(Ra(:, 1))/2*(Ra(:, 1)>(max(Ra(:, 1))/2)
)', 'r')

```

Matlab 50: Rutina plot_u_3d_4ant_v3_smart

Formato: plot_u_3d_4ant_v3_smart

Descripción: Variante de la Rutina plot_u_3d_4ant_v1 aplicando la Función funcionU_v2, la Función ang_validator_01, y la Función array_4_control para obtener los patrones de radiación tridimensionales del control por histéresis en sentido horario, anti horario, y una estimación de mínima ganancia del sistema.

Fecha de Creación: 17 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 21 de Octubre de 2013

Código:

```

close all, clear

delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

ph=pi/180*(0:360);
th=pi/180*(0:180);

lamda=15e-2;
l=lamda/2;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];

z_imp=sqrt([ones(1,3)*(119.2 -53.64i) (78.3-
66.96i)]/(72+42j));
%z_imp=ones(1,4);

ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%IsotrÃ³pica %%
param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];
%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 2)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-1i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 2)=[z_imp.*antena(2, :).*exp(-1i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%0

```

```

param(:, :, 3)=[z_imp.*antena(2, :). *exp(-1i*[op(4) op(4) op(1)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[z_imp.*antena(2, :). *exp(-1i*[op(1) op(4) op(1)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[z_imp.*antena(2, :). *exp(-1i*[op(1) op(4) op(4)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[z_imp.*antena(2, :). *exp(-1i*[op(1) op(1) op(4)
op(2)]); r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[z_imp.*antena(2, :). *exp(-1i*[op(4) op(1) op(4)
op(3)]); r_ant; ang_ant];%300

Ral=zeros(length(th), length(ph));
Ri=Ral;
Ra2=Ral;
Rg1=Ral;
Rg2=Ra2;

for k=1:length(th)
    u=funcionU_v2(th(k), ph, param(:, :, 1), lamda, l);
    Ri(k, :)=abs(u);
    phi_i(k, :)=ph;
    theta_i(k, :)=th(k)*ones(1, length(ph));
end

ZZi=Ri.*cos(theta_i);
XXi=Ri.*sin(theta_i).*cos(phi_i);
YYi=Ri.*sin(theta_i).*sin(phi_i);

figure
mesh(XXi, YYi, ZZi, Ri)

% figure
% plot(0:180, Ri(:, 1)>(max(Ri(:, 1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi, Ri(:, 1)', 'b'), hold on
%
polar((0:180)/180*pi, max(Ri(:, 1))/2*(Ri(:, 1)>(max(Ri(:, 1))/2)
)', 'r')

th_i=[0:180 180:360];
ph_i=0:360;

el_i=[Ri(:, 1); flipud(Ri(:, 181))];
az_i=Ri(91, :);

el_i_dB=10*log10(el_i/max(el_i));
az_i_dB=10*log10(az_i/max(az_i));

figure
polar_dB(th_i, el_i_dB, max(el_i_dB)-6, max(el_i_dB), 4, '-');
figure
polar_dB(ph_i, az_i_dB, max(az_i_dB)-6, max(az_i_dB), 4, '-');

for j=1:length(ph)
for k=1:length(th)

a=ph(j)*180/pi;

```

```

    %%Control por histÃ©resis%%
    if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2)) || ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
        stat=0;
    else
        stat=1;
    end

    if (stat==1)
        if (a>=30 && a<90) %60
            sel=3;
            lim_down=60+[-1*border 0];
            lim_up=60+[0 border];
        elseif (a>=90 && a<150) %120
            sel=4;
            lim_down=120+[-1*border 0];
            lim_up=120+[0 border];
        elseif (a>=150 && a<210) %180
            sel=5;
            lim_down=180+[-1*border 0];
            lim_up=180+[0 border];
        elseif (a>=210 && a<270) %240
            sel=6;
            lim_down=240+[-1*border 0];
            lim_up=240+[0 border];
        elseif (a>=270 && a<330) %300
            sel=7;
            lim_down=300+[-1*border 0];
            lim_up=300+[0 border];
        else %0
            sel=2;
            lim_down=360+[-1*border 0];
            lim_up=0+[0 border];
        end
    end

    end

Ra1(k,j)=funcionU_v2(th(k),ph(j),param(:, :, sel), lamda, 1);
phi_a1(k,j)=ph(j);
theta_a1(k,j)=th(k);

end
end

ZZa1=Ra1.*cos(theta_a1);
XXa1=Ra1.*sin(theta_a1).*cos(phi_a1);
YYa1=Ra1.*sin(theta_a1).*sin(phi_a1);

figure
mesh(XXa1,YYa1,ZZa1,Ra1)

% figure
% plot(0:180,Ra1(:,1)>(max(Ra1(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi,Ra1(:,1)', 'b'),hold on
%
polar((0:180)/180*pi,max(Ra1(:,1))/2*(Ra1(:,1)>(max(Ra1(:,1))
/2))', 'r')

```

```

th_a1=[0:180 180:360];
ph_a1=0:360;

el_a1=[Ra1(:,1);flipud(Ra1(:,181))]' ;
az_a1=Ra1(91,:);

el_a1_dB=10*log10(el_a1/max(el_i));
az_a1_dB=10*log10(az_a1/max(az_i));

figure
polar_dB(th_a1,el_a1_dB,0,6,4,'-')
figure
polar_dB(ph_a1,az_a1_dB,0,6,4,'-')

% Rg1=Ra1./(Ri+eps);

% ZZg1=Rg1.*cos(theta_a1);
% XXg1=Rg1.*sin(theta_a1).*cos(phi_a1);
% YYg1=Rg1.*sin(theta_a1).*sin(phi_a1);

% figure
% mesh(XXg1,YYg1,ZZg1,Rg1)

% figure
% plot(0:180,Rg1(:,1)>(max(Rg1(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi,Rg1(:,1)','b'),hold on
%
polar((0:180)/180*pi,max(Rg1(:,1))/2*(Rg1(:,1)>(max(Rg1(:,1))
/2))','r')

for j=length(ph):-1:1
for k=1:length(th)

a=ph(j)*180/pi;

%%Control por histÃ©resis%%
if (a>=lim_down(1) && a<lim_down(2))|| ( a>=lim_up(1) &&
a<=lim_up(2))
stat=0;
else
stat=1;
end

if (stat==1)
if (a>=30 && a<90) %60
sel=3;
lim_down=60+[-1*border 0];
lim_up=60+[0 border];
elseif (a>=90 && a<150) %120
sel=4;
lim_down=120+[-1*border 0];
lim_up=120+[0 border];
elseif (a>=150 && a<210) %180
sel=5;
lim_down=180+[-1*border 0];
lim_up=180+[0 border];
elseif (a>=210 && a<270) %240

```

```

        sel=6;
        lim_down=240+[-1*border 0];
        lim_up=240+[0 border];
    elseif (a>=270 && a<330) %300
        sel=7;
        lim_down=300+[-1*border 0];
        lim_up=300+[0 border];
    else %0
        sel=2;
        lim_down=360+[-1*border 0];
        lim_up=0+[0 border];
    end
end
end

Ra2(k,j)=funcionU_v2(th(k),ph(j),param(:,:,sel),lamda,1);
    phi_a2(k,j)=ph(j);
    theta_a2(k,j)=th(k);

end
end

ZZa2=Ra2.*cos(theta_a2);
XXa2=Ra2.*sin(theta_a2).*cos(phi_a2);
YYa2=Ra2.*sin(theta_a2).*sin(phi_a2);

figure
mesh(XXa2,YYa2,ZZa2,Ra2)

% figure
% plot(0:180,Ra2(:,1)>(max(Ra2(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi,Ra2(:,1)','b'),hold on
%
polar((0:180)/180*pi,max(Ra2(:,1))/2*(Ra2(:,1)>(max(Ra2(:,1))
/2))','r')

th_a2=[0:180 180:360];
ph_a2=0:360;

el_a2=[Ra2(:,1);flipud(Ra2(:,181))]' ;
az_a2=Ra2(91,:);

el_a2_dB=10*log10(el_a2/max(el_i));
az_a2_dB=10*log10(az_a2/max(az_i));

figure
polar_dB(th_a2,el_a2_dB,0,6,4,'-')
figure
polar_dB(ph_a2,az_a2_dB,0,6,4,'-')

% Rg2=Ra2./(Ri+eps);

% ZZg2=Rg2.*cos(theta_a2);
% XXg2=Rg2.*sin(theta_a2).*cos(phi_a2);
% YYg2=Rg2.*sin(theta_a2).*sin(phi_a2);

% figure

```

```

% mesh (XXg2, YYg2, ZZg2, Rg2)

% figure
% plot(0:180, Rg2(:,1) > (max(Rg2(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi, Rg2(:,1)', 'b'), hold on
%
polar((0:180)/180*pi, max(Rg2(:,1))/2*(Rg2(:,1) > (max(Rg2(:,1))
/2))', 'r')

Rap=min(Ra1, Ra2);
ZZap=Rap.*cos(theta_a2);
XXap=Rap.*sin(theta_a2).*cos(phi_a2);
YYap=Rap.*sin(theta_a2).*sin(phi_a2);

figure
mesh(XXap, YYap, ZZap, Rap)

% figure
% plot(0:180, Rap(:,1) > (max(Rap(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi, Rap(:,1)', 'b'), hold on
%
polar((0:180)/180*pi, max(Rap(:,1))/2*(Rap(:,1) > (max(Rap(:,1))
/2))', 'r')

th_ap=[0:180 180:360];
ph_ap=0:360;

el_ap=[Rap(:,1); flipud(Rap(:,181))]' ;
az_ap=Rap(91, :);

el_ap_dB=10*log10(el_ap/max(el_i));
az_ap_dB=10*log10(az_ap/max(az_i));

figure
polar_dB(th_ap, el_ap_dB, 0, 6, 4, '-');
figure
polar_dB(ph_ap, az_ap_dB, 0, 6, 4, '-');

% Rgp=Rap./(Ri+eps);

% ZZgp=Rgp.*cos(theta_a2);
% XXgp=Rgp.*sin(theta_a2).*cos(phi_a2);
% YYgp=Rgp.*sin(theta_a2).*sin(phi_a2);

% figure
% mesh(XXgp, YYgp, ZZgp, Rgp)

% figure
% plot(0:180, Rgp(:,1) > (max(Rgp(:,1))/2))
% figure
% polar((0:180)/180*pi, Rgp(:,1)', 'b'), hold on
%
polar((0:180)/180*pi, max(Rgp(:,1))/2*(Rgp(:,1) > (max(Rgp(:,1))
/2))', 'r')

```


Matlab 51: Función geo_test_smart_01

Formato: geo_test_smart_01()

Descripción: Recreación del sistema en función de los datos obtenidos del sistema de control Arduino con el programa test_smart_control_v3_reg. Los datos de geo_data_ex_06 se ha mostrado en Google Earth (University of Amsterdam, 2007).

Fecha de Creación: 27 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 27 de Octubre de 2013

Código:

```
function geo_test_smart_01()
addpath('C:\Users\sebastian\Dropbox\Tesis\Matlab\googleearth'
)

geo_data_ex_06

%%%Control Init%%%
vel_max=18*0.1;
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=(1:max(size(data)))*1.1574e-
5+datenum('13_10_25__08_10_00',S2);
Lat=data(:,2);
Lon=data(:,3);
head=data(:,4);
speed=data(:,5);
DOA_arduino=data(:,6);
stat_arduino=data(:,7);
sel_arduino=data(:,8);

PB=[-0.259581 -78.417014];

kmlStr0='';
kmlStr1 = '';
kmlStr2 = '';
kmlStr3 = '';
kmlStr4 = '';
kmlStr6 = '';
```

```

kmlStr5 = ge_point(PB(2),PB(1),0,...
    'altitudeMode','relativeToGround',...

'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon2.png
');

arrowpos = 'red_arrow.dae';
arrowdir = 'yellow_arrow.dae';
arrowrad = 'white_arrow.dae';

    kmlStr0 =ge_plot3(Lon,Lat,0*Lon,...
        'altitudeMode','relativeToGround',...
        'lineWidth',1.2,...
        'lineColor','ff32a4ff');

%% Antenna Array %%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :,2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :,8) = [antena(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9) = [antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :,10)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :,11)=[antena(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :,12)=[antena(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300
param(:, :,13)=[antena(5, :).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%300-0

[ma, na, pa]=size(param);

```

```

    u(1,:) = 4 * funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, 1);
for k=2:pa
    u(k,:) = funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, 1);
    %figure
    %polar(phi, u(j, :))
end

%%%Simulación%%%
for k=1:length(time)-1

    tStart = datestr(time(k), S1);
    tEnd = datestr(time(k+1), S1);

    alpha_dir = head(k);
    %vary heading
    U1 = sin(alpha_dir * pi / 180);
    V1 = cos(alpha_dir * pi / 180);
    W1 = 0;
    kmlStr1 =
[kmlStr1, ge_quiver3(Lon(k), Lat(k), 0, U1, V1, W1, ...
    'modelLinkStr', arrowdir, ...
    'arrowScale', 5e2, ...
    'altitudeMode', 'relativeToGround', ...
    'timeSpanStart', tStart, ...
    'timeSpanStop', tEnd, ...
    'msgToScreen', true)];

    alpha_pos = fast_ang_geo([Lat(k) Lon(k)], [PB(1) PB(2)]);
    %vary heading
    U2 = sin(alpha_pos * pi / 180);
    V2 = cos(alpha_pos * pi / 180);
    W2 = 0;
    kmlStr2 =
[kmlStr2, ge_quiver3(Lon(k), Lat(k), 0, U2, V2, W2, ...
    'modelLinkStr', arrowpos, ...
    'arrowScale', 5e2, ...
    'altitudeMode', 'relativeToGround', ...
    'timeSpanStart', tStart, ...
    'timeSpanStop', tEnd, ...
    'msgToScreen', true)];

    alpha_rad = mod(alpha_pos - alpha_dir, 360);
    a0 = alpha_rad;

    if (abs(a0 - a1) <= delta1)
        a = a0;
    elseif (abs(a0 + 360 - a1) <= delta1)
        a = a0;
    elseif (abs(a0 - 360 - a1) <= delta1)
        a = a0;
    else
        a = a;
    end
    %%%Control por histéresis%%%
    if (a >= lim_down(1) && a < lim_down(2)) || (a >= lim_up(1) &&
a <= lim_up(2) || (speed(k) < vel_max))
        stat = 0;
    else

```

```

        stat=1;
end

if (stat==1)
    if (a>=30 && a<90) %60
        sel=3;
        lim_down=60+[-1*border 0];
        lim_up=60+[0 border];
    elseif (a>=90 && a<150) %120
        sel=4;
        lim_down=120+[-1*border 0];
        lim_up=120+[0 border];
    elseif (a>=150 && a<210) %180
        sel=5;
        lim_down=180+[-1*border 0];
        lim_up=180+[0 border];
    elseif (a>=210 && a<270) %240
        sel=6;
        lim_down=240+[-1*border 0];
        lim_up=240+[0 border];
    elseif (a>=270 && a<330) %300
        sel=7;
        lim_down=300+[-1*border 0];
        lim_up=300+[0 border];
    else %0
        sel=2;
        lim_down=360+[-1*border 0];
        lim_up=0+[0 border];
    end
end

ur=u(sel,:);
ur_arduino=u(sel_arduino(k)+2,:);
%if(~isnan(a0))
%    if (stat==1)
%        ur=u(floor(a0/60)+8,:);
%    end
%end

y1=ur.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lon(k);
x1=ur.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lat(k);
z1=0*ones(size(phi));

kmlStr3=[kmlStr3,ge_plot3(y1,x1,z1,...
    'lineColor','FFFF0000',...
    'altitudeMode','relativeToGround',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...
    'msgToScreen',true)];

y2=ur_arduino.*sin(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lon(k);
x2=ur_arduino.*cos(phi+alpha_dir*pi/180)/20000+Lat(k);
z2=0*ones(size(phi));

kmlStr6=[kmlStr6,ge_plot3(y2,x2,z2,...
    'lineColor','FFFFFFF0',...
    'altitudeMode','relativeToGround',...
    'timeSpanStart',tStart,...
    'timeSpanStop',tEnd,...

```

```

        'msgToScreen',true)];
    kmlStr4=[kmlStr4,ge_point(Lon(k),Lat(k),0,...

'iconURL','http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal2/icon48.png',...
        'iconScale',0.5,...
        'altitudeMode','relativeToGround',...
        'timeSpanStart',tStart,...
        'timeSpanStop',tEnd,...
        'msgToScreen',true)];

    clc
    (k-1)/(length(time)-2)*100
    sel
    a1=a0;
end

f00 = ge_folder('ruta',kmlStr0);
f01 = ge_folder('direccion',kmlStr1);
f02 = ge_folder('posicion',kmlStr2);
f03 = ge_folder('radiacion_teo',kmlStr3);
f04 = ge_folder('Avion',kmlStr4);
f05 = ge_folder('Base',kmlStr5);
f06 = ge_folder('radiacion_ard',kmlStr6);

ge_output('map_test_smart_01.kml',[f00,f01,f02,f03,f04,f05,f06]);

```

Matlab 52: Función test_smart_01

Formato: test_smart_01()

Descripción: Función que utiliza la información de geo_data_ex_06 para estimar la ganancia del sistema en función del tiempo. Para ello considera únicamente la información instantánea de DOA y de selección de configuración

Fecha de Creación: 27 de Octubre de 2013

Última fecha de Actualización: 27 de Octubre de 2013

Código:

```
function test_smart_01()

geo_data_ex_06

%%%Control Init%%%
vel_max=18*0.1;
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=(1:max(size(data)))*1.1574e-
5+datenum('13_10_25__08_10_00',S2);
Lat=data(:,2);
Lon=data(:,3);
head=data(:,4);
speed=data(:,5);
DOA_arduino=data(:,6);
stat_arduino=data(:,7);
sel_arduino=data(:,8);

PB=[-0.259581 -78.417014];

%%% Antenna Array %%%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
```

```

ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
antena=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[antena(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
                                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :, 2)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[antena(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

[ma, na, pa]=size(param);

u(1, :)=4*funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, 1), lamda, l);
for k=2:pa

u(k, :)=funcionU_v1(theta, phi, param(:, :, k), lamda, l)./u(1, :);
    %figure
    %polar(phi, u(j, :))
end

u_smart=zeros(1, length(time));
for k=1:length(time)
    u_smart(k)=u(2+sel_arduino(k), floor(DOA_arduino(k))+1);
end
figure
plot(time, u_smart)
figure
plot(time, 10*log10(u_smart))
mean(10*log10(u_smart))
std(u_smart)

```

Matlab 53: Función polar_clockside

Formato: `polar_clockside(varargin)`

Descripción: Variación de la función propietaria de Matlab `polar(varargin)` que se modificó con el propósito de cambiar el plano de coordenadas

Copyright: Copyright 1984-2007 The MathWorks, Inc.

Fecha de Creación: 7 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Noviembre de 2013

Matlab 54: Función dina_plot_smart_01

Formato: dina_plot_smart_01()

Descripción: Función que permite simular el funcionamiento dinámico de radiación de antena inteligente, usando Rutina array_pattern_v1, a partir de los datos capturados por el controlador Arduino geo_data_ex_06.

Fecha de Creación: 7 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Noviembre de 2013

Código:

```
function dina_plot_smart_01()

geo_data_ex_06

%%%Control Init%%%
vel_max=18*0.1;
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';

time=(1:max(size(data)))*1.1574e-
5+datenum('13_10_25__08_10_00',S2);
Lat=data(:,2);
Lon=data(:,3);
head=data(:,4);
speed=data(:,5);
DOA_arduino=data(:,6);
stat_arduino=data(:,7);
sel_arduino=data(:,8);

PB=[-0.259581 -78.417014];

array_pattern_v1;

fig=figure;
aviobj = avifile('dina_plot_smart_01.avi')
for k=1:length(time)
    hold off
    if (stat_arduino(k)==1)
        cr='c';
    else
        cr='b';
    end
end
```

```
    if (speed(k)<vel_max)
        cd='r';
    else
        cd='g';
    end
    polar_clockside(phi,u((sel_arduino(k)+2),:),cr),hold on
    polar_clockside(phi,4*(u((sel_arduino(k)+2),:)>=2),'m')
    polar_clockside(DOA_arduino(k)*[1 1]*pi/180,[0
4],cd),title(strcat('Progreso: ',
num2str(k/length(time)*100),'% completado'))
    mov(k)=getframe(fig);
    aviobj = addframe(aviobj,mov(k));
    clc

end

close(fig)
aviobj = close(aviobj);
%movie(mov,1,2)
```

Matlab 55: Rutina array_pattern_v1

Formato: array_pattern_v1

Descripción: Rutina que permite la carga en funciones de los patrones de radiación del arreglo de antenas circular centrado. El objetivo es reducir el código en rutinas posteriores en el cálculo de la ganancia de radiación del arreglo.

Fecha de Creación: 7 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 7 de Noviembre de 2013

Código:

```

%%% Antenna Array %%%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda/4;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
sensor=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[sensor(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
                                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :, 2)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :, 8) = [sensor(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :, 9) = [sensor(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :, 10)=[sensor(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[sensor(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[sensor(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%240-300

```

```
param(:,:,13)=[sensor(5,:).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);  
r_ant; ang_ant];%300-0  
  
[ma, na, pa]=size(param);  
  
    u(1,:)=4*funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,1),lamda,1);  
for k=2:pa  
  
u(k,:)=funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,k),lamda,1)./u(1,:);  
end
```

Matlab 56: Función dina_plot_smart_02

Formato: dina_plot_smart_02()

Descripción: Mejora de la función que permite utilizar los datos capturados del controlador Arduino (geo_data_ex_07, geo_data_ex_08, geo_data_ex_09 y geo_data_ex_10) para mostrar el comportamiento simulado del arreglo de antenas de Rutina array_pattern_v1. Incluye datos de posición, tiempo, referencia al norte y comportamiento del sistema; así como el progreso de la simulación.

Fecha de Creación: 8 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 11 de Noviembre de 2013

Código:

```
function dina_plot_smart_02()

geo_data_ex_10

%%%Control Init%%%
vel_max=18*0.1;
delta2=0.10;
border=360*(1+2*delta2)/12;
lim_up=[0 border];
lim_down=360+[-1*border 0];
stat=0;
sel=2;
a1=0;
a=0;
delta1=360*0.05;

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';
time=(1:max(size(data)))*(41-
9)*60/max(size(data));%%*1.1574e-
5+datenum('13_10_25__08_10_00',S2);
Lat=data(:,2);
Lon=data(:,3);
head=data(:,4);
speed=data(:,5);
DOA_arduino=data(:,6);
stat_arduino=data(:,7);
sel_arduino=data(:,8);

PB=[-0.259581 -78.417014];
array_pattern_v1;

fig=figure;
aviobj = avifile('dina_plot_smart_02.avi')
for k=1:length(time)
    hold off
```

```

if (stat_arduino(k)==1)
    cr='c';
else
    cr='b';
end
if (speed(k)<vel_max)
    cd='r';
else
    cd='g';
end

north=(360-head(k))*pi/180;

%%Lat
if Lat(k)>=0
    latd='N';
else
    latd='S';
end
latg=floor(abs(Lat(k)));
latm=floor((abs(Lat(k))-latg)*60);
lats=floor(((abs(Lat(k))-latg)*60-latm)*6000)/100;

latstr=strcat('Latitud: ', num2str(latg), '°', num2str(latm), ' ',
num2str(lats), ' "_', latd);
%%Lon
if Lon(k)>=0
    lond='E';
else
    lond='W';
end
long=floor(abs(Lon(k)));
lonm=floor((abs(Lon(k))-long)*60);
lons=floor(((abs(Lon(k))-long)*60-lonm)*6000)/100;

lonstr=strcat('___ Longitud: ', num2str(long), '°', num2str(lonm)
), ' ', num2str(lons), ' "_', lond);

times=floor(mod(time(k), 60)*100)/100;
timem=floor(time(k)/60);

timestr=strcat('___ Tiempo: ', num2str(timem), ' [m]_', num2str(t
imes), ' [s]');

polar_clockside(phi, u((sel_arduino(k)+2), :), cr), hold on
polar_clockside(phi, 4*(u((sel_arduino(k)+2), :))>=2), 'm')
polar_clockside(north*[1 1], [0 4], 'k')
polar_clockside(DOA_arduino(k)*[1 1]*pi/180, [0
4], cd), title(strcat('Progreso: ',
num2str(k/length(time)*100), '% completado'))
xlabel(strcat(latstr, lonstr, timestr));
mov(k)=getframe(fig);
aviobj = addframe(aviobj, mov(k));
clc
end

close(fig)
aviobj = close(aviobj);
%movie(mov, 1, 2)

```

Matlab 57: Función G_SNR_array_4_antenas

Formato: `G_SNR_array_4_antenas()`

Descripción: Función que determina la ganancia de la relación señal a ruido (SNR) considerando el escenario de un piso de ruido y el escenario de una NSOI localizada. Se utiliza el patrón de Rutina `array_pattern_v1` para el modelado del sistema.

Fecha de Creación: 26 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 27 de Noviembre de 2013

Código:

```
function G_SNR_array_4_antenas()

array_pattern_v1

%%Ganancia respecto a nivel de ruido
patt=u(2,:);
G_N0=mean(patt);

G_SNR_N0=patt/G_N0;

G_SNR_N0_dB=10*log10(G_SNR_N0);

figure
subplot(1,2,1)
polar_clockside(phi,G_SNR_N0);
subplot(1,2,2)
polar_dB_v2(phi*180/pi,G_SNR_N0_dB,0,6,4,'-');

%% Ganancia respecto a otro interferente
[xx,yy]=meshgrid(phi*180/pi,phi*180/pi);

G_SNR_NSOI=0*xx;

for k1=1:length(phi)
    for k2=1:length(phi)
        G_SNR_NSOI(k1,k2)=patt(k2)/(patt(k1)+eps);
    end
end

G_SNR_NSOI_dB=10*log10(G_SNR_NSOI);
G_SNR_NSOI_dB_plot=G_SNR_NSOI_dB.*(G_SNR_NSOI_dB>0);
figure
mesh(xx,yy,G_SNR_NSOI),xlabel('DOA SOI'),ylabel('DOA NSOI'),
zlabel('G_SNR_NSOI')
figure
mesh(xx,yy,G_SNR_NSOI_dB_plot),xlabel('DOA SOI'),ylabel('DOA
NSOI'), zlabel('G_SNR_NSOI_dB')
```

Matlab 58: Función polar_dB_v2

Formato: `polar_dB_v2(theta, rho, rmin, rmax, rticks, line_style)`

Descripción: Variación de la función propietaria `polar_dB()` que se modificó con el propósito de mantener un estilo visual similar a las gráficas generadas por rutinas propietarias de Matlab.

Crédito Original:

S. Bellofiore

S. Georgakopoulos

A. C. Polycarpou

C. Wangsvick

C. Bishop

Fecha de Creación: 26 de Noviembre de 2013

Última fecha de Actualización: 26 de Noviembre de 2013

Matlab 59: Función alg_dir_test_02

Formato: alg_dir_test_02()

Descripción: Versión mejorada de Matlab 43: Función alg_dir_test_01. Comparativa entre la estimación del acimut de dirección versus el acimut de dirección ofrecido por el autopiloto, usando la información de geo_data_ex_05.

Fecha de Creación: 8 de Diciembre de 2013

Última fecha de Actualización: 8 de Diciembre de 2013

Código:

```
function alg_dir_test_02()

geo_data_ex_05

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';
time=data(:,1);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
head=data(:,6)/10;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_',1*ones(length(xx),1)
)),char('N'.*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
dir=0*head;
for k=2:length(time)-1
    alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)],[Lat(k)
Lon(k)]);
    dir(k)=alpha_dir;
end
error=min([abs(head-dir) abs(head-dir+360) abs(head-dir-
360)]');
figure
plot(time,dir,'b'),hold on
plot(time,head,'r')
xlabel('Tiempo [s]'),ylabel('Ángulo de dirección [grados]')
legend('Estimación Algoritmo','Estimación Receptor')
figure
plot(time,error)
xlabel('Tiempo [s]'),ylabel('Error [grados]')
error_stat=0*head;
for k=1:length(time)
    if isnan(error(k))
        error_stat(k)=0;
    else
        error_stat(k)=error(k);
    end
end
end
mean(error_stat)
std(error_stat)
sum(isnan(error))/length(time)*100
```

Matlab 60: Función G_SIR_array_4_antenas_smart

Formato: G_SIR_array_4_antenas_smart()

Descripción: Función que considera la relación señal a interferente (SIR) en el sistema de antena inteligente, para ello considera el patrón de radiación del sistema planar de cuatro antenas (Rutina array_pattern_v1) aplicado la división por dominios.

Fecha de Creación: 2 de Diciembre de 2013

Última fecha de Actualización: 2 de Diciembre de 2013

Código:

```
function G_SIR_array_4_antenas_smart()

array_pattern_v1
%% Ganancia respecto a otro interferente
[xx,yy]=meshgrid(phi*180/pi,phi*180/pi);
G_SNR_NSOI=zeros(360,360,6);

for k3=2:7
    for k1=1:length(phi)
        for k2=1:length(phi)
            G_SNR_NSOI(k1,k2,k3)=u(k3,k2)/(u(k3,k1)+eps);
        end
    end
end

G_SIR=0*xx;
for k1=1:length(phi)
    phid=phi(k1)*180/pi;
    if phid>30&&phid<=90
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,3);
    elseif phid>90&&phid<=150
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,4);
    elseif phid>150&&phid<=210
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,5);
    elseif phid>210&&phid<=270
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,6);
    elseif phid>270&&phid<=330
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,7);
    else
        G_SIR(:,k1)=G_SNR_NSOI(:,k1,2);
    end
end

G_SIR_dB=10*log10(G_SIR);
figure
mesh(xx,yy,G_SIR),xlabel('DOA SOI'),ylabel('DOA NSOI'),
zlabel('G SIR')
figure
mesh(xx,yy,G_SIR_dB),xlabel('DOA SOI'),ylabel('DOA NSOI'),
zlabel('G SIR dB')
```

Matlab 61: Rutina array_pattern_v2

Formato: array_pattern_v2

Descripción: Rutina que permite la carga en funciones de los patrones de radiación del arreglo de antenas circular centrado. El objetivo es reducir el código en rutinas posteriores en el cálculo de la ganancia de radiación del arreglo. La versión 2 considera una compactación en el radio del arreglo de la versión 1 Rutina array_pattern_v1.

Fecha de Creación: 9 de Diciembre de 2013

Última fecha de Actualización: 23 de Diciembre de 2013

Código:

```

%% Antenna Array %%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=1/3;
l=lamda/4;
r1=lamda*0.243416;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
sensor=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

%%Isotrópica %%
param(:, :,1)=[sensor(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
                                ANT1  ANT2  ANT3  ANT4
param(:, :,2)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%0
param(:, :,3)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%60
param(:, :,4)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%120
param(:, :,5)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%180
param(:, :,6)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4) op(2)]);
r_ant; ang_ant];%240
param(:, :,7)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4) op(3)]);
r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :,8)=[sensor(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :,9)=[sensor(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1) 0]);
r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :,10)=[sensor(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0 0]);
r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :,11)=[sensor(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4) 0]);
r_ant; ang_ant];%180-240

```

```
param(:,:,12)=[sensor(4,:).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4) 0]);  
r_ant; ang_ant];%240-300  
param(:,:,13)=[sensor(5,:).*exp(-i*[op(4) op(1) 0 0]);  
r_ant; ang_ant];%300-0  
  
[ma, na, pa]=size(param);  
  
u(1,:)=4*funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,1),lamda,1);  
for k=2:pa  
  
u(k,:)=funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,k),lamda,1)./u(1,:);  
end
```

Matlab 62: Función alg_dir_test_03

Formato: alg_dir_test_03()

Descripción: Versión mejorada de Matlab 59: Función alg_dir_test_02. Comparativa entre la estimación del acimut de dirección filtrado versus el acimut de dirección ofrecido por el autopiloto, usando la información de geo_data_ex_05.

Fecha de Creación: 9 de Diciembre de 2013

Última fecha de Actualización: 13 de Diciembre de 2013

Código:

```
function alg_dir_test_03()

geo_data_ex_05

S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SSZ';
S2 = 'yy_mm_dd__HH_MM_SS';
time=data(:,1);
xx=data(:,3)/100;
yy=data(:,4)/100;
alt=data(:,5)/1000;
head=data(:,6)/10;
utmzone=strcat(num2str(data(:,2)),char('_',1*ones(length(xx),1)
)),char('N',1*ones(length(xx),1)));
[Lat,Lon] = utm2deg(xx,yy,utmzone);
dir=0*head;
for k=2:length(time)-1
    alpha_dir=fast_ang_geo([Lat(k-1) Lon(k-1)],[Lat(k)
Lon(k)]);
    dir(k)=alpha_dir;
end
error=min([abs(head-dir) abs(head-dir+360) abs(head-dir-
360)]');
figure
plot(time,dir,'b'),hold on
plot(time,head,'r')
xlabel('Tiempo [s]'),ylabel('Ángulo de dirección [grados]')
legend('Estimación Algoritmo','Estimación Receptor')
figure
plot(time,error)
xlabel('Tiempo [s]'),ylabel('Error [grados]')
error_stat=0*head;

for k=1:length(time)
    if isnan(error(k))
        error_stat(k)=0;
    else
        error_stat(k)=error(k);
    end
end

mean(error_stat)
```

```

std(error_stat)
sum(isnan(error))/length(time)*100
dir_2=0*head;
for k=1:length(time)
    if isnan(dir(k))
        dir_2(k)=0;
    else
        dir_2(k)=dir(k);
    end
end

f_dir=fftshift(fft(dir_2));
f_head=fftshift(fft(head));

figure
plot(abs(f_dir),'b'),hold on
plot(abs(f_head),'r')

figure
plot(abs(abs(f_head)-abs(f_dir)))

f_range=1:length(time);
f_filt=(f_range>=ceil(length(time)/2-
500)).*(f_range<=ceil(length(time)/2+500));
f_dir_filt=f_dir.*f_filt';

figure
plot(abs(f_dir),'b'),hold on
plot(abs(f_dir_filt),'g')

dir_v2=1*ifft(ifftshift(f_dir_filt));

figure
plot(time,dir_v2,'g'),hold on
plot(time,dir,'b')
plot(time,head,'r')

f_error=fftshift(fft(error_stat));

figure
plot(abs(f_error),'b')

```

Matlab 63: Función gamma_pattern_v1

Formato: gamma_pattern_v1()

Descripción: Función que estima los patrones de radiación para el arreglo planar de cuatro antenas (Rutina array_pattern_v1) considerando el efecto de la impedancia mutua en el coeficiente de reflexión.

Fecha de Creación: 8 de Enero de 2014

Última fecha de Actualización: 10 de Enero de 2014

Código:

```
function gamma_pattern_v1()
%% Antenna Array %%
phi=linspace(0, 2*pi,360);
theta=pi/2;
lamda=15e-2;
l=lamda/4;
r1=lamda*0.243416;
r2=0;
op=2*pi/lamda*r1*(0:3)/2;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
sensor=[0 0 0 1;1 1 1 1;1 0 1 0;0 1 1 0;1 1 0 0];

gamma_corr=10.69*pi/180;
%%Isotrópica %%
param(:, :, 1)=[sensor(1, :); r_ant; ang_ant];

%%Estados Estables%%
ANT1 ANT2 ANT3 ANT4
param(:, :, 2)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(1)
op(2)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%0
param(:, :, 3)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(4) op(1)
op(3)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%60
param(:, :, 4)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(1)
op(2)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%120
param(:, :, 5)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(4) op(4)
op(3)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%180
param(:, :, 6)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(1) op(1) op(4)
op(2)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%240
param(:, :, 7)=[sensor(2, :).*exp(-i*[op(4) op(1) op(4)
op(3)+gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%300

%%Estados Transitivos%%
param(:, :, 8) = [sensor(3, :).*exp(-i*[op(4) 0 op(1)
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%0-60
param(:, :, 9) = [sensor(4, :).*exp(-i*[ 0 op(4) op(1)
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%60-120
param(:, :, 10)=[sensor(5, :).*exp(-i*[op(1) op(4) 0
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%120-180
param(:, :, 11)=[sensor(3, :).*exp(-i*[op(1) 0 op(4)
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%180-240
param(:, :, 12)=[sensor(4, :).*exp(-i*[ 0 op(1) op(4)
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%240-300
```

```
param(:,:,13)=[sensor(5,:).*exp(-i*[op(4) op(1) 0  
gamma_corr]); r_ant; ang_ant];%300-0  
  
[ma, na, pa]=size(param);  
  
    u(1,:)=4*funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,1),lamda,l);  
for k=2:pa  
  
u(k,:)=funcionU_v1(theta,phi,param(:,:,k),lamda,l)./u(1,:);  
    figure  
    polar_clockside(phi,u(k,:))  
end
```


Matlab 64: Función lob_vs_freq

Formato: lob_vs_freq()

Descripción: Función que determina la caída de ganancia a 30 grados de la configuración 1 del arreglo de antena inteligente para un rango de frecuencia de 850 MHz a 950 MHz. Se considera el valor del radio constante a la frecuencia de 920 MHz y la longitud de la antena del modelo para 900 MHz.

Fecha de Creación: 24 de Marzo de 2014

Última fecha de Actualización: 24 de Marzo de 2014

Código:

```
function lob_vs_freq()
%Dinosaur land
phi=[0 pi/6];
theta=pi/2;
lamda_0=3e8/920e6;
l_0=3e8/900e6/4;
r1=lamda_0*0.243416;
r2=0;
r_ant=[r1 r1 r1 r2];
ang_ant=[(0:2)*2*pi/3 0];
t_r1=r1/3e8;

freq=(850:950)*1e6;

G_lob=0*freq;

for k=1:length(freq)

    op=2*pi*freq(k)*t_r1*(0:3)/2;
    param=[exp(-1i*[op(4) op(1) op(1) op(2)]); r_ant;
ang_ant];%0
    lamda=3e8/freq(k);

    G0=funcionU_v1(theta,phi(1),param,lamda,l_0);
    G1=funcionU_v1(theta,phi(2),param,lamda,l_0);
    G_lob(k)=10*log10(G1/G0);

end

plot(freq/1e6,G_lob),xlabel('Frecuencia [MHz]'),
ylabel('Atenuación a 30° [dB]'),grid on
```

Anexo E: Datos de Posición GPS

Debido a la cantidad de información utilizada en la simulación, es conveniente enlistar los diferentes bancos de datos:

GPS Data 1: geo_data_ex_01.....	359
GPS Data 2: geo_data_ex_02.....	360
GPS Data 3: geo_data_ex_03.....	361
GPS Data 4: geo_data_ex_04.....	362
GPS Data 5: geo_data_ex_05.....	363
GPS Data 6: geo_data_ex_06.....	364
GPS Data 7: geo_data_ex_07.....	365
GPS Data 8: geo_data_ex_08.....	366
GPS Data 9: geo_data_ex_09.....	367
GPS Data 10: geo_data_ex_10.....	368

GPS Data 1: geo_data_ex_01

Nombre: geo_data_ex_01
Fuente: Google My Tracks
Fecha: 15 de Marzo de 2013
Duración: 31 minutos
Tiempo de Muestra: 65 segundos
Muestra:

```
S1 = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SS';
data=[datetime('2013-03-15T20:25:50.120',S1)...
-78.439025 -0.194876 2440.800048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:25:52.121',S1)...
-78.439035 -0.194883 2443.300048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:25:53.116',S1)...
-78.438946 -0.194854 2447.39990234375; ...
datetime('2013-03-15T20:26:34.976',S1)...
-78.438957 -0.194817 2436.800048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:26:35.978',S1)...
-78.438951 -0.194802 2437.0; ...
datetime('2013-03-15T20:26:37.976',S1)...
-78.438935 -0.194766 2436.89990234375; ...
datetime('2013-03-15T20:26:38.957',S1)...
-78.438926 -0.194745 2436.60009765625; ...
datetime('2013-03-15T20:26:39.966',S1)...
-78.438915 -0.194723 2436.199951171875; ...
datetime('2013-03-15T20:26:40.986',S1)...
-78.438904 -0.1947 2436.39990234375; ...
datetime('2013-03-15T20:26:42.491',S1)...
-78.438888 -0.194674 2436.300048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:26:43.430',S1)...
-78.438873 -0.19465 2435.89990234375; ...
datetime('2013-03-15T20:26:44.365',S1)...
-78.43886 -0.194627 2435.699951171875; ...
datetime('2013-03-15T20:26:45.309',S1)...
-78.438848 -0.194607 2435.699951171875; ...
datetime('2013-03-15T20:26:47.220',S1)...
-78.438828 -0.194566 2435.300048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:26:48.157',S1)...
-78.438821 -0.194546 2435.300048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:26:50.033',S1)...
-78.438812 -0.194505 2435.10009765625; ...
datetime('2013-03-15T20:26:50.982',S1)...
-78.438808 -0.194482 2435.39990234375; ...
datetime('2013-03-15T20:26:52.963',S1)...
-78.438788 -0.194442 2435.199951171875; ...
datetime('2013-03-15T20:26:53.983',S1)...
-78.438766 -0.194422 2434.60009765625; ...
datetime('2013-03-15T20:26:54.987',S1)...
-78.438735 -0.194407 2434.800048828125; ...
datetime('2013-03-15T20:26:55.971',S1)...
-78.438695 -0.194397 2434.800048828125; ...
```

GPS Data 2: geo_data_ex_02

Nombre: geo_data_ex_02
Fuente: Google My Tracks
Fecha: 24 de Marzo de 2013
Duración: 1 hora aproximadamente
Tiempo de Muestra: 128 segundos
Muestra:

```
%Registrado: 24/03/2013 19:45.
format = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SS';
data=[datenum('2013-03-25T00:45:05.246',format) ...
-78.509218 -0.245382 2924.89990234375; ...
datenum('2013-03-25T00:46:53.257',format) ...
-78.509233 -0.245361 2916.699951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:46:54.258',format) ...
-78.509323 -0.245346 2910.89990234375; ...
datenum('2013-03-25T00:46:55.259',format) ...
-78.509338 -0.245326 2910.699951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:46:56.257',format) ...
-78.509341 -0.245289 2909.800048828125; ...
datenum('2013-03-25T00:46:57.458',format) ...
-78.509375 -0.245233 2910.699951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:46:58.267',format) ...
-78.509394 -0.245207 2910.60009765625; ...
datenum('2013-03-25T00:46:59.267',format) ...
-78.509415 -0.245177 2910.699951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:47:00.488',format) ...
-78.509434 -0.245152 2909.39990234375; ...
datenum('2013-03-25T00:47:01.476',format) ...
-78.509451 -0.245125 2909.199951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:47:02.427',format) ...
-78.509464 -0.245106 2909.300048828125; ...
datenum('2013-03-25T00:47:03.265',format) ...
-78.509479 -0.245085 2909.300048828125; ...
datenum('2013-03-25T00:47:05.266',format) ...
-78.509509 -0.245058 2907.800048828125; ...
datenum('2013-03-25T00:47:06.271',format) ...
-78.50952 -0.245047 2907.60009765625; ...
datenum('2013-03-25T00:47:08.259',format) ...
-78.509558 -0.245055 2906.10009765625; ...
datenum('2013-03-25T00:47:09.253',format) ...
-78.509577 -0.245078 2906.699951171875; ...
datenum('2013-03-25T00:47:10.256',format) ...
-78.509613 -0.245186 2904.89990234375; ...
datenum('2013-03-25T00:47:11.253',format) ...
-78.509654 -0.245231 2904.800048828125; ...
datenum('2013-03-25T00:47:12.257',format) ...
-78.509699 -0.245278 2904.10009765625; ...
datenum('2013-03-25T00:47:13.257',format) ...
-78.509751 -0.245321 2903.89990234375; ...
```

GPS Data 3: geo_data_ex_03

Nombre: geo_data_ex_03
Fuente: Google My Tracks
Fecha: 19 de Abril de 2013
Duración: 23 minutos
Tiempo de Muestra: 19 segundos

Muestra:

```
%Registrado: 19/04/2013 8:08
format = 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SS';
data=[datenum('2013-04-19T13:19:05.117',format) ...
-78.49049 -0.2348 2998.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:06.115',format) ...
-78.490555 -0.234736 2976.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:07.000',format) ...
-78.490555 -0.234736 2976.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:08.000',format) ...
-78.490769 -0.234682 2997.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:09.000',format) ...
-78.490769 -0.234682 2997.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:10.000',format) ...
-78.490855 -0.234628 2991.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:11.000',format) ...
-78.490855 -0.234628 2991.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:12.000',format) ...
-78.490962 -0.234564 2983.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:13.000',format) ...
-78.490962 -0.234564 2983.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:14.000',format) ...
-78.49107 -0.23451 2980.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:15.000',format) ...
-78.491413 -0.234382 2975.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:16.000',format) ...
-78.491714 -0.234242 2974.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:17.000',format) ...
-78.491971 -0.234135 2973.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:18.000',format) ...
-78.492164 -0.234049 2973.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:19.000',format) ...
-78.492357 -0.233952 2970.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:20.000',format) ...
-78.492529 -0.233856 2969.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:21.000',format) ...
-78.492679 -0.233738 2971.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:22.000',format) ...
-78.492808 -0.233598 2971.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:23.000',format) ...
-78.492915 -0.233448 2973.0; ...
datenum('2013-04-19T13:19:24.000',format) ...
-78.493022 -0.233319 2973.0; ...
```

GPS Data 4: geo_data_ex_04

Nombre: geo_data_ex_04
Fuente: Google My Tracks, posiciones simuladas
Fecha: Simulado - basado en geo_data_ex_02
Rutina:

```
%Trayectoria Flor en Galápagos
geo_data_ex_02

PB1=[0.542349 -90.724703];
z123=linspace(0,2*pi,length(data));
r123=(cos(6*z123).^2+1)/6;

data(:,2)=r123.*sin(z123)+PB1(2);
data(:,3)=r123.*cos(z123)+PB1(1);
data(:,4)=ones(size(data(:,4)))*100;
```

GPS Data 5: geo_data_ex_05

Nombre: geo_data_ex_05
Fuente: U-blox + Paparazzi Yapa 2
Fecha: 13 de Agosto de 2013
Duración: 12 minutos
Tiempo de Muestra: 9 segundos
Muestra:

```
%Telemetría: 13_08_11__11_14_19
%Tiempo UTC Zone   UTM East (cm)   UTM North (cm)  Altitude
(mm)   Course (decideg)
data=[1.884 17 79540136 -3150856 2741652 2862 ;
2.138 17 79540136 -3150856 2741646 2852 ;
2.389 17 79540216 -3150856 2741633 2852 ;
2.642 17 79540216 -3150856 2741591 2848 ;
2.888 17 79540216 -3150856 2741553 2857 ;
3.145 17 79540216 -3150856 2741469 2851 ;
3.385 17 79540216 -3150856 2741547 2869 ;
3.639 17 79540216 -3150856 2741585 2842 ;
3.888 17 79540216 -3150856 2741735 2872 ;
4.141 17 79540216 -3150856 2741794 2899 ;
4.389 17 79540216 -3150856 2741706 2897 ;
4.638 17 79540216 -3150856 2741759 2887 ;
4.892 17 79540136 -3150856 2741859 2885 ;
5.144 17 79540136 -3150856 2741934 2883 ;
5.391 17 79540136 -3150919 2741974 2881 ;
5.642 17 79540136 -3150919 2742084 2888 ;
5.888 17 79540136 -3150919 2742153 2900 ;
6.14 17 79540136 -3150919 2742244 2891 ;
6.384 17 79540136 -3150919 2742298 2900 ;
6.634 17 79540136 -3150919 2742300 2901 ;
6.894 17 79540136 -3150919 2742351 2890 ;
7.143 17 79540136 -3150919 2742365 2870 ;
7.385 17 79540136 -3150919 2742191 2875 ;
7.639 17 79540136 -3150919 2742073 2890 ;
7.886 17 79540136 -3150919 2742055 2889 ;
8.141 17 79540136 -3150919 2741987 2902 ;
8.387 17 79540136 -3150919 2741987 2902 ;
8.64 17 79540136 -3150919 2741984 2881 ;
8.883 17 79540136 -3150919 2742083 2899 ;
9.141 17 79540136 -3150919 2742146 2915 ;
9.384 17 79540136 -3150919 2742214 2912 ;
9.636 17 79540136 -3150856 2742168 2887 ;
9.889 17 79540136 -3150856 2742193 2892 ;
10.147 17 79540136 -3150919 2742206 2894 ;
10.392 17 79540136 -3150919 2742180 2897 ;
10.641 17 79540064 -3150919 2742204 2885 ;
10.89 17 79540064 -3150919 2742251 2874 ;
11.145 17 79540064 -3150919 2742185 2894 ;
11.386 17 79540064 -3150919 2742245 2893 ;
11.641 17 79540064 -3150919 2742290 2882 ;
```


Anexo F: Código de Programación Arduino

Por comodidad, se enlistan los códigos desarrollados para la plataforma Arduino UNO R3:

Arduino 1: sketch_sep18a.....	370
Arduino 2: sketch_sep29a.....	374
Arduino 3: sketch_sep30a.....	378
Arduino 4: test_clockside.....	379
Arduino 5: test_smart_control.....	382
Arduino 6: test_smart_control_v2.....	389
Arduino 7: test_smart_control_v3_reg.....	396
Arduino 8: test_smart_control_compact_v3_reg.....	404
Arduino 9: test_smart_control_v4_reg.....	410

Arduino 1: sketch_sep18a

Nombre: sketch_sep18a

Descripción: Implementación del algoritmo de control en acción de barrido de DOA con activación de conmutadores.

Código:

```
#include <math.h>

int led=13;
int ant1=2;
int ant2=3;
int ant3=4;
int ant4=5;

int ping=0;
int ping_port=6;

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double alpha_rad;

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double H1a=la1;
    double H1o=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,H1a,H1o);
```

```

double gamma=acos (D1H/D12) *180/M_PI;
double dla=la2-la1;
double dlo=lo2-lo1;
double alpha;

if (dla>=0 && dlo<0)
    alpha=270+gamma;
else if (dla>=0 && dlo>=0)
    alpha=90-gamma;
else if (dla<0 && dlo>=0)
    alpha=90+gamma;
else
    alpha=270-gamma;

return alpha;
}

void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(ant1, OUTPUT);
    pinMode(ant2, OUTPUT);
    pinMode(ant3, OUTPUT);
    pinMode(ant4, OUTPUT);
    digitalWrite(ant1, LOW);
    digitalWrite(ant2, HIGH);
    digitalWrite(ant3, HIGH);
    digitalWrite(ant4, HIGH);

    pinMode(ping_port, OUTPUT);
    digitalWrite(ping_port, LOW);
}

void loop() {
    for (double i=0; i<360; i++){
        //alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir;
        alpha_rad=i;
        a0= fmod (alpha_rad, 360);
        if (abs(a0-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else
            a=a;

        if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2) || ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)) {
            stat=0;
            digitalWrite(led, LOW);
        }
        else{
            stat=1;
            digitalWrite(led, HIGH);
        }

        if (stat==1){
            if (a>=30 && a<90){ // %60
                digitalWrite(ant1, LOW);
                digitalWrite(ant2, LOW);
            }
        }
    }
}

```

```

        digitalWrite(ant3,HIGH);
        digitalWrite(ant4,LOW);
        lim_d_1=60-border;
        lim_d_2=60;
        lim_u_1=60;
        lim_u_2=60+border;
    }
    else if (a>=90 && a<150){// %120
        digitalWrite(ant1,HIGH);
        digitalWrite(ant2,LOW);
        digitalWrite(ant3,HIGH);
        digitalWrite(ant4,HIGH);
        lim_d_1=120-border;
        lim_d_2=120;
        lim_u_1=120;
        lim_u_2=120+border;
    }
    else if (a>=150 && a<210){// %180
        digitalWrite(ant1,HIGH);
        digitalWrite(ant2,LOW);
        digitalWrite(ant3,LOW);
        digitalWrite(ant4,LOW);
        lim_d_1=180-border;
        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        digitalWrite(ant1,HIGH);
        digitalWrite(ant2,HIGH);
        digitalWrite(ant3,LOW);
        digitalWrite(ant4,HIGH);
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        digitalWrite(ant1,LOW);
        digitalWrite(ant2,HIGH);
        digitalWrite(ant3,LOW);
        digitalWrite(ant4,LOW);
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else{//
        // %0
        digitalWrite(ant1,LOW);
        digitalWrite(ant2,HIGH);
        digitalWrite(ant3,HIGH);
        digitalWrite(ant4,HIGH);
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
}
a1=a0;
delay(100);

```



```
if (ping==0){
  ping=1;
  digitalWrite(ping_port,HIGH);
}
else{
  ping=0;
  digitalWrite(ping_port,LOW);
}
}
```

Arduino 2: sketch_sep29a

Nombre: sketch_sep29a

Descripción: Captura de datos seriales del receptor GPS.

Código:

```

byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte itow[4];
byte trash[4];
byte lat[4];
byte lon[4];
byte spd[4];
byte hed[4];
byte flg;
int new_pos=0;
int new_head=0;
int count_pos=0;
int count_head=0;
void setup(){
  Serial.begin(38400);
}
void loop(){
  if(Serial.available()>0){
    header[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
    if(header[0]==181){
      if(Serial.available()>0)
        header[1]=Serial.read();
      delayMicroseconds(300);
      if(Serial.available()>0)
        ID[0]=Serial.read();
      delayMicroseconds(300);
      if(Serial.available()>0)
        ID[1]=Serial.read();
      delayMicroseconds(300);
      if(ID[0]==1 && ID[1]==2 && new_pos==0){
        Serial.print(header[1],HEX);
        Serial.print(' ');
        Serial.print(ID[0],HEX);
        Serial.print(' ');
        Serial.print(ID[1],HEX);
        Serial.print(' ');
        Serial.print(count_pos,DEC);
        Serial.print('\n');
        if(Serial.available()>0)
          byte_size[0]=Serial.read();
          delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
          byte_size[1]=Serial.read();
          delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
          itow[0]=Serial.read();
          delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
          itow[1]=Serial.read();
          delayMicroseconds(300);
      }
    }
  }
}

```

```

if (Serial.available()>0)
    itow[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lon[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lon[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lon[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lon[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lat[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lat[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lat[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    lat[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
    new_pos=1;
    count_pos=count_pos+1;
}
else if (ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0) {
Serial.print(header[1],HEX);
Serial.print(' ');
Serial.print(ID[0],HEX);
Serial.print(' ');
Serial.print(ID[1],HEX);
Serial.print(' ');
Serial.print(count_head,DEC);
Serial.print('\n');
if (Serial.available()>0)
    byte_size[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    byte_size[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);

```

```
if (Serial.available() > 0)
  trash[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[2] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[3] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[2] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[3] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[2] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[3] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  spd[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  spd[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  spd[2] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  spd[3] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[2] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  trash[3] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
```

```

        if (Serial.available() > 0)
            hed[0] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        new_head = 1;
        count_head = count_head + 1;
    }
}

/* if (new_pos == 1) {
    header[0] = 0;
    // new_pos = 0;
    Serial.print('p');
    Serial.print('\t');
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        Serial.print(lat[i], HEX);
        Serial.print(' ');
    }
    Serial.print('\t');
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        Serial.print(lon[i], HEX);
        Serial.print(' ');
    }
    Serial.print('\n');
}
if (new_head == 1) {
    header[0] = 0;
    // new_head = 0;
    Serial.print('d');
    Serial.print('\t');
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        Serial.print(spd[i], HEX);
        Serial.print(' ');
    }
    Serial.print('\t');
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        Serial.print(hed[i], HEX);
        Serial.print(' ');
    }
    Serial.print('\n');
}*/
if (new_pos == 1 && new_head == 1) {
    new_pos = 0;
    new_head = 0;
}
else {
}
/* if (new_pos == 1 || new_head == 1) {
    Serial.print(count_pos, DEC);
    Serial.print('\t');
    Serial.print(count_head, DEC);
    Serial.print('\n');
}*/
}

```

Arduino 3: sketch_sep30a

Nombre: sketch_sep30a

Descripción: Conversión de datos seriales a double.

Código:

```
byte lon[4];
int led = 13;
long long_lon;
double longitude;

void setup(){
  pinMode(led, OUTPUT);
  lon[0]=63;
  lon[1]=84;
  lon[2]=52;
  lon[3]=209;
  Serial.begin (38400);
}

void loop(){

long_lon=(long)lon[0]+((long)lon[1]+((long)lon[2]+(long)lon[3]
]*256)*256)*256;
  longitude=(double)long_lon/10000000;
  if(longitude<0)
    digitalWrite(led, HIGH);
  else
    digitalWrite(led, LOW);
  Serial.print(longitude,DEC);
  Serial.print('\n');
  delay(1000);
}
```

Arduino 4: test_clockside

Nombre: test_clockside

Descripción: Barrido de DOA con el módulo de detección de DOA.

Código:

```
#include <math.h>

int led=13;

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double alpha_rad;

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double Hla=la1;
    double Hlo=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,Hla,Hlo);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
```

```

    alpha=90-gamma;
else if (dla<0 && dlo>=0)
    alpha=90+gamma;
else
    alpha=270-gamma;

return alpha;
}

void setup(){
    pinMode(led,OUTPUT);
    pinMode(2,OUTPUT);
    pinMode(3,OUTPUT);
    pinMode(4,OUTPUT);
    pinMode(5,OUTPUT);
    pinMode(6,OUTPUT);
    pinMode(7,OUTPUT);

    led_direction(0);
}

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

void loop(){
    for (double i=0;i<360;i++){
        //alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir;
        alpha_rad=i;
        a0= fmod (alpha_rad,360);
        if (abs(a0-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
            a=a0;
        else
            a=a;

        if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)){
            stat=0;
            digitalWrite(led,LOW);
        }
        else{
            stat=1;
            digitalWrite(led,HIGH);
        }

        if (stat==1){
            if (a>=30 && a<90){// %60
                led_direction(1);
                lim_d_1=60-border;
                lim_d_2=60;
                lim_u_1=60;
                lim_u_2=60+border;
            }
        }
    }
}

```



```

    }
    else if (a>=90 && a<150){// %120
        led_direction(2);
        lim_d_1=120-border;
        lim_d_2=120;
        lim_u_1=120;
        lim_u_2=120+border;
    }
    else if (a>=150 && a<210){// %180
        led_direction(3);
        lim_d_1=180-border;
        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        led_direction(4);
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        led_direction(5);
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else{//
        led_direction(0);           %0
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
    }
    a1=a0;
    delay(100);
}
}

```

Arduino 5: test_smart_control

Nombre: test_smart_control

Descripción: Algoritmo de control adaptado para funcionar con el módulo de detección de DOA.

Código:

```
#include <math.h>

//Data acquisition
byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte itow[4];
byte trash[4];

byte lat[4];
long long_lat;
byte lon[4];
long long_lon;
byte spd[4];
long long_spd;
byte hed[4];
long long_hed;

int new_pos=0;
int new_head=0;

//Smart Antena Control
int led=13;

double lat_UAV;
double lon_UAV;

double lat_base=-0.259581;
double lon_base=-78.417014;

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double speed_UAV;
double alpha_rad;

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
```

```

double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double H1a=la1;
    double H1o=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,H1a,H1o);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
        alpha=90-gamma;
    else if (dla<0 && dlo>=0)
        alpha=90+gamma;
    else
        alpha=270-gamma;

    return alpha;
}

void data_adquisition (){
    if(Serial.available(>0){
        header[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(250);
        if(header[0]==181){

```

```

if (Serial.available() > 0)
  header[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  ID[0] = Serial.read();
  delayMicroseconds(300);
if (Serial.available() > 0)
  ID[1] = Serial.read();
  delayMicroseconds(250);

if (ID[0] == 1 && ID[1] == 2 && new_pos == 0) {

  if (Serial.available() > 0)
    byte_size[0] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    byte_size[1] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    itow[0] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    itow[1] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    itow[2] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    itow[3] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);

  if (Serial.available() > 0)
    lon[0] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lon[1] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lon[2] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lon[3] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lat[0] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lat[1] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lat[2] = Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
  if (Serial.available() > 0)
    lat[3] = Serial.read();
    delayMicroseconds(250);
  new_pos = 1;
}

```

```

}
else if (ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0) {
if (Serial.available()>0)
    byte_size[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    byte_size[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();

```

```

        delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[0] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                trash[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                hed[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(250);
            new_head = 1;
    }
}
}

void smart_control() {

    long_lat = (long) lat[0] + ((long) lat[1] + ((long) lat[2] + (long) lat[3]
    ] * 256) * 256;
        lat_UAV = (double) long_lat / 10000000;

    long_lon = (long) lon[0] + ((long) lon[1] + ((long) lon[2] + (long) lon[3]
    ] * 256) * 256;
        lon_UAV = (double) long_lon / 10000000;
}

```

```

long_spd=(long) spd[0]+((long) spd[1]+((long) spd[2]+(long) spd[3
]*256)*256)*256;
    speed_UAV=(double) long_spd/100;

long_hed=(long) hed[0]+((long) hed[1]+((long) hed[2]+(long) hed[3
]*256)*256)*256;
    alpha_dir=(double) long_hed/100000;

alpha_pos=fast_ang_geo(lat_UAV,lon_UAV,lat_base,lon_base);

    alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir;

    a0= fmod (alpha_rad,360);
    if (abs(a0-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else
        a=a;

    if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)){
        stat=0;
        digitalWrite(led,LOW);
    }
    else{
        stat=1;
        digitalWrite(led,HIGH);
    }

    if (stat==1){
        if (a>=30 && a<90){// %60
            led_direction(1);
            lim_d_1=60-border;
            lim_d_2=60;
            lim_u_1=60;
            lim_u_2=60+border;
        }
        else if (a>=90 && a<150){// %120
            led_direction(2);
            lim_d_1=120-border;
            lim_d_2=120;
            lim_u_1=120;
            lim_u_2=120+border;
        }
        else if (a>=150 && a<210){// %180
            led_direction(3);
            lim_d_1=180-border;
            lim_d_2=180;
            lim_u_1=180;
            lim_u_2=180+border;
        }
    }
}

```

```

else if (a>=210 && a<270){// %240
    led_direction(4);
    lim_d_1=240-border;
    lim_d_2=240;
    lim_u_1=240;
    lim_u_2=240+border;
}
else if (a>=270 && a<330){// %300
    led_direction(5);
    lim_d_1=300-border;
    lim_d_2=300;
    lim_u_1=300;
    lim_u_2=300+border;
}
else{//
    led_direction(0);
    lim_d_1=360-border;
    lim_d_2=360;
    lim_u_1=0;
    lim_u_2=border;
}
}
a1=a0;
}

void setup(){
//Data adquisition
Serial.begin(38400);

//Smart Antenna Control System
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(2,OUTPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(6,OUTPUT);
pinMode(7,OUTPUT);
led_direction(0);
}

void loop(){
    if(new_pos==1 && new_head==1){
        new_pos=0;
        new_head=0;
        smart_control();
        delay(500);
    }
    else
    data_adquisition();
}

```


Arduino 6: test_smart_control_v2

Nombre: test_smart_control_v2

Descripción: Algoritmo de control adaptado para funcionar con el módulo de detección de DOA. Añadida la irrupción por pérdida de datos de receptor de GPS.

Código:

```
#include <math.h>

//Data acquisition
byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte itow[4];
byte trash[4];

byte lat[4];
long long_lat;
byte lon[4];
long long_lon;
byte spd[4];
long long_spd;
byte hed[4];
long long_hed;

int new_pos=0;
int new_head=0;

//Smart Antena Control
int led=13;

double lat_UAV;
double lon_UAV;

double lat_base=-0.259581;
double lon_base=-78.417014;

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double speed_UAV;
double alpha_rad;

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
```

```

double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double Hla=la1;
    double Hlo=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,Hla,Hlo);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
        alpha=90-gamma;
    else if (dla<0 && dlo>=0)
        alpha=90+gamma;
    else
        alpha=270-gamma;

    return alpha;
}

void data_adquisition (){
    if(Serial.available(>0){
        header[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(250);
        if(header[0]==181){

            if(Serial.available(>0)

```

```

        header[1]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        ID[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        ID[1]=Serial.read();
        delayMicroseconds(250);

    if(ID[0]==1 && ID[1]==2 && new_pos==0){
        if(Serial.available()>0)
            byte_size[0]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            byte_size[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            itow[0]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            itow[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            itow[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            itow[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);

        if(Serial.available()>0)
            lon[0]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lon[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lon[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lon[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lat[0]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lat[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lat[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            lat[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(250);
        new_pos=1;
    }
}

```

```
else if (ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0) {
if (Serial.available()>0)
    byte_size[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    byte_size[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    itow[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if (Serial.available()>0)
```

```

        spd[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            spd[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            spd[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            spd[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if(Serial.available()>0)
                trash[0]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            trash[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            trash[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            trash[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if(Serial.available()>0)
                hed[0]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            hed[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            hed[2]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if(Serial.available()>0)
            hed[3]=Serial.read();
            delayMicroseconds(250);
            new_head=1;
    }
}
}

void smart_control(){

long_lat=(long) lat[0]+((long) lat[1]+((long) lat[2]+(long) lat[3]
]*256)*256)*256;
    lat_UAV=(double) long_lat/10000000;

long_lon=(long) lon[0]+((long) lon[1]+((long) lon[2]+(long) lon[3]
]*256)*256)*256;
    lon_UAV=(double) long_lon/10000000;

long_spd=(long) spd[0]+((long) spd[1]+((long) spd[2]+(long) spd[3]
]*256)*256)*256;

```

```

    speed_UAV=(double) long_spd/100;

long_hed=(long) hed[0]+((long) hed[1]+((long) hed[2]+(long) hed[3
]*256)*256)*256;
    alpha_dir=(double) long_hed/100000;

alpha_pos=fast_ang_geo(lat_UAV,lon_UAV,lat_base,lon_base);

    alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir+360;

    a0= fmod (alpha_rad,360);
    if (abs(a0-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else
        a=a;

    if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)|| (long_lat==0||long_lon==0||long_hed==0)) {
//Solución trivial
        stat=0;
        digitalWrite(led,LOW);
    }
    else{
        stat=1;
        digitalWrite(led,HIGH);
    }

    if (stat==1){
        if (a>=0 && a<30){// %0
            led_direction(0);
            lim_d_1=360-border;
            lim_d_2=360;
            lim_u_1=0;
            lim_u_2=border;
        }
        else if (a>=30 && a<90){// %60
            led_direction(1);
            lim_d_1=60-border;
            lim_d_2=60;
            lim_u_1=60;
            lim_u_2=60+border;
        }
        else if (a>=90 && a<150){// %120
            led_direction(2);
            lim_d_1=120-border;
            lim_d_2=120;
            lim_u_1=120;
            lim_u_2=120+border;
        }
        else if (a>=150 && a<210){// %180
            led_direction(3);
            lim_d_1=180-border;

```

```

        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        led_direction(4);
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        led_direction(5);
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else if (a>=330 && a<=360){//
%360
        led_direction(0);
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
    }
    a1=a0;
}

void setup(){
//Data adquisition
Serial.begin(38400);

//Smart Antenna Control System
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(2,OUTPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(6,OUTPUT);
pinMode(7,OUTPUT);
led_direction(0);
}

void loop(){
    if(new_pos==1 && new_head==1){
        new_pos=0;
        new_head=0;
        smart_control();
        delay(500);
    }
    else
        data_adquisition();
}

```

Arduino 7: test_smart_control_v3_reg

Nombre: test_smart_control_v3_reg

Descripción: Algoritmo de control adaptado para funcionar con el módulo de detección de DOA. Añadida la irrupción por pérdida de datos de receptor de GPS, detección de velocidad y almacenamiento de datos para simulación.

Código:

```
#include <math.h>

//Data acquisition
byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte itow[4];
byte trash[4];

long long_itow;
double time_GPS;

byte lat[4];
long long_lat;
byte lon[4];
long long_lon;
byte spd[4];
long long_spd;
byte hed[4];
long long_hed;

int new_pos=0;
int new_head=0;

//Smart Antena Control
int led=13;

double lat_UAV;
double lon_UAV;

double lat_base=-0.259581;
double lon_base=-78.417014;
double speed_max=18*0.1; //m/s ->64.8km/h=18m/s

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double speed_UAV;
double alpha_rad;

double a0=0;
```



```

double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;
int sel=0;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double H1a=la1;
    double H1o=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,H1a,H1o);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
        alpha=90-gamma;
    else if (dla<0 && dlo>=0)
        alpha=90+gamma;
    else
        alpha=270-gamma;
}

```

```

    return alpha;
}

void data_adquisition () {
    if (Serial.available() > 0) {
        header[0] = Serial.read();
        delayMicroseconds(250);
        if (header[0] == 181) {

            if (Serial.available() > 0)
                header[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                ID[0] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                ID[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(250);

            if (ID[0] == 1 && ID[1] == 2 && new_pos == 0) {

                if (Serial.available() > 0)
                    byte_size[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    byte_size[1] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    itow[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    itow[1] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    itow[2] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    itow[3] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);

                if (Serial.available() > 0)
                    lon[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    lon[1] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    lon[2] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    lon[3] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)
                    lat[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
                if (Serial.available() > 0)

```

```

        lat[1]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        lat[2]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        lat[3]=Serial.read();
        delayMicroseconds(250);
        new_pos=1;
    }
else if(ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0){
if(Serial.available()>0)
    byte_size[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    byte_size[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    itow[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    itow[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    itow[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    itow[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[1]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[2]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[3]=Serial.read();
    delayMicroseconds(300);
if(Serial.available()>0)
    trash[0]=Serial.read();

```

```

        delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[0] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            spd[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                trash[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            trash[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if (Serial.available() > 0)
                hed[0] = Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[1] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[2] = Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
        if (Serial.available() > 0)
            hed[3] = Serial.read();
            delayMicroseconds(250);
            new_head = 1;
    }
}
}

void smart_control() {

```

```

long_lat=(long)lat[0]+((long)lat[1]+((long)lat[2]+(long)lat[3
]*256)*256)*256;
    lat_UAV=(double)long_lat/10000000;

long_lon=(long)lon[0]+((long)lon[1]+((long)lon[2]+(long)lon[3
]*256)*256)*256;
    lon_UAV=(double)long_lon/10000000;

long_spd=(long)spd[0]+((long)spd[1]+((long)spd[2]+(long)spd[3
]*256)*256)*256;
    speed_UAV=(double)long_spd/100;

long_hed=(long)hed[0]+((long)hed[1]+((long)hed[2]+(long)hed[3
]*256)*256)*256;
    alpha_dir=(double)long_hed/100000;

alpha_pos=fast_ang_geo(lat_UAV,lon_UAV,lat_base,lon_base);
alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir+360;

a0= fmod (alpha_rad,360);
if (abs(a0-a1)<=delta1)
    a=a0;
else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
    a=a0;
else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
    a=a0;
else
    a=a;

    if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)|| (long_lat==0||long_lon==0||long_hed==0)|| (speed_
UAV<speed_max)){ //Solución trivial
        stat=0;
        digitalWrite(led,LOW);
    }
    else{
        stat=1;
        digitalWrite(led,HIGH);
    }

    if (stat==1){
        if (a>=0 && a<30){// %0
            led_direction(0);
            sel=0;
            lim_d_1=360-border;
            lim_d_2=360;
            lim_u_1=0;
            lim_u_2=border;
        }
        else if (a>=30 && a<90){// %60
            led_direction(1);
            sel=1;
            lim_d_1=60-border;
            lim_d_2=60;
        }
    }

```

```

        lim_u_1=60;
        lim_u_2=60+border;
    }
    else if (a>=90 && a<150){// %120
        led_direction(2);
        sel=2;
        lim_d_1=120-border;
        lim_d_2=120;
        lim_u_1=120;
        lim_u_2=120+border;
    }
    else if (a>=150 && a<210){// %180
        led_direction(3);
        sel=3;
        lim_d_1=180-border;
        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        led_direction(4);
        sel=4;
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        led_direction(5);
        sel=5;
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else if (a>=330 && a<=360){//
%360
        led_direction(0);
        sel=0;
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
    }
    a1=a0;
}

void print_stat(){

long_itow=(long)itow[0]+((long)itow[1]+((long)itow[2]+(long)i
tow[3]*256)*256)*256;
    time_GPS=(double)long_hed/100000;

    Serial.print(time_GPS,DEC);
    Serial.print('\t');

```

```

        Serial.print(lat_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(lon_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(alpha_dir, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(speed_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(a, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(stat, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(sel, 'DEC');
        Serial.print("; \n");
    }

void print_header(){

    Serial.print("time\t");
    Serial.print("lat\t");
    Serial.print("lon\t");
    Serial.print("head\t");
    Serial.print("speed\t");
    Serial.print("DOA\t");
    Serial.print("stat\t");
    Serial.print("sel\ndata=[");
}

void setup(){
    //Data adquisition
    Serial.begin(38400);

    //Smart Antenna Control System
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(7, OUTPUT);
    led_direction(0);
    print_header();
}

void loop(){
    if(new_pos==1 && new_head==1){
        new_pos=0;
        new_head=0;
        smart_control();
        print_stat();
        delay(500);
    }
    else
        data_adquisition();
}

```

Arduino 8: test_smart_control_compact_v3_reg

Nombre: test_smart_control_compact_v3_reg

Descripción: Algoritmo de control adaptado para funcionar con el módulo de detección de DOA. Añadida la irrupción por pérdida de datos de receptor de GPS, detección de velocidad y almacenamiento de datos para simulación. Se trató de reducir las instrucciones utilizando rutinas para la captura de datos seriales.

Código:

```
#include <math.h>

//Data acquisition
byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte trash;

long long_itow;
double time_GPS;

byte lat[4];
long long_lat;
byte lon[4];
long long_lon;
byte spd[4];
long long_spd;
byte hed[4];
long long_hed;

int new_pos=0;
int new_head=0;

//Smart Antena Control
int led=13;

double lat_UAV;
double lon_UAV;

double lat_base=-0.259581;
double lon_base=-78.417014;
double speed_max=18*0.1; //m/s ->64.8km/h=18m/s

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double speed_UAV;
double alpha_rad;
```



```

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;
int sel=0;

double delta2=0.05;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double H1a=la1;
    double H1o=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,H1a,H1o);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
        alpha=90-gamma;
    else if (dla<0 && dlo>=0)
        alpha=90+gamma;
    else
        alpha=270-gamma;
}

```

```

    return alpha;
}

void data_adquisition (){
    if(Serial.available()>0){
        header[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(250);
        if(header[0]==181){

            if(Serial.available()>0)
                header[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if(Serial.available()>0)
                ID[0]=Serial.read();
            delayMicroseconds(300);
            if(Serial.available()>0)
                ID[1]=Serial.read();
            delayMicroseconds(250);

            if(ID[0]==1 && ID[1]==2 && new_pos==0){
                for(int i=0;i<6;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        trash=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                for(int i=0;i<4;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        lon[i]=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                for(int i=0;i<4;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        lat[i]=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                new_pos=1;
            }
            else if(ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0){
                for(int i=0;i<18;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        trash=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                for(int i=0;i<4;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        spd[i]=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                for(int i=0;i<4;i++){
                    if(Serial.available()>0)
                        trash=Serial.read();
                    delayMicroseconds(300);
                }
                for(int i=0;i<4;i++){
                    if(Serial.available()>0)

```

```

        hed[i]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    }
    new_head=1;
}
}
}

void smart_control(){

long_lat=(long)lat[0]+((long)lat[1]+((long)lat[2]+(long)lat[3]
]*256)*256)*256;
    lat_UAV=(double)long_lat/10000000;

long_lon=(long)lon[0]+((long)lon[1]+((long)lon[2]+(long)lon[3]
]*256)*256)*256;
    lon_UAV=(double)long_lon/10000000;

long_spd=(long)spd[0]+((long)spd[1]+((long)spd[2]+(long)spd[3]
]*256)*256)*256;
    speed_UAV=(double)long_spd/100;

long_hed=(long)hed[0]+((long)hed[1]+((long)hed[2]+(long)hed[3]
]*256)*256)*256;
    alpha_dir=(double)long_hed/100000;

alpha_pos=fast_ang_geo(lat_UAV,lon_UAV,lat_base,lon_base);
    alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir+360;

    a0= fmod (alpha_rad,360);
    if (abs(a0-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
        a=a0;
    else
        a=a;

    if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)|| (long_lat==0||long_lon==0||long_hed==0)|| (speed_
UAV<speed_max)){ //Solución trivial
        stat=0;
        digitalWrite(led,LOW);
    }
    else{
        stat=1;
        digitalWrite(led,HIGH);
    }

    if (stat==1){
        if (a>=0 && a<30){// %0
            led_direction(0);
            sel=0;

```

```

        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
    else if (a>=30 && a<90){// %60
        led_direction(1);
        sel=1;
        lim_d_1=60-border;
        lim_d_2=60;
        lim_u_1=60;
        lim_u_2=60+border;
    }
    else if (a>=90 && a<150){// %120
        led_direction(2);
        sel=2;
        lim_d_1=120-border;
        lim_d_2=120;
        lim_u_1=120;
        lim_u_2=120+border;
    }
    else if (a>=150 && a<210){// %180
        led_direction(3);
        sel=3;
        lim_d_1=180-border;
        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        led_direction(4);
        sel=4;
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        led_direction(5);
        sel=5;
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else if (a>=330 && a<=360){// %360
        led_direction(0);
        sel=0;
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
}
a1=a0;
}

```

```

void print_stat() {
    Serial.print(lat_UAV, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(lon_UAV, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(alpha_dir, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(speed_UAV, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(a, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(stat, 'DEC');
    Serial.print('\t');
    Serial.print(sel, 'DEC');
    Serial.print("; \n");
}

void print_header() {

    Serial.print("lat\t");
    Serial.print("lon\t");
    Serial.print("head\t");
    Serial.print("speed\t");
    Serial.print("DOA\t");
    Serial.print("stat\t");
    Serial.print("sel\ndata=[");
}

void setup() {
    //Data acquisition
    Serial.begin(38400);

    //Smart Antenna Control System
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(7, OUTPUT);
    led_direction(0);
    print_header();
}

void loop() {
    if(new_pos==1 && new_head==1) {
        new_pos=0;
        new_head=0;
        smart_control();
        print_stat();
        delay(500);
    }
    else
    data_adquisition();
}

```

Arduino 9: test_smart_control_v4_reg

Nombre: test_smart_control_v4_reg

Descripción: Evolución de Arduino 7:
test_smart_control_v3_reg que mejora la extensión de histéresis y corrección en el método de bloqueo por pérdida de señal.

Código:

```
#include <math.h>

//Data acquisition
byte header[2];
byte ID[2];
byte byte_size[2];
byte trash;

double time_GPS=0;

byte lat[4];
long long_lat;
byte lon[4];
long long_lon;
byte spd[4];
long long_spd;
byte hed[4];
long long_hed;

long past_lat=0;
long past_lon=0;
int new_pos=0;
int new_head=0;

//Smart Antena Control
int led=13;

double lat_UAV;
double lon_UAV;
double lat_base=-0.259581;
double lon_base=-78.417014;
double speed_max=18*0.1; //m/s ->64.8km/h=18m/s

double alpha_pos=0;
double alpha_dir=0;
double speed_UAV;
double alpha_rad;

double a0=0;
double a1=0;
double a=0;

double delta1=360*0.05;
int stat;
```

```

int sel=0;

double delta2=0.15;
double border=360*(1+2*delta2)/12;
double lim_d_1=360-border;
double lim_d_2=360;
double lim_u_1=0;
double lim_u_2=border;

void led_direction(int j){
for(int i=0;i<6;i++){
    if(i==j)
        digitalWrite(2+i,HIGH);
    else
        digitalWrite(2+i,LOW);
}
}

double geo_d(double la1,double lo1,double la2,double lo2){
    double D12;
    double La1=la1*M_PI/180;
    double Lo1=lo1*M_PI/180;
    double La2=la2*M_PI/180;
    double Lo2=lo2*M_PI/180;
    D12 = acos( cos( La1 ) * cos( La2 ) * cos( Lo2 - Lo1 ) +
sin( La1 ) * sin( La2 ) );
    return D12;
}

double fast_ang_geo(double la1,double lo1,double la2,double
lo2){

    double H1a=la1;
    double H1o=lo2;
    double D12 = geo_d(la1,lo1,la2,lo2);
    double D1H = geo_d(la1,lo1,H1a,H1o);

    double gamma=acos(D1H/D12)*180/M_PI;
    double dla=la2-la1;
    double dlo=lo2-lo1;
    double alpha;

    if (dla>=0 && dlo<0)
        alpha=270+gamma;
    else if (dla>=0 && dlo>=0)
        alpha=90-gamma;
    else if (dla<0 && dlo>=0)
        alpha=90+gamma;
    else
        alpha=270-gamma;

    return alpha;
}

void data_acquisition (){
    if(Serial.available(>0){
        header[0]=Serial.read();

```

```

delayMicroseconds(300);
time_GPS=time_GPS+0.3;
if(header[0]==181){

    if(Serial.available()>0)
        header[1]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        ID[0]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    if(Serial.available()>0)
        ID[1]=Serial.read();
        delayMicroseconds(300);
    time_GPS=time_GPS+0.3*3;
    if(ID[0]==1 && ID[1]==2 && new_pos==0){
        for(int i=0;i<6;i++){
            if(Serial.available()>0)
                trash=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        for(int i=0;i<4;i++){
            if(Serial.available()>0)
                lon[i]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        for(int i=0;i<4;i++){
            if(Serial.available()>0)
                lat[i]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        new_pos=1;
        time_GPS=time_GPS+0.3*14;
    }
    else if(ID[0]==1 && ID[1]==18 && new_head==0){
        for(int i=0;i<18;i++){
            if(Serial.available()>0)
                trash=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        for(int i=0;i<4;i++){
            if(Serial.available()>0)
                spd[i]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        for(int i=0;i<4;i++){
            if(Serial.available()>0)
                trash=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        for(int i=0;i<4;i++){
            if(Serial.available()>0)
                hed[i]=Serial.read();
                delayMicroseconds(300);
        }
        new_head=1;
        time_GPS=time_GPS+0.3*30;
    }
}

```



```

    }
  }
}

void smart_control() {

long_lat=(long) lat[0]+((long) lat[1]+((long) lat[2]+(long) lat[3
]*256)*256)*256;
  lat_UAV=(double) long_lat/10000000;

long_lon=(long) lon[0]+((long) lon[1]+((long) lon[2]+(long) lon[3
]*256)*256)*256;
  lon_UAV=(double) long_lon/10000000;

long_spd=(long) spd[0]+((long) spd[1]+((long) spd[2]+(long) spd[3
]*256)*256)*256;
  speed_UAV=(double) long_spd/100;

long_hed=(long) hed[0]+((long) hed[1]+((long) hed[2]+(long) hed[3
]*256)*256)*256;
  alpha_dir=(double) long_hed/100000;

alpha_pos=fast_ang_geo(lat_UAV,lon_UAV,lat_base,lon_base);

  alpha_rad=alpha_pos-alpha_dir+360;

  a0= fmod (alpha_rad,360);
  if (abs(a0-a1)<=delta1)
    a=a0;
  else if (abs(a0+360-a1)<=delta1)
    a=a0;
  else if (abs(a0-360-a1)<=delta1)
    a=a0;
  else
    a=a;

  if ((a>=lim_d_1 && a<lim_d_2)|| ( a>=lim_u_1 &&
a<=lim_u_2)||((long_lat-past_lat)==0|| (long_lon-
past_lon)==0)|| (speed_UAV<speed_max)){ //Solución trivial
    stat=0;
    digitalWrite(led,LOW);
  }
  else{
    stat=1;
    digitalWrite(led,HIGH);
  }
  if (stat==1){
    if (a>=0 && a<30){// %0
      led_direction(0);
      sel=0;
      lim_d_1=360-border;
      lim_d_2=360;
      lim_u_1=0;
      lim_u_2=border;
    }
  }
}

```

```

    }
    else if (a>=30 && a<90){// %60
        led_direction(1);
        sel=1;
        lim_d_1=60-border;
        lim_d_2=60;
        lim_u_1=60;
        lim_u_2=60+border;
    }
    else if (a>=90 && a<150){// %120
        led_direction(2);
        sel=2;
        lim_d_1=120-border;
        lim_d_2=120;
        lim_u_1=120;
        lim_u_2=120+border;
    }
    else if (a>=150 && a<210){// %180
        led_direction(3);
        sel=3;
        lim_d_1=180-border;
        lim_d_2=180;
        lim_u_1=180;
        lim_u_2=180+border;
    }
    else if (a>=210 && a<270){// %240
        led_direction(4);
        sel=4;
        lim_d_1=240-border;
        lim_d_2=240;
        lim_u_1=240;
        lim_u_2=240+border;
    }
    else if (a>=270 && a<330){// %300
        led_direction(5);
        sel=5;
        lim_d_1=300-border;
        lim_d_2=300;
        lim_u_1=300;
        lim_u_2=300+border;
    }
    else if (a>=330 && a<=360){// %360
        led_direction(0);
        sel=0;
        lim_d_1=360-border;
        lim_d_2=360;
        lim_u_1=0;
        lim_u_2=border;
    }
}
a1=a0;
past_lat=long_lat;
past_lon=long_lon;
}

void print_stat(){

```

```

        Serial.print(time_GPS, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(lat_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(lon_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(alpha_dir, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(speed_UAV, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(a, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(stat, 'DEC');
        Serial.print('\t');
        Serial.print(sel, 'DEC');
        Serial.print("; \n");
    }

void print_header() {
    Serial.print("time\t");
    Serial.print("lat\t");
    Serial.print("lon\t");
    Serial.print("head\t");
    Serial.print("speed\t");
    Serial.print("DOA\t");
    Serial.print("stat\t");
    Serial.print("sel\ndata=[");
}

void setup() {
    //Data acquisition
    Serial.begin(38400);
    //Smart Antenna Control System
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(7, OUTPUT);
    led_direction(0);
    print_header();
}

void loop() {
    if(new_pos==1 && new_head==1) {
        new_pos=0;
        new_head=0;
        smart_control();
        print_stat();
        delay(500);
    }
    else
        data_acquisition();
}

```

Anexo G: Mediciones de las pruebas de caracterización

G.1 Muestras de retardo en línea de transmisión

Muestras de retardo para un cable de longitud igual a 2 pulgadas

Freq [MHz]	Average [ns]	Muestra 1 [ns]	Muestra 2 [ns]	Muestra 3 [ns]	Muestra 4 [ns]	Muestra 5 [ns]	Promedio [ns]
900	-0.48	3.51	-4.27	-3.43	-3.74	1.66	-1.13
900.2	-0.71	-7.99	6.05	1.55	3.40	-6.03	-0.62
900.4	-0.25	3.00	2.06	4.79	-7.25	0.63	0.50
900.6	-1.16	-0.02	-11.30	-8.20	3.53	-0.36	-2.91
900.8	-0.65	-5.42	5.95	0.97	-3.70	-6.83	-1.61
901	-1.56	-1.34	-0.71	-2.88	-4.73	4.81	-1.07
901.2	-0.02	1.62	-2.75	1.09	5.70	-5.72	-0.01
901.4	-1.24	0.65	0.34	-1.41	-1.13	7.50	0.79
901.6	-1.35	3.93	-6.73	2.37	-2.80	-8.97	-2.26
901.8	0.34	-5.63	5.70	1.79	-4.85	3.36	0.12
902	-1.97	0.06	-2.92	-2.61	7.10	-2.40	-0.46
902.2	-1.11	-2.94	2.96	-6.20	-0.80	-0.36	-1.41
902.4	0.31	-1.26	0.17	-1.03	-5.57	-3.36	-1.79
902.6	-0.97	5.13	-4.33	4.43	5.05	-1.91	1.23
902.8	-0.78	-6.92	-2.48	1.24	-6.33	3.40	-1.98
903	0.13	-2.80	1.70	-4.25	-0.44	-3.59	-1.54
903.2	-2.04	5.07	3.76	-4.58	-2.29	0.90	0.14
903.4	-1.03	-8.45	-9.27	2.88	4.64	1.64	-1.60
903.6	-0.34	7.36	2.19	1.11	-5.55	-1.60	0.53
903.8	-0.17	-3.40	-4.18	-4.65	3.19	-9.19	-3.07
904	-0.74	-1.07	0.97	2.75	0.50	8.16	1.76
904.2	-1.13	-0.55	1.74	-6.66	-4.06	-1.30	-1.99
904.4	-0.84	0.78	1.05	-0.31	0.61	1.07	0.39
904.6	-1.09	-3.45	-3.76	2.02	-1.72	-2.29	-1.71
904.8	-1.51	1.81	-4.27	2.80	-2.10	-6.22	-1.58
905	0.44	-2.29	2.94	3.26	2.73	2.79	1.64
905.2	-0.88	0.52	1.79	-11.20	-0.15	2.35	-1.27
905.4	-1.45	-2.31	-6.03	0.11	-6.52	-5.04	-3.54
905.6	-0.76	-2.94	1.53	2.25	5.51	0.10	0.95
905.8	0.06	0.69	-0.80	-2.37	-5.88	-3.15	-1.91
906	-0.94	2.38	-4.31	-1.05	-0.52	0.52	-0.65
906.2	-0.27	-5.72	4.73	-0.94	1.56	1.91	0.21
906.4	-1.72	-0.23	-7.32	-0.78	-3.20	-0.61	-2.31
906.6	-1.26	5.80	8.66	3.70	-0.69	-2.58	2.27
906.8	0.25	-2.19	-7.78	-1.58	0.02	1.41	-1.65
907	-1.64	-3.61	2.21	-0.95	-0.17	-1.49	-0.94

907.2	-0.36	-6.08	-1.83	-11.50	-0.48	-3.13	-3.90
907.4	-0.55	3.55	-6.58	4.62	-4.43	0.06	-0.56
907.6	-1.58	6.22	2.73	1.85	5.97	0.99	2.70
907.8	-0.82	-7.38	0.80	-0.55	-3.01	-2.92	-2.31
908	-0.69	-2.98	0.44	1.97	-4.18	-1.79	-1.20
908.2	0.29	-2.38	-3.62	-3.43	-8.11	4.04	-2.20
908.4	-1.53	2.06	0.78	-0.04	10.40	-7.76	0.65
908.6	-1.14	-4.92	-3.61	0.19	-3.24	2.27	-1.74
908.8	-1.66	4.71	-0.65	-7.86	-1.87	-1.13	-1.41
909	0.23	1.66	-0.27	5.40	1.13	1.55	1.61
909.2	-0.40	-2.40	2.67	-2.48	-4.37	-2.88	-1.64
909.4	-1.89	-3.05	-0.86	-1.22	1.72	2.14	-0.53
909.6	-0.53	1.41	0.02	2.19	-4.64	0.23	-0.22
909.8	-1.22	-3.99	-6.77	-9.90	1.81	-9.48	-4.92
910	-1.60	-0.27	4.77	7.86	2.00	-1.34	1.90
910.2	0.19	-0.02	-2.84	-3.05	-7.95	5.72	-1.33
910.4	-0.86	0.15	-3.70	-2.31	1.03	-0.59	-1.05
910.6	-1.22	-3.72	0.34	1.58	1.97	-1.76	-0.47
910.8	-1.01	1.95	-1.32	-5.07	-1.09	-4.64	-1.86
911	-0.92	-2.90	-0.55	4.81	3.76	2.08	1.05
911.2	-0.73	3.24	-1.53	-6.08	-6.54	0.67	-1.83
911.4	-0.99	-5.82	3.07	0.61	0.57	-4.86	-1.24
911.6	-1.05	1.55	-2.56	2.84	0.06	-2.33	-0.25
911.8	-0.86	-3.05	-1.76	-8.72	1.95	1.32	-1.85
912	-0.32	-0.36	0.13	0.11	-4.92	1.85	-0.59
912.2	-1.41	2.50	-1.62	4.31	0.69	-1.72	0.46
912.4	-0.65	-4.50	-2.65	3.07	2.08	-1.58	-0.71
912.6	-1.62	-2.50	4.41	-7.48	-1.41	-2.33	-1.82
912.8	0.29	-2.79	-0.99	0.44	-5.97	-1.05	-1.68
913	-1.45	5.72	-3.93	-0.55	4.79	0.99	0.93
913.2	0.04	-1.72	-0.08	-5.68	-0.06	2.06	-0.91
913.4	-1.09	-0.34	-3.83	3.01	2.80	0.99	0.26
913.6	0.19	-5.00	3.47	-3.61	-5.21	-9.61	-3.29
913.8	-0.95	0.90	-1.66	3.91	-0.52	1.77	0.58
914	-2.10	5.05	-1.83	-4.03	-0.46	3.41	0.01
914.2	-0.97	-1.91	-0.25	1.87	-5.30	-2.38	-1.49
914.4	0.11	-3.91	-0.76	3.26	5.59	-0.73	0.60
914.6	-0.86	-1.93	-1.79	-4.65	-2.92	-4.85	-2.83
914.8	-0.73	-0.29	-1.93	-3.68	-0.95	3.59	-0.66
915	-0.36	-2.10	4.04	-1.89	2.92	2.80	0.90
915.2	-0.86	4.67	-5.74	4.20	-4.25	-9.40	-1.90
915.4	-1.49	-6.01	6.92	-6.07	-4.12	3.61	-1.19
915.6	-0.19	0.82	-6.91	12.10	2.63	0.42	1.48
915.8	-0.90	-0.76	-5.82	-7.25	-2.50	0.40	-2.80

916	-0.95	1.05	7.57	-2.12	0.53	-5.00	0.18
916.2	-0.19	-4.37	-4.79	-0.36	-1.37	-2.17	-2.21
916.4	-1.20	4.43	5.26	-4.62	5.51	2.25	1.94
916.6	-1.05	-2.38	-6.20	1.35	-6.22	-4.22	-3.12
916.8	-0.88	-4.29	3.26	-3.78	3.89	1.39	-0.07
917	-1.03	0.46	-5.09	1.24	-4.50	0.13	-1.47
917.2	-0.27	0.00	0.44	-3.05	-4.22	-0.50	-1.27
917.4	-1.20	2.61	-0.36	2.84	0.97	0.08	0.82
917.6	-1.11	-3.82	-5.57	-5.68	-0.36	2.69	-2.31
917.8	-0.31	0.46	6.33	3.49	-1.43	-5.47	0.51
918	-0.61	-7.73	-2.42	0.15	4.31	-3.28	-1.60
918.2	-1.58	2.48	-1.81	0.25	-3.76	0.74	-0.61
918.4	0.15	0.61	1.11	-4.06	-3.28	-0.31	-0.96
918.6	-1.66	-2.14	2.00	0.38	-1.28	3.03	0.06
918.8	-0.74	-1.43	-3.41	4.48	-0.08	-7.53	-1.45
919	-0.52	4.81	-8.83	-3.91	0.40	4.41	-0.61
919.2	-0.94	-3.15	-0.15	-1.09	-3.11	1.47	-1.16
919.4	-0.25	-2.69	3.05	-6.98	0.99	-3.82	-1.61
919.6	-1.51	-0.02	0.74	1.43	5.25	-3.57	0.39
919.8	-1.66	0.71	-0.25	2.42	-4.04	-0.61	-0.57
920	0.65	-0.31	1.26	-0.67	-5.02	2.56	-0.25
920.2	-0.84	-4.54	-4.27	-3.91	-0.84	-4.75	-3.19
920.4	-0.92	-0.65	-1.01	1.79	1.91	-1.79	-0.11
920.6	-1.56	-4.71	-0.95	-0.50	-0.78	4.18	-0.72
920.8	0.21	8.13	5.17	-0.19	-5.09	-2.94	0.88
921	-1.01	-4.73	-13.00	-5.57	6.41	-1.22	-3.19
921.2	-0.55	-1.58	2.35	1.95	-7.31	-1.39	-1.09
921.4	-1.49	2.10	1.20	2.21	0.29	-2.02	0.38
921.6	-0.97	-1.72	2.10	-4.10	-2.65	3.51	-0.64
921.8	-0.38	-5.32	2.06	-3.47	0.92	-4.60	-1.80
922	-0.31	5.47	-4.52	2.35	1.07	-6.22	-0.36
922.2	-0.40	-5.19	-3.28	4.10	-0.21	5.68	0.12
922.4	-2.96	6.10	-0.94	-5.05	-2.16	-0.19	-0.86
922.6	0.23	-4.01	-0.82	-6.07	-2.46	0.31	-2.14
922.8	-0.50	1.85	-0.29	2.21	-0.88	-5.07	-0.45
923	-2.04	-6.96	8.87	-2.84	5.11	-0.21	0.32
923.2	-0.31	-3.38	-4.83	3.43	-4.88	-3.64	-2.27
923.4	-0.71	1.30	-0.88	-2.88	-6.60	3.82	-0.99
923.6	-1.47	-3.45	-9.48	0.15	5.36	-3.61	-2.08
923.8	0.36	3.78	2.31	-6.29	0.21	-1.51	-0.19
924	-1.41	1.77	-5.95	7.42	2.02	4.44	1.38
924.2	-1.53	-2.54	6.45	-2.38	-6.64	-4.77	-1.90
924.4	-0.99	-0.82	4.27	-1.11	1.66	1.35	0.73
924.6	-0.90	-7.10	-8.16	-6.79	-2.33	-3.59	-4.81

924.8	-0.46	4.71	2.65	0.34	-0.31	0.65	1.27
925	-0.42	-6.37	-9.16	1.30	-5.04	-2.82	-3.75
925.2	-0.88	4.33	3.95	0.73	4.46	0.31	2.15
925.4	-1.28	-7.36	-1.87	0.97	-6.16	3.01	-2.11
925.6	-0.52	6.16	5.09	-2.96	4.12	-3.09	1.47
925.8	-0.86	-3.89	-2.54	2.58	-0.92	-0.42	-1.01
926	-1.72	-1.91	-2.12	-2.02	-3.01	-1.95	-2.12
926.2	-0.36	3.55	-4.48	-2.29	0.88	0.71	-0.33
926.4	-0.92	-6.22	-2.38	-0.06	1.07	-1.85	-1.73
926.6	0.11	-1.43	3.15	1.81	-2.80	0.76	0.27
926.8	-2.33	4.50	-3.03	-0.95	-2.90	-2.79	-1.25
927	0.44	3.91	2.16	3.28	1.62	-1.83	1.60
927.2	-1.53	-8.11	-0.65	-9.21	-7.04	2.71	-3.97
927.4	-0.06	-2.67	0.11	0.63	6.37	-1.07	0.55
927.6	-1.70	6.98	-2.58	6.18	2.69	1.81	2.23
927.8	-0.46	-3.89	-0.65	-1.60	-8.09	-7.86	-3.76
928	-0.42	-1.53	-2.58	0.44	-1.16	0.19	-0.84
928.2	-1.03	0.90	3.64	-4.56	1.09	1.30	0.22
928.4	-0.40	-1.81	-4.12	0.27	3.59	-4.71	-1.20
928.6	-0.67	-3.55	-1.70	-1.47	-0.71	3.99	-0.68
928.8	-1.53	0.74	2.58	0.15	-0.63	-2.38	-0.18
929	-0.29	-1.89	-2.29	-3.41	-11.20	-0.53	-3.27
929.2	-0.46	-1.76	-3.47	-2.96	3.80	-1.47	-1.05
929.4	-1.81	2.33	3.43	2.80	6.68	7.32	3.46
929.6	-0.50	-1.01	-7.57	2.96	-6.56	-10.80	-3.91
929.8	-0.46	-0.44	10.10	-3.61	0.23	3.00	1.46
930	-0.69	1.37	-9.75	-2.65	-0.69	-2.04	-2.41
930.2	-1.05	-9.86	3.61	1.58	-5.99	-1.20	-2.15
930.4	-0.99	-0.53	-7.55	-8.07	3.78	2.00	-1.89
930.6	-0.61	8.47	6.89	5.72	-3.30	-6.58	1.76
930.8	-1.62	-2.77	-6.08	-4.03	-4.10	-4.20	-3.80
931	-1.35	-4.90	6.98	8.28	5.61	6.54	3.53
931.2	1.24	0.42	-2.67	-3.74	-2.23	5.91	-0.18
931.4	-1.28	2.16	-4.22	-6.43	2.31	-17.20	-4.11
931.6	-1.62	-1.16	-5.91	7.90	-1.11	12.20	1.71
931.8	-0.27	-6.64	6.81	-12.40	-6.08	-5.19	-3.96
932	-0.94	7.08	-3.85	1.85	-1.93	-3.41	-0.20
932.2	-0.78	-4.81	2.67	3.24	1.51	6.85	1.45
932.4	-1.35	1.43	-7.29	-2.37	-1.03	-6.89	-2.92
932.6	-0.90	-2.04	2.61	1.74	1.09	0.08	0.43
932.8	-0.57	-5.47	-6.20	-5.67	-9.00	1.49	-4.24
933	0.27	4.44	3.38	0.55	7.57	-2.84	2.23
933.2	-1.56	0.11	0.94	-2.00	-3.76	0.21	-1.01
933.4	0.04	-6.52	-2.73	0.67	0.23	0.94	-1.23

933.6	-1.41	3.28	1.87	1.60	0.10	-9.16	-0.62
933.8	-1.49	-3.09	-3.82	-5.17	-2.33	3.15	-2.12
934	-1.76	-4.16	-2.56	-2.63	-2.65	3.99	-1.63
934.2	-0.40	-0.78	3.87	6.03	3.55	-2.96	1.55
934.4	-0.50	5.55	-3.38	-4.98	-0.50	-7.80	-1.93
934.6	-1.32	-0.31	-1.83	-2.14	-1.62	4.41	-0.47
934.8	-0.74	-7.15	2.27	1.01	-3.68	-0.29	-1.43
935	0.34	2.96	-2.46	0.08	1.74	-3.13	-0.08
935.2	-2.65	-5.89	0.19	-3.91	-2.46	0.84	-2.31
935.4	0.15	0.04	-3.05	-0.82	-3.41	-6.41	-2.25
935.6	-1.55	3.55	3.24	-0.06	5.05	5.05	2.55
935.8	-0.92	-8.34	-5.93	3.93	-0.13	-0.97	-2.06
936	0.59	5.61	5.25	-0.78	-4.23	0.73	1.19
936.2	-2.50	0.59	-3.45	-3.76	-1.13	-2.00	-2.04
936.4	0.67	-0.02	-0.82	-0.13	-6.43	-0.50	-1.20
936.6	-0.52	-6.18	-5.55	-0.80	8.72	-6.37	-1.78
936.8	-2.54	3.19	5.68	-8.56	-4.67	9.75	0.47
937	-0.13	-0.21	-8.28	4.88	3.72	-4.58	-0.77
937.2	-0.78	-0.69	3.70	-0.46	-3.22	-3.13	-0.76
937.4	-1.28	-6.07	-2.10	-1.16	-3.30	-3.09	-2.83
937.6	-0.21	1.07	1.39	0.17	-3.30	-2.94	-0.64
937.8	-0.19	-2.71	-0.08	0.53	3.91	3.99	0.91
938	-1.13	8.20	-4.98	-1.24	-2.19	-3.20	-0.76
938.2	0.08	-3.38	8.35	-5.63	3.36	5.78	1.43
938.4	-1.93	-2.44	-1.49	4.77	-5.47	-5.15	-1.95
938.6	-1.32	-0.21	-6.71	1.64	-1.39	-2.40	-1.73
938.8	1.07	-2.88	-1.98	-4.50	-7.08	2.40	-2.16
939	-2.23	-5.91	-0.57	-0.19	9.27	-1.76	-0.23
939.2	-0.08	4.67	-1.30	-0.95	-1.32	-2.25	-0.20
939.4	-0.80	-1.43	3.47	0.78	-2.80	1.18	0.07
939.6	-1.01	2.16	-4.81	-5.02	-2.04	-0.17	-1.82
939.8	-0.95	-2.44	3.99	5.34	1.85	2.02	1.63
940	-0.95	-2.44	3.99	5.34	1.85	2.02	1.63
Promedio	-0.82	-0.83	-0.78	-0.75	-0.79	-0.81	-0.80

**Muestras de retardo para un cable de longitud igual a 3
pulgadas**

Freq [MHz]	Average [ns]	Muestra 1 [ns]	Muestra 2 [ns]	Muestra 3 [ns]	Muestra 4 [ns]	Muestra 5 [ns]	Promedio [ns]
900	-0.90	-1.30	-2.96	-2.08	-4.73	6.73	-0.87
900.2	-1.51	0.15	0.10	0.67	5.36	3.95	1.45
900.4	-0.84	3.82	-4.12	-6.16	-3.66	-14.50	-4.24
900.6	-1.34	-8.11	2.12	3.32	-2.02	0.55	-0.91
900.8	0.61	-0.38	1.43	-2.19	4.58	6.31	1.73
901	-0.90	3.53	-3.97	0.69	-7.17	-2.06	-1.65
901.2	-0.97	5.05	-1.91	-0.04	-1.81	-5.46	-0.86
901.4	-0.31	-7.52	-0.29	1.05	4.86	2.82	0.11
901.6	-1.45	-1.45	4.39	-8.07	-5.21	-1.85	-2.27
901.8	-0.78	-2.35	-6.41	6.37	0.36	-3.19	-1.00
902	0.06	1.49	5.65	-8.24	5.47	-4.43	0.00
902.2	-1.81	2.46	-9.96	2.84	-5.42	5.55	-1.06
902.4	-0.84	-3.68	5.57	-0.34	-3.95	3.19	-0.01
902.6	-0.76	-1.09	-1.05	-0.50	1.22	-3.61	-0.96
902.8	0.44	-1.66	0.36	-4.31	1.39	-2.38	-1.03
903	-0.06	1.07	-1.85	1.83	-0.19	-0.95	-0.03
903.2	-0.32	-5.61	1.74	1.20	-3.20	-3.93	-1.69
903.4	-2.14	6.14	0.06	-0.57	3.70	5.02	2.03
903.6	0.13	-7.73	-6.20	0.80	-1.60	-2.06	-2.78
903.8	-1.64	-0.46	0.88	-3.09	-1.87	0.76	-0.90
904	0.15	1.26	1.37	1.62	-1.43	1.03	0.67
904.2	-1.03	8.95	2.58	-0.99	1.03	-7.40	0.52
904.4	-0.71	-14.60	-3.22	-1.39	-2.17	8.93	-2.20
904.6	-0.80	3.26	0.94	-2.40	3.85	-6.43	-0.26
904.8	0.00	2.84	-6.16	1.24	-4.65	-0.29	-1.17
905	-0.63	-2.69	4.27	1.53	-6.81	-5.09	-1.57
905.2	-1.09	1.01	-0.94	-3.93	3.38	2.94	0.23
905.4	-1.76	-3.15	-3.41	2.48	1.30	-0.29	-0.80
905.6	0.21	1.70	1.79	-7.99	-3.24	0.10	-1.24
905.8	-0.27	-2.71	2.80	5.49	4.85	1.30	1.91
906	-0.36	-1.18	-6.73	-3.53	-1.37	0.63	-2.09
906.2	-1.18	0.17	-0.57	1.76	-5.32	-9.44	-2.43
906.4	-0.23	4.52	2.10	-1.76	-1.41	4.52	1.29
906.6	-1.55	-5.97	-0.53	-3.55	1.43	-1.03	-1.87
906.8	-1.68	-3.24	0.94	2.65	-0.32	-6.79	-1.41
907	-0.76	-3.76	-4.81	3.87	0.57	8.20	0.55
907.2	1.24	7.19	-0.10	-6.54	0.15	-1.77	0.03
907.4	-1.09	2.54	2.25	0.31	-6.68	-3.32	-1.00
907.6	-0.57	-9.75	-1.64	-2.29	7.82	-3.45	-1.65
907.8	-1.26	3.95	-9.16	-1.41	-6.35	1.93	-2.05

908	-0.69	-4.92	3.78	1.79	1.56	-1.98	-0.08
908.2	-0.95	2.35	4.98	-1.56	-5.51	4.37	0.61
908.4	-0.57	-4.52	-0.78	0.44	5.68	-8.95	-1.45
908.6	-0.34	9.90	-10.40	3.62	0.13	3.32	1.04
908.8	-0.57	-2.37	7.90	-7.61	-9.50	-0.67	-2.14
909	-1.45	-6.64	-1.95	3.76	5.67	0.71	0.02
909.2	-1.03	-0.65	-3.51	-1.70	0.02	-5.68	-2.09
909.4	0.08	2.42	1.14	-7.82	-2.37	7.29	0.12
909.6	-0.82	-9.50	-2.42	1.81	5.42	-7.50	-2.17
909.8	-2.19	4.94	0.11	8.49	-15.50	-0.11	-0.71
910	0.40	2.10	0.84	-7.53	5.49	-1.07	0.04
910.2	-1.34	-0.13	-1.20	1.70	-0.90	2.90	0.17
910.4	0.36	-5.02	-3.66	-3.97	3.93	0.46	-1.32
910.6	-1.35	-0.48	0.95	1.11	-6.24	-0.76	-1.13
910.8	0.71	3.19	5.04	-3.80	0.04	-2.40	0.46
911	-2.25	-8.37	-16.40	5.05	3.91	-2.50	-3.42
911.2	-1.13	3.32	6.94	-3.89	-4.08	-3.89	-0.46
911.4	-1.49	-3.97	-2.56	-1.30	1.07	3.34	-0.82
911.6	-0.36	-1.58	3.97	-6.85	-1.89	-2.80	-1.59
911.8	-0.57	4.67	-2.12	4.77	0.31	0.78	1.31
912	-0.74	-0.67	2.33	0.48	-5.44	1.28	-0.46
912.2	-0.11	-1.53	-4.33	-0.48	5.80	0.92	0.04
912.4	-0.74	1.64	0.84	-2.86	-6.20	-5.47	-2.13
912.6	-0.80	-2.54	-5.78	-2.79	2.69	-2.59	-1.97
912.8	-1.05	-2.92	1.58	3.15	-2.82	2.98	0.15
913	-0.42	1.53	-0.55	0.92	-1.47	-1.20	-0.20
913.2	-0.53	0.59	0.08	-1.16	-3.09	-1.03	-0.86
913.4	-0.92	-3.43	-0.55	-0.25	7.55	-1.16	0.21
913.6	-0.48	-0.48	-0.31	-4.12	-0.08	0.08	-0.90
913.8	0.32	-0.92	3.22	0.97	-5.42	2.21	0.07
914	-0.84	0.92	-2.33	3.62	-2.84	-7.32	-1.47
914.2	-2.14	0.10	-1.87	-5.63	-2.75	3.82	-1.41
914.4	-0.06	-7.61	-4.94	3.24	6.28	1.24	-0.31
914.6	-0.61	7.13	3.40	-3.19	-4.44	-0.23	0.34
914.8	0.25	-5.80	-1.85	-1.28	1.76	-5.89	-2.14
915	-1.32	-0.04	1.01	-3.68	5.09	3.99	0.84
915.2	0.29	7.50	0.69	2.00	-9.80	-0.55	0.02
915.4	-2.42	-6.64	-5.95	2.37	0.71	-1.83	-2.30
915.6	0.53	-1.22	-1.60	-1.30	1.32	0.00	-0.38
915.8	-1.47	0.21	5.59	-4.37	4.16	3.03	1.19
916	-0.92	2.00	-3.85	3.68	-5.80	-4.16	-1.51
916.2	-0.42	-5.91	8.41	-4.25	-1.58	-6.49	-1.71
916.4	-0.29	0.95	-11.30	-1.35	-5.19	4.48	-2.11
916.6	0.11	-1.30	1.14	-2.75	1.16	-2.52	-0.69

916.8	-1.09	1.30	0.11	2.67	3.05	4.48	1.75
917	-1.55	-1.01	0.92	0.67	-0.84	-3.09	-0.82
917.2	-0.42	-3.53	0.25	1.91	1.34	-8.51	-1.49
917.4	-0.31	4.06	-2.56	-10.10	-5.89	3.24	-1.92
917.6	-0.78	-5.97	-4.54	9.59	-1.87	1.41	-0.36
917.8	-0.86	2.37	5.19	-2.46	5.74	-2.54	1.24
918	-0.38	3.32	-6.37	-6.70	3.01	3.62	-0.58
918.2	-0.97	-5.91	4.48	5.15	-8.28	-8.35	-2.31
918.4	0.08	-3.43	-2.94	-8.76	-1.16	5.44	-1.80
918.6	-0.78	0.88	-4.44	5.19	5.19	0.86	1.15
918.8	-1.39	2.86	5.07	-2.04	-4.48	-2.25	-0.37
919	-0.74	-8.60	-0.88	-1.70	-2.16	-6.18	-3.38
919.2	-1.05	6.98	1.32	2.80	-3.07	7.88	2.48
919.4	0.06	2.48	-6.54	-4.94	4.41	-5.61	-1.69
919.6	-0.57	-7.92	-2.16	2.06	-5.95	1.55	-2.16
919.8	-1.47	3.41	-0.17	2.37	2.67	-5.84	0.16
920	-0.71	1.66	2.58	-6.24	-0.40	-1.58	-0.78
920.2	0.04	-5.42	-3.43	5.36	-4.62	2.25	-0.97
920.4	-1.35	0.42	0.36	-4.90	4.33	-0.99	-0.36
920.6	0.34	-0.48	1.01	2.10	-5.61	3.49	0.14
920.8	-1.83	-0.76	2.77	-2.40	3.43	0.94	0.36
921	-0.50	-1.62	-5.47	0.84	-2.61	-3.51	-2.15
921.2	0.15	0.67	-2.50	-6.22	1.43	2.00	-0.74
921.4	-1.16	-5.05	4.44	2.38	2.50	-9.52	-1.07
921.6	-1.16	4.29	-6.60	8.55	-2.42	2.65	0.88
921.8	0.02	-0.69	-2.17	-9.29	-2.92	-1.20	-2.71
922	-2.33	-0.63	5.47	-1.26	3.15	3.11	1.25
922.2	-0.27	-5.04	0.08	1.43	-6.58	-1.20	-1.93
922.4	-0.32	4.46	-1.45	-7.55	-1.49	-2.77	-1.52
922.6	0.13	-2.52	-1.47	7.48	-0.59	0.15	0.53
922.8	-0.67	-0.52	-0.69	-6.24	0.50	-2.54	-1.69
923	-0.53	-1.87	-1.66	6.52	-1.03	7.61	1.51
923.2	-1.43	-4.88	-2.02	-4.06	3.87	-8.58	-2.85
923.4	-1.01	4.08	-3.97	-4.85	-7.84	1.79	-1.96
923.6	-0.42	6.20	-1.87	-0.57	6.68	-0.46	1.59
923.8	-0.19	-5.17	-2.00	-1.45	-3.83	-1.81	-2.41
924	-1.24	-3.53	7.97	4.23	-3.22	-0.17	0.67
924.2	-0.88	2.27	-2.52	0.88	0.67	0.84	0.21
924.4	-1.58	-11.00	-3.93	-4.85	-0.46	-3.17	-4.16
924.6	-0.25	5.51	-0.88	-8.05	1.18	-2.19	-0.78
924.8	0.00	-2.79	2.44	10.00	1.03	-0.74	1.66
925	-2.52	4.14	-0.44	-5.05	-4.83	1.18	-1.25
925.2	-0.95	-2.61	-1.79	-0.36	-3.19	-3.11	-2.00
925.4	0.36	-2.06	3.93	4.94	0.57	0.57	1.39

925.6	-0.27	1.89	-4.39	-3.78	4.64	-0.57	-0.41
925.8	-0.55	-3.93	-3.11	-7.10	-0.21	0.19	-2.45
926	-0.23	-5.15	1.51	-0.86	-3.40	1.64	-1.08
926.2	-1.85	4.20	-0.42	3.95	-4.62	-2.38	-0.19
926.4	-0.65	4.58	-0.23	-5.40	-5.72	-4.04	-1.91
926.6	-0.84	-5.97	-5.61	9.14	0.04	-2.14	-0.90
926.8	-1.13	-1.45	3.15	-8.09	0.34	2.10	-0.85
927	-0.19	2.33	-0.06	1.28	-0.63	4.65	1.23
927.2	0.15	-4.88	-3.82	3.30	0.25	-6.94	-1.99
927.4	-1.83	6.29	7.94	-0.78	-4.39	5.70	2.16
927.6	1.51	-5.82	-4.56	-9.06	2.71	0.48	-2.46
927.8	-2.27	-1.11	-0.52	-0.44	-2.50	-9.86	-2.78
928	-0.34	3.11	-8.60	7.31	-2.98	3.38	0.31
928.2	-0.40	-1.51	4.52	0.04	6.14	5.25	2.34
928.4	-1.51	0.84	-4.39	-0.61	-7.48	-8.37	-3.59
928.6	0.23	1.74	6.37	-4.22	2.90	-0.74	1.05
928.8	-0.97	-7.80	-8.05	-3.76	6.29	2.77	-1.92
929	-0.23	2.08	4.44	6.50	-6.83	-1.64	0.72
929.2	-1.85	-2.46	0.55	-3.53	-11.60	-6.47	-4.23
929.4	-0.74	-0.84	0.34	-6.14	7.08	0.61	0.05
929.6	-1.39	2.79	-7.80	-1.09	8.58	6.12	1.20
929.8	0.00	1.20	2.27	5.46	-12.30	-5.74	-1.52
930	-0.19	-2.31	-2.63	1.76	0.42	3.22	0.04
930.2	-0.23	-1.70	4.33	-2.96	4.14	7.78	1.89
930.4	-0.99	-0.02	-3.09	-7.73	-2.46	-11.10	-4.22
930.6	0.34	1.16	-4.62	5.76	-1.98	6.45	1.19
930.8	-2.19	-5.74	4.25	-2.98	2.40	0.76	-0.58
931	0.55	-3.80	2.65	-4.10	-4.14	-6.47	-2.55
931.2	-1.60	5.47	-9.71	5.36	0.74	-2.25	-0.33
931.4	-2.59	1.39	2.92	-3.91	-1.76	4.48	0.09
931.6	0.90	-6.16	-0.38	4.44	-4.10	1.91	-0.57
931.8	-0.48	1.45	0.71	-0.02	2.21	-5.80	-0.32
932	0.08	0.34	1.34	-5.93	2.69	-2.37	-0.64
932.2	-1.72	-0.67	-0.94	1.30	-1.81	-1.22	-0.84
932.4	-0.69	0.48	-6.85	-3.19	-0.95	1.91	-1.55
932.6	-1.28	-8.60	3.89	-1.83	-1.18	-2.44	-1.91
932.8	-0.78	4.23	-4.46	5.88	-1.66	1.07	0.71
933	-0.11	1.49	2.35	-6.24	0.74	4.44	0.45
933.2	-0.74	-5.36	7.23	-6.08	1.39	-6.47	-1.67
933.4	-0.50	3.89	-13.50	9.12	-5.70	-3.01	-1.61
933.6	-0.65	-3.68	0.44	-8.11	1.13	-0.29	-1.86
933.8	-0.40	-2.14	5.34	5.00	2.71	0.88	1.90
934	-2.94	0.11	-3.00	-2.61	-10.20	3.80	-2.47
934.2	-0.11	-3.70	-4.75	-2.73	5.89	-3.11	-1.42

934.4	-1.18	0.55	0.61	-0.11	-2.69	-0.99	-0.64
934.6	0.02	5.11	3.22	1.37	-6.92	-9.33	-1.09
934.8	-0.97	-7.44	-2.82	-3.97	3.30	8.49	-0.57
935	-0.63	2.61	1.58	-4.71	0.46	-3.70	-0.73
935.2	-0.11	-0.08	-4.81	-0.76	-2.48	-0.84	-1.51
935.4	-0.86	-0.21	-1.76	5.25	0.82	2.16	0.90
935.6	-1.34	-5.59	-1.16	2.04	2.56	-1.89	-0.90
935.8	-1.45	3.20	3.22	-3.85	-4.60	-8.16	-1.94
936	1.13	2.50	1.83	-2.40	0.86	6.12	1.67
936.2	-1.72	-3.97	-7.10	0.04	3.45	1.64	-1.27
936.4	-1.53	-0.04	-1.93	-2.71	-5.42	-3.22	-2.47
936.6	0.53	-2.52	5.30	3.20	3.87	-1.37	1.50
936.8	-0.48	-1.37	-0.73	-0.34	-4.65	0.40	-1.20
937	-0.90	3.20	-1.30	-3.13	3.57	2.38	0.64
937.2	-1.01	-1.72	-1.85	-3.76	0.08	0.15	-1.35
937.4	-1.45	-4.29	-5.23	3.68	-6.85	-7.11	-3.54
937.6	0.88	0.92	1.34	0.02	3.82	4.44	1.90
937.8	-0.74	4.12	-2.46	-3.38	-7.27	-5.49	-2.54
938	-1.09	-3.93	6.79	-2.10	2.04	0.69	0.40
938.2	-0.06	-3.13	-5.32	4.06	1.26	-5.15	-1.39
938.4	-1.18	1.03	0.73	-3.61	0.71	8.20	0.98
938.6	-0.44	-2.10	-0.97	-2.44	-1.58	-3.78	-1.89
938.8	-1.68	-0.63	-0.31	2.31	-2.67	-0.99	-0.66
939	0.48	3.07	-2.50	-0.48	1.79	0.10	0.41
939.2	-1.16	-1.13	-1.83	1.60	-1.55	-1.60	-0.94
939.4	-0.76	-5.05	1.58	-2.69	2.86	-3.20	-1.21
939.6	-0.27	1.70	-3.74	-1.39	-7.23	1.77	-1.53
939.8	-0.84	1.51	5.11	2.00	3.36	-4.20	1.16
940	-0.84	1.51	5.11	2.00	3.36	-4.20	1.16
Promedio	-0.71	-0.69	-0.68	-0.69	-0.72	-0.70	-0.70

**Muestras de retardo para un cable de longitud igual a 4
pulgadas**

Freq [MHz]	Average [ns]	Muestra 1 [ns]	Muestra 2 [ns]	Muestra 3 [ns]	Muestra 4 [ns]	Muestra 5 [ns]	Promedio [ns]
900	-1.58	-2.40	-5.17	-5.97	-1.07	-4.16	-3.39
900.2	0.17	-2.56	1.95	-1.89	-4.94	3.22	-0.67
900.4	-0.90	1.76	-7.48	0.19	6.08	-4.77	-0.85
900.6	-0.80	1.87	2.67	0.95	-3.91	-0.44	0.06
900.8	-0.29	-5.46	5.61	-7.08	1.66	-3.51	-1.51
901	-0.48	2.92	-5.34	1.89	1.95	2.86	0.63
901.2	-1.01	-1.03	1.79	2.92	-8.39	1.18	-0.76
901.4	-1.77	0.88	-4.52	4.60	3.34	3.49	1.00
901.6	-1.22	-6.70	2.92	-6.52	0.17	-4.12	-2.58
901.8	0.46	0.82	-0.65	-4.67	-1.20	-0.71	-0.99
902	0.97	3.49	-0.94	4.06	-2.12	-3.80	0.28
902.2	0.71	1.66	-2.38	-0.78	2.96	2.27	0.74
902.4	-2.50	-0.82	0.38	0.10	-4.75	1.60	-1.00
902.6	-0.42	-0.40	6.94	-1.14	3.89	-5.15	0.62
902.8	-0.21	-0.06	-2.02	-6.85	-2.10	2.31	-1.49
903	-0.69	-2.69	-4.46	8.14	0.92	-5.84	-0.77
903.2	-0.84	-0.25	-0.94	-1.58	1.76	6.16	0.72
903.4	-0.27	-4.35	-3.11	-3.91	-7.88	4.08	-2.57
903.6	-0.69	2.50	-0.61	0.82	2.48	-2.54	0.33
903.8	0.88	3.43	-0.86	-0.17	-1.81	-1.47	0.00
904	-1.60	-3.34	7.80	-2.19	6.18	-8.11	-0.21
904.2	-0.69	-2.63	-7.21	3.49	-7.71	3.28	-1.91
904.4	-1.81	-4.41	-1.93	-5.70	-0.42	-2.94	-2.87
904.6	0.90	4.41	2.27	1.01	3.64	5.05	2.88
904.8	-0.78	1.51	-6.49	-1.56	1.93	-2.77	-1.36
905	-0.15	-1.79	9.48	1.68	-4.83	-1.28	0.52
905.2	-0.52	-1.30	-3.93	-0.52	-0.32	-3.28	-1.64
905.4	-0.55	-4.33	-4.06	0.73	-4.43	0.42	-2.04
905.6	0.67	0.29	-1.77	2.31	5.28	-1.83	0.82
905.8	-2.65	0.15	6.56	-7.02	-7.82	2.96	-1.30
906	-1.53	1.01	-2.58	3.68	5.63	3.30	1.59
906.2	0.34	-2.58	-3.55	-1.09	-6.70	-7.50	-3.51
906.4	0.17	4.85	-2.71	-4.31	6.64	4.48	1.52
906.6	-0.32	-6.07	-0.65	5.95	-4.67	-3.24	-1.50
906.8	0.82	-3.07	6.96	-7.78	1.20	-4.18	-1.01
907	-2.37	6.58	2.73	2.02	4.52	4.73	3.04
907.2	-0.84	-3.38	-9.90	4.08	-6.62	0.99	-2.61
907.4	0.31	-0.40	-0.32	-9.40	2.14	-6.37	-2.34
907.6	-1.24	-1.34	-1.56	6.37	-2.71	5.13	0.78
907.8	0.15	-1.09	0.36	-4.92	1.30	-2.50	-1.12

908	-1.24	1.77	-0.02	3.00	-0.90	5.76	1.40
908.2	-0.21	-3.15	0.74	-6.12	-8.79	-7.55	-4.18
908.4	-0.40	2.42	-2.16	3.28	11.80	-3.24	1.94
908.6	-1.58	-3.72	0.06	-1.11	-8.35	2.08	-2.10
908.8	-0.29	1.09	-3.45	0.95	4.81	-2.56	0.09
909	-0.74	-1.11	5.65	0.80	-4.56	0.31	0.06
909.2	-0.59	-0.61	-1.68	6.60	-5.36	-0.19	-0.31
909.4	-0.44	-0.73	-8.18	-7.57	3.72	-0.34	-2.26
909.6	-0.82	1.95	8.55	-6.71	-0.25	-1.18	0.25
909.8	0.57	-4.25	-2.19	-0.78	1.49	2.35	-0.47
910	-0.88	-1.93	-6.08	-1.30	-3.41	-6.39	-3.33
910.2	-1.74	1.20	2.02	0.34	-0.90	-2.33	-0.23
910.4	-0.88	3.61	3.26	-1.72	7.82	9.40	3.58
910.6	-1.53	-6.73	-6.24	8.16	-7.90	-6.47	-3.45
910.8	0.95	2.54	2.31	1.70	1.39	-2.21	1.11
911	-0.92	1.37	-0.88	-10.90	-7.36	0.78	-2.98
911.2	-0.84	1.26	-0.74	2.82	1.20	3.13	1.14
911.4	0.06	-1.97	-4.20	0.21	0.38	-1.83	-1.22
911.6	-1.13	-5.97	3.09	3.17	9.21	-5.78	0.43
911.8	-0.40	8.28	0.61	-8.03	-8.87	-2.63	-1.84
912	-1.30	-5.36	-2.92	5.09	-0.17	2.84	-0.30
912.2	-0.19	-4.16	-1.56	-2.12	0.78	-1.77	-1.50
912.4	-0.63	5.91	3.15	-0.53	-0.19	10.80	3.08
912.6	-0.25	-6.37	-1.51	-0.71	-5.49	-6.24	-3.43
912.8	-1.01	6.73	-3.34	-0.97	6.10	-4.48	0.51
913	-0.42	-12.30	1.60	-0.21	-3.97	1.64	-2.27
913.2	0.38	4.64	3.09	-1.81	-1.28	-4.31	0.12
913.4	-1.35	-1.87	0.76	-4.71	-2.96	2.16	-1.33
913.6	-2.46	0.76	-4.75	8.03	-1.56	1.85	0.31
913.8	1.62	4.35	0.10	-4.56	-2.84	-7.29	-1.44
914	-0.21	0.29	-6.87	0.53	1.74	-3.55	-1.34
914.2	-0.50	-5.88	7.32	2.50	10.60	10.60	4.10
914.4	-0.25	-1.83	-0.36	-5.36	-6.35	1.30	-2.14
914.6	-0.52	6.83	-5.84	-4.69	-2.69	-3.59	-1.75
914.8	-1.18	-9.27	-1.68	3.49	1.05	0.31	-1.21
915	-1.28	1.28	5.44	0.84	-2.77	-7.92	-0.73
915.2	-0.71	2.61	-0.74	-1.89	5.32	-1.95	0.44
915.4	-0.40	-4.12	-5.32	-0.67	0.95	9.33	-0.04
915.6	-0.04	2.33	0.21	-0.13	-8.34	-0.78	-1.13
915.8	-1.09	-2.19	2.04	-3.80	-0.36	-7.73	-2.19
916	-0.32	-3.09	-4.60	5.15	-3.47	3.09	-0.54
916.2	0.06	-0.13	-1.89	0.97	3.28	-2.58	-0.05
916.4	-1.49	-2.61	3.41	-4.16	-0.27	-3.61	-1.45
916.6	-0.59	1.68	-5.91	-3.30	-0.17	10.80	0.42

916.8	-0.73	1.22	2.42	3.22	0.38	-5.02	0.25
917	0.06	1.43	1.58	1.20	-0.13	-2.40	0.29
917.2	0.10	-2.75	-0.95	-4.65	-6.87	-5.47	-3.43
917.4	-0.74	1.43	-0.95	6.12	4.65	7.38	2.98
917.6	0.11	-3.43	-2.25	-7.02	0.23	-4.43	-2.80
917.8	-2.02	0.29	3.47	5.67	-3.40	-1.20	0.47
918	-0.76	-0.25	-0.32	-7.19	7.38	-0.53	-0.28
918.2	-0.78	1.85	-1.43	1.32	-2.27	4.08	0.46
918.4	-0.32	-2.52	-0.04	-5.89	-3.20	-7.29	-3.21
918.6	0.40	3.53	-4.44	5.76	-2.33	4.86	1.30
918.8	-0.71	-7.71	-0.36	-2.12	1.53	-2.33	-1.95
919	-1.49	-0.74	0.73	-1.83	-4.94	-3.91	-2.03
919.2	-0.27	-1.30	-3.24	-2.06	10.50	1.56	0.87
919.4	-1.01	7.11	4.44	6.49	-4.39	-1.60	1.84
919.6	-0.29	-6.22	0.06	-2.14	-6.83	0.21	-2.53
919.8	-0.52	1.05	-9.69	-10.20	6.94	-0.67	-2.17
920	-0.63	5.36	7.88	10.30	-7.08	5.84	3.61
920.2	-0.38	-9.82	-3.15	-4.20	2.35	-3.89	-3.18
920.4	0.10	5.32	1.16	-0.69	-2.46	-7.19	-0.63
920.6	0.23	-3.22	-2.31	-1.11	-1.49	-0.10	-1.33
920.8	-2.21	1.58	-2.04	-3.62	5.36	8.30	1.23
921	-0.48	-2.54	1.09	0.63	-6.26	0.90	-1.11
921.2	-1.64	4.10	-4.98	1.41	-1.58	-7.10	-1.63
921.4	0.32	-6.24	4.39	-0.15	3.20	-0.90	0.11
921.6	0.21	-0.80	-2.19	0.02	-3.76	-3.74	-1.71
921.8	-0.69	1.98	-0.19	5.72	0.95	4.14	1.99
922	0.13	2.46	-1.68	-4.29	-4.04	0.69	-1.12
922.2	-0.80	-8.93	6.62	-0.40	7.29	-6.47	-0.45
922.4	-0.55	4.56	-2.00	-12.50	-4.50	5.55	-1.57
922.6	-2.08	-1.05	-4.18	4.67	-2.82	-8.83	-2.38
922.8	-0.10	-2.79	1.13	4.92	6.33	5.26	2.46
923	-0.34	0.36	-2.88	-0.69	-6.14	1.47	-1.37
923.2	-0.08	3.01	5.04	-1.85	-5.25	-4.90	-0.67
923.4	-1.79	-2.77	-5.70	-0.55	5.91	2.94	-0.33
923.6	-0.53	1.35	-2.17	4.73	-2.42	-3.07	-0.35
923.8	0.40	-1.39	-1.13	-1.85	0.25	-1.41	-0.86
924	-1.37	-2.02	2.48	-1.35	1.37	-2.94	-0.64
924.2	-0.57	-3.57	-0.86	-8.53	-6.26	2.79	-2.83
924.4	-2.21	2.90	-5.05	7.21	0.34	-0.36	0.47
924.6	0.67	-0.61	7.88	1.98	-1.24	4.29	2.16
924.8	0.42	5.19	-5.46	-5.91	4.06	-11.20	-2.15
925	-0.02	-6.28	-0.13	-0.52	-4.43	3.05	-1.39
925.2	-1.98	-2.88	-3.76	2.77	-3.41	-4.37	-2.27
925.4	-1.35	-2.58	6.28	-6.85	7.69	-0.25	0.49

925.6	-0.90	2.86	-5.93	3.61	-6.26	0.99	-0.94
925.8	-0.55	-1.13	4.06	1.62	0.82	-1.98	0.47
926	0.40	-3.43	-2.37	0.57	-0.57	4.69	-0.12
926.2	-0.44	5.84	-0.69	-5.70	-4.37	-4.16	-1.59
926.4	-0.63	0.88	-5.13	1.11	-0.78	-4.29	-1.48
926.6	-0.74	-9.84	5.44	-2.14	0.84	-0.17	-1.10
926.8	-0.53	4.35	-4.23	4.43	6.18	5.86	2.67
927	0.19	-0.06	1.83	0.99	-4.65	-2.52	-0.70
927.2	-1.43	0.92	-1.95	-5.89	-3.91	-4.98	-2.87
927.4	-0.69	-8.14	-0.65	2.06	-1.53	1.76	-1.20
927.6	0.11	9.42	-3.26	-1.55	5.80	-1.93	1.43
927.8	-0.74	-7.57	-6.03	0.25	-3.76	4.22	-2.27
928	0.17	4.22	6.33	-1.05	-2.59	-3.47	0.60
928.2	-1.66	1.30	3.66	-2.04	7.13	-1.79	1.10
928.4	-0.11	-8.05	-3.83	-0.31	-7.34	-5.15	-4.13
928.6	-1.13	-1.43	0.55	-4.33	-0.94	7.53	0.04
928.8	-0.74	-3.95	-2.38	6.47	3.80	4.03	1.20
929	0.36	-8.09	-0.92	1.66	-0.99	-5.68	-2.28
929.2	-0.92	4.88	-0.32	-13.20	-4.81	-1.16	-2.58
929.4	0.29	1.58	-4.54	7.53	4.56	-7.27	0.36
929.6	-0.73	6.60	4.16	-7.92	-1.98	4.60	0.79
929.8	-1.37	-6.96	-4.20	6.58	-2.88	4.10	-0.79
930	0.15	-1.07	4.01	1.74	3.19	-2.77	0.87
930.2	-0.65	2.58	2.02	-3.49	-1.60	-6.10	-1.21
930.4	-1.37	-1.47	-0.53	2.06	0.99	2.23	0.32
930.6	0.61	-4.14	-5.82	-7.90	-7.82	-0.40	-4.24
930.8	-0.78	0.92	3.30	6.43	-0.73	0.80	1.66
931	-0.04	0.11	1.28	-4.27	-3.40	-1.22	-1.26
931.2	-0.59	3.17	-2.06	-0.23	12.30	-1.30	1.87
931.4	-2.65	-4.46	-8.11	-1.77	0.42	-3.87	-3.41
931.6	0.99	-0.44	4.41	2.50	-11.60	2.71	-0.24
931.8	-1.11	-0.95	0.42	-0.95	6.07	0.55	0.67
932	-0.69	-7.38	-1.85	-5.86	-10.50	2.54	-3.96
932.2	-1.91	8.56	3.15	2.96	5.67	-11.20	1.20
932.4	1.22	-1.97	-3.93	4.10	2.98	8.77	1.86
932.6	-0.48	-1.95	-3.01	-8.34	-2.90	-1.76	-3.07
932.8	-0.82	1.20	-0.94	2.80	-0.57	-5.47	-0.63
933	-0.97	-0.15	4.29	3.20	-0.52	-0.80	0.84
933.2	-0.52	-8.45	1.47	-2.94	-1.76	2.52	-1.61
933.4	-1.11	7.13	-6.87	-0.42	-0.80	-1.24	-0.55
933.6	-0.84	-2.08	-1.68	0.29	-2.71	-2.56	-1.60
933.8	0.38	-2.50	3.57	1.09	5.19	1.45	1.53
934	-0.25	0.04	-3.36	-2.16	-6.77	3.01	-1.58
934.2	-2.17	-4.03	-1.68	-4.69	-3.36	-8.35	-4.05

934.4	-0.80	4.12	3.38	-2.38	1.01	0.88	1.03
934.6	-0.65	-1.74	-2.35	5.34	8.32	-0.84	1.35
934.8	-0.06	0.17	0.13	-5.82	-1.18	3.40	-0.56
935	0.00	-4.46	-4.37	1.95	-4.23	1.89	-1.54
935.2	-1.74	1.85	1.34	1.58	-7.69	0.71	-0.66
935.4	-1.22	-1.26	-0.25	-5.05	2.67	-6.58	-1.95
935.6	1.03	-0.82	0.31	1.01	-2.84	0.34	-0.16
935.8	-1.49	4.64	-5.51	1.20	4.67	0.71	0.70
936	-0.42	-12.70	0.04	-1.72	-5.67	0.17	-3.38
936.2	-0.59	10.60	4.52	-1.24	2.79	2.88	3.16
936.4	-1.01	-2.04	-3.34	3.05	1.18	-8.87	-1.84
936.6	-0.42	-2.59	-0.38	-4.86	-0.23	0.08	-1.40
936.8	0.32	-3.13	-1.76	-1.14	-3.32	-0.04	-1.51
937	-0.46	-0.78	4.35	3.53	3.40	-1.05	1.50
937.2	-0.06	5.78	-7.40	-3.61	-1.47	6.16	-0.10
937.4	-2.38	0.65	5.36	-7.46	-3.20	-5.26	-2.05
937.6	0.80	-1.47	-2.38	10.60	-1.16	-2.12	0.71
937.8	-0.94	-1.89	-1.87	-2.67	0.13	-1.51	-1.46
938	-1.09	1.05	1.53	0.82	2.94	1.72	1.16
938.2	0.13	-6.39	1.72	-0.78	-7.99	-0.23	-2.26
938.4	-0.23	1.83	0.17	-4.25	6.87	1.87	1.04
938.6	-1.03	1.53	-4.04	-2.19	-2.92	-4.27	-2.16
938.8	-0.52	-1.70	-5.88	6.89	-1.55	0.31	-0.41
939	-0.04	2.56	5.93	-7.25	0.80	-3.15	-0.19
939.2	-1.32	-0.13	2.04	-1.62	-5.23	3.85	-0.40
939.4	-1.26	-7.53	-3.22	3.68	6.96	-4.25	-0.94
939.6	-0.71	-0.69	-0.27	-3.13	-4.03	5.95	-0.48
939.8	-0.31	4.29	-3.85	6.71	-0.84	-2.96	0.51
940	-0.38	4.29	-3.85	6.71	-0.84	-2.96	0.50
Promedio	-0.59	-0.58	-0.63	-0.52	-0.59	-0.62	-0.59

**Muestras de retardo para un cable de longitud igual a 5
pulgadas**

Freq [MHz]	Average [ns]	Muestra 1 [ns]	Muestra 2 [ns]	Muestra 3 [ns]	Muestra 4 [ns]	Muestra 5 [ns]	Promedio [ns]
900	-1.70	-4.75	-2.84	8.41	-3.91	-4.27	-1.51
900.2	-0.11	1.22	-1.66	-16.80	0.71	3.34	-2.22
900.4	0.21	-0.88	0.25	6.50	1.05	0.10	1.20
900.6	-1.14	-2.16	1.98	-0.31	-2.21	-7.42	-1.88
900.8	-0.17	-1.53	-1.05	-4.01	-3.68	5.97	-0.74
901	0.42	3.57	-0.63	6.14	4.92	-4.39	1.67
901.2	-1.56	1.93	-1.45	-4.64	-6.71	4.52	-1.32
901.4	-0.48	-8.77	1.18	-0.53	3.76	-3.34	-1.36
901.6	-0.97	1.49	-0.46	-7.31	1.76	-5.23	-1.79
901.8	-1.05	-2.92	-2.69	4.22	-8.37	-2.56	-2.23
902	1.11	5.00	1.39	3.41	1.72	10.70	3.88
902.2	-1.26	0.84	3.64	1.28	2.44	-5.47	0.25
902.4	1.83	3.51	-2.86	-5.51	0.23	-1.60	-0.73
902.6	-1.91	-1.11	-4.56	1.03	0.50	4.27	-0.30
902.8	-0.44	-5.67	4.64	3.99	-0.57	-8.37	-1.07
903	-1.09	-4.62	0.13	-5.93	-3.09	8.20	-1.06
903.2	0.15	2.86	-1.28	1.58	-0.59	-2.31	0.07
903.4	-1.22	-0.63	-9.50	-2.25	3.97	-2.58	-2.03
903.6	1.05	-2.84	4.67	4.01	-5.23	0.21	0.31
903.8	-1.45	3.22	4.04	-3.70	1.95	1.32	0.90
904	0.06	-1.93	-2.90	3.74	0.69	-2.17	-0.42
904.2	-0.88	-3.49	4.25	0.27	-6.35	-6.16	-2.06
904.4	0.73	2.88	-3.09	-6.54	3.57	3.70	0.21
904.6	-1.85	-5.23	-2.94	-3.40	-3.11	0.40	-2.69
904.8	0.40	3.55	4.25	2.96	4.90	-0.97	2.51
905	-0.57	-0.21	2.35	4.25	-0.34	-0.29	0.87
905.2	-0.36	3.32	-7.92	-0.80	2.46	1.28	-0.34
905.4	-1.09	2.50	1.76	-6.05	-8.56	0.31	-1.86
905.6	-0.15	-7.67	-2.08	2.04	0.36	-3.30	-1.80
905.8	-0.17	-2.86	-1.81	-0.34	-3.89	-2.25	-1.89
906	-0.84	7.29	0.25	-2.88	7.52	2.16	2.25
906.2	0.46	-3.76	-2.16	4.37	-0.04	-0.63	-0.29
906.4	-1.91	2.02	5.02	-1.18	0.25	1.26	0.91
906.6	0.15	-0.52	-3.49	1.81	-5.25	2.79	-0.75
906.8	-0.13	-4.12	0.92	-6.49	1.39	-4.10	-2.09
907	-0.59	-0.29	-2.96	0.63	-1.39	2.25	-0.39
907.2	-0.48	-1.89	5.42	1.05	0.23	-4.01	0.05
907.4	0.57	6.10	0.21	-2.86	1.62	-2.02	0.60
907.6	-1.87	-6.10	-5.11	3.30	-0.82	0.80	-1.63
907.8	0.65	-2.23	-1.35	-1.51	-2.90	-1.34	-1.45

908	-1.87	2.31	-1.47	-0.21	3.24	3.36	0.89
908.2	1.35	4.37	1.01	6.94	-4.52	-2.40	1.13
908.4	-2.50	-3.66	1.53	-10.00	-0.40	0.80	-2.37
908.6	-0.21	-0.92	-2.80	-5.21	3.38	5.68	-0.01
908.8	0.48	-8.14	2.46	5.59	-0.23	-9.27	-1.52
909	-0.21	3.82	-3.03	-3.57	-1.89	-0.25	-0.86
909.2	-1.20	-1.24	-3.68	8.30	-3.53	-6.70	-1.34
909.4	-0.36	-0.80	1.30	-4.27	1.32	4.96	0.36
909.6	-1.39	5.42	4.08	-1.11	-5.74	3.57	0.81
909.8	0.86	-5.57	-2.96	-1.72	0.42	-7.19	-2.69
910	-2.00	3.91	-0.11	-1.32	5.78	4.50	1.79
910.2	2.08	-3.26	-3.59	-0.92	-3.43	-2.23	-1.89
910.4	-1.87	-1.45	-1.83	-2.04	1.26	-1.45	-1.23
910.6	-1.77	-1.14	2.25	0.19	-3.13	2.82	-0.13
910.8	-0.19	3.13	-1.47	0.88	1.83	-0.44	0.62
911	-0.21	4.79	0.76	2.10	-2.59	-3.66	0.20
911.2	-0.46	-6.41	-1.55	-4.81	-2.90	-1.01	-2.85
911.4	-0.25	-2.94	8.85	2.73	1.49	0.53	1.74
911.6	-1.07	-2.67	-9.46	3.72	-0.76	3.03	-1.20
911.8	-0.61	-2.88	4.14	-5.76	-1.01	-1.81	-1.32
912	-0.10	6.37	-8.07	-2.27	-0.34	-5.55	-1.66
912.2	-0.40	1.91	4.14	-3.72	3.83	4.35	1.68
912.4	-0.57	-7.08	1.51	3.64	-4.35	0.61	-1.04
912.6	-1.37	7.86	-4.94	4.92	-0.69	-1.20	0.76
912.8	0.15	-3.32	2.29	-5.40	-2.04	-2.65	-1.83
913	0.59	-4.56	-3.17	2.84	1.76	2.19	-0.06
913.2	-0.59	2.29	3.82	-2.90	1.16	-6.96	-0.53
913.4	0.02	-0.21	-6.91	-4.85	0.48	-0.44	-1.98
913.6	-1.76	0.78	0.94	-1.14	-4.33	5.97	0.08
913.8	-0.80	-7.21	3.05	7.36	5.40	-2.61	0.87
914	0.10	5.88	-0.63	-3.66	-4.37	-0.04	-0.46
914.2	-0.15	1.37	-1.03	-0.65	-0.46	2.58	0.28
914.4	1.09	2.29	1.13	-3.36	-1.43	-8.55	-1.47
914.6	-1.77	-7.84	-0.11	-3.28	3.09	6.01	-0.65
914.8	-0.38	3.38	-5.47	5.55	-3.76	2.42	0.29
915	0.19	-0.90	0.88	-3.01	1.43	-6.62	-1.34
915.2	-1.03	0.67	-1.14	0.23	-2.37	2.19	-0.24
915.4	-0.99	-4.22	-1.07	2.96	-3.38	1.72	-0.83
915.6	-0.15	2.04	5.51	-6.58	0.97	-6.68	-0.81
915.8	0.29	0.55	-5.72	5.15	1.81	0.52	0.43
916	0.61	-5.26	4.27	1.60	1.18	3.05	0.91
916.2	-1.24	-4.20	0.59	-6.92	0.25	-0.61	-2.02
916.4	-1.70	1.95	-5.02	2.14	-2.37	-2.61	-1.27
916.6	0.88	7.08	2.00	-1.93	-0.94	1.22	1.39

916.8	-1.66	-5.44	-1.81	-1.39	-5.36	-0.44	-2.68
917	-0.38	-2.52	-0.15	3.51	-3.91	-1.66	-0.85
917.2	-0.55	8.64	1.32	4.98	3.66	1.70	3.29
917.4	1.22	-8.64	-4.23	-6.56	1.14	0.13	-2.82
917.6	-0.59	2.82	0.04	-3.51	-4.04	0.04	-0.87
917.8	-0.63	-0.11	6.20	1.03	0.36	-0.48	1.06
918	-0.17	-5.74	-10.10	1.81	-0.86	-2.04	-2.86
918.2	-2.25	3.51	5.42	-0.08	-4.56	1.56	0.60
918.4	0.21	0.67	2.02	-2.46	12.80	-8.62	0.78
918.6	-0.42	-3.22	-4.04	-2.79	-5.25	-0.65	-2.73
918.8	-0.10	1.26	-1.95	2.12	0.25	7.36	1.49
919	-1.55	-2.06	4.60	0.92	-4.81	-0.80	-0.62
919.2	0.19	1.41	-4.94	-2.00	-1.11	2.98	-0.58
919.4	0.52	-1.30	2.29	0.99	0.00	-3.38	-0.15
919.6	-1.51	-0.92	-2.58	-2.96	-1.22	-3.36	-2.09
919.8	-0.31	2.50	-1.58	1.87	4.14	-0.10	1.09
920	0.29	-8.05	1.01	-1.35	-0.55	0.82	-1.31
920.2	-0.88	1.49	-1.53	-2.44	-3.61	-1.43	-1.40
920.4	-0.82	1.22	4.35	0.97	-0.40	-0.19	0.86
920.6	-0.36	2.86	-5.23	5.91	-1.64	-6.01	-0.74
920.8	0.00	-1.77	-0.69	-4.60	1.47	4.52	-0.18
921	0.55	0.23	-1.39	-3.85	-3.03	1.53	-1.00
921.2	-1.74	-5.51	5.53	4.22	-0.76	-4.23	-0.42
921.4	-0.88	-0.65	-5.05	-3.68	5.13	4.22	-0.15
921.6	-0.36	0.69	-0.97	0.59	1.76	-2.82	-0.19
921.8	-0.15	7.15	4.90	1.16	-5.89	-0.11	1.18
922	-0.38	-0.32	-4.03	-0.99	0.82	-0.38	-0.88
922.2	-0.17	-6.83	1.81	-1.64	-3.03	3.59	-1.05
922.4	-1.20	4.79	-7.11	-2.61	0.76	-7.86	-2.21
922.6	-0.19	0.21	-0.02	-1.20	3.68	6.03	1.42
922.8	-0.97	-10.40	5.36	3.03	-4.90	-5.78	-2.28
923	-0.15	4.44	-3.53	-0.27	-3.32	-1.24	-0.68
923.2	-1.16	1.64	2.00	-1.97	5.97	0.80	1.21
923.4	0.25	0.38	-5.93	-4.12	-7.61	3.47	-2.26
923.6	-0.65	5.74	3.76	7.02	1.95	-5.91	1.98
923.8	-0.86	2.00	0.73	-2.12	-4.27	4.85	0.05
924	0.46	-2.56	-0.40	-4.33	12.80	-4.79	0.20
924.2	-1.66	1.24	-2.71	2.12	-3.66	0.73	-0.66
924.4	-0.80	0.48	-0.44	-6.35	-10.90	0.04	-3.00
924.6	-0.57	-8.53	2.88	9.59	2.73	-3.30	0.47
924.8	0.32	4.04	-2.84	-7.44	-0.19	0.71	-0.90
925	-0.78	-1.58	-3.38	3.26	-2.21	0.29	-0.73
925.2	-0.27	-0.73	2.77	-4.04	8.55	1.58	1.31
925.4	-0.38	-3.85	-0.78	2.79	-10.00	-1.07	-2.22

925.6	-0.36	4.29	-2.63	2.82	5.40	1.03	1.76
925.8	-1.28	-0.06	0.32	-8.51	-4.01	-0.10	-2.27
926	-1.20	1.18	0.32	2.59	5.05	-7.48	0.08
926.2	1.18	-3.28	0.17	-1.07	-6.66	-1.62	-1.88
926.4	-0.59	-1.16	0.63	-1.60	-0.34	3.38	0.05
926.6	-0.80	1.28	-3.24	2.73	-0.42	0.06	-0.07
926.8	-0.04	-0.32	-2.06	-2.96	4.01	-0.97	-0.39
927	-1.43	2.33	4.44	-4.10	1.47	3.68	1.06
927.2	-0.32	-3.85	-2.23	2.96	-2.77	0.69	-0.92
927.4	0.82	-0.97	-3.20	-2.42	-1.77	-7.67	-2.54
927.6	-1.11	-1.62	0.59	3.95	-2.23	2.80	0.40
927.8	-0.38	1.13	-0.63	-0.97	0.84	3.74	0.62
928	-0.48	3.47	1.68	-0.23	-2.67	1.89	0.61
928.2	-0.23	0.65	0.61	-3.66	-0.50	-4.50	-1.27
928.4	-1.43	-2.63	-3.24	0.92	0.06	-2.84	-1.53
928.6	1.22	-4.62	0.59	7.44	0.94	-1.11	0.74
928.8	-1.74	2.17	-2.31	-3.15	-3.82	1.13	-1.28
929	-0.65	-3.78	-6.89	-0.78	1.93	-0.23	-1.73
929.2	-0.02	0.74	13.90	-4.48	0.73	-3.30	1.27
929.4	-0.53	-5.07	-7.67	-5.47	1.09	-3.47	-3.52
929.6	-0.38	4.90	0.32	2.02	-0.95	10.40	2.72
929.8	-0.84	-0.65	-4.37	7.53	-1.93	-4.60	-0.81
930	0.63	1.11	7.63	-1.26	4.04	1.97	2.35
930.2	-0.21	0.61	-2.88	-8.70	-3.59	-1.32	-2.68
930.4	-0.67	-4.16	-5.40	10.50	-3.15	-4.39	-1.22
930.6	-1.66	0.00	-2.84	-8.66	-0.13	-2.54	-2.64
930.8	0.17	2.69	4.27	-0.52	4.64	4.03	2.55
931	0.46	-0.92	-1.34	2.16	-5.26	-3.53	-1.41
931.2	-1.34	0.29	6.03	-0.13	1.18	2.00	1.34
931.4	-1.30	3.00	-7.15	1.32	2.02	0.59	-0.25
931.6	-0.27	-12.10	-3.09	-5.32	-2.61	-3.83	-4.53
931.8	-0.82	7.50	0.40	3.82	-0.44	-2.12	1.39
932	0.48	0.31	-4.35	1.35	4.16	2.69	0.77
932.2	-1.53	-3.43	9.40	-5.09	-7.34	-1.09	-1.51
932.4	0.50	-2.27	-0.29	2.61	-3.59	1.34	-0.28
932.6	0.17	-1.68	0.71	-6.54	2.58	-0.97	-0.96
932.8	-1.20	7.40	-8.03	4.65	4.18	-2.35	0.78
933	-0.40	-2.48	5.93	2.10	-7.31	1.07	-0.18
933.2	0.82	-4.90	-3.51	-0.88	3.95	-1.41	-0.99
933.4	-1.91	-5.36	-0.06	-3.66	0.52	-0.29	-1.79
933.6	-0.53	7.69	-1.77	-1.13	-0.10	3.03	1.20
933.8	-1.79	-6.29	1.26	3.13	-5.26	-1.45	-1.74
934	-0.11	6.41	1.41	-5.25	3.97	-5.49	0.16
934.2	0.08	-3.61	0.15	4.43	1.28	-4.48	-0.36

934.4	-1.35	1.01	-6.07	-8.58	-8.79	5.55	-3.04
934.6	-0.74	-6.22	1.98	9.10	5.36	3.19	2.11
934.8	2.17	8.70	2.14	-9.19	1.62	-4.41	0.17
935	-3.07	-6.05	-4.10	5.11	-7.57	-0.92	-2.77
935.2	0.48	-2.67	-1.97	1.81	-0.08	-0.57	-0.50
935.4	-0.36	5.42	-2.25	1.28	-1.51	1.07	0.61
935.6	-1.14	0.92	2.12	-11.30	7.10	-2.84	-0.86
935.8	0.25	-1.81	-3.43	5.09	-4.96	0.19	-0.78
936	-0.32	-4.71	0.23	-1.51	1.62	1.18	-0.59
936.2	-1.58	0.78	-0.50	-1.83	-3.19	0.95	-0.89
936.4	-0.38	0.46	1.03	0.29	3.82	-5.74	-0.09
936.6	0.32	-5.93	0.19	-1.49	-1.47	2.58	-0.97
936.8	-0.88	0.11	3.22	3.59	-5.09	-3.40	-0.41
937	0.00	4.92	-2.96	-1.64	2.00	5.00	1.22
937.2	-0.53	-5.30	2.90	-3.20	-3.09	-3.55	-2.13
937.4	-0.19	5.70	-4.48	2.17	1.03	1.49	0.95
937.6	0.15	-3.47	-5.53	-1.83	-0.78	-2.90	-2.39
937.8	-0.53	-1.22	5.63	-0.42	4.20	-1.32	1.06
938	-0.48	0.15	2.25	0.73	3.32	2.10	1.34
938.2	-0.44	-1.51	-7.36	4.12	-6.98	-4.94	-2.85
938.4	-1.30	-2.44	6.77	-6.47	-1.62	-0.32	-0.90
938.6	-0.02	7.17	-7.08	-0.57	1.81	6.87	1.36
938.8	-0.57	-5.26	6.73	-0.38	-2.35	-2.61	-0.74
939	-0.27	-2.29	-12.60	1.60	3.82	2.08	-1.27
939.2	0.23	5.21	8.58	-2.27	1.37	1.32	2.41
939.4	-0.86	-0.34	3.76	3.43	-4.98	-5.13	-0.69
939.6	-0.71	-0.90	-1.95	0.08	-2.38	-5.93	-1.96
939.8	-0.82	-7.61	-3.83	-8.22	-1.51	5.89	-2.68
940	-0.82	-7.61	-3.83	-8.22	-1.51	5.89	-2.68
Promedio	-0.47	-0.50	-0.48	-0.52	-0.52	-0.43	-0.49

**Muestras de retardo para un cable de longitud igual a 6
pulgadas**

Freq (MHz)	Average [ns]	Muestra 1 [ns]	Muestra 2 [ns]	Muestra 3 [ns]	Muestra 4 [ns]	Muestra 5 [ns]	Promedio [ns]
900	0.74	-1.56	0.50	-3.74	-0.95	-10.00	-2.50
900.2	-0.59	5.09	-6.70	1.66	-1.70	2.42	0.03
900.4	-1.16	0.32	-3.36	-4.03	0.63	5.88	-0.29
900.6	-1.07	-8.01	3.00	3.51	2.38	-2.80	-0.50
900.8	0.38	5.78	2.88	6.14	-1.87	3.32	2.77
901	0.48	-0.52	-0.08	-10.20	3.26	-3.82	-1.81
901.2	-1.18	-3.57	-2.37	2.06	-2.31	-5.59	-2.16
901.4	-1.62	-1.47	0.27	-1.56	-2.44	7.38	0.09
901.6	1.07	-0.34	-2.06	-2.29	1.77	-4.58	-1.07
901.8	-1.70	0.11	0.99	5.88	-8.22	6.41	0.58
902	1.26	4.12	2.35	-3.78	2.82	-7.36	-0.10
902.2	-0.44	-4.03	2.16	-3.61	0.06	1.68	-0.70
902.4	-0.31	-2.67	-9.27	6.28	-0.67	-7.06	-2.28
902.6	-0.17	1.20	-0.31	-2.56	1.39	7.40	1.16
902.8	-1.30	1.53	1.45	-6.91	6.20	-0.38	0.10
903	0.02	4.96	5.28	5.70	-11.40	-4.44	0.02
903.2	-0.36	-9.50	-4.46	0.38	3.61	0.80	-1.59
903.4	-0.48	4.65	-0.74	-1.07	2.90	-4.60	0.11
903.6	1.09	-0.42	1.66	-1.11	-2.23	2.77	0.29
903.8	0.42	-2.88	1.58	3.07	0.06	-0.25	0.33
904	-2.00	0.67	-5.89	-7.57	0.95	-2.35	-2.70
904.2	0.13	3.36	2.19	2.69	-1.74	4.29	1.82
904.4	0.52	-0.21	2.92	6.66	-0.65	-1.41	1.30
904.6	-1.70	-2.25	-2.71	-7.55	-1.83	-4.31	-3.39
904.8	0.17	1.77	3.40	5.02	0.23	1.20	1.96
905	-0.63	-5.04	-2.86	-2.37	7.90	-2.84	-0.97
905.2	0.71	-0.73	-4.85	-2.17	-1.43	2.38	-1.01
905.4	-1.03	0.73	-0.84	-1.37	-6.75	1.11	-1.36
905.6	-0.23	2.92	7.38	1.77	4.81	-8.72	1.32
905.8	-0.63	-0.74	-6.79	1.05	-6.26	8.93	-0.74
906	0.69	-2.94	1.91	-2.90	4.98	-1.43	0.05
906.2	-1.26	0.25	3.17	-4.60	0.23	-2.27	-0.75
906.4	-0.31	0.25	-5.19	8.43	-2.77	2.12	0.42
906.6	-0.82	0.88	-0.29	-3.83	-3.09	-4.52	-1.95
906.8	-0.67	5.05	5.28	-0.73	0.73	0.38	1.68
907	0.76	-6.58	-2.88	-2.00	-5.67	1.74	-2.44
907.2	0.17	0.74	-1.18	2.88	2.14	-4.54	0.03
907.4	-0.86	-1.43	-4.31	-0.10	3.05	7.44	0.63
907.6	-0.86	-5.13	3.47	-5.46	-0.29	-4.37	-2.10
907.8	-0.21	2.58	-0.32	5.02	-1.51	-3.13	0.40

908	-0.36	2.61	6.26	-2.42	2.25	1.34	1.61
908.2	-0.06	-3.74	-9.46	1.20	0.44	1.26	-1.73
908.4	-1.07	4.69	1.62	-2.06	-5.55	-1.05	-0.57
908.6	-0.50	-3.61	-3.78	1.45	3.28	-2.17	-0.89
908.8	0.15	-6.79	3.40	-1.18	-8.01	4.03	-1.40
909	-1.14	11.80	5.19	0.50	6.01	-1.47	3.48
909.2	0.74	-7.99	-8.28	-6.68	5.46	-1.35	-3.02
909.4	-0.34	-1.07	5.09	2.69	-7.65	-2.12	-0.57
909.6	-0.31	1.85	-4.54	2.82	1.45	1.70	0.50
909.8	-0.97	-1.66	-1.20	0.74	0.00	6.22	0.52
910	-1.05	1.35	-4.56	-4.20	-1.20	-15.00	-4.11
910.2	0.02	-3.66	1.97	0.32	-2.17	2.29	-0.21
910.4	0.04	5.11	2.40	-0.74	-1.91	5.42	1.72
910.6	-1.74	-6.45	1.72	-0.69	1.39	-2.80	-1.43
910.8	0.38	2.56	2.17	1.20	1.98	-1.83	1.08
911	-1.11	1.56	-3.05	-1.91	-2.80	-0.10	-1.23
911.2	0.90	-1.16	-5.15	0.10	-0.61	0.84	-0.85
911.4	-1.20	-6.81	1.95	-0.34	2.37	1.66	-0.40
911.6	-0.06	3.66	0.99	-2.42	1.34	-3.47	0.01
911.8	-1.01	5.53	-1.68	0.36	-0.23	5.30	1.38
912	0.61	-3.66	-1.58	-0.92	-7.69	-4.94	-3.03
912.2	-1.32	-3.83	0.00	-2.08	1.66	-1.98	-1.26
912.4	0.42	-4.43	3.36	5.04	1.66	3.07	1.52
912.6	-0.76	2.50	-4.81	1.20	0.80	4.06	0.50
912.8	-0.10	-2.46	-2.96	-0.67	-2.86	-5.99	-2.50
913	-1.32	6.81	0.65	-4.01	5.80	-1.55	1.06
913.2	-0.48	-2.77	6.89	2.48	-5.42	1.68	0.40
913.4	1.39	-1.47	-4.67	-4.73	-1.56	-2.04	-2.18
913.6	-1.20	2.02	0.06	4.75	3.22	1.56	1.74
913.8	-0.10	0.78	0.99	-1.22	-3.20	-1.09	-0.64
914	-0.99	-0.40	-0.44	-5.36	0.74	-1.14	-1.27
914.2	0.42	-5.91	2.38	1.87	-2.02	1.28	-0.33
914.4	-0.65	2.73	-11.30	0.82	0.19	-2.02	-1.70
914.6	0.55	-2.14	6.96	-0.19	3.61	-0.40	1.40
914.8	-0.53	5.53	1.98	-0.61	-4.62	5.04	1.13
915	-0.63	-6.22	-3.99	-2.52	0.67	-8.32	-3.50
915.2	0.63	-1.39	0.46	0.13	3.36	3.43	1.10
915.4	-0.61	5.99	-2.12	-1.13	-5.02	3.01	0.02
915.6	-1.05	-7.99	0.99	2.54	-3.66	-2.37	-1.92
915.8	-0.40	6.20	-6.85	-5.59	4.41	-1.64	-0.65
916	-0.31	-3.24	1.20	4.54	1.60	6.22	1.67
916.2	-0.42	0.82	0.76	-0.61	-0.15	-8.89	-1.41
916.4	0.25	2.19	3.78	1.98	-6.26	1.20	0.53
916.6	-0.52	-0.90	4.08	-2.02	2.63	0.36	0.61

916.8	-1.22	0.80	-3.34	-5.80	3.82	-0.86	-1.10
917	0.11	-5.55	0.10	2.65	-4.85	0.65	-1.15
917.2	0.53	2.16	-2.16	5.42	3.32	-0.40	1.48
917.4	-1.24	1.39	-7.17	-2.17	-5.76	2.33	-2.10
917.6	1.07	-3.51	4.14	-5.93	5.21	1.07	0.34
917.8	-1.87	1.87	5.09	3.51	-2.48	-6.07	0.01
918	0.19	-1.79	-9.79	-2.23	1.01	2.31	-1.72
918.2	-0.44	-1.07	6.20	2.23	0.97	3.07	1.83
918.4	-0.44	3.87	-0.74	-2.31	-3.45	-3.43	-1.08
918.6	-0.95	-8.68	-5.15	-0.38	3.95	-2.33	-2.26
918.8	0.38	2.75	-0.95	-1.93	-5.68	-2.19	-1.27
919	0.36	-2.04	6.89	3.45	2.82	1.97	2.24
919.2	-0.59	7.17	-2.67	4.33	4.14	-1.03	1.89
919.4	-1.49	-3.68	-0.90	-10.50	-5.15	5.89	-2.63
919.6	-0.40	-4.77	2.08	4.04	-5.88	-10.30	-2.54
919.8	0.90	4.73	-1.34	0.23	8.77	-4.54	1.46
920	-0.61	-1.37	-2.33	0.71	-4.71	7.57	-0.12
920.2	-0.32	2.80	-2.48	-1.45	-5.19	-3.74	-1.73
920.4	-0.55	-1.28	0.61	-2.44	1.98	10.30	1.44
920.6	-0.59	1.58	1.47	0.71	-1.13	-4.85	-0.47
920.8	-0.08	-3.51	3.87	0.36	1.91	1.49	0.67
921	0.34	-4.35	-2.44	-2.71	3.17	-8.32	-2.38
921.2	-1.01	3.36	-4.10	3.82	-4.64	5.07	0.42
921.4	-0.29	-0.84	-1.07	-2.29	2.69	-3.61	-0.90
921.6	0.15	0.34	4.69	1.32	-1.39	2.96	1.34
921.8	-1.16	-4.25	-4.39	-4.14	0.90	0.36	-2.11
922	-0.15	5.32	-0.90	4.18	-4.29	-3.87	0.05
922.2	0.40	-1.01	9.88	3.24	3.59	0.82	2.82
922.4	-0.74	1.07	-9.12	-10.60	-4.96	-2.40	-4.46
922.6	0.21	-3.11	-1.91	5.38	0.88	3.83	0.88
922.8	-1.72	-2.02	4.43	-2.16	3.05	5.13	1.12
923	-0.04	-0.88	-2.08	-1.01	-4.04	-5.63	-2.28
923.2	0.21	1.26	-1.32	4.25	-1.55	-5.26	-0.40
923.4	-1.64	2.14	-4.79	-9.98	4.35	0.65	-1.54
923.6	-0.06	-1.85	-1.85	7.42	-0.67	1.24	0.71
923.8	1.13	-1.18	9.48	2.79	-3.87	3.47	1.97
924	-1.83	3.61	-2.67	-2.86	1.64	-1.51	-0.60
924.2	-0.15	4.98	-6.28	-3.89	-1.93	-3.87	-1.86
924.4	-0.21	-12.00	7.15	1.01	0.19	0.38	-0.58
924.6	-0.08	0.88	-5.26	-3.70	5.02	-4.18	-1.22
924.8	-1.07	-1.41	-1.56	5.80	-4.90	3.93	0.13
925	-0.65	1.60	4.10	-5.53	0.50	-3.00	-0.50
925.2	0.25	3.15	-4.79	4.67	-2.59	2.21	0.48
925.4	0.25	-2.35	1.03	-4.18	3.24	-4.81	-1.14

925.6	-0.42	-3.49	-7.15	1.76	-1.66	5.46	-0.92
925.8	-1.66	5.49	7.53	-4.46	-3.83	-0.23	0.47
926	-0.44	-4.16	-4.10	4.04	4.39	-2.52	-0.46
926.2	-0.34	-3.82	5.72	-3.97	-7.69	-2.35	-2.07
926.4	0.53	3.61	-4.43	1.43	5.04	0.57	1.13
926.6	-0.44	-1.62	0.48	1.47	0.29	1.93	0.35
926.8	0.04	1.05	4.08	-3.93	5.11	-3.55	0.47
927	-0.86	-3.93	-3.20	-3.62	-6.28	0.99	-2.82
927.2	0.38	0.36	0.15	5.76	-4.27	-0.46	0.32
927.4	-0.23	2.16	-0.40	-2.65	-1.39	0.73	-0.30
927.6	-0.46	-2.54	-6.47	0.71	9.46	-4.94	-0.71
927.8	-0.59	-2.44	4.06	-6.98	-6.71	4.33	-1.39
928	0.13	0.02	-1.24	6.81	-2.58	-1.60	0.26
928.2	-0.11	3.38	0.48	2.31	5.15	-3.55	1.27
928.4	-1.74	0.00	-0.63	-0.34	-3.40	5.40	-0.12
928.6	0.06	1.03	-0.06	-5.65	2.12	-0.88	-0.56
928.8	-0.88	-0.44	1.16	6.83	-0.13	-0.92	0.94
929	0.31	-1.45	-1.76	-8.72	-5.97	0.00	-2.93
929.2	-0.48	-1.62	1.03	4.01	-1.98	-0.10	0.14
929.4	-0.74	-0.44	0.74	-1.70	4.71	-7.34	-0.80
929.6	0.94	-1.11	-3.20	2.23	-2.19	5.04	0.28
929.8	-0.29	-2.71	0.55	-2.65	-1.22	3.62	-0.45
930	-0.97	3.13	-4.64	-0.88	1.30	-3.36	-0.90
930.2	0.40	2.23	3.32	-1.87	1.03	-3.09	0.34
930.4	-1.74	-2.96	0.00	4.41	-3.78	0.38	-0.61
930.6	-0.19	-1.66	-2.19	-0.31	2.58	9.50	1.29
930.8	0.84	3.78	3.51	-5.26	1.34	-9.98	-0.96
931	-1.32	-4.35	-0.42	4.67	-3.13	1.43	-0.52
931.2	-0.76	0.29	-3.76	-4.58	4.85	-0.06	-0.67
931.4	0.42	-0.82	-1.34	0.65	-5.00	2.65	-0.57
931.6	-0.34	6.26	3.61	4.16	-5.68	-0.59	1.23
931.8	-0.90	-2.92	1.18	-7.69	0.53	-1.13	-1.82
932	-0.11	-2.71	-0.04	1.85	0.74	-1.87	-0.36
932.2	-0.63	1.58	-1.66	-1.34	0.73	-0.15	-0.25
932.4	-0.10	-2.96	-1.28	8.72	2.75	-0.46	1.11
932.6	-0.46	-2.27	-3.91	-6.31	-1.91	-0.84	-2.62
932.8	-0.11	0.44	3.32	-4.31	-1.89	1.53	-0.17
933	-0.29	2.67	-3.32	3.83	2.40	-3.45	0.31
933.2	-0.52	-5.00	2.08	-1.39	-3.61	-3.43	-1.98
933.4	0.23	6.08	-3.15	0.69	6.07	5.67	2.60
933.6	-1.45	-0.69	1.09	-4.18	-6.43	-1.98	-2.27
933.8	-0.38	-1.58	-1.70	4.54	-6.35	-1.89	-1.23
934	-0.99	-1.47	2.67	-7.80	11.70	-1.68	0.40
934.2	-0.10	-5.32	-1.76	6.81	-4.20	-0.36	-0.82

934.4	0.42	5.05	-1.66	-3.17	-4.22	2.46	-0.18
934.6	-1.05	3.00	0.48	-2.80	0.23	-5.44	-0.93
934.8	0.67	-8.22	2.06	-0.46	-0.59	9.75	0.53
935	-1.32	6.18	-0.15	3.97	5.78	-10.50	0.67
935.2	-0.86	-2.44	-4.64	-3.62	-3.00	0.86	-2.28
935.4	-0.86	-3.13	-2.42	1.81	-4.75	5.17	-0.70
935.6	1.01	-0.50	3.87	0.92	4.08	-5.88	0.59
935.8	-1.70	0.95	-4.79	-3.55	-2.88	3.72	-1.37
936	0.99	-0.92	0.52	1.13	3.53	-3.78	0.25
936.2	-1.22	1.03	4.27	2.19	-4.96	2.16	0.58
936.4	-0.34	-2.44	-1.32	-7.15	3.00	0.48	-1.30
936.6	-0.52	2.19	2.67	-2.04	-4.50	-1.35	-0.59
936.8	-0.13	-3.80	-3.26	-0.27	3.07	-3.22	-1.27
937	1.22	0.46	-0.31	-4.01	-4.77	1.81	-0.93
937.2	-0.86	7.95	2.44	4.65	4.44	-0.69	2.99
937.4	-0.65	-11.10	0.55	3.05	0.95	-0.99	-1.36
937.6	0.63	1.58	-4.41	-5.36	-3.49	-2.06	-2.18
937.8	-1.01	3.97	-1.41	1.68	1.47	5.93	1.77
938	-0.44	-4.46	3.45	-2.35	1.24	-7.10	-1.61
938.2	-0.67	0.06	-6.96	0.52	-9.37	5.07	-1.89
938.4	-0.71	2.21	2.65	1.07	11.40	-1.07	2.60
938.6	-0.38	-0.48	-2.44	-4.96	-6.01	-3.78	-3.01
938.8	0.63	-1.43	5.32	-2.80	-0.08	6.66	1.38
939	0.29	4.69	-4.77	3.32	1.76	-2.50	0.46
939.2	-1.95	-11.10	8.98	8.07	-0.34	-6.66	-0.49
939.4	0.84	5.68	-5.70	-10.00	0.55	3.66	-0.83
939.6	-0.25	6.08	0.88	0.11	-1.35	2.42	1.32
939.8	-0.94	-2.37	-1.05	2.69	2.29	-2.37	-0.29
940	-0.94	-2.37	-1.05	2.69	2.29	-2.37	-0.29
Promedio	-0.35	-0.33	-0.37	-0.37	-0.32	-0.39	-0.36

G.2 Muestras de reflexión de divisor Wilkinson para diferentes cargas

Muestras de atenuación en transmisión

Freq [MHz]	Con Cargas [dB]	Puerto 1 Desconectado [dB]	Puerto 2 Desconectado [dB]	Puerto 3 Desconectado [dB]	Dos Puertos Desconectados [dB]	Tres Puertos Desconectados [dB]
900	-6.50	-6.57	-6.60	-6.69	-6.68	-6.88
900.2	-6.49	-6.56	-6.60	-6.69	-6.68	-6.88
900.4	-6.49	-6.55	-6.59	-6.68	-6.67	-6.87
900.6	-6.52	-6.59	-6.62	-6.72	-6.71	-6.91
900.8	-6.48	-6.55	-6.59	-6.68	-6.67	-6.88
901	-6.49	-6.56	-6.60	-6.70	-6.68	-6.89
901.2	-6.49	-6.56	-6.60	-6.69	-6.68	-6.89
901.4	-6.48	-6.55	-6.59	-6.68	-6.67	-6.88
901.6	-6.50	-6.57	-6.61	-6.70	-6.69	-6.90
901.8	-6.52	-6.60	-6.63	-6.73	-6.72	-6.93
902	-6.47	-6.55	-6.59	-6.68	-6.67	-6.88
902.2	-6.48	-6.56	-6.59	-6.69	-6.68	-6.89
902.4	-6.48	-6.56	-6.59	-6.70	-6.68	-6.90
902.6	-6.47	-6.55	-6.59	-6.69	-6.68	-6.89
902.8	-6.47	-6.55	-6.59	-6.69	-6.68	-6.89
903	-6.48	-6.56	-6.60	-6.70	-6.69	-6.90
903.2	-6.48	-6.57	-6.60	-6.71	-6.69	-6.91
903.4	-6.47	-6.55	-6.59	-6.69	-6.68	-6.90
903.6	-6.50	-6.59	-6.62	-6.72	-6.71	-6.93
903.8	-6.48	-6.57	-6.60	-6.71	-6.69	-6.92
904	-6.47	-6.56	-6.59	-6.70	-6.68	-6.91
904.2	-6.44	-6.54	-6.56	-6.67	-6.66	-6.89
904.4	-6.45	-6.55	-6.58	-6.69	-6.67	-6.90
904.6	-6.47	-6.56	-6.60	-6.70	-6.69	-6.92
904.8	-6.49	-6.58	-6.62	-6.72	-6.71	-6.94
905	-6.45	-6.55	-6.58	-6.69	-6.67	-6.91
905.2	-6.44	-6.54	-6.57	-6.68	-6.67	-6.90
905.4	-6.44	-6.54	-6.57	-6.68	-6.67	-6.90
905.6	-6.45	-6.55	-6.58	-6.68	-6.67	-6.91
905.8	-6.45	-6.55	-6.58	-6.69	-6.68	-6.91
906	-6.43	-6.53	-6.56	-6.67	-6.66	-6.90
906.2	-6.45	-6.56	-6.58	-6.70	-6.68	-6.92
906.4	-6.41	-6.52	-6.55	-6.65	-6.65	-6.88
906.6	-6.45	-6.55	-6.58	-6.70	-6.69	-6.93
906.8	-6.41	-6.52	-6.55	-6.66	-6.65	-6.90
907	-6.42	-6.52	-6.55	-6.66	-6.65	-6.90
907.2	-6.44	-6.55	-6.57	-6.69	-6.68	-6.92

907.4	-6.41	-6.52	-6.55	-6.66	-6.66	-6.90
907.6	-6.38	-6.50	-6.52	-6.64	-6.63	-6.88
907.8	-6.41	-6.53	-6.56	-6.67	-6.66	-6.91
908	-6.41	-6.52	-6.54	-6.66	-6.65	-6.90
908.2	-6.39	-6.51	-6.53	-6.65	-6.64	-6.89
908.4	-6.41	-6.53	-6.55	-6.67	-6.66	-6.91
908.6	-6.42	-6.54	-6.56	-6.68	-6.67	-6.93
908.8	-6.39	-6.52	-6.53	-6.65	-6.65	-6.90
909	-6.39	-6.51	-6.54	-6.65	-6.65	-6.90
909.2	-6.41	-6.53	-6.55	-6.67	-6.66	-6.92
909.4	-6.41	-6.53	-6.55	-6.67	-6.67	-6.93
909.6	-6.39	-6.51	-6.53	-6.65	-6.65	-6.91
909.8	-6.39	-6.51	-6.53	-6.65	-6.65	-6.91
910	-6.39	-6.52	-6.54	-6.66	-6.65	-6.92
910.2	-6.41	-6.54	-6.55	-6.67	-6.67	-6.94
910.4	-6.40	-6.52	-6.54	-6.66	-6.66	-6.93
910.6	-6.40	-6.53	-6.54	-6.67	-6.66	-6.93
910.8	-6.39	-6.52	-6.54	-6.66	-6.66	-6.92
911	-6.37	-6.51	-6.52	-6.64	-6.64	-6.91
911.2	-6.39	-6.52	-6.54	-6.66	-6.66	-6.93
911.4	-6.38	-6.52	-6.53	-6.65	-6.65	-6.92
911.6	-6.39	-6.53	-6.54	-6.66	-6.67	-6.94
911.8	-6.35	-6.49	-6.50	-6.63	-6.63	-6.90
912	-6.37	-6.51	-6.52	-6.65	-6.65	-6.92
912.2	-6.38	-6.52	-6.53	-6.65	-6.66	-6.94
912.4	-6.36	-6.50	-6.51	-6.64	-6.64	-6.92
912.6	-6.33	-6.48	-6.49	-6.61	-6.62	-6.89
912.8	-6.36	-6.50	-6.52	-6.64	-6.64	-6.92
913	-6.37	-6.51	-6.52	-6.65	-6.65	-6.93
913.2	-6.36	-6.51	-6.52	-6.64	-6.65	-6.93
913.4	-6.34	-6.49	-6.50	-6.62	-6.63	-6.91
913.6	-6.33	-6.47	-6.48	-6.61	-6.62	-6.90
913.8	-6.35	-6.50	-6.51	-6.63	-6.64	-6.92
914	-6.34	-6.49	-6.50	-6.62	-6.63	-6.91
914.2	-6.34	-6.49	-6.49	-6.62	-6.63	-6.92
914.4	-6.33	-6.49	-6.49	-6.62	-6.63	-6.92
914.6	-6.32	-6.47	-6.48	-6.60	-6.61	-6.90
914.8	-6.32	-6.48	-6.48	-6.61	-6.62	-6.91
915	-6.32	-6.48	-6.48	-6.61	-6.62	-6.91
915.2	-6.33	-6.48	-6.49	-6.61	-6.63	-6.92
915.4	-6.33	-6.49	-6.49	-6.61	-6.63	-6.92
915.6	-6.31	-6.47	-6.47	-6.60	-6.61	-6.91
915.8	-6.31	-6.46	-6.47	-6.59	-6.61	-6.90
916	-6.34	-6.49	-6.50	-6.62	-6.64	-6.93

916.2	-6.32	-6.48	-6.48	-6.61	-6.63	-6.92
916.4	-6.30	-6.46	-6.46	-6.58	-6.60	-6.90
916.6	-6.28	-6.45	-6.45	-6.57	-6.59	-6.89
916.8	-6.30	-6.47	-6.46	-6.59	-6.61	-6.91
917	-6.29	-6.46	-6.46	-6.58	-6.60	-6.90
917.2	-6.31	-6.48	-6.48	-6.61	-6.63	-6.93
917.4	-6.30	-6.47	-6.47	-6.59	-6.62	-6.91
917.6	-6.30	-6.47	-6.47	-6.59	-6.61	-6.92
917.8	-6.27	-6.44	-6.44	-6.56	-6.58	-6.89
918	-6.30	-6.47	-6.46	-6.59	-6.61	-6.92
918.2	-6.29	-6.46	-6.45	-6.59	-6.60	-6.91
918.4	-6.28	-6.45	-6.44	-6.57	-6.59	-6.90
918.6	-6.29	-6.47	-6.46	-6.59	-6.61	-6.92
918.8	-6.29	-6.47	-6.46	-6.59	-6.61	-6.92
919	-6.28	-6.45	-6.45	-6.57	-6.60	-6.91
919.2	-6.29	-6.46	-6.45	-6.58	-6.61	-6.92
919.4	-6.28	-6.46	-6.45	-6.58	-6.61	-6.92
919.6	-6.27	-6.45	-6.44	-6.57	-6.59	-6.91
919.8	-6.28	-6.46	-6.45	-6.57	-6.60	-6.92
920	-6.28	-6.46	-6.45	-6.58	-6.61	-6.92
920.2	-6.27	-6.45	-6.44	-6.57	-6.60	-6.91
920.4	-6.28	-6.46	-6.45	-6.58	-6.60	-6.92
920.6	-6.24	-6.42	-6.41	-6.54	-6.57	-6.89
920.8	-6.25	-6.43	-6.42	-6.55	-6.58	-6.90
921	-6.27	-6.46	-6.44	-6.57	-6.60	-6.92
921.2	-6.26	-6.45	-6.43	-6.56	-6.59	-6.91
921.4	-6.25	-6.44	-6.42	-6.55	-6.58	-6.91
921.6	-6.26	-6.44	-6.43	-6.56	-6.59	-6.91
921.8	-6.24	-6.43	-6.41	-6.54	-6.57	-6.90
922	-6.25	-6.44	-6.43	-6.56	-6.59	-6.91
922.2	-6.26	-6.45	-6.43	-6.56	-6.60	-6.92
922.4	-6.25	-6.44	-6.42	-6.55	-6.59	-6.91
922.6	-6.24	-6.42	-6.41	-6.54	-6.57	-6.90
922.8	-6.27	-6.46	-6.44	-6.58	-6.61	-6.94
923	-6.24	-6.42	-6.41	-6.54	-6.57	-6.90
923.2	-6.26	-6.45	-6.43	-6.57	-6.60	-6.93
923.4	-6.23	-6.42	-6.40	-6.54	-6.57	-6.90
923.6	-6.24	-6.44	-6.41	-6.55	-6.58	-6.91
923.8	-6.22	-6.42	-6.40	-6.53	-6.57	-6.90
924	-6.22	-6.41	-6.39	-6.53	-6.56	-6.90
924.2	-6.23	-6.42	-6.40	-6.54	-6.57	-6.90
924.4	-6.23	-6.42	-6.40	-6.54	-6.57	-6.91
924.6	-6.22	-6.41	-6.39	-6.53	-6.56	-6.89
924.8	-6.23	-6.42	-6.40	-6.54	-6.57	-6.91

925	-6.20	-6.40	-6.38	-6.52	-6.55	-6.89
925.2	-6.20	-6.40	-6.38	-6.52	-6.55	-6.89
925.4	-6.20	-6.39	-6.37	-6.51	-6.55	-6.89
925.6	-6.22	-6.42	-6.39	-6.54	-6.57	-6.91
925.8	-6.22	-6.41	-6.39	-6.53	-6.56	-6.90
926	-6.21	-6.41	-6.38	-6.53	-6.56	-6.90
926.2	-6.20	-6.39	-6.37	-6.51	-6.54	-6.89
926.4	-6.21	-6.40	-6.38	-6.52	-6.56	-6.90
926.6	-6.23	-6.43	-6.40	-6.54	-6.58	-6.92
926.8	-6.19	-6.39	-6.36	-6.50	-6.54	-6.88
927	-6.20	-6.40	-6.37	-6.51	-6.55	-6.89
927.2	-6.23	-6.43	-6.40	-6.55	-6.58	-6.93
927.4	-6.20	-6.40	-6.37	-6.52	-6.55	-6.90
927.6	-6.21	-6.41	-6.38	-6.52	-6.56	-6.90
927.8	-6.21	-6.41	-6.38	-6.53	-6.56	-6.91
928	-6.19	-6.39	-6.36	-6.51	-6.54	-6.90
928.2	-6.19	-6.39	-6.36	-6.51	-6.54	-6.89
928.4	-6.17	-6.37	-6.35	-6.50	-6.53	-6.88
928.6	-6.20	-6.41	-6.37	-6.52	-6.55	-6.90
928.8	-6.19	-6.40	-6.36	-6.51	-6.55	-6.90
929	-6.20	-6.40	-6.37	-6.52	-6.56	-6.91
929.2	-6.16	-6.37	-6.34	-6.48	-6.52	-6.87
929.4	-6.18	-6.38	-6.35	-6.50	-6.53	-6.89
929.6	-6.18	-6.38	-6.35	-6.50	-6.53	-6.89
929.8	-6.19	-6.39	-6.35	-6.51	-6.54	-6.90
930	-6.17	-6.37	-6.34	-6.49	-6.52	-6.88
930.2	-6.18	-6.38	-6.35	-6.50	-6.53	-6.89
930.4	-6.17	-6.38	-6.34	-6.49	-6.52	-6.88
930.6	-6.17	-6.37	-6.34	-6.49	-6.53	-6.88
930.8	-6.16	-6.37	-6.33	-6.49	-6.52	-6.88
931	-6.18	-6.39	-6.35	-6.50	-6.54	-6.89
931.2	-6.15	-6.36	-6.32	-6.48	-6.51	-6.87
931.4	-6.16	-6.36	-6.33	-6.49	-6.52	-6.88
931.6	-6.17	-6.37	-6.34	-6.50	-6.53	-6.89
931.8	-6.16	-6.36	-6.32	-6.48	-6.52	-6.87
932	-6.17	-6.37	-6.34	-6.50	-6.53	-6.88
932.2	-6.16	-6.37	-6.33	-6.49	-6.52	-6.88
932.4	-6.17	-6.38	-6.34	-6.50	-6.54	-6.89
932.6	-6.17	-6.38	-6.34	-6.50	-6.53	-6.89
932.8	-6.16	-6.37	-6.33	-6.49	-6.52	-6.88
933	-6.18	-6.39	-6.35	-6.51	-6.54	-6.90
933.2	-6.15	-6.36	-6.32	-6.48	-6.51	-6.88
933.4	-6.17	-6.38	-6.34	-6.50	-6.53	-6.89
933.6	-6.17	-6.38	-6.34	-6.50	-6.53	-6.89

933.8	-6.17	-6.38	-6.34	-6.51	-6.54	-6.90
934	-6.19	-6.40	-6.35	-6.52	-6.55	-6.91
934.2	-6.18	-6.38	-6.34	-6.51	-6.54	-6.90
934.4	-6.15	-6.36	-6.32	-6.48	-6.51	-6.88
934.6	-6.17	-6.38	-6.33	-6.50	-6.53	-6.89
934.8	-6.15	-6.36	-6.31	-6.48	-6.51	-6.87
935	-6.16	-6.36	-6.32	-6.49	-6.51	-6.88
935.2	-6.15	-6.36	-6.32	-6.49	-6.51	-6.88
935.4	-6.15	-6.36	-6.31	-6.48	-6.50	-6.87
935.6	-6.16	-6.37	-6.32	-6.50	-6.52	-6.89
935.8	-6.16	-6.37	-6.32	-6.50	-6.52	-6.89
936	-6.18	-6.39	-6.34	-6.51	-6.54	-6.90
936.2	-6.15	-6.36	-6.31	-6.49	-6.52	-6.88
936.4	-6.17	-6.38	-6.33	-6.51	-6.54	-6.90
936.6	-6.17	-6.38	-6.33	-6.51	-6.53	-6.90
936.8	-6.15	-6.36	-6.31	-6.49	-6.51	-6.88
937	-6.15	-6.35	-6.31	-6.48	-6.50	-6.87
937.2	-6.15	-6.36	-6.31	-6.49	-6.51	-6.88
937.4	-6.15	-6.36	-6.31	-6.49	-6.51	-6.87
937.6	-6.16	-6.36	-6.31	-6.50	-6.51	-6.88
937.8	-6.11	-6.32	-6.27	-6.45	-6.47	-6.84
938	-6.15	-6.37	-6.31	-6.49	-6.51	-6.88
938.2	-6.12	-6.32	-6.27	-6.45	-6.47	-6.84
938.4	-6.14	-6.35	-6.30	-6.48	-6.49	-6.86
938.6	-6.13	-6.34	-6.28	-6.47	-6.49	-6.85
938.8	-6.12	-6.33	-6.28	-6.46	-6.48	-6.85
939	-6.14	-6.34	-6.29	-6.47	-6.49	-6.86
939.2	-6.13	-6.34	-6.28	-6.47	-6.49	-6.86
939.4	-6.11	-6.32	-6.27	-6.45	-6.47	-6.84
939.6	-6.14	-6.35	-6.28	-6.47	-6.49	-6.86
939.8	-6.12	-6.33	-6.27	-6.46	-6.47	-6.84
940	-6.10	-6.31	-6.26	-6.45	-6.46	-6.83
Mean	-6.29	-6.45	-6.44	-6.58	-6.59	-6.90
STD	0.12	0.07	0.10	0.08	0.06	0.02

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson cargado**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma_c $	$\langle \Gamma_c \rangle$
900	42.05	-64.66	0.58	-1.08
900.2	41.84	-64.45	0.58	-1.08
900.4	41.61	-64.16	0.58	-1.09
900.6	41.46	-63.49	0.58	-1.10
900.8	41.19	-63.56	0.58	-1.10
901	41.12	-63.20	0.58	-1.10
901.2	41.11	-63.23	0.58	-1.10
901.4	40.85	-62.90	0.58	-1.11
901.6	40.61	-62.40	0.57	-1.12
901.8	40.68	-62.17	0.57	-1.12
902	40.43	-62.33	0.57	-1.12
902.2	40.45	-62.16	0.57	-1.12
902.4	40.47	-62.09	0.57	-1.12
902.6	39.91	-61.58	0.57	-1.13
902.8	39.92	-61.53	0.57	-1.13
903	40.11	-61.60	0.57	-1.13
903.2	39.88	-61.22	0.57	-1.14
903.4	39.53	-61.00	0.57	-1.14
903.6	39.60	-60.75	0.57	-1.14
903.8	39.28	-60.58	0.57	-1.15
904	39.14	-60.52	0.57	-1.15
904.2	39.05	-60.71	0.57	-1.15
904.4	38.87	-60.41	0.57	-1.16
904.6	38.72	-60.04	0.57	-1.16
904.8	38.52	-59.77	0.57	-1.17
905	38.47	-60.07	0.57	-1.16
905.2	38.13	-59.84	0.57	-1.17
905.4	38.11	-59.85	0.57	-1.17
905.6	37.96	-59.69	0.57	-1.17
905.8	37.65	-59.41	0.57	-1.18
906	37.69	-59.76	0.58	-1.18
906.2	37.36	-59.21	0.57	-1.19
906.4	37.17	-59.56	0.58	-1.18
906.6	37.13	-59.24	0.58	-1.19
906.8	36.69	-59.22	0.58	-1.19
907	36.72	-59.39	0.58	-1.19
907.2	36.16	-58.69	0.58	-1.20
907.4	36.24	-59.17	0.58	-1.20
907.6	36.10	-59.43	0.58	-1.20
907.8	35.51	-58.57	0.58	-1.21

908	35.65	-59.05	0.58	-1.21
908.2	35.13	-58.79	0.59	-1.21
908.4	35.01	-58.61	0.59	-1.22
908.6	34.58	-58.25	0.59	-1.23
908.8	34.34	-58.40	0.59	-1.23
909	34.25	-58.57	0.59	-1.23
909.2	34.09	-58.50	0.59	-1.23
909.4	33.47	-57.93	0.59	-1.24
909.6	33.49	-58.42	0.60	-1.24
909.8	33.15	-58.22	0.60	-1.24
910	32.76	-57.89	0.60	-1.25
910.2	32.36	-57.55	0.60	-1.26
910.4	31.89	-57.36	0.60	-1.27
910.6	31.89	-57.56	0.60	-1.26
910.8	31.41	-57.35	0.61	-1.27
911	31.18	-57.51	0.61	-1.27
911.2	30.70	-56.90	0.61	-1.28
911.4	30.42	-56.93	0.61	-1.29
911.6	29.98	-56.46	0.61	-1.30
911.8	29.90	-57.08	0.62	-1.29
912	29.39	-56.42	0.62	-1.30
912.2	29.11	-56.19	0.62	-1.31
912.4	28.68	-56.05	0.62	-1.32
912.6	28.41	-56.26	0.62	-1.31
912.8	28.06	-55.73	0.62	-1.33
913	27.75	-55.36	0.63	-1.33
913.2	27.42	-55.17	0.63	-1.34
913.4	27.03	-55.10	0.63	-1.34
913.6	26.80	-55.13	0.63	-1.35
913.8	26.34	-54.38	0.63	-1.36
914	26.10	-54.37	0.64	-1.36
914.2	25.82	-54.17	0.64	-1.37
914.4	25.40	-53.70	0.64	-1.38
914.6	25.02	-53.42	0.64	-1.39
914.8	25.02	-53.63	0.64	-1.39
915	24.57	-53.10	0.64	-1.40
915.2	24.27	-52.69	0.64	-1.41
915.4	24.14	-52.72	0.65	-1.41
915.6	23.54	-51.99	0.65	-1.43
915.8	23.51	-52.20	0.65	-1.42
916	23.23	-51.52	0.65	-1.44
916.2	22.85	-51.09	0.65	-1.45
916.4	22.55	-51.02	0.65	-1.45
916.6	22.32	-50.90	0.66	-1.46

916.8	22.05	-50.41	0.66	-1.47
917	21.74	-50.02	0.66	-1.48
917.2	21.70	-49.81	0.66	-1.48
917.4	21.30	-49.16	0.66	-1.50
917.6	21.15	-49.07	0.66	-1.50
917.8	20.83	-48.91	0.66	-1.50
918	20.75	-48.49	0.66	-1.51
918.2	20.52	-48.17	0.66	-1.52
918.4	20.17	-47.77	0.66	-1.53
918.6	20.19	-47.59	0.66	-1.53
918.8	19.75	-46.73	0.66	-1.56
919	19.67	-46.81	0.66	-1.55
919.2	19.50	-46.36	0.66	-1.56
919.4	19.26	-45.95	0.67	-1.57
919.6	19.20	-46.06	0.67	-1.57
919.8	18.92	-45.23	0.67	-1.59
920	18.81	-45.06	0.67	-1.60
920.2	18.58	-44.69	0.67	-1.61
920.4	18.50	-44.45	0.67	-1.61
920.6	18.21	-44.16	0.67	-1.62
920.8	18.10	-43.74	0.67	-1.63
921	18.19	-43.68	0.67	-1.63
921.2	17.94	-43.17	0.67	-1.64
921.4	17.76	-42.87	0.67	-1.65
921.6	17.57	-42.29	0.67	-1.67
921.8	17.48	-42.24	0.67	-1.67
922	17.29	-41.54	0.67	-1.68
922.2	17.33	-41.51	0.67	-1.69
922.4	17.17	-41.09	0.67	-1.70
922.6	17.01	-40.93	0.67	-1.70
922.8	17.07	-40.56	0.67	-1.71
923	16.77	-40.07	0.67	-1.72
923.2	16.83	-39.91	0.67	-1.73
923.4	16.66	-39.77	0.67	-1.73
923.6	16.58	-39.16	0.67	-1.75
923.8	16.40	-38.95	0.67	-1.75
924	16.33	-38.62	0.67	-1.76
924.2	16.34	-38.51	0.67	-1.76
924.4	16.26	-38.21	0.67	-1.77
924.6	16.14	-37.91	0.67	-1.78
924.8	16.04	-37.32	0.67	-1.79
925	15.95	-37.20	0.67	-1.80
925.2	15.89	-36.92	0.67	-1.81
925.4	15.87	-36.85	0.67	-1.81

925.6	15.77	-36.06	0.66	-1.83
925.8	15.74	-35.96	0.66	-1.83
926	15.72	-35.81	0.66	-1.84
926.2	15.62	-35.60	0.66	-1.84
926.4	15.57	-35.13	0.66	-1.85
926.6	15.63	-34.82	0.66	-1.86
926.8	15.41	-34.58	0.66	-1.87
927	15.48	-34.50	0.66	-1.87
927.2	15.55	-34.06	0.66	-1.88
927.4	15.36	-33.67	0.66	-1.89
927.6	15.35	-33.45	0.66	-1.90
927.8	15.37	-33.28	0.65	-1.91
928	15.30	-33.12	0.66	-1.91
928.2	15.21	-32.70	0.65	-1.92
928.4	15.19	-32.59	0.65	-1.93
928.6	15.22	-32.22	0.65	-1.94
928.8	15.09	-31.66	0.65	-1.95
929	15.15	-31.65	0.65	-1.95
929.2	15.04	-31.50	0.65	-1.96
929.4	14.99	-31.03	0.65	-1.97
929.6	15.03	-30.97	0.65	-1.97
929.8	15.05	-30.66	0.65	-1.98
930	14.97	-30.50	0.65	-1.99
930.2	14.93	-30.05	0.65	-2.00
930.4	14.95	-30.00	0.64	-2.00
930.6	14.92	-29.72	0.64	-2.01
930.8	14.91	-29.54	0.64	-2.01
931	14.93	-29.20	0.64	-2.02
931.2	14.83	-28.97	0.64	-2.03
931.4	14.89	-28.93	0.64	-2.03
931.6	14.85	-28.43	0.64	-2.05
931.8	14.81	-28.25	0.64	-2.05
932	14.85	-28.03	0.64	-2.06
932.2	14.87	-28.03	0.64	-2.06
932.4	14.82	-27.42	0.63	-2.08
932.6	14.85	-27.35	0.63	-2.08
932.8	14.84	-27.20	0.63	-2.09
933	14.85	-26.81	0.63	-2.10
933.2	14.78	-26.73	0.63	-2.10
933.4	14.83	-26.46	0.63	-2.11
933.6	14.83	-26.22	0.63	-2.12
933.8	14.83	-25.97	0.63	-2.12
934	14.83	-25.64	0.62	-2.14
934.2	14.84	-25.62	0.62	-2.14

934.4	14.75	-25.47	0.63	-2.14
934.6	14.79	-25.23	0.62	-2.15
934.8	14.74	-25.00	0.62	-2.16
935	14.77	-24.88	0.62	-2.16
935.2	14.76	-24.63	0.62	-2.17
935.4	14.73	-24.51	0.62	-2.17
935.6	14.71	-23.96	0.62	-2.19
935.8	14.78	-24.02	0.62	-2.19
936	14.80	-23.57	0.61	-2.20
936.2	14.75	-23.53	0.62	-2.20
936.4	14.84	-23.44	0.61	-2.21
936.6	14.79	-23.13	0.61	-2.22
936.8	14.77	-23.07	0.61	-2.22
937	14.75	-22.85	0.61	-2.23
937.2	14.75	-22.57	0.61	-2.24
937.4	14.75	-22.37	0.61	-2.24
937.6	14.73	-22.04	0.61	-2.25
937.8	14.69	-22.27	0.61	-2.25
938	14.80	-21.92	0.61	-2.26
938.2	14.69	-21.79	0.61	-2.26
938.4	14.73	-21.45	0.61	-2.28
938.6	14.76	-21.57	0.61	-2.27
938.8	14.73	-21.23	0.60	-2.28
939	14.73	-20.92	0.60	-2.29
939.2	14.73	-20.74	0.60	-2.30
939.4	14.71	-20.73	0.60	-2.30
939.6	14.76	-20.51	0.60	-2.31
939.8	14.69	-20.24	0.60	-2.32
940	14.70	-20.28	0.60	-2.32
Mean	23.56	-43.82	0.63	-1.63
STD	9.62	14.18	0.03	0.39

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson con el puerto 1 abierto**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma $	$\angle \Gamma$	$\Gamma - \Gamma_c$ [dB]
900	67.63	-91.14	0.62	-0.72	-13.15
900.2	66.90	-90.70	0.62	-0.73	-13.21
900.4	66.29	-90.34	0.62	-0.73	-13.21
900.6	65.49	-89.15	0.62	-0.74	-13.29
900.8	64.77	-89.15	0.62	-0.75	-13.33
901	64.34	-88.54	0.62	-0.75	-13.38
901.2	64.29	-88.60	0.62	-0.75	-13.38
901.4	63.53	-88.10	0.62	-0.76	-13.41
901.6	62.59	-87.10	0.62	-0.77	-13.51
901.8	62.27	-86.33	0.62	-0.77	-13.64
902	61.87	-86.76	0.62	-0.78	-13.60
902.2	61.70	-86.35	0.62	-0.78	-13.65
902.4	61.72	-86.29	0.62	-0.78	-13.64
902.6	60.25	-85.33	0.62	-0.79	-13.73
902.8	59.91	-84.92	0.62	-0.80	-13.84
903	60.04	-84.76	0.61	-0.80	-13.91
903.2	59.63	-84.27	0.61	-0.80	-13.90
903.4	58.71	-83.78	0.61	-0.81	-13.97
903.6	58.57	-83.10	0.61	-0.82	-14.06
903.8	57.76	-82.75	0.61	-0.82	-14.12
904	57.42	-82.50	0.61	-0.83	-14.16
904.2	57.24	-82.63	0.61	-0.83	-14.19
904.4	56.71	-82.07	0.61	-0.83	-14.24
904.6	56.43	-81.42	0.61	-0.84	-14.27
904.8	55.74	-80.57	0.61	-0.85	-14.42
905	55.52	-80.79	0.61	-0.85	-14.48
905.2	54.74	-80.18	0.61	-0.86	-14.57
905.4	54.65	-79.97	0.61	-0.86	-14.63
905.6	54.42	-79.68	0.61	-0.86	-14.64
905.8	53.86	-79.22	0.61	-0.87	-14.65
906	53.95	-79.37	0.61	-0.87	-14.72
906.2	53.17	-78.36	0.61	-0.88	-14.82
906.4	52.86	-78.57	0.61	-0.88	-14.88
906.6	52.71	-77.81	0.60	-0.89	-14.97
906.8	52.00	-77.67	0.61	-0.89	-14.99
907	52.08	-77.57	0.61	-0.89	-15.06
907.2	51.06	-76.44	0.60	-0.91	-15.12
907.4	51.33	-76.84	0.60	-0.91	-15.15
907.6	51.28	-77.07	0.61	-0.90	-15.15
907.8	50.15	-75.66	0.60	-0.92	-15.24

908	50.57	-75.98	0.60	-0.92	-15.28
908.2	49.71	-75.46	0.60	-0.93	-15.33
908.4	49.51	-74.89	0.60	-0.93	-15.42
908.6	48.85	-74.19	0.60	-0.94	-15.47
908.8	48.83	-74.43	0.60	-0.94	-15.38
909	48.80	-74.31	0.60	-0.94	-15.44
909.2	48.58	-73.85	0.60	-0.95	-15.53
909.4	47.50	-72.80	0.60	-0.96	-15.63
909.6	47.91	-73.33	0.60	-0.96	-15.58
909.8	47.67	-73.06	0.60	-0.96	-15.51
910	47.16	-72.49	0.60	-0.97	-15.52
910.2	46.55	-71.70	0.60	-0.98	-15.61
910.4	46.08	-71.38	0.60	-0.99	-15.56
910.6	46.25	-71.47	0.60	-0.99	-15.57
910.8	45.70	-70.95	0.60	-0.99	-15.58
911	45.64	-71.02	0.60	-0.99	-15.55
911.2	45.04	-70.25	0.60	-1.01	-15.50
911.4	44.86	-70.13	0.60	-1.01	-15.48
911.6	44.34	-69.39	0.59	-1.02	-15.47
911.8	44.69	-70.13	0.60	-1.01	-15.37
912	43.97	-69.23	0.60	-1.02	-15.35
912.2	43.80	-68.82	0.59	-1.03	-15.31
912.4	43.41	-68.68	0.60	-1.03	-15.23
912.6	43.30	-68.79	0.60	-1.03	-15.19
912.8	42.89	-67.99	0.59	-1.04	-15.18
913	42.65	-67.58	0.59	-1.05	-15.09
913.2	42.34	-67.26	0.59	-1.06	-15.05
913.4	42.12	-67.25	0.59	-1.06	-14.93
913.6	42.08	-67.28	0.59	-1.06	-14.84
913.8	41.38	-66.26	0.59	-1.07	-14.84
914	41.31	-66.20	0.59	-1.07	-14.77
914.2	41.15	-65.96	0.59	-1.08	-14.68
914.4	40.65	-65.47	0.59	-1.09	-14.60
914.6	40.35	-65.20	0.59	-1.09	-14.50
914.8	40.69	-65.37	0.59	-1.09	-14.43
915	40.11	-64.73	0.59	-1.10	-14.37
915.2	39.90	-64.38	0.59	-1.11	-14.25
915.4	39.99	-64.40	0.59	-1.10	-14.17
915.6	39.04	-63.45	0.59	-1.12	-14.17
915.8	39.44	-63.88	0.59	-1.11	-14.01
916	39.02	-63.08	0.59	-1.13	-13.97
916.2	38.55	-62.71	0.59	-1.14	-13.88
916.4	38.49	-62.80	0.59	-1.14	-13.72
916.6	38.42	-62.76	0.59	-1.14	-13.62

916.8	37.98	-62.09	0.59	-1.15	-13.61
917	37.63	-61.64	0.59	-1.16	-13.55
917.2	37.77	-61.43	0.58	-1.16	-13.47
917.4	37.20	-60.88	0.59	-1.17	-13.37
917.6	37.22	-60.86	0.58	-1.17	-13.28
917.8	36.93	-60.71	0.59	-1.17	-13.20
918	36.84	-60.28	0.58	-1.18	-13.15
918.2	36.66	-60.03	0.58	-1.18	-13.05
918.4	36.21	-59.64	0.58	-1.19	-12.99
918.6	36.36	-59.49	0.58	-1.19	-12.93
918.8	35.63	-58.58	0.58	-1.21	-12.86
919	35.81	-58.84	0.58	-1.21	-12.75
919.2	35.50	-58.31	0.58	-1.22	-12.73
919.4	35.23	-57.97	0.58	-1.22	-12.64
919.6	35.46	-58.28	0.58	-1.22	-12.52
919.8	34.90	-57.42	0.58	-1.23	-12.47
920	34.79	-57.21	0.58	-1.24	-12.45
920.2	34.53	-56.89	0.58	-1.24	-12.37
920.4	34.46	-56.65	0.58	-1.25	-12.33
920.6	34.16	-56.53	0.58	-1.25	-12.22
920.8	34.07	-56.22	0.58	-1.26	-12.12
921	34.29	-56.13	0.58	-1.26	-12.10
921.2	33.87	-55.64	0.58	-1.27	-12.05
921.4	33.67	-55.42	0.58	-1.27	-11.98
921.6	33.30	-54.82	0.57	-1.28	-11.94
921.8	33.26	-54.80	0.57	-1.29	-11.90
922	32.90	-54.09	0.57	-1.30	-11.84
922.2	33.10	-54.18	0.57	-1.30	-11.77
922.4	32.84	-53.84	0.57	-1.30	-11.71
922.6	32.74	-53.76	0.57	-1.31	-11.63
922.8	32.77	-53.32	0.57	-1.31	-11.63
923	32.24	-52.94	0.57	-1.32	-11.56
923.2	32.36	-52.68	0.57	-1.33	-11.56
923.4	32.22	-52.71	0.57	-1.33	-11.47
923.6	31.93	-52.05	0.57	-1.34	-11.46
923.8	31.79	-51.98	0.57	-1.34	-11.36
924	31.68	-51.73	0.57	-1.35	-11.31
924.2	31.76	-51.73	0.57	-1.35	-11.26
924.4	31.59	-51.35	0.57	-1.35	-11.25
924.6	31.39	-51.05	0.57	-1.36	-11.22
924.8	31.08	-50.39	0.56	-1.37	-11.21
925	31.07	-50.48	0.56	-1.37	-11.11
925.2	30.97	-50.24	0.56	-1.38	-11.07
925.4	30.97	-50.16	0.56	-1.38	-11.06

925.6	30.60	-49.36	0.56	-1.40	-11.03
925.8	30.60	-49.27	0.56	-1.40	-11.00
926	30.60	-49.22	0.56	-1.40	-10.95
926.2	30.46	-49.08	0.56	-1.40	-10.91
926.4	30.30	-48.59	0.56	-1.41	-10.88
926.6	30.33	-48.30	0.56	-1.42	-10.86
926.8	29.98	-48.09	0.56	-1.42	-10.82
927	30.10	-48.04	0.56	-1.42	-10.80
927.2	30.11	-47.58	0.55	-1.43	-10.79
927.4	29.71	-47.21	0.55	-1.44	-10.76
927.6	29.74	-47.09	0.55	-1.44	-10.70
927.8	29.73	-46.90	0.55	-1.45	-10.70
928	29.60	-46.75	0.55	-1.45	-10.68
928.2	29.38	-46.32	0.55	-1.46	-10.66
928.4	29.43	-46.45	0.55	-1.46	-10.56
928.6	29.37	-46.01	0.55	-1.47	-10.57
928.8	28.97	-45.36	0.55	-1.48	-10.58
929	29.13	-45.39	0.55	-1.48	-10.55
929.2	28.96	-45.33	0.55	-1.48	-10.51
929.4	28.73	-44.84	0.55	-1.50	-10.50
929.6	28.84	-44.84	0.55	-1.50	-10.47
929.8	28.75	-44.52	0.55	-1.50	-10.47
930	28.65	-44.39	0.55	-1.51	-10.44
930.2	28.45	-43.92	0.54	-1.52	-10.43
930.4	28.50	-43.94	0.54	-1.52	-10.40
930.6	28.39	-43.67	0.54	-1.52	-10.38
930.8	28.37	-43.58	0.54	-1.52	-10.34
931	28.23	-43.13	0.54	-1.53	-10.38
931.2	28.05	-42.96	0.54	-1.54	-10.34
931.4	28.16	-42.92	0.54	-1.54	-10.33
931.6	27.94	-42.42	0.54	-1.55	-10.32
931.8	27.84	-42.28	0.54	-1.56	-10.29
932	27.87	-42.13	0.54	-1.56	-10.26
932.2	27.90	-42.09	0.54	-1.56	-10.28
932.4	27.57	-41.36	0.54	-1.58	-10.30
932.6	27.69	-41.41	0.53	-1.58	-10.25
932.8	27.61	-41.30	0.53	-1.58	-10.24
933	27.48	-40.88	0.53	-1.59	-10.24
933.2	27.40	-40.86	0.53	-1.59	-10.20
933.4	27.37	-40.49	0.53	-1.60	-10.24
933.6	27.28	-40.27	0.53	-1.60	-10.23
933.8	27.24	-40.07	0.53	-1.61	-10.20
934	27.13	-39.69	0.53	-1.62	-10.21
934.2	27.13	-39.71	0.53	-1.62	-10.20

934.4	27.00	-39.61	0.53	-1.62	-10.16
934.6	26.99	-39.34	0.53	-1.63	-10.16
934.8	26.84	-39.14	0.53	-1.63	-10.15
935	26.85	-39.06	0.53	-1.64	-10.13
935.2	26.80	-38.85	0.53	-1.64	-10.10
935.4	26.68	-38.63	0.53	-1.65	-10.14
935.6	26.44	-37.98	0.52	-1.67	-10.16
935.8	26.60	-38.12	0.52	-1.66	-10.14
936	26.50	-37.70	0.52	-1.67	-10.12
936.2	26.43	-37.66	0.52	-1.67	-10.11
936.4	26.52	-37.51	0.52	-1.67	-10.14
936.6	26.36	-37.20	0.52	-1.68	-10.12
936.8	26.33	-37.19	0.52	-1.68	-10.10
937	26.25	-36.96	0.52	-1.69	-10.09
937.2	26.14	-36.64	0.52	-1.70	-10.10
937.4	26.09	-36.39	0.52	-1.71	-10.11
937.6	25.98	-36.05	0.52	-1.72	-10.10
937.8	26.06	-36.41	0.52	-1.71	-10.05
938	26.06	-35.97	0.51	-1.72	-10.09
938.2	25.91	-35.88	0.51	-1.72	-10.05
938.4	25.85	-35.49	0.51	-1.73	-10.07
938.6	25.94	-35.61	0.51	-1.73	-10.08
938.8	25.80	-35.27	0.51	-1.74	-10.06
939	25.71	-34.91	0.51	-1.75	-10.07
939.2	25.69	-34.82	0.51	-1.75	-10.03
939.4	25.69	-34.83	0.51	-1.75	-10.02
939.6	25.66	-34.50	0.51	-1.76	-10.06
939.8	25.50	-34.24	0.51	-1.77	-10.04
940	25.56	-34.31	0.51	-1.76	-10.02
Mean	38.71	-58.87	0.57	-1.24	-12.52
STD	11.81	16.42	0.03	0.31	1.99

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson con el puerto 2 abierto**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma $	$\angle \Gamma$	$\Gamma - \Gamma_c$ [dB]
900	61.00	-72.94	0.56	-0.84	-17.18
900.2	60.51	-72.65	0.56	-0.85	-17.24
900.4	60.01	-72.29	0.55	-0.85	-17.29
900.6	59.34	-71.33	0.55	-0.86	-17.44
900.8	58.94	-71.40	0.55	-0.87	-17.46
901	58.52	-70.85	0.55	-0.87	-17.57
901.2	58.38	-70.70	0.55	-0.88	-17.65
901.4	58.01	-70.43	0.55	-0.88	-17.62
901.6	57.20	-69.60	0.55	-0.89	-17.81
901.8	57.02	-69.03	0.54	-0.90	-17.95
902	56.74	-69.24	0.55	-0.90	-17.94
902.2	56.64	-68.92	0.55	-0.90	-18.00
902.4	56.56	-68.66	0.54	-0.90	-18.07
902.6	55.62	-68.10	0.54	-0.92	-18.12
902.8	55.42	-67.76	0.54	-0.92	-18.25
903	55.47	-67.50	0.54	-0.92	-18.39
903.2	55.01	-67.01	0.54	-0.93	-18.45
903.4	54.46	-66.67	0.54	-0.94	-18.49
903.6	54.34	-66.10	0.54	-0.94	-18.62
903.8	53.72	-65.68	0.54	-0.95	-18.74
904	53.55	-65.56	0.54	-0.95	-18.74
904.2	53.43	-65.54	0.54	-0.95	-18.79
904.4	53.01	-65.01	0.53	-0.96	-18.89
904.6	52.81	-64.52	0.53	-0.97	-18.88
904.8	52.22	-63.79	0.53	-0.98	-19.10
905	52.21	-63.95	0.53	-0.98	-19.11
905.2	51.72	-63.56	0.53	-0.99	-19.15
905.4	51.76	-63.38	0.53	-0.99	-19.14
905.6	51.54	-63.05	0.53	-0.99	-19.16
905.8	51.05	-62.55	0.53	-1.00	-19.22
906	51.13	-62.58	0.53	-1.00	-19.27
906.2	50.63	-61.86	0.52	-1.01	-19.29
906.4	50.53	-62.03	0.53	-1.01	-19.26
906.6	50.30	-61.33	0.52	-1.02	-19.36
906.8	49.88	-61.24	0.52	-1.02	-19.29
907	49.93	-61.08	0.52	-1.02	-19.32
907.2	49.16	-60.21	0.52	-1.04	-19.31
907.4	49.49	-60.47	0.52	-1.03	-19.22
907.6	49.57	-60.63	0.52	-1.03	-19.10
907.8	48.74	-59.64	0.52	-1.05	-19.09

908	49.01	-59.70	0.52	-1.05	-19.08
908.2	48.43	-59.29	0.52	-1.06	-19.02
908.4	48.24	-58.79	0.51	-1.06	-19.02
908.6	47.85	-58.33	0.51	-1.07	-18.91
908.8	47.85	-58.39	0.51	-1.07	-18.74
909	47.91	-58.30	0.51	-1.07	-18.65
909.2	47.72	-57.88	0.51	-1.08	-18.62
909.4	47.03	-57.23	0.51	-1.09	-18.52
909.6	47.29	-57.42	0.51	-1.09	-18.40
909.8	47.18	-57.22	0.51	-1.09	-18.21
910	46.84	-56.82	0.51	-1.10	-18.10
910.2	46.46	-56.32	0.51	-1.11	-17.98
910.4	46.06	-56.00	0.50	-1.11	-17.85
910.6	46.30	-55.99	0.50	-1.11	-17.72
910.8	45.95	-55.71	0.50	-1.12	-17.56
911	45.92	-55.67	0.50	-1.12	-17.42
911.2	45.46	-55.10	0.50	-1.13	-17.29
911.4	45.45	-55.05	0.50	-1.13	-17.11
911.6	45.04	-54.49	0.50	-1.14	-16.98
911.8	45.32	-54.87	0.50	-1.13	-16.82
912	44.86	-54.32	0.50	-1.15	-16.68
912.2	44.82	-54.07	0.50	-1.15	-16.50
912.4	44.44	-53.80	0.50	-1.16	-16.38
912.6	44.43	-53.88	0.50	-1.16	-16.23
912.8	44.17	-53.39	0.50	-1.16	-16.09
913	44.02	-53.07	0.49	-1.17	-15.95
913.2	43.90	-52.92	0.49	-1.17	-15.79
913.4	43.70	-52.81	0.49	-1.18	-15.64
913.6	43.73	-52.81	0.49	-1.18	-15.49
913.8	43.16	-52.14	0.49	-1.19	-15.41
914	43.16	-52.05	0.49	-1.19	-15.26
914.2	43.12	-51.92	0.49	-1.19	-15.11
914.4	42.65	-51.45	0.49	-1.21	-15.02
914.6	42.58	-51.42	0.49	-1.21	-14.84
914.8	42.86	-51.48	0.49	-1.20	-14.73
915	42.40	-51.03	0.49	-1.21	-14.62
915.2	42.24	-50.74	0.49	-1.22	-14.49
915.4	42.38	-50.74	0.49	-1.22	-14.36
915.6	41.65	-50.18	0.49	-1.24	-14.27
915.8	42.00	-50.41	0.49	-1.23	-14.14
916	41.57	-49.76	0.48	-1.24	-14.09
916.2	41.33	-49.54	0.48	-1.25	-13.95
916.4	41.31	-49.64	0.48	-1.25	-13.80
916.6	41.28	-49.62	0.48	-1.25	-13.69

916.8	40.91	-49.08	0.48	-1.26	-13.63
917	40.69	-48.87	0.48	-1.27	-13.53
917.2	40.79	-48.64	0.48	-1.27	-13.44
917.4	40.40	-48.34	0.48	-1.28	-13.34
917.6	40.41	-48.26	0.48	-1.28	-13.25
917.8	40.21	-48.21	0.48	-1.28	-13.14
918	40.14	-47.86	0.48	-1.29	-13.09
918.2	39.99	-47.71	0.48	-1.29	-13.00
918.4	39.68	-47.46	0.48	-1.30	-12.90
918.6	39.79	-47.29	0.48	-1.30	-12.85
918.8	39.19	-46.70	0.48	-1.32	-12.77
919	39.35	-46.83	0.48	-1.31	-12.67
919.2	39.15	-46.51	0.48	-1.32	-12.62
919.4	38.91	-46.26	0.47	-1.33	-12.54
919.6	39.10	-46.41	0.47	-1.32	-12.46
919.8	38.66	-45.88	0.47	-1.34	-12.40
920	38.55	-45.65	0.47	-1.34	-12.36
920.2	38.30	-45.40	0.47	-1.35	-12.30
920.4	38.29	-45.26	0.47	-1.35	-12.24
920.6	38.07	-45.21	0.47	-1.36	-12.14
920.8	38.00	-44.97	0.47	-1.36	-12.07
921	38.20	-44.89	0.47	-1.36	-12.04
921.2	37.84	-44.53	0.47	-1.37	-11.99
921.4	37.68	-44.37	0.47	-1.37	-11.92
921.6	37.34	-43.89	0.47	-1.39	-11.88
921.8	37.36	-43.93	0.47	-1.39	-11.83
922	37.03	-43.44	0.47	-1.40	-11.77
922.2	37.20	-43.41	0.46	-1.40	-11.73
922.4	37.03	-43.24	0.46	-1.40	-11.67
922.6	36.91	-43.14	0.46	-1.41	-11.61
922.8	36.90	-42.76	0.46	-1.41	-11.61
923	36.54	-42.56	0.46	-1.42	-11.52
923.2	36.60	-42.33	0.46	-1.42	-11.52
923.4	36.52	-42.33	0.46	-1.42	-11.44
923.6	36.23	-41.83	0.46	-1.44	-11.44
923.8	36.13	-41.77	0.46	-1.44	-11.36
924	36.04	-41.58	0.46	-1.45	-11.32
924.2	36.15	-41.56	0.46	-1.44	-11.27
924.4	35.95	-41.19	0.46	-1.45	-11.27
924.6	35.82	-41.08	0.46	-1.46	-11.22
924.8	35.52	-40.56	0.46	-1.47	-11.21
925	35.59	-40.68	0.46	-1.47	-11.12
925.2	35.47	-40.42	0.45	-1.47	-11.10
925.4	35.50	-40.35	0.45	-1.48	-11.07

925.6	35.17	-39.76	0.45	-1.49	-11.05
925.8	35.17	-39.66	0.45	-1.49	-11.03
926	35.19	-39.57	0.45	-1.49	-10.99
926.2	35.11	-39.52	0.45	-1.50	-10.94
926.4	34.96	-39.13	0.45	-1.51	-10.92
926.6	34.94	-38.83	0.45	-1.51	-10.93
926.8	34.65	-38.70	0.45	-1.52	-10.88
927	34.79	-38.64	0.45	-1.52	-10.86
927.2	34.79	-38.32	0.44	-1.52	-10.85
927.4	34.52	-38.09	0.44	-1.53	-10.80
927.6	34.47	-37.89	0.44	-1.54	-10.79
927.8	34.46	-37.68	0.44	-1.54	-10.79
928	34.41	-37.64	0.44	-1.54	-10.75
928.2	34.21	-37.31	0.44	-1.55	-10.72
928.4	34.31	-37.40	0.44	-1.55	-10.65
928.6	34.25	-37.06	0.44	-1.56	-10.65
928.8	33.91	-36.62	0.44	-1.57	-10.64
929	34.02	-36.54	0.44	-1.57	-10.64
929.2	33.92	-36.54	0.44	-1.58	-10.59
929.4	33.72	-36.13	0.43	-1.59	-10.59
929.6	33.84	-36.15	0.43	-1.58	-10.55
929.8	33.79	-35.91	0.43	-1.59	-10.55
930	33.72	-35.81	0.43	-1.59	-10.51
930.2	33.52	-35.41	0.43	-1.61	-10.51
930.4	33.62	-35.45	0.43	-1.60	-10.48
930.6	33.52	-35.25	0.43	-1.61	-10.46
930.8	33.48	-35.08	0.43	-1.61	-10.46
931	33.41	-34.81	0.43	-1.62	-10.45
931.2	33.26	-34.61	0.43	-1.63	-10.43
931.4	33.40	-34.63	0.43	-1.62	-10.40
931.6	33.21	-34.28	0.42	-1.64	-10.39
931.8	33.15	-34.16	0.42	-1.64	-10.37
932	33.15	-33.93	0.42	-1.64	-10.37
932.2	33.22	-33.95	0.42	-1.64	-10.35
932.4	32.92	-33.43	0.42	-1.66	-10.37
932.6	33.07	-33.48	0.42	-1.66	-10.32
932.8	33.04	-33.40	0.42	-1.66	-10.30
933	32.89	-33.05	0.42	-1.67	-10.32
933.2	32.86	-33.06	0.42	-1.67	-10.27
933.4	32.84	-32.81	0.42	-1.68	-10.28
933.6	32.77	-32.60	0.41	-1.68	-10.28
933.8	32.76	-32.47	0.41	-1.69	-10.25
934	32.66	-32.23	0.41	-1.69	-10.25
934.2	32.68	-32.18	0.41	-1.69	-10.25

934.4	32.60	-32.14	0.41	-1.70	-10.20
934.6	32.60	-31.94	0.41	-1.70	-10.20
934.8	32.48	-31.84	0.41	-1.71	-10.18
935	32.52	-31.73	0.41	-1.71	-10.17
935.2	32.42	-31.52	0.41	-1.71	-10.17
935.4	32.36	-31.39	0.41	-1.72	-10.17
935.6	32.14	-30.97	0.41	-1.73	-10.17
935.8	32.30	-31.08	0.41	-1.73	-10.15
936	32.18	-30.72	0.40	-1.74	-10.15
936.2	32.17	-30.78	0.41	-1.74	-10.11
936.4	32.25	-30.64	0.40	-1.74	-10.14
936.6	32.09	-30.40	0.40	-1.75	-10.13
936.8	32.07	-30.39	0.40	-1.75	-10.11
937	32.02	-30.26	0.40	-1.75	-10.09
937.2	31.89	-29.97	0.40	-1.76	-10.11
937.4	31.84	-29.81	0.40	-1.77	-10.11
937.6	31.73	-29.58	0.40	-1.78	-10.09
937.8	31.84	-29.83	0.40	-1.77	-10.05
938	31.81	-29.50	0.40	-1.78	-10.09
938.2	31.69	-29.48	0.40	-1.78	-10.04
938.4	31.62	-29.18	0.40	-1.79	-10.05
938.6	31.70	-29.22	0.40	-1.79	-10.07
938.8	31.58	-29.02	0.40	-1.80	-10.04
939	31.46	-28.73	0.40	-1.81	-10.06
939.2	31.44	-28.65	0.40	-1.81	-10.03
939.4	31.46	-28.68	0.40	-1.81	-10.01
939.6	31.44	-28.45	0.39	-1.81	-10.03
939.8	31.27	-28.26	0.39	-1.82	-10.01
940	31.33	-28.30	0.39	-1.82	-10.00
Mean	40.89	-46.94	0.47	-1.34	-13.72
STD	8.20	12.69	0.05	0.29	3.43

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson con el puerto 3 abierto**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma $	$\angle \Gamma$	$\Gamma - \Gamma_c$ [dB]
900	112.80	-96.29	0.61	-0.46	-8.77
900.2	111.40	-98.11	0.61	-0.47	-8.76
900.4	109.90	-99.82	0.62	-0.47	-8.74
900.6	107.50	-100.30	0.62	-0.48	-8.79
900.8	106.30	-102.70	0.63	-0.49	-8.74
901	104.60	-103.70	0.63	-0.50	-8.76
901.2	103.00	-105.10	0.63	-0.50	-8.80
901.4	100.70	-106.20	0.64	-0.51	-8.81
901.6	97.92	-106.80	0.64	-0.52	-8.85
901.8	96.00	-107.00	0.64	-0.53	-8.93
902	94.38	-109.10	0.65	-0.54	-8.89
902.2	92.56	-109.70	0.65	-0.55	-8.94
902.4	91.05	-110.20	0.66	-0.55	-8.99
902.6	86.86	-110.10	0.66	-0.57	-9.05
902.8	85.21	-110.60	0.66	-0.58	-9.10
903	83.83	-110.60	0.67	-0.58	-9.21
903.2	81.35	-110.30	0.67	-0.60	-9.26
903.4	78.56	-110.30	0.67	-0.61	-9.30
903.6	77.07	-109.50	0.67	-0.62	-9.41
903.8	74.44	-109.30	0.68	-0.63	-9.47
904	72.15	-108.80	0.68	-0.64	-9.58
904.2	70.71	-109.10	0.68	-0.65	-9.64
904.4	68.55	-108.00	0.68	-0.66	-9.75
904.6	66.74	-106.90	0.68	-0.67	-9.84
904.8	64.62	-105.20	0.68	-0.69	-10.03
905	63.58	-105.70	0.69	-0.69	-10.06
905.2	61.31	-104.50	0.69	-0.71	-10.19
905.4	60.33	-103.80	0.69	-0.72	-10.31
905.6	59.08	-103.00	0.69	-0.73	-10.40
905.8	57.35	-101.70	0.69	-0.74	-10.52
906	56.50	-101.30	0.69	-0.75	-10.68
906.2	54.75	-99.21	0.69	-0.77	-10.86
906.4	53.77	-99.27	0.69	-0.77	-10.94
906.6	52.79	-97.45	0.69	-0.78	-11.16
906.8	51.48	-96.90	0.69	-0.79	-11.22
907	51.03	-96.34	0.69	-0.80	-11.37
907.2	49.22	-94.06	0.69	-0.82	-11.55
907.4	49.08	-94.13	0.69	-0.82	-11.68
907.6	48.54	-93.92	0.69	-0.83	-11.79
907.8	47.02	-91.61	0.69	-0.85	-11.94

908	47.01	-91.41	0.69	-0.85	-12.13
908.2	45.71	-90.01	0.69	-0.86	-12.31
908.4	45.28	-88.98	0.68	-0.87	-12.46
908.6	44.44	-87.66	0.68	-0.89	-12.60
908.8	43.87	-87.04	0.68	-0.89	-12.77
909	43.63	-86.48	0.68	-0.90	-12.95
909.2	43.28	-85.45	0.68	-0.91	-13.16
909.4	42.22	-83.94	0.68	-0.93	-13.29
909.6	42.24	-84.07	0.68	-0.92	-13.43
909.8	41.87	-83.19	0.67	-0.93	-13.55
910	41.32	-82.13	0.67	-0.94	-13.67
910.2	40.60	-80.68	0.67	-0.96	-13.92
910.4	40.03	-79.76	0.67	-0.97	-14.06
910.6	40.26	-79.73	0.67	-0.97	-14.13
910.8	39.55	-78.63	0.67	-0.98	-14.33
911	39.39	-78.17	0.66	-0.99	-14.51
911.2	38.83	-77.02	0.66	-1.00	-14.57
911.4	38.63	-76.50	0.66	-1.01	-14.71
911.6	38.19	-75.39	0.66	-1.02	-14.81
911.8	38.34	-75.76	0.66	-1.02	-14.92
912	37.76	-74.40	0.66	-1.03	-15.04
912.2	37.64	-73.74	0.65	-1.04	-15.11
912.4	37.21	-73.08	0.65	-1.05	-15.22
912.6	37.10	-73.06	0.65	-1.05	-15.27
912.8	36.85	-72.00	0.65	-1.06	-15.34
913	36.72	-71.31	0.65	-1.07	-15.35
913.2	36.41	-70.65	0.64	-1.08	-15.46
913.4	36.14	-70.19	0.64	-1.08	-15.52
913.6	36.22	-70.07	0.64	-1.08	-15.49
913.8	35.67	-68.81	0.64	-1.10	-15.55
914	35.61	-68.45	0.64	-1.10	-15.61
914.2	35.61	-68.11	0.64	-1.11	-15.54
914.4	35.13	-67.18	0.63	-1.12	-15.62
914.6	34.89	-66.72	0.63	-1.13	-15.57
914.8	35.32	-66.86	0.63	-1.12	-15.51
915	34.81	-65.86	0.63	-1.14	-15.57
915.2	34.70	-65.41	0.63	-1.14	-15.45
915.4	34.81	-65.13	0.63	-1.15	-15.48
915.6	34.12	-64.18	0.62	-1.16	-15.42
915.8	34.49	-64.41	0.62	-1.16	-15.32
916	34.21	-63.40	0.62	-1.17	-15.32
916.2	33.88	-62.81	0.62	-1.18	-15.26
916.4	33.77	-62.65	0.62	-1.18	-15.18
916.6	33.77	-62.50	0.62	-1.18	-15.07

916.8	33.50	-61.68	0.62	-1.20	-15.09
917	33.29	-61.21	0.61	-1.20	-15.00
917.2	33.47	-60.81	0.61	-1.21	-14.96
917.4	33.02	-60.11	0.61	-1.22	-14.86
917.6	33.11	-60.02	0.61	-1.22	-14.75
917.8	32.88	-59.77	0.61	-1.23	-14.68
918	32.95	-59.24	0.60	-1.23	-14.61
918.2	32.78	-58.89	0.60	-1.24	-14.53
918.4	32.48	-58.39	0.60	-1.25	-14.45
918.6	32.69	-58.18	0.60	-1.25	-14.38
918.8	32.10	-57.14	0.60	-1.27	-14.32
919	32.31	-57.32	0.60	-1.26	-14.19
919.2	32.16	-56.75	0.60	-1.27	-14.14
919.4	31.94	-56.23	0.59	-1.28	-14.08
919.6	32.15	-56.42	0.59	-1.28	-13.97
919.8	31.74	-55.54	0.59	-1.29	-13.90
920	31.73	-55.24	0.59	-1.30	-13.86
920.2	31.52	-54.84	0.59	-1.30	-13.79
920.4	31.59	-54.64	0.59	-1.31	-13.69
920.6	31.34	-54.42	0.59	-1.31	-13.57
920.8	31.30	-54.06	0.59	-1.32	-13.47
921	31.58	-53.91	0.58	-1.32	-13.44
921.2	31.22	-53.32	0.58	-1.33	-13.40
921.4	31.10	-53.03	0.58	-1.33	-13.32
921.6	30.80	-52.33	0.58	-1.35	-13.29
921.8	30.90	-52.40	0.58	-1.35	-13.18
922	30.60	-51.68	0.58	-1.36	-13.11
922.2	30.79	-51.62	0.57	-1.36	-13.07
922.4	30.63	-51.26	0.57	-1.37	-12.99
922.6	30.56	-51.09	0.57	-1.37	-12.91
922.8	30.66	-50.68	0.57	-1.37	-12.88
923	30.24	-50.18	0.57	-1.39	-12.82
923.2	30.40	-49.99	0.57	-1.39	-12.79
923.4	30.35	-50.01	0.57	-1.39	-12.66
923.6	30.15	-49.34	0.57	-1.40	-12.64
923.8	30.02	-49.16	0.57	-1.41	-12.56
924	29.95	-48.84	0.56	-1.41	-12.51
924.2	30.08	-48.75	0.56	-1.41	-12.46
924.4	29.96	-48.40	0.56	-1.42	-12.44
924.6	29.81	-48.01	0.56	-1.43	-12.42
924.8	29.61	-47.48	0.56	-1.44	-12.36
925	29.64	-47.48	0.56	-1.44	-12.26
925.2	29.58	-47.21	0.56	-1.44	-12.21
925.4	29.65	-47.07	0.55	-1.45	-12.19

925.6	29.36	-46.31	0.55	-1.46	-12.15
925.8	29.39	-46.19	0.55	-1.46	-12.12
926	29.43	-46.08	0.55	-1.47	-12.07
926.2	29.33	-45.90	0.55	-1.47	-12.02
926.4	29.25	-45.43	0.55	-1.48	-11.97
926.6	29.29	-45.10	0.54	-1.48	-11.96
926.8	29.02	-44.88	0.55	-1.49	-11.91
927	29.17	-44.80	0.54	-1.49	-11.89
927.2	29.23	-44.37	0.54	-1.50	-11.86
927.4	28.91	-43.93	0.54	-1.51	-11.84
927.6	28.93	-43.77	0.54	-1.51	-11.79
927.8	28.99	-43.59	0.54	-1.52	-11.76
928	28.92	-43.46	0.54	-1.52	-11.73
928.2	28.76	-43.05	0.53	-1.53	-11.69
928.4	28.88	-43.14	0.53	-1.53	-11.58
928.6	28.84	-42.64	0.53	-1.54	-11.60
928.8	28.50	-42.01	0.53	-1.55	-11.61
929	28.65	-41.99	0.53	-1.55	-11.59
929.2	28.58	-41.97	0.53	-1.55	-11.51
929.4	28.41	-41.45	0.53	-1.57	-11.50
929.6	28.53	-41.45	0.53	-1.56	-11.46
929.8	28.54	-41.17	0.52	-1.57	-11.43
930	28.45	-41.01	0.52	-1.57	-11.40
930.2	28.29	-40.50	0.52	-1.59	-11.41
930.4	28.42	-40.57	0.52	-1.58	-11.34
930.6	28.32	-40.26	0.52	-1.59	-11.34
930.8	28.32	-40.07	0.52	-1.59	-11.32
931	28.29	-39.72	0.52	-1.60	-11.31
931.2	28.18	-39.60	0.52	-1.61	-11.24
931.4	28.29	-39.53	0.51	-1.61	-11.24
931.6	28.13	-39.04	0.51	-1.62	-11.22
931.8	28.09	-38.90	0.51	-1.62	-11.18
932	28.09	-38.60	0.51	-1.63	-11.20
932.2	28.20	-38.67	0.51	-1.63	-11.16
932.4	27.93	-37.98	0.51	-1.64	-11.18
932.6	28.05	-38.01	0.51	-1.64	-11.13
932.8	28.07	-37.95	0.50	-1.64	-11.08
933	27.96	-37.50	0.50	-1.65	-11.10
933.2	27.90	-37.48	0.50	-1.66	-11.06
933.4	27.95	-37.20	0.50	-1.66	-11.05
933.6	27.87	-36.91	0.50	-1.67	-11.06
933.8	27.87	-36.75	0.50	-1.67	-11.02
934	27.80	-36.38	0.50	-1.68	-11.02
934.2	27.84	-36.41	0.50	-1.68	-11.00

934.4	27.73	-36.30	0.50	-1.68	-10.96
934.6	27.76	-36.01	0.49	-1.69	-10.96
934.8	27.67	-35.87	0.49	-1.70	-10.92
935	27.70	-35.75	0.49	-1.70	-10.91
935.2	27.64	-35.50	0.49	-1.70	-10.91
935.4	27.60	-35.37	0.49	-1.71	-10.89
935.6	27.41	-34.85	0.49	-1.72	-10.89
935.8	27.60	-35.00	0.49	-1.72	-10.84
936	27.49	-34.53	0.49	-1.73	-10.85
936.2	27.47	-34.56	0.49	-1.73	-10.81
936.4	27.56	-34.34	0.48	-1.73	-10.86
936.6	27.44	-34.07	0.48	-1.74	-10.83
936.8	27.43	-34.06	0.48	-1.74	-10.80
937	27.37	-33.84	0.48	-1.75	-10.79
937.2	27.30	-33.58	0.48	-1.76	-10.79
937.4	27.26	-33.37	0.48	-1.76	-10.78
937.6	27.16	-33.06	0.48	-1.77	-10.77
937.8	27.28	-33.40	0.48	-1.76	-10.70
938	27.28	-32.97	0.48	-1.77	-10.75
938.2	27.14	-32.87	0.48	-1.78	-10.72
938.4	27.13	-32.56	0.48	-1.78	-10.70
938.6	27.20	-32.62	0.47	-1.78	-10.73
938.8	27.10	-32.37	0.47	-1.79	-10.69
939	27.04	-32.08	0.47	-1.80	-10.67
939.2	27.01	-31.94	0.47	-1.80	-10.65
939.4	27.01	-31.90	0.47	-1.80	-10.65
939.6	27.01	-31.61	0.47	-1.81	-10.68
939.8	26.89	-31.43	0.47	-1.82	-10.63
940	26.92	-31.42	0.47	-1.82	-10.65
Mean	40.64	-62.60	0.59	-1.24	-12.17
STD	20.60	25.23	0.07	0.39	1.95

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson con el puerto 4 abierto**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma $	$\angle \Gamma$	$\Gamma - \Gamma_c$ [dB]
900	78.01	-72.01	0.53	-0.69	-13.07
900.2	77.66	-71.75	0.53	-0.69	-13.05
900.4	77.37	-71.57	0.52	-0.69	-13.01
900.6	76.75	-70.74	0.52	-0.70	-13.04
900.8	76.62	-70.95	0.52	-0.70	-12.98
901	76.17	-70.42	0.52	-0.71	-13.02
901.2	76.42	-70.36	0.52	-0.70	-12.98
901.4	76.11	-70.13	0.52	-0.71	-12.93
901.6	75.27	-69.51	0.52	-0.72	-12.98
901.8	75.40	-69.10	0.51	-0.72	-12.96
902	75.34	-69.37	0.52	-0.72	-12.90
902.2	75.49	-69.08	0.51	-0.71	-12.87
902.4	75.88	-69.00	0.51	-0.71	-12.80
902.6	74.69	-68.62	0.51	-0.72	-12.81
902.8	74.80	-68.46	0.51	-0.72	-12.79
903	75.14	-68.19	0.51	-0.72	-12.80
903.2	74.89	-67.88	0.51	-0.72	-12.74
903.4	74.46	-67.87	0.51	-0.73	-12.70
903.6	74.59	-67.35	0.51	-0.73	-12.68
903.8	74.26	-67.33	0.51	-0.73	-12.63
904	74.27	-67.31	0.51	-0.73	-12.58
904.2	74.47	-67.50	0.51	-0.73	-12.53
904.4	74.37	-67.27	0.51	-0.73	-12.47
904.6	74.20	-66.87	0.50	-0.73	-12.43
904.8	73.85	-66.53	0.50	-0.73	-12.41
905	74.21	-66.89	0.50	-0.73	-12.35
905.2	74.02	-66.92	0.50	-0.73	-12.26
905.4	74.11	-66.81	0.50	-0.73	-12.24
905.6	74.18	-66.75	0.50	-0.73	-12.17
905.8	74.00	-66.68	0.50	-0.73	-12.09
906	74.61	-67.03	0.50	-0.73	-12.02
906.2	73.96	-66.67	0.50	-0.73	-11.99
906.4	74.41	-67.24	0.51	-0.73	-11.88
906.6	74.41	-66.87	0.50	-0.73	-11.85
906.8	74.18	-67.35	0.51	-0.73	-11.75
907	74.67	-67.49	0.51	-0.72	-11.69
907.2	73.80	-67.23	0.51	-0.73	-11.61
907.4	74.77	-67.84	0.51	-0.72	-11.51
907.6	75.35	-68.39	0.51	-0.72	-11.39
907.8	74.12	-68.09	0.51	-0.73	-11.34

908	75.12	-68.61	0.51	-0.72	-11.26
908.2	74.55	-68.96	0.51	-0.72	-11.17
908.4	74.44	-68.98	0.51	-0.72	-11.13
908.6	74.00	-69.22	0.52	-0.73	-11.04
908.8	74.43	-69.91	0.52	-0.72	-10.91
909	74.82	-70.42	0.52	-0.72	-10.83
909.2	74.71	-70.70	0.52	-0.72	-10.79
909.4	73.71	-70.88	0.52	-0.73	-10.70
909.6	74.58	-71.86	0.53	-0.72	-10.60
909.8	74.49	-72.43	0.53	-0.72	-10.49
910	73.93	-72.79	0.53	-0.72	-10.41
910.2	73.04	-73.02	0.54	-0.73	-10.38
910.4	72.62	-73.70	0.54	-0.73	-10.26
910.6	73.07	-74.46	0.54	-0.73	-10.20
910.8	72.37	-75.12	0.55	-0.73	-10.11
911	72.39	-76.11	0.55	-0.73	-10.02
911.2	71.32	-76.41	0.55	-0.74	-9.94
911.4	71.09	-77.29	0.56	-0.74	-9.86
911.6	69.90	-77.50	0.56	-0.75	-9.82
911.8	70.56	-79.16	0.57	-0.74	-9.72
912	69.00	-79.29	0.57	-0.75	-9.67
912.2	68.46	-79.89	0.57	-0.75	-9.60
912.4	67.47	-80.76	0.58	-0.76	-9.53
912.6	67.23	-82.00	0.59	-0.75	-9.44
912.8	65.82	-81.95	0.59	-0.76	-9.43
913	64.64	-82.25	0.59	-0.77	-9.40
913.2	63.75	-82.90	0.60	-0.78	-9.33
913.4	62.67	-83.62	0.60	-0.78	-9.28
913.6	61.98	-84.42	0.61	-0.78	-9.24
913.8	59.83	-83.92	0.61	-0.80	-9.25
914	59.04	-84.57	0.62	-0.81	-9.21
914.2	58.04	-84.98	0.62	-0.81	-9.17
914.4	56.26	-84.75	0.63	-0.82	-9.17
914.6	54.95	-84.97	0.63	-0.83	-9.13
914.8	54.62	-85.59	0.63	-0.83	-9.13
915	52.76	-85.08	0.64	-0.85	-9.14
915.2	51.46	-84.90	0.64	-0.86	-9.12
915.4	50.66	-85.07	0.65	-0.86	-9.15
915.6	48.28	-83.94	0.65	-0.88	-9.19
915.8	47.98	-84.66	0.65	-0.88	-9.16
916	46.45	-83.51	0.66	-0.90	-9.22
916.2	44.95	-82.87	0.66	-0.91	-9.24
916.4	43.99	-83.01	0.66	-0.92	-9.21
916.6	42.98	-82.77	0.67	-0.93	-9.24

916.8	41.71	-81.69	0.67	-0.94	-9.32
917	40.55	-81.04	0.67	-0.96	-9.34
917.2	39.93	-80.33	0.67	-0.97	-9.43
917.4	38.56	-79.32	0.67	-0.98	-9.44
917.6	38.00	-79.01	0.68	-0.99	-9.47
917.8	36.99	-78.59	0.68	-1.00	-9.50
918	36.33	-77.37	0.68	-1.02	-9.63
918.2	35.63	-76.89	0.68	-1.02	-9.63
918.4	34.52	-75.76	0.68	-1.04	-9.72
918.6	34.37	-75.43	0.68	-1.05	-9.75
918.8	33.10	-73.77	0.68	-1.07	-9.81
919	32.84	-73.67	0.68	-1.07	-9.86
919.2	32.24	-72.56	0.68	-1.09	-9.95
919.4	31.65	-71.67	0.68	-1.10	-10.00
919.6	31.48	-71.67	0.68	-1.10	-10.04
919.8	30.68	-70.20	0.68	-1.12	-10.09
920	30.32	-69.51	0.68	-1.13	-10.19
920.2	29.82	-68.66	0.68	-1.15	-10.25
920.4	29.59	-68.08	0.68	-1.15	-10.31
920.6	29.08	-67.55	0.68	-1.16	-10.31
920.8	28.82	-66.73	0.68	-1.18	-10.36
921	28.93	-66.28	0.67	-1.18	-10.46
921.2	28.37	-65.33	0.67	-1.20	-10.51
921.4	28.07	-64.74	0.67	-1.21	-10.54
921.6	27.63	-63.58	0.67	-1.22	-10.62
921.8	27.55	-63.37	0.67	-1.23	-10.65
922	27.11	-62.15	0.67	-1.25	-10.71
922.2	27.30	-62.04	0.67	-1.25	-10.72
922.4	26.97	-61.24	0.67	-1.26	-10.77
922.6	26.81	-60.82	0.66	-1.27	-10.81
922.8	26.86	-60.06	0.66	-1.28	-10.89
923	26.36	-59.35	0.66	-1.29	-10.87
923.2	26.52	-58.89	0.66	-1.29	-10.95
923.4	26.31	-58.60	0.66	-1.30	-10.95
923.6	26.10	-57.67	0.65	-1.32	-10.99
923.8	25.93	-57.28	0.65	-1.32	-10.99
924	25.81	-56.67	0.65	-1.33	-11.04
924.2	25.93	-56.44	0.65	-1.34	-11.05
924.4	25.83	-55.87	0.65	-1.34	-11.09
924.6	25.63	-55.33	0.65	-1.35	-11.13
924.8	25.43	-54.43	0.64	-1.37	-11.16
925	25.46	-54.30	0.64	-1.37	-11.12
925.2	25.37	-53.86	0.64	-1.38	-11.14
925.4	25.43	-53.60	0.64	-1.38	-11.18

925.6	25.22	-52.58	0.63	-1.40	-11.17
925.8	25.22	-52.25	0.63	-1.41	-11.22
926	25.23	-51.97	0.63	-1.41	-11.24
926.2	25.17	-51.66	0.63	-1.42	-11.23
926.4	25.11	-51.05	0.63	-1.43	-11.22
926.6	25.20	-50.56	0.62	-1.44	-11.26
926.8	24.89	-50.12	0.62	-1.45	-11.28
927	25.12	-50.07	0.62	-1.44	-11.24
927.2	25.19	-49.38	0.61	-1.46	-11.30
927.4	24.90	-48.82	0.61	-1.47	-11.30
927.6	24.97	-48.53	0.61	-1.47	-11.28
927.8	25.05	-48.29	0.61	-1.48	-11.28
928	24.95	-47.97	0.61	-1.48	-11.31
928.2	24.85	-47.45	0.61	-1.49	-11.29
928.4	24.94	-47.39	0.60	-1.49	-11.24
928.6	24.97	-46.84	0.60	-1.50	-11.27
928.8	24.70	-46.12	0.60	-1.52	-11.27
929	24.86	-45.94	0.60	-1.52	-11.32
929.2	24.80	-45.92	0.60	-1.52	-11.23
929.4	24.66	-45.19	0.59	-1.54	-11.28
929.6	24.80	-45.13	0.59	-1.54	-11.26
929.8	24.82	-44.76	0.59	-1.54	-11.26
930	24.79	-44.58	0.59	-1.55	-11.22
930.2	24.67	-43.93	0.59	-1.56	-11.26
930.4	24.79	-43.89	0.58	-1.56	-11.23
930.6	24.75	-43.56	0.58	-1.57	-11.22
930.8	24.76	-43.31	0.58	-1.57	-11.22
931	24.76	-42.86	0.58	-1.58	-11.24
931.2	24.68	-42.67	0.58	-1.59	-11.17
931.4	24.82	-42.51	0.57	-1.59	-11.21
931.6	24.67	-41.93	0.57	-1.60	-11.20
931.8	24.67	-41.73	0.57	-1.61	-11.18
932	24.75	-41.45	0.57	-1.61	-11.18
932.2	24.84	-41.40	0.57	-1.61	-11.18
932.4	24.62	-40.62	0.56	-1.63	-11.22
932.6	24.77	-40.64	0.56	-1.63	-11.15
932.8	24.78	-40.45	0.56	-1.63	-11.15
933	24.73	-39.96	0.56	-1.64	-11.16
933.2	24.69	-39.87	0.56	-1.65	-11.14
933.4	24.76	-39.58	0.55	-1.65	-11.13
933.6	24.73	-39.29	0.55	-1.66	-11.13
933.8	24.77	-39.01	0.55	-1.66	-11.11
934	24.70	-38.60	0.55	-1.67	-11.12
934.2	24.79	-38.64	0.55	-1.67	-11.08

934.4	24.71	-38.49	0.55	-1.68	-11.05
934.6	24.74	-38.17	0.55	-1.68	-11.06
934.8	24.67	-37.91	0.54	-1.69	-11.05
935	24.74	-37.84	0.54	-1.69	-11.02
935.2	24.72	-37.54	0.54	-1.70	-11.01
935.4	24.69	-37.35	0.54	-1.70	-11.02
935.6	24.54	-36.76	0.54	-1.72	-11.01
935.8	24.73	-36.84	0.54	-1.71	-11.00
936	24.68	-36.36	0.53	-1.73	-10.99
936.2	24.65	-36.35	0.53	-1.73	-10.96
936.4	24.80	-36.22	0.53	-1.73	-10.97
936.6	24.70	-35.82	0.53	-1.74	-10.98
936.8	24.70	-35.79	0.53	-1.74	-10.95
937	24.67	-35.56	0.53	-1.75	-10.94
937.2	24.63	-35.27	0.53	-1.75	-10.93
937.4	24.63	-35.01	0.52	-1.76	-10.93
937.6	24.54	-34.60	0.52	-1.77	-10.95
937.8	24.64	-34.99	0.52	-1.76	-10.86
938	24.69	-34.50	0.52	-1.77	-10.92
938.2	24.58	-34.46	0.52	-1.77	-10.85
938.4	24.56	-34.05	0.52	-1.78	-10.88
938.6	24.68	-34.14	0.52	-1.78	-10.88
938.8	24.60	-33.84	0.52	-1.79	-10.84
939	24.54	-33.48	0.51	-1.80	-10.85
939.2	24.54	-33.29	0.51	-1.80	-10.84
939.4	24.56	-33.33	0.51	-1.80	-10.81
939.6	24.60	-33.04	0.51	-1.81	-10.83
939.8	24.47	-32.75	0.51	-1.82	-10.81
940	24.54	-32.79	0.51	-1.82	-10.80
Mean	44.61	-60.29	0.58	-1.16	-10.94
STD	22.09	16.28	0.06	0.40	1.03

**Muestras de atenuación en reflexión para el divisor
Wilkinson sin cargas**

Freq [MHz]	R [Ohm]	X [Ohm]	$ \Gamma $	$\angle \Gamma$	$\Gamma - \Gamma_c$ [dB]
900	1732.00	398.60	0.95	0.01	-1.38
900.2	1800.00	255.40	0.95	0.01	-1.38
900.4	1856.00	96.10	0.95	0.00	-1.38
900.6	1688.00	-212.80	0.94	-0.01	-1.43
900.8	1789.00	-300.00	0.95	-0.01	-1.40
901	1671.00	-411.10	0.95	-0.01	-1.42
901.2	1685.00	-432.00	0.95	-0.01	-1.42
901.4	1631.00	-568.50	0.95	-0.02	-1.40
901.6	1398.00	-709.10	0.94	-0.03	-1.44
901.8	1298.00	-689.00	0.94	-0.03	-1.47
902	1330.00	-798.40	0.95	-0.03	-1.43
902.2	1264.00	-805.50	0.95	-0.04	-1.45
902.4	1296.00	-794.30	0.95	-0.03	-1.44
902.6	1030.00	-890.20	0.95	-0.05	-1.45
902.8	1020.00	-887.70	0.95	-0.05	-1.45
903	1016.00	-859.30	0.94	-0.05	-1.48
903.2	908.40	-864.90	0.94	-0.06	-1.49
903.4	805.00	-882.10	0.95	-0.06	-1.48
903.6	774.50	-838.10	0.94	-0.06	-1.51
903.8	677.10	-841.30	0.94	-0.07	-1.51
904	643.80	-839.10	0.94	-0.08	-1.51
904.2	611.10	-868.30	0.95	-0.08	-1.50
904.4	559.90	-824.10	0.95	-0.08	-1.52
904.6	542.30	-801.70	0.94	-0.09	-1.52
904.8	476.60	-754.00	0.94	-0.10	-1.56
905	475.50	-786.40	0.95	-0.09	-1.53
905.2	417.10	-757.20	0.95	-0.10	-1.54
905.4	421.30	-760.50	0.95	-0.10	-1.54
905.6	397.80	-739.30	0.95	-0.11	-1.55
905.8	360.80	-710.10	0.94	-0.11	-1.55
906	362.10	-725.80	0.95	-0.11	-1.55
906.2	326.20	-674.00	0.94	-0.12	-1.58
906.4	315.70	-700.20	0.95	-0.12	-1.54
906.6	299.70	-650.50	0.94	-0.13	-1.60
906.8	273.80	-651.20	0.95	-0.13	-1.56
907	278.30	-656.30	0.95	-0.13	-1.57
907.2	236.80	-594.60	0.94	-0.15	-1.60
907.4	247.70	-621.90	0.95	-0.14	-1.58
907.6	240.20	-631.70	0.95	-0.14	-1.56

907.8	209.00	-573.00	0.95	-0.15	-1.59
908	222.50	-596.70	0.95	-0.15	-1.58
908.2	192.80	-566.70	0.95	-0.16	-1.58
908.4	193.00	-552.10	0.95	-0.16	-1.60
908.6	173.90	-521.20	0.94	-0.17	-1.62
908.8	171.10	-530.90	0.95	-0.17	-1.58
909	172.40	-532.00	0.95	-0.17	-1.58
909.2	168.50	-519.70	0.95	-0.17	-1.60
909.4	147.30	-486.60	0.95	-0.19	-1.60
909.6	153.60	-504.00	0.95	-0.18	-1.59
909.8	147.40	-491.30	0.95	-0.19	-1.58
910	138.60	-476.80	0.95	-0.19	-1.57
910.2	130.40	-456.50	0.94	-0.20	-1.59
910.4	121.60	-445.50	0.95	-0.21	-1.57
910.6	126.50	-453.20	0.95	-0.20	-1.56
910.8	117.50	-440.50	0.95	-0.21	-1.55
911	113.60	-442.10	0.95	-0.21	-1.53
911.2	107.30	-419.20	0.95	-0.22	-1.54
911.4	104.70	-418.00	0.95	-0.22	-1.52
911.6	99.68	-401.20	0.94	-0.23	-1.53
911.8	100.30	-418.20	0.95	-0.23	-1.48
912	95.34	-398.10	0.95	-0.24	-1.48
912.2	94.06	-394.80	0.95	-0.24	-1.46
912.4	87.65	-387.30	0.95	-0.25	-1.44
912.6	83.56	-389.90	0.95	-0.24	-1.41
912.8	83.28	-376.30	0.95	-0.25	-1.42
913	82.36	-368.80	0.94	-0.26	-1.40
913.2	79.40	-364.20	0.95	-0.26	-1.38
913.4	75.59	-361.90	0.95	-0.26	-1.35
913.6	75.11	-365.80	0.95	-0.26	-1.31
913.8	70.81	-346.80	0.95	-0.28	-1.32
914	70.05	-346.20	0.95	-0.28	-1.30
914.2	69.58	-344.50	0.95	-0.28	-1.27
914.4	64.81	-332.50	0.95	-0.29	-1.26
914.6	62.63	-330.90	0.95	-0.29	-1.21
914.8	65.91	-337.50	0.95	-0.28	-1.19
915	61.53	-324.30	0.95	-0.30	-1.19
915.2	60.53	-319.60	0.95	-0.30	-1.16
915.4	61.94	-324.10	0.95	-0.30	-1.13
915.6	54.45	-308.00	0.95	-0.31	-1.11
915.8	56.81	-315.40	0.95	-0.31	-1.07
916	55.83	-303.90	0.94	-0.32	-1.08
916.2	52.74	-297.90	0.95	-0.32	-1.05
916.4	50.77	-299.60	0.95	-0.32	-0.99

916.6	49.71	-299.00	0.95	-0.32	-0.96
916.8	48.20	-290.00	0.95	-0.33	-0.96
917	46.31	-286.30	0.95	-0.34	-0.92
917.2	48.71	-285.70	0.95	-0.34	-0.92
917.4	45.08	-277.20	0.95	-0.35	-0.88
917.6	45.28	-278.50	0.95	-0.35	-0.85
917.8	41.67	-276.60	0.95	-0.35	-0.80
918	43.75	-273.70	0.95	-0.35	-0.80
918.2	42.17	-269.30	0.95	-0.36	-0.78
918.4	39.39	-264.30	0.95	-0.37	-0.75
918.6	41.54	-265.90	0.95	-0.36	-0.73
918.8	37.98	-255.20	0.95	-0.38	-0.69
919	37.83	-257.90	0.95	-0.38	-0.66
919.2	37.85	-253.00	0.95	-0.38	-0.66
919.4	36.27	-248.30	0.95	-0.39	-0.64
919.6	36.48	-253.50	0.95	-0.38	-0.59
919.8	34.76	-244.70	0.95	-0.40	-0.56
920	34.78	-243.70	0.95	-0.40	-0.55
920.2	33.35	-240.40	0.95	-0.40	-0.52
920.4	33.52	-239.20	0.95	-0.41	-0.50
920.6	30.71	-237.70	0.95	-0.41	-0.44
920.8	31.15	-235.70	0.95	-0.41	-0.41
921	32.86	-236.80	0.95	-0.41	-0.42
921.2	31.03	-230.60	0.95	-0.42	-0.40
921.4	29.77	-229.10	0.95	-0.42	-0.36
921.6	28.95	-223.60	0.95	-0.43	-0.35
921.8	28.24	-224.80	0.95	-0.43	-0.31
922	27.36	-218.10	0.95	-0.44	-0.30
922.2	28.64	-220.30	0.95	-0.44	-0.28
922.4	27.46	-217.00	0.95	-0.45	-0.25
922.6	26.54	-216.00	0.95	-0.45	-0.23
922.8	27.73	-214.20	0.95	-0.45	-0.23
923	25.12	-210.70	0.95	-0.46	-0.17
923.2	26.49	-210.60	0.95	-0.46	-0.17
923.4	24.96	-209.90	0.95	-0.46	-0.14
923.6	24.74	-204.80	0.95	-0.47	-0.13
923.8	23.57	-203.90	0.95	-0.48	-0.09
924	23.19	-202.70	0.95	-0.48	-0.06
924.2	23.61	-203.30	0.95	-0.48	-0.05
924.4	23.23	-200.70	0.95	-0.48	-0.04
924.6	22.23	-198.10	0.95	-0.49	-0.02
924.8	21.96	-193.70	0.95	-0.50	-0.01
925	21.28	-195.30	0.95	-0.50	0.04
925.2	20.60	-193.50	0.95	-0.50	0.06

925.4	20.91	-194.50	0.95	-0.50	0.08
925.6	20.74	-187.70	0.95	-0.52	0.07
925.8	20.44	-187.40	0.95	-0.52	0.09
926	20.29	-187.70	0.95	-0.52	0.11
926.2	19.38	-187.10	0.95	-0.52	0.15
926.4	19.53	-184.10	0.95	-0.53	0.15
926.6	20.28	-182.60	0.95	-0.53	0.15
926.8	18.16	-180.00	0.95	-0.54	0.18
927	18.85	-180.30	0.95	-0.54	0.18
927.2	19.59	-178.50	0.95	-0.54	0.18
927.4	18.07	-175.80	0.95	-0.55	0.22
927.6	18.06	-174.60	0.95	-0.55	0.22
927.8	18.32	-173.80	0.95	-0.56	0.22
928	17.57	-173.70	0.95	-0.56	0.26
928.2	17.11	-170.50	0.95	-0.57	0.27
928.4	16.80	-172.50	0.95	-0.56	0.32
928.6	17.25	-169.20	0.95	-0.57	0.29
928.8	16.24	-165.40	0.95	-0.58	0.32
929	16.58	-166.00	0.95	-0.58	0.32
929.2	15.50	-166.40	0.95	-0.58	0.37
929.4	15.42	-162.60	0.95	-0.59	0.36
929.6	15.45	-163.10	0.95	-0.59	0.37
929.8	15.83	-161.90	0.95	-0.59	0.38
930	15.20	-161.10	0.95	-0.60	0.40
930.2	14.83	-158.10	0.95	-0.61	0.40
930.4	14.87	-159.10	0.95	-0.60	0.43
930.6	14.44	-157.30	0.95	-0.61	0.43
930.8	14.33	-157.30	0.95	-0.61	0.46
931	14.43	-154.60	0.95	-0.62	0.44
931.2	13.55	-153.60	0.95	-0.63	0.47
931.4	13.81	-154.30	0.95	-0.62	0.48
931.6	13.59	-150.80	0.95	-0.64	0.47
931.8	13.12	-150.70	0.95	-0.64	0.51
932	13.42	-149.20	0.95	-0.64	0.49
932.2	13.33	-150.30	0.95	-0.64	0.51
932.4	12.95	-145.90	0.95	-0.66	0.50
932.6	13.13	-146.70	0.95	-0.65	0.52
932.8	12.75	-146.60	0.95	-0.65	0.55
933	12.85	-144.10	0.95	-0.66	0.53
933.2	12.12	-143.90	0.95	-0.67	0.56
933.4	12.51	-142.60	0.95	-0.67	0.55
933.6	12.34	-141.30	0.95	-0.68	0.55
933.8	12.29	-141.00	0.95	-0.68	0.58
934	12.30	-138.90	0.95	-0.69	0.57

934.2	12.09	-139.50	0.95	-0.68	0.59
934.4	11.41	-138.60	0.95	-0.69	0.61
934.6	11.64	-137.00	0.95	-0.70	0.59
934.8	11.04	-136.30	0.95	-0.70	0.62
935	11.01	-136.50	0.95	-0.70	0.64
935.2	10.90	-135.10	0.95	-0.71	0.64
935.4	10.62	-134.90	0.95	-0.71	0.66
935.6	10.55	-131.30	0.95	-0.72	0.64
935.8	10.71	-132.60	0.95	-0.72	0.66
936	10.81	-130.70	0.95	-0.73	0.66
936.2	10.36	-130.80	0.95	-0.73	0.68
936.4	10.77	-130.70	0.95	-0.73	0.67
936.6	10.48	-128.70	0.95	-0.74	0.67
936.8	10.11	-128.60	0.95	-0.74	0.69
937	9.87	-127.90	0.95	-0.74	0.70
937.2	9.93	-126.10	0.95	-0.75	0.69
937.4	9.86	-125.40	0.95	-0.76	0.70
937.6	9.62	-123.80	0.95	-0.76	0.70
937.8	9.12	-125.40	0.95	-0.76	0.74
938	9.73	-123.90	0.95	-0.76	0.71
938.2	8.97	-123.50	0.95	-0.77	0.75
938.4	9.27	-122.20	0.95	-0.77	0.74
938.6	9.17	-122.90	0.95	-0.77	0.75
938.8	8.99	-121.30	0.95	-0.78	0.76
939	9.02	-119.60	0.95	-0.79	0.74
939.2	8.91	-119.20	0.95	-0.79	0.76
939.4	8.64	-119.40	0.95	-0.79	0.78
939.6	8.88	-118.50	0.95	-0.80	0.77
939.8	8.40	-117.40	0.95	-0.80	0.79
940	8.26	-117.70	0.95	-0.80	0.80
Mean	205.60	-320.50	0.95	-0.40	-0.51
STD	411.10	230.50	0.00	0.24	0.89

Anexo H: Dispositivos y Adquisiciones

Sistema de Control: Arduino UNO R3

Imagen de Referencia:



Características Relevantes

(Arduino):

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Factura de Adquisición:

apm all power microcontroller

NELSON FABIAN ORTIZ VEGA
R.U.C. 1714061932001Av. Colón Oe3-31 y Versalles Local No 1
Quito - Ecuador
Telf.: 2 226 416 / 2 502 124 • Cel.: 0995 418 090
web: www.apm-micro.net
Email: apm.micro@gmail.com

0003929

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD
FACTURA

N° 003-002-00 0003929

Aut. S.R.L. 1113266279
FECHA AUT: 01 AGOSTO 2013

Cliente: **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO** Fecha: 16/09/2013 RUC/C: 1791836154001
 Dirección: AV. PAMPITE Y DIEGO DE ROBLES Tel.: 084616846

DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNITARIO	VALOR DE VENTA
ARDUINO UNO	1.00	32.5000	32.50
SUBTOTAL 12%			32.50
SUBTOTAL			0.00
DESCUENTO			32.50
I.V.A. 12%			0.00
TOTAL			3.90
			36.40

FIRMA AUTORIZADA

CLIENTE

¡ ES UN PLACER SERVIRLE !

Salida la mercadería no se aceptan cambios ni devoluciones.

COBOS SANCHEZ MONICA LUPITA - CAMIGRAFIC - TELF. 2228-0082552-801 - RUC: 1705190175001 - AUT. 2135 - DEL 0033801 AL 0004300 - FECHA DE CADUCIDAD: 01 AGOSTO 2014

- CLIENTE -

**Sistema de Procesamiento: Divisor Wilkinson InStock
PD2140**

Imagen de Referencia:



Características Relevantes

(INSTOCK Wireless Components):

- Wideband Frequency (700 - 2700 MHz)
- Low Insertion Loss (0.4 dB avg)
- High Port to Port Isolation (30 dB avg)
- Excellent VSWR (1.10 : 1 avg)
- RoHS Compliant Splitter Construction
- Tri Alloy SMA Female (Jack) 50 Ohm

4 Way Power Divider RF Input Ratings		
Into Matched Load VSWR's	In-Phase	180° Out-of-Phase
1.2 : 1	40 Watts	40 Watts
2.0 : 1	40 Watts	20 Watts
∞	20 Watts	2 Watts
4 Way Power Combiner RF Input Ratings		
Input Signals	In-Phase	180° Out-of-Phase
Coherent	4 X 10 Watts	4 X 0.5 Watts
Non-Coherent	4 X 1 Watt	

Circuit Design	Wilkinson Microstrip passes DC Current thru all ports
Connectors	SMA Jack, 50 Ohm Coaxial
Body	Brass, Tri-Alloy Plate
Connector Pin	Beryllium Copper, Gold Plate
Insulator	PTFE, Virgin Electrical Grade

Housing	Aluminum, Clear Chem Film
Operating Temp ...	-65°C to +85°C
Weight	383 Grams

Frequency Range	Insertion Loss above 6.02 dB	Amplitude Balance	Phase Balance	Isolation	Input VSWR	Output VSWR
0.7 - 2.7 GHz	0.8 dB max	0.2 dB max	4° max	22 dB min	1.25 : 1 max	1.15 : 1 max

Factura de Adquisición:



50 Intervale Road
Boonton, NJ 07005 US
ph: 973.335.6550
fx: 973.335.6770
email: sales@instockwireless.com
www.instockwireless.com

Invoice

Date	Invoice Number
12/26/2013	50896

PAID
12/26/2013

Sold To:

Universidad San Francisco de Quito
Christina Vaca
1316 NW 78th Ave
Miami, FL 33126-1606

Ship To:

Universidad San Francisco de Quito
Christina Vaca
1316 NW 78th Ave
Miami, FL 33126-1606

Your Order#	Sales Order#	Payment Terms	Ship Date	Ship Via	FOB Point	Freight Terms
Email 12/16	PF19423	Credit Card	12/26/2013	UPS Ground	Boonton, NJ	Frt Additional
Ordered	Shipped	Back Ord	Model Number	Description	Unit Price USD	Ext Price USD
1	1	0	PD2140	4-Way Power Divider, Combiner, Splitter, SMA Female (Jack) Connectors, 0.7-2.7 GHz, 40 Watts, 50 Ohm, 0 Degree, RoHS	64.95	64.95
1	1		Shipping UPS	Shipping Charge - UPS Ground (3 days transit to Miami) UPS Tracking# 12X0551F0390630348	11.33	11.33
Thank you for your order. We appreciate your business.					Total (USD)	\$76.28



- design
- manufacture
- direct sales

Make Check Payable and Mail To:

INSTOCK Wireless Components, Inc
50 Intervale Road
Boonton, NJ 07005 US

Sistema de Radiación:

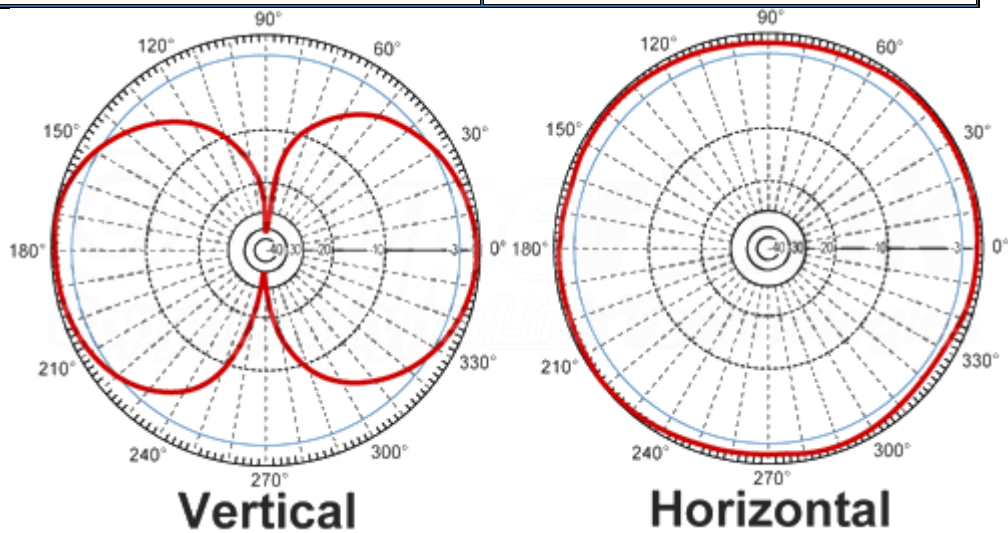
Antena L-Com HG903RD-SM

Imagen de Referencia:



Características Relevantes:

Frequency	860-960 MHz
Gain	3 dBi
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Power	50W
VSWR	< 2.0
Lightning Protection	DC Ground



Factura de Adquisición:

Date: 12/12/2013

Thank you for your order. **Your order Confirmation Number is 3864041**

Please review your order to insure accuracy. If you have any questions, please contact us and reference this confirmation number. We will be more than happy to help.

Phone: 1-800-341-5266

E-mail: customerservice@L-com.com

Shipping Address

CRISTINA VACA
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
10814 NW 33rd Street Suite 115
MIAMI, FL 33172
USA

Billing Address

CRISTINA VACA
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
10814 NW 33rd Street Suite 115
MIAMI, FL 33172
USA

Shipping Method

UPS Ground
Include charges in order.

Payment Method

Visa *****4302
Expires: 02/2014

Item	Quantity	Price	Total
900 MHz 3 dBi Rubber Duck Antenna - SMA Male Connector	4	\$11.95	\$47.80
Availability: In Stock			
Item #: HG903RD-SM			

Subtotal: \$47.80
Shipping: \$10.95
Sales Tax: \$3.35
Order Total: \$62.10

Did you know that you can view your orders online? Login to your account and click on "Order History".

Thanks for choosing L-com.

Sistema de Control: Conmutador Teledyne CCR-33S8C-T

Imagen de Referencia:



Características Relevantes

(Teledyne Technologies Incorporated):

ENVIRONMENTAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS	
Operating Temperature	
Commercial Model, CCR-33S	-40°C to 65°C
Elite Model, CR-33S	-55°C to 85°C
Vibration (MIL-STD-202 Method 214, Condition D, non-operating)	10 g's RMS
Shock (MIL-STD-202 Method 213, Condition D, non-operating)	500 g's
Standard Actuator Life	5,000,000 cycles
Actuator Life w/ Additional Features	1,000,000 cycles
Connector Type	SMA
Humidity (Moisture Seal)	Available
Weight	1.65 oz. (46.78g) (max.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Form Factor	SPDT, break before make
Frequency Range	
CCR-33S	DC-18 GHz
CR-33S	DC-22 GHz
Characteristic Impedance	50 Ohms
Operate Time	10 ms (max.)
Actuation Voltage Available	12 15 24 28 V
Actuation Current, max. @ ambient	140 170 90 65 mA

PERFORMANCE CHARACTERISTICS						
Frequency	DC-4 GHz	4-8 GHz	8-12 GHz	12-16 GHz	16-20 GHz	20-22 GHz
Insertion Loss, dB, max.	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4
Isolation, dB, min.	90	90	80	70	65	65
VSWR, max.	1.1:1	1.1:1	1.1:1	1.2:1	1.2:1	1.2:1

TRUTH TABLE (with TTL option)					
Logic Input		RF Path		Indicator (if applicable)	
1	2	IN to 1	IN to 2	A	B
0	0	No Change			
1	0	On	Off	C	0
0	1	Off	On	0	C
1	1	Forbidden			

Factura de Adquisición:



THE ONLINE DISTRIBUTOR OF ELECTRONIC COMPONENTS

INVOICE No. 341453

Billing Information	Shipping Information
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q CRISTINA VACA 10814 NW 33RD ST STE 115 MIAMI, Florida 33172-2190 United States UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO CRISTINA VACA 5932971700 cvaca@usfq.edu.ec <hr/> Payment Method: Credit Card	UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q CRISTINA VACA 10814 NW 33RD ST STE 115 MIAMI, Florida 33172-2190 United States <hr/> Shipping Method: UPS 3rd Day Shipping costs will be added to the invoice. Your shipping method will be upgraded to UPS 3rd Day

Manufacturer	Part Number	Quantity	Availability	Price	Ext.Price
Teledyne Coax	CCR-33S8C-T	2	2 Ships ASAP	\$163.990	\$327.98
Subtotal:					\$327.98
Shipping:					\$6.95
Order Total:					\$334.93

er confirmation is for information purposes only and does not constitute a legal acceptance of order by the
er is subject to all terms and conditions of sale displayed [here](#)

[Company Information](#) | [Our Line Card](#) | [Customer Service](#) | [Order Tracking](#) | [FAQ](#)

Facturas de Ensamble de Cables Rf:



7610 MIRAMAR ROAD, # 6000
 SAN DIEGO, CA 92126
 TEL (858) 549-6340
 FAX (858) 549-6345
 E-mail: rf@rfindustries.com

RF Connector / Bioconnect / RF Neulink
 Aviel / OddCables.com / RadioMobile
 RFP² / Cables Unlimited

INVOICE

INVOICE NO.	PAGE
279381	1
INVOICE DATE	
12/20/13	

SOLD TO UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q
 1316 N.W. 78 AVE.

SHIP TO UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q
 1316 N.W. 78 AVE.
 ATN: Cristina Vaca / (305) 592

MIAMI, FL 33126

MIAMI, FL 33126

US

ORDER NO.	ORDER DATE	CUSTOMER NO.	LOC.	SLSMN	PURCHASE ORD. NO.	SHIP VIA	COL/PPD
0230130	12/16/13	R9997	00	000	EMAIL / CRISTINA	12/16/13 UPS GROUND	PPd

QTY. ORDER/B.O.	QTY. SHIP/RETURN	ITEM NO./DESCRIPTION	UNIT PRICE	UOM DISC.	NET PRICE
		Thank you for your purchase. Hoang Nguyen (800) 233-1728 Ext. 249 Email: hnguyen@rfindustries.com			
1.0000	1.0000	RFW-8840-6 CBL ASY, MMCX GOLD MALE TO SMA MALE; RG-316/U, 6"	22.310000	EA	22.31
2.0000	2.0000	RFW-9440-6 CBL ASY, SMA GOLD MALE TO SMA GOLD MALE; RG-316/U, 6" This part is NCNR due to custom length.	23.780000	EA	47.56
2.0000	2.0000	RFW-9440-2 CBL ASY, SMA GOLD MALE TO SMA GOLD MALE; RG-316/U, 6" This part is NCNR due to custom length.	23.300000	EA	46.60
1.0000	1.0000	RFW-9440-3 CBL ASY, SMA GOLD MALE TO SMA GOLD MALE; RG-316/U, 3"	23.300000	EA	23.30
1.0000	1.0000	RFW-9440-4 CBL ASY, SMA GOLD MALE TO SMA GOLD MALE; RG-316/U, 4" This part is NCNR due to custom length.	23.300000	EA	23.30
2.0000	2.0000	RFW-9440-5 CBL ASY, SMA GOLD MALE TO SMA GOLD MALE; RG-316/U, 5" This part is NCNR due to custom length.	23.540000	EA	47.08

COMMENTS:

TERMS:

SALE AMOUNT
MISC. CHARGES
FREIGHT
SALES TAX
TOTAL
AMOUNT RECEIVED
BALANCE DUE

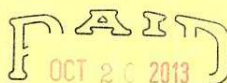


7610 MIRAMAR ROAD, # 6000
 SAN DIEGO, CA 92126
 TEL (858) 549-6340
 FAX (858) 549-6345
 E-mail: rfi@rfindustries.com

RF Connector / Bioconnect / RF Neulink
Aviel / OddCables.com / RadioMobile
RFP² / Cables Unlimited

INVOICE

INVOICE NO.	PAGE
279381	2
INVOICE DATE	
12/20/13	



BY:.....

SOLD TO UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q
 1316 N.W. 78 AVE.

SHIP TO UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE Q
 1316 N.W. 78 AVE.
 ATN: Cristina Vaca / (305) 592

MIAMI, FL 33126

MIAMI, FL 33126

US

ORDER NO.	ORDER DATE	CUSTOMER NO.	LOC.	SLSMN	PURCHASE ORD. NO.	SHIP VIA	COL/PPD
0230130	12/16/13	R9997	00	000	EMAIL / CRISTINA 12/16/13	UPS GROUND	PPD

QTY. ORDER/B.O.	QTY. SHIP/RETURN	ITEM NO./DESCRIPTION	UNIT PRICE	UOM DISC.	NET PRICE
4.0000	4.0000	This part is NCNR due to custom length. RFW-5826-6 CBL ASY, SMA FEMALE TO SMA FEMALE; RG-316/U, 6" This part is NCNR due to custom length.	24.710000	EA	98.84


COMMENTS:
 Notify RF Industries of any price or quantity discrepancies within 15 days of receipt to receive credit. Thank you for your business!

TERMS:
CREDIT CARD

SALE AMOUNT	308.99
MISC. CHARGES	.00
FREIGHT	.00
SALES TAX	9.00
TOTAL	317.99
AMOUNT RECEIVED	.00
BALANCE DUE	\$317.99

Facturas de Importación y Aduana:

import



export

Salgado Andrade Gabriela Paola

R.U.C. 1002251583001
 Direc.: Av 6 de Diciembre s/n y Av. Río Coca
 Teléfono: 2 269-124
 Quito - Ecuador

FACTURA

S 001-001-000001111

AUT. S.R.I.: 1113957292
 Fecha de Autorización: 29/11/2013
 Fecha de Caducidad: 29/Noviembre/2014

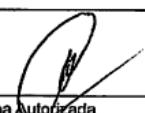
Cliente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO Efectivo

R.U.C./C.I.: 1791836154001 Forma de Pago: 2890070

Dirección: DIEGO DE ROBLES Y PAMPITE Telf.: 2890070

Fecha	Día	Mes	Año
	29	01	2014

CANTIDAD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	SERVICIOS LOGISTICOS MINIMO	55,00	55,00
1	HONORARIOS TRAMITE DE IMPORTACION	65,00	65,00
1	SERVICIO TABABELA	15,00	15,00
1	SERVICIOS DE COORDINACION	50,00	50,00
		SUBTOTAL	185,00
		I.V.A. 12%	22,20
		I.V.A. 0%	0,00
		TOTAL USD	207,20


 Firma Autorizada

 El Cliente

liquidación

CONTRIBUYENTE:

Numero de la liquidación	32037382	Tipo de Identificación	RUC	Numero de Identificación	1791836154001
Nombre o Razon Social	UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO	Ciudad	QUITO	TELEFONO	
Dirección	QUITO				

LIQUIDACION ADUANERA:

CONCEPTO	Liquidación de Aduana	Valor liberado	Valor a Pagar	Valor Garantizado	Diferencia a pagar no garantizada
A. Derechos arancelarios					
ARANCEL ADVALOREM	125.180	0	125.180		
ARANCEL ESPECIFICO	0	0	0		
ANTIDUMPING	0	0	0		
B. Impuestos					
FONDIRFA	4.170	0	4.170		
ICE ADVALOREM	0	0	0		
ICE ESPECIFICO	0	0	0		
IVA	115.660	0	115.660		
C. Tasas					
Tasa de Vigilancia Aduanera	0	0	0		
D. Recargos Arancelarios					
SALVAGUARDIA	0	0	0		
SALVAGUARDIA ESPECIFICA	0	0	0		
E. Intereses					
F. Multas					
G. Otros					
TOTAL:	245.010	0	245.010	0	245.010

Fecha/Hora de liquidación	17/01/2014	Fecha máxima de pago	21/01/2014	Banco	PRODUBANCO
Numero de Garantía		Valor cobrado	247.510		

Observación:

--


GEOTRANSPORT S.A.

 Alpacana E7-212 y Diego de Almagro (La Paz)
 Edif.: Alpacana II • Piso 4 • Of. 4.4
 Telfs.: (593-2) 2 905-901 / 2 808-345 / 2 502-295
 Fax: (593-2) 2 508-758 • Celular: 099 913 1484
 E-mail: info@geotransport-sa.com
 QUITO - ECUADOR

Facturado a:/Bill to: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO DIEGO DE ROBLES S/N Y PAMPITE 02 2255070 / 0997071643 / QUITO RUC. / C.I.: 1791638154001	Nuestra referencia/File/Our reference OS12-0011-2013	R.U.C. 1791738055001
	Su referencia/Your reference	FACTURA INVOICE S.001-001-
	Fecha/Date Quito, 02 De Enero 2014	Nº 000024633
	Guía de remisión	Autorización SRI 1114016158 Fecha Autorización: 10 Diciembre 2013 VÁLIDA PARA SU EMISIÓN HASTA: 10 DICIEMBRE 2014
	Proveedor/Supplier:	
Import <input type="checkbox"/> Export <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/>	HAWB/HBL Nº	
Air <input type="checkbox"/> Sea <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/>	MAWB/MBL Nº	
Cliente/Consignee:	Lugar de Destino / Final Destination	
Avión/Buque(Flight/Vessel)	E.T.A. //	
Lugar de Embarque / Place of Loading	E.T.D. //	
Descripción/Description: REEMBOLSO GASTOS 30.00 IN AND OUT DELIVERY 50.00 HANDLING 35.00 COLLECTION FEE 20.00		135.00
		Moneda / Currency USD
Observaciones/Remarks (12855SC)	Subtotal con I.V.A. 0.00 I.V.A. 12% 0.00 Subtotal sin I.V.A. 135.00 0% I.V.A. 0.00 Valor Total: 135.00	
SON: Ciento Treinta y Cinco dolares con 00/100. One hundred Thirty Five dollars with 00/100.		
Términos de pago / Payment terms:	Vencimiento / expiration date:	

MEGA PRINT - Telf: 2566 709 - SAGBAY BICALAMA FELIX ANTONIO - RUC: 1716098281001 - Aut. SRI: 2332 - del 024.001 al 025.790

Elaborado por:

 Autorizado por:
 GEOTRANSPORT S.A.

 Recibi Conforme
 Cliente