

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

**Análisis de la capacidad de producción en base a los
requerimientos de la demanda en una Fábrica de Tuberías de
Acero**

**David Alejandro Freire Mullo
Iván Vinicio Ríos Salgado
Gabriela García, MSc. Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, Diciembre 2012

© 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: David Alejandro Freire Mullo

C. I.: 1716158256

Fecha: 21 diciembre de 2012

Firma:

Nombre: Iván Vinicio Ríos Salgado

C. I.: 1714232277

Fecha: 21 diciembre de 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Colegio de Ciencias e Ingeniería Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Análisis de la capacidad de producción en base a los
requerimientos de la demanda en una Fábrica de Tuberías de
Acero.**

David Alejandro Freire Mullo

Iván Vinicio Ríos Salgado

Gabriela García, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Diego Guilcapi, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Santiago Gangotena, Ph.D.
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, diciembre 2012

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de los factores que los clientes de la compañía consideran importantes a la hora de realizar la compra de productos. Posteriormente, se procede a determinar indicadores para cada uno de los factores identificados. De manera paralela, se analiza la capacidad efectiva de la fábrica en base a la realización de un estudio de tiempos. En este estudio se consideran variables como los tiempos estándar, variabilidad, factores influyentes en los tiempos, entre otros. Posteriormente, se desarrolla un modelo de capacidad mediante la utilización de datos de la demanda, niveles de servicio que la compañía desea ofrecer a sus clientes, tiempos de producción, variabilidad de los procesos, residuos por etapa, rutas de producción y turnos semanales disponibles.

Con el modelo de capacidad, se realizan dos propuestas para la compañía en base a la variación del nivel de servicio y la reducción de los productos ofertados. De esta forma se procura alinear la capacidad a los requerimientos del cliente y garantizar el cumplimiento de los parámetros seleccionados por la empresa. Como una herramienta de apoyo para la compañía, se desarrolló un sistema de planificación en Microsoft Excel considerando el modelo propuesto, de esta forma la fábrica podrá utilizarla como una base estadística para la planificación y toma de decisiones.

ABSTRACT

This paper is an analysis of the factors that customers of the company consider important when making the purchase of products. Subsequently, it proceeds to identify indicators for each of the identified factors. In parallel, we analyze the effective capacity of the factory based on a study of times. This study considers: standard times, variability, factors influencing the times, among others. Subsequently, we develop a capacity model using demand data, service levels that the company wants to offer to its customers, production times, process variability, waste by-step production routes and weekly shifts available.

With the capacity model, there are two proposals for the company based on the variation of the level of service and the reduction of the products offered. This seeks to align capacity with customer requirements and ensure compliance with the parameters selected by the company. As a support tool for the company, a planning system in Microsoft Excel was developed considering the proposed model, so that the factory can use it as a statistical base for planning and decision making.

Contenido

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	17
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO	19
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
ANTECEDENTES	21
METODOLOGÍA	23
Delimitación del alcance del estudio	23
Levantamiento de información	23
Análisis de Información	24
Generación de propuestas	24
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	26
1.1. Encuestas	26
1.1.1. Voz del cliente	26
1.1.2. Planeación de la encuesta	26
1.1.3. Tamaño de la muestra	28
1.2. Procesos	28
1.2.1. Levantamiento de procesos	28
1.2.2. Diagramas de Flujo	29
1.2.2.1. Simbología	29
1.3. Estudio de tiempos	30
1.3.1. Toma de Tiempos	30
1.3.2. Tamaño de la muestra	32
1.3.3. Metodología	33
1.4. Estadística	33
1.4.1. Análisis de Normalidad	33
1.4.2. Prueba de Bondad de Ajuste: Kolmogorov-Smirnov	34
1.4.3. Propiedades de una Distribución Normal	35
1.4.4. Análisis de Pareto	36
1.4.5. Valor P	36
1.4.6. Análisis de Regresión	36

1.5.	Análisis de Gráficas	37
1.5.1.	Gráfica de Dispersión	37
1.5.2.	Gráfica de Probabilidad Normal	38
1.5.3.	Histograma	39
1.5.4.	Gráfica de Residuos (4 en 1)	40
1.6.	Análisis de Capacidad	41
1.7.	Nivel de Servicio	41
1.8.	Unidad Agregada de Producción	42
1.9.	Utilización	42
1.10.	Indicadores de Producción	43
1.11.	Cartas de Control Estadístico	43
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL		48
2.1.	Descripción de la empresa	48
2.2.	Misión	49
2.3.	Visión	49
2.4.	Valores Corporativos	49
2.5.	Puntos de Calidad	50
2.6.	Objetivos de Calidad	50
2.7.	Datos del mercado	51
2.7.1.	Mercado del Acero	51
2.7.2.	Tuberías de Acero	52
2.7.3.	Sector de la construcción	52
2.7.4.	Mercado atendido por la empresa.	53
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DEL MERCADO		55
3.1.	Encuesta 1: Determinación de factores influyentes del mercado	55
3.1.1.1.	Establecimiento de objetivos	55
3.1.1.2.	Determinación de la población objetivo y tamaño de muestra	55
3.1.1.3.	El Marco	57
3.1.1.4.	Diseño del muestreo	57
3.1.1.5.	Método de medición	57
3.1.1.6.	Instrumento de medición	58
3.1.1.7.	Selección y adiestramiento de investigadores de campo	60
3.1.1.8.	Prueba Piloto	60
3.1.1.9.	Organización del trabajo de campo	60

3.1.1.10.	Organización de manejo de datos	60
3.1.1.11.	Análisis de datos	61
3.2.	Encuesta 2: Determinación de indicadores de los factores seleccionados	69
3.2.1.	Preparación y realización de la encuesta 2	69
3.2.1.1.	Establecimiento de objetivos	69
3.2.1.2.	Determinación de la población objetivo	69
3.2.1.3.	El Marco.....	69
3.2.1.4.	Diseño de muestreo.....	70
3.2.1.5.	Método de medición	70
3.2.1.6.	Instrumento de medición	70
3.2.1.7.	Selección y adiestramiento de Investigadores de campo.....	71
3.2.1.8.	Prueba Piloto	71
3.2.1.9.	Organización de trabajo de campo.....	72
3.2.1.10.	Organización de manejo de Datos	72
3.2.1.11.	Análisis de Datos.....	72
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN		81
4.1.	Análisis de Procesos	81
4.1.1.	Diagramación del proceso de producción	82
4.1.2.	Jerarquización de los procesos de producción.....	83
4.2.	Flujogramas de los procesos por sección/etapas del proceso.....	86
4.2.1.	Corte	86
4.2.1.1.	Diccionario del proceso de corte	86
4.2.1.2.	Diagramación del proceso de corte.....	88
4.2.2.	Formado	89
4.2.2.1.	Diccionario del proceso de formado	89
4.2.2.2.	Diagramación del proceso de formado.....	91
4.2.3.	Galvanizado	92
4.2.3.1.	Diccionario del proceso de galvanizado.....	92
4.2.3.2.	Diagramación del proceso de galvanizado	94
4.2.4.	Enderezado	95
4.2.4.1.	Diccionario del proceso de enderezado	95
4.2.4.2.	Diagramación del proceso de enderezado	96
4.2.5.	Roscado	97
4.2.5.1.	Diccionario del proceso de roscado.....	97

4.2.5.2.	Diagramación del proceso de roscado	98
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE TIEMPOS		99
5.1.	Estudio de tiempos	99
5.1.1.	Objetivos	99
5.1.2.	Introducción	99
5.1.3.	Metodología	100
5.1.3.1.	Materiales	100
5.1.3.2.	Tipo de estudio	100
5.1.3.3.	Método de medición de tiempos	101
5.1.3.4.	Método de análisis de tiempos	103
5.2.	Corte	104
5.2.1.	Realización del estudio de tiempos en la sección de corte	104
5.2.1.1.	Determinación del número de mediciones	104
5.2.1.2.	Inducción y adiestramiento de analistas	105
5.2.2.	Tiempos obtenidos	105
5.2.2.1.	Preparación de bobina	105
5.2.2.2.	Preparación previa al corte	107
5.2.2.3.	Set-up de la máquina	109
5.2.2.4.	Corte de Flejes	111
5.2.2.5.	Embobinado de flejes	113
5.2.2.6.	Almacenamiento de flejes	118
5.3.	Formado	120
5.3.1.	Realización del estudio de tiempos en la sección de Formado	120
5.3.1.1.	Determinación del número de mediciones	120
5.3.1.2.	Inducción y adiestramiento de analistas	121
5.3.2.	Tiempos obtenidos	121
5.3.2.1.	Preparación para Formado	121
5.3.2.2.	Conformado de Tubos	123
5.3.2.3.	Preparación de Paquete de Tubos	127
5.3.2.4.	Almacenamiento de Paquete de Tubos	129
5.4.	Galvanizado	130
5.4.1.	Realización del estudio de tiempos en la sección de Galvanizado	130
5.4.1.1.	Determinación del número de mediciones	130
5.4.1.2.	Inducción y adiestramiento de analistas	131

5.4.2.	Tiempos obtenidos	131
5.4.2.1.	Preparación para Galvanizado	131
5.4.2.2.	Desengrasado	135
5.4.2.3.	Aplicación de Ácido	137
5.4.2.4.	Enjuagado	141
5.4.2.5.	Aplicación de Flux	144
5.4.2.6.	Aplicación de Zinc	145
5.4.2.7.	Enfriamiento	149
5.4.2.8.	Control de Calidad	151
5.4.2.9.	Preparación Final de Paquetes	153
5.5.	Enderezado	157
5.5.1.	Realización del estudio de tiempos en la sección de enderezado	157
5.5.1.1.	Determinación del número de mediciones	157
5.5.1.2.	Inducción y adiestramiento de analistas	158
5.5.2.	Tiempos obtenidos	158
5.5.2.1.	Preparación para enderezado	158
5.5.2.2.	Enderezado de Tubos	160
5.5.2.3.	Empaquetado de Tubos	163
5.5.2.4.	Almacenamiento de tubos	165
5.6.	Roscado	167
5.6.1.	Realización del estudio de tiempos en la sección de Roscado	167
5.6.1.1.	Determinación del número de mediciones	167
5.6.1.2.	Inducción y adiestramiento de analistas	168
5.6.2.	Tiempos obtenidos	168
5.6.2.1.	Preparación para roscado	168
5.6.2.2.	Roscado de tubos	170
5.6.2.3.	Empaquetado de tubos	172
5.6.2.4.	Almacenamiento de Tubos	174
CAPÍTULO 6: MODELO DE CAPACIDAD		177
6.1.	Propuesta general	177
6.2.	Demanda	178
6.2.1.	Análisis de la demanda	178
6.2.2.	Nivel de servicio	180
6.3.	Tiempos observados	181

6.3.1.	Tiempos de producción.....	181
6.3.2.	Porcentaje de variabilidad considerada de los tiempos de producción.....	185
6.3.3.	Pesos de los productos seleccionados.....	187
6.3.4.	Suplementos.....	188
6.4.	Elementos adicionales.....	189
6.4.1.	Residuos por etapa.....	189
6.4.2.	Ruta de producción de tubos.....	190
6.4.3.	Turnos semanales disponibles.....	193
6.5.	Resultados.....	194
6.5.1.	Propuesta 1: Reducción del nivel de servicio al mercado.....	195
6.5.2.	Propuesta 2: Reducción del número de productos.....	197
6.5.3.	Análisis de costos de las propuestas.....	199
6.5.3.1.	Costos de Personal.....	199
6.5.3.2.	Costos de producción y maquinaria.....	202
6.5.3.3.	Costos de residuos y desperdicios.....	202
6.5.3.4.	Ganancias.....	203
6.5.4.	Costos de la propuesta 1.....	203
6.5.4.1.	Gastos.....	203
6.5.4.2.	Ganancias.....	205
6.5.4.3.	Ganancias netas.....	205
6.5.5.	Costos de la propuesta 2.....	205
6.5.5.1.	Gastos.....	205
6.5.5.2.	Ganancias.....	207
6.5.5.3.	Ganancias netas.....	207
6.6.	Herramienta Propuesta.....	209
CAPITULO 7: ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE DIMENSIONES.....		220
7.1.	Propuesta General.....	220
7.2.	Materiales.....	220
7.3.	Tamaño de la muestra.....	221
7.4.	Limites de Especificación.....	221
7.5.	Toma de Datos y Cartas de Control.....	222
CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		226
8.1.	Conclusiones.....	226
8.1.2.	Encuesta 2.....	227

8.1.3. Modelo de Capacidad y Propuestas.....	227
8.1.4. Análisis de Precisión de las Dimensiones	229
Recomendaciones	230
BIBLIOGRAFÍA.....	231
ANEXOS	235
Anexo 1: Tabla de valores críticos de Kolmogorov-Smirnov.....	235
Anexo 2: Formato Encuesta 1	236
Anexo 3: Formato Encuesta 2	237
Anexo 4: Formato de Levantamiento de tiempos.....	238
Anexo 6: Micrómetro Digital	240
Anexo 7: Flexómetro	241
Anexo 8: Formato para la toma de medidas para las cartas de control.....	242

Lista de Ilustraciones

Tabla 1: Número recomendado de ciclos de observación	32
Tabla 2: Estadísticas descriptivas de la pregunta 1	73
Tabla 3: Número de muestras para cada elemento de la sección de corte.....	105
Tabla 4: Tiempos de preparación de Bobina	106
Tabla 5: Tiempos de Preparación Previa al Corte	108
Tabla 6: Tiempos de Set-up de la Máquina.....	110
Tabla 7: Tiempos de Corte de Flejes	112
Tabla 8: Tiempos de Embobinado de Flejes con Valor Atípico.....	114
Tabla 9: Tiempos de Embobinado de Flejes	117
Tabla 10: Tiempos de Almacenamiento de Flejes.....	119
Tabla 11: Número de muestras para cada elemento de la sección de formado	121
Tabla 12: Tiempos de Preparación para Formado.....	122
Tabla 13: Gráfica de Normalidad de Preparación para Formado	123
Tabla 14: Tiempos de Conformado de tubos	124
Tabla 15: Análisis de regresión de Tiempo vs. Peso	126
Tabla 16: Tiempos de Preparación de Paquetes de Tubos	127
Tabla 17: Tiempos de Almacenamiento de Paquete de Tubos.....	129
Tabla 18: Número de muestras para cada elemento de la sección de galvanizado	131
Tabla 19: Tiempos de Preparación para Galvanizado con Valores Atípicos	132
Tabla 20: Tiempos de Preparación para Galvanizado	134
Tabla 21: Tiempos de Desengrasado	136
Tabla 22: Tiempos de Aplicación de Ácido	138
Tabla 23: Análisis de Regresión del Tiempo vs. Concentración del ácido	141
Tabla 24: Tiempos de Enjuagado	142
Tabla 25: Tiempos de Aplicación de Flux.....	144
Tabla 26: Tiempos de Aplicación de Flux extra.....	145
Tabla 27: Tiempos de Aplicación de Zinc con datos atípicos.....	146
Tabla 28: Tiempos de Aplicación de Zinc.....	148
Tabla 29: Tiempos de Enfriamiento	150
Tabla 30: Tiempos de Control de Calidad.....	152
Tabla 31: Tiempos de Preparación final de paquetes	156
Tabla 32: Tiempos de Preparación final de paquetes extra	156
Tabla 33: Número de muestras para cada elemento de la sección de enderezado	157
Tabla 34: Tiempos de Preparación de Enderezado	158
Tabla 35: Tiempos de Enderezado de Tubos con Valores Atípicos.....	160
Tabla 36: Tiempos de Enderezado de Tubos.....	162
Tabla 37: Tiempos de empaquetado de Tubos	164
Tabla 38: Tiempos de Almacenamiento de Tubos	166
Tabla 39: Número de muestras para cada elemento de la sección de roscado	168
Tabla 40: Preparación para Roscado	169
Tabla 41: Roscado de Tubos	171

Tabla 42: Tiempos de Empaquetado de Tubos	173
Tabla 43: Tiempos Almacenamiento de Tubos	175
Tabla 44: Tabla de tiempos de producción de corte	182
Tabla 45: Tabla de tiempos de producción de Formado	182
Tabla 46: Tabla de tiempos de producción de Galvanizado.....	183
Tabla 47: Tabla de tiempos de producción de Enderezado	184
Tabla 48: Tabla de tiempos de producción de Roscado	185
Tabla 49: Tiempos disponibles de producción	193
Tabla 50: Tiempos efectivos disponibles	194
Tabla 51: Utilización de los tiempos de producción por etapa.....	194
Tabla 52: Utilización de los tiempos de producción por etapa (propuesta 1)	195
Tabla 53: Utilización de los tiempos de producción por etapa (Propuesta 2)	197
Tabla 54: Costos brutos de producción por hora	201
Tabla 55: Costos netos de producción por hora	201
Tabla 56: Rangos de horas semanales	201
Tabla 57: Costos de producción (no incluido salarios) por hora.....	202
Tabla 58: Horas requeridas de producción en la propuesta 1	203
Tabla 59: Costos de salario para operadores en la propuesta 1	204
Tabla 60: Costos de salario para supervisores en la propuesta 1.....	204
Tabla 61: Costo de producción no incluidos salarios por sección en la propuesta 1 ...	204
Tabla 62: Costos por residuos por sección en la propuesta 1	205
Tabla 63: Horas requeridas de producción para la propuesta 2.....	206
Tabla 64: Costos de salario para operadores en la propuesta 2.....	206
Tabla 65: Costos de salario para supervisores en la propuesta 2.....	206
Tabla 66: Costo de producción no incluidos salarios por sección en la propuesta 2 ...	207
Tabla 67: Costos por residuos por sección en la propuesta 2.....	207
Tabla 68: Tabla de Limites de Especificación de la Empresa.....	222
Tabla 69: Tabla de Limites de Especificación de la encuesta 2	222

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Ejemplo de un diagrama de ICOM's.....	29
Ilustración 2: Formas para diagramas de flujos básicos	30
Ilustración 3: Ejemplo de una gráfica de dispersión.....	38
Ilustración 4: Ejemplo de una gráfica de probabilidad normal	39
Ilustración 5: Ejemplo de una gráfica de Histograma	40
Ilustración 6: Ejemplo de una gráfica de Residuos	41
Ilustración 7: Ubicación de los clientes	61
Ilustración 8: Tamaño de clientes de la compañía.....	62
Ilustración 9: Principales proveedores del mercado	62
Ilustración 10: Principales competidores entre clientes de tamaño grande	63
Ilustración 11: Principales competidores entre clientes de tamaño mediano	64
Ilustración 12: Principales competidores entre clientes de tamaño pequeño	64
Ilustración 13: Calificación con respecto a la competencia	65
Ilustración 14: Calificación con respecto a la competencia para cada tamaño de empresa	66
Ilustración 15: Factores de interés para los encuestados	67
Ilustración 16: de interés para los encuestados por tamaño de la compañía	68
Ilustración 17: Tiempo de entrega esperado por los clientes encuestados	73
Ilustración 18: Calificación del factor Tiempo de Entrega.....	74
Ilustración 19: Porcentaje de clientes que requiere rebarbado en los productos	75
Ilustración 20: Porcentaje de clientes que requieren etiquetado en los productos	75
Ilustración 21: Calificación del factor presentación	76
Ilustración 22: Variación máximo en espesor	77
Ilustración 23: Variación máxima en largo	78
Ilustración 24: Variación máxima en ancho/diámetro.....	79
Ilustración 25: Calificación del factor Precisión de Dimensiones.....	80
Ilustración 26: Gráfica de normalidad de Preparación de Bobina.....	107
Ilustración 27: Gráfica de normalidad de preparación previa al corte	109
Ilustración 28: Gráfica de Normalidad de Set-up de la Máquina	111
Ilustración 29: Gráfica de Normalidad de Corte de Flejes	113
Ilustración 30: Gráfica de Normalidad de Embobinado de Flejes con Valor Atípico..	115
Ilustración 31: Gráfica de normalidad de Embobinado de Flejes	117
Ilustración 32: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Flejes.....	120
Ilustración 33: Gráfica de dispersión del Tiempo vs. Peso	125
Ilustración 34: Gráfica de residuos para los Tiempos de conformado	126
Ilustración 35: Gráfica de Normalidad de Preparación de Paquetes de Tubos	128
Ilustración 36: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Paquetes de Tubos	130
Ilustración 37: Gráfica de Normalidad de Preparación para Galvanizado con Valores Atípicos.....	133
Ilustración 38: Gráfica de Normalidad de Preparación para Galvanizado	135
Ilustración 39: Gráfica de Normalidad de Desengrasado	137
Ilustración 40: Gráfica de dispersión de Tiempo Vs. Concentración.....	139

Ilustración 41: Gráfica de residuos para el Tiempo de Aplicación de Ácido.....	140
Ilustración 42: Gráfica de Normalidad de Enjuagado	143
Ilustración 43: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Flux.....	145
Ilustración 44: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Zinc con datos atípicos	147
Ilustración 45: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Zinc.....	149
Ilustración 46: Gráfica de Normalidad de Control de Calidad	153
Ilustración 47: Tiempos de Preparación final de Paquetes con puntos atípicos.....	154
Ilustración 48: Gráfica de Normalidad de Preparación Final de Paquetes	155
Ilustración 49: Gráfica de Normalidad de Preparación Final de Paquetes	157
Ilustración 50: Gráfica de Normalidad de Preparación para Enderezado	159
Ilustración 51: Gráfica de Normalidad de Enderezado de Tubos.....	161
Ilustración 52: Gráfica de Normalidad de Enderezado de Tubos.....	163
Ilustración 53: Gráfica de Normalidad de Empaquetado de Tubos.....	165
Ilustración 54: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Tubos	167
Ilustración 55: Gráfica de Normalidad de Preparación para Roscado.....	170
Ilustración 56: Gráfica de Normalidad de Roscado de Tubos.....	172
Ilustración 57: Gráfica de Normalidad de Empaquetado de Tubos.....	174
Ilustración 58: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Tubos	176
Ilustración 59: Diagrama de las ventas semanales por producto.....	179
Ilustración 60: Producción requerida por cada etapa de producción (Propuesta 1)	196
Ilustración 61: Horas requeridas de producción por etapa (Propuesta 1).....	196
Ilustración 62: Residuos por etapa de producción (Propuesta 2)	197
Ilustración 63: Producción requerida por cada etapa de producción (Propuesta 2)	198
Ilustración 64: Horas requeridas de producción por etapa (Propuesta 2).....	198
Ilustración 65: Residuos por etapa de producción (Propuesta 2)	199
Ilustración 66: Menú principal de la herramienta.....	209
Ilustración 67: Pantalla de resultados (1)	211
Ilustración 68: Pantalla de resultados (2)	211
Ilustración 69: Pantalla de Resultados (3)	212
Ilustración 70: Pantalla de Indicadores.....	213
Ilustración 71: Pantalla de demanda.....	214
Ilustración 72: Pantalla de capacidad	215
Ilustración 73: Pantalla de residuos	216
Ilustración 74: Pantalla de Tiempos	217
Ilustración 75: Pantalla de Modificación de parámetros (Costos).....	218
Ilustración 76: Pantalla de Costos	219
Ilustración 77: Carta de Control \bar{x} y R para el Espesor	223
Ilustración 78: Carta de Control \bar{x} y R para el Ancho	224
Ilustración 79: Carta de Control \bar{x} y R para el Largo.....	225

INTRODUCCIÓN

Conduit del Ecuador es una empresa dedicada a la producción de tuberías de acero para la construcción y metalmecánica. En los últimos tiempos, la empresa se ha visto afectada debido a la gran demanda existente en el mercado de las tuberías de acero, donde sus clientes realizan órdenes por grandes cantidades de productos con poca anticipación y basan su selección de proveedores en la disponibilidad de productos y precios, por sobre las relaciones comerciales. Es por esta razón que se realiza esta tesis, para entender la capacidad de producción que tiene la fábrica y la medida en que puede cumplir con los requerimientos del mercado.

Inicialmente, se realizará un acercamiento a la voz del cliente para conocer sus expectativas sobre los productos y servicios que brinda la compañía. Para esto, se utilizarán dos enfoques en comparación con la competencia. El primero será consultar al cliente sobre los factores críticos que impulsan la compra de tuberías; y el segundo será para conocer acerca de indicadores sobre las características más relevantes obtenidas en el primer acercamiento.

A continuación, se analizará la situación actual de la compañía mediante el levantamiento de sus procesos por cada etapa de producción, con la finalidad de poder identificar las actividades que se llevan a cabo en cada etapa productiva. De esta forma, se buscará entender de mejor manera el proceso productivo de las tuberías para posteriormente tomar los tiempos como la herramienta principal para el cálculo de la capacidad de la fábrica.

Tras obtener los tiempos de producción por cada área se procederá a calcular la capacidad de producción de la fábrica, mediante la utilización de datos de demanda, nivel de servicio que la compañía está dispuesta a satisfacer a sus clientes, tiempos de

producción, variabilidad de los procesos, residuos por etapa, rutas de producción, turnos semanales disponibles, y finalmente el peso de cada una de las tuberías que se encuentran dentro del análisis de Pareto de los productos de mayor venta por semana. De manera paralela se determina la capacidad de la fábrica para cumplir con los otros dos factores determinados en la encuesta uno y se realizan propuestas para la mejora de la forma en que se planifica la producción con el fin ofrecer medidas más precisas en la oferta de valor al mercado y en las estimaciones de tiempo requeridas para la producción de las órdenes recibidas.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

En vista de los cambios que se han ido implementando en la compañía, es necesario poder alinear las nuevas estrategias que se han ido desarrollando con los procesos de producción. Además, los nuevos requerimientos del mercado (mayor cantidad de productos con menores tiempos de respuesta) han exigido cambios al interior de la empresa con el fin de satisfacer las exigencias de la demanda (López, 2012).

Es por esto que se propone este proyecto, para desarrollar un análisis a profundidad sobre la capacidad de las diferentes unidades que componen el sistema de producción y buscar una alineación entre los requerimientos del mercado y las características técnicas de la fábrica.

De igual forma, la incertidumbre de la demanda podrá ser enfrentada de forma más efectiva mediante el análisis de capacidad que generará datos sobre el nivel de producción real de la compañía.

Este proyecto permitirá comprender de mejor forma las necesidades del mercado de tuberías de acero, determinando los factores de mayor importancia que afectan al mismo. Así, se podrán marcar pautas para el desarrollo de estrategias, tanto comerciales como técnicas, de tal forma que se pueda cumplir de mejor manera con las expectativas de los clientes.

El trabajo permitirá la aplicación de diversas herramientas desarrolladas durante la carrera de Ingeniería Industrial, con el objetivo de que se pueda comprender sus campos de uso, requerimientos y dificultades al momento de implementarlas en un sistema de producción real.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Objetivo General

Determinar la capacidad de las diferentes unidades de producción de la fábrica para poder alinearla con los requerimientos y especificaciones del mercado.

Objetivos Específicos

- Determinar factores críticos para el cliente que influyen en la toma de decisiones de compra de tuberías de acero.
- Determinar indicadores para los factores de mayor importancia establecidos por el mercado.
- Determinar la capacidad efectiva de tal forma que se pueda planear la producción y adaptar a las variaciones de las demanda.
- Analizar el sistema de producción de tal forma que se pueda tener una base estadística para la toma de decisiones.
- Diseñar una propuesta de mejora en base a los requerimientos del mercado y la capacidad de producción de la fábrica.

ANTECEDENTES

Conduit del Ecuador es considerada una de las compañías líderes en el mercado de productos metalmecánicos en el país (Kubiec-Conduit, 2012). Cuenta con varias líneas de productos como son las detalladas a continuación:

- Caño para la conducción de fluidos.
- Tubos a prueba de explosión.
- Tubos para conductores eléctricos.
- Tubos poste para cerramientos.
- Tubos de sistema de escape.
- Inoxidables.
- Tubo mueble.

La compañía cuenta con varias certificaciones internacionales que procuran mantener una alta calidad en los productos que ofrecen a sus clientes (Kubiec-Conduit, 2012). Entre su principal mercado se encuentran las distribuidoras de materiales para la construcción y metalmecánica con lo que se considera de gran importancia la captación y retención de clientes para garantizar el crecimiento de la firma (López, 2012).

En la actualidad, la tubería es considerada un producto de alto consumo a nivel nacional, es por esta razón que se encuentra una gran competencia en el mercado que se ha ido desarrollando en base al crecimiento de la industria inmobiliaria y de la construcción (López, 2012).

Hérmel Flores, presidente de la Cámara de la Construcción de Quito (CCQ), revela que el sector inmobiliario en la capital creció un 10% en el 2011 en comparación con el 2010, y el sector de la construcción se ha incrementado en un 15% con respecto al año pasado. (Construir, 2011).

De esta forma, debido a la gran demanda existente en el mercado de las tuberías de acero, los distribuidores de estos materiales realizan órdenes por grandes cantidades de productos con poca anticipación (López, 2012).

Así, se considera necesario conocer el mercado potencial existente y comprender sus necesidades de tal forma que esto venga relacionado cercanamente a los procesos productivos de la compañía y se alinee con la demanda y expectativas del mismo.

En conclusión, se requiere manejar una relación más estrecha con los clientes y su demanda, para de esta manera poder adaptarse a sus necesidades, iniciando por el análisis de la capacidad instalada de la fábrica para así poder responder a los niveles de demanda.

METODOLOGÍA

Para la realización de esta investigación, se procedió a utilizar una metodología basada en una estructura de 4 etapas. Para el desarrollo de estas fases, se cuenta con información sobre datos de la demanda de la empresa, así como también la posibilidad de la medición y recolección de datos sobre las capacidades de la maquinaria para su posterior análisis. De la misma forma se obtendrá información en base a estudios del mercado de clientes de la compañía.

Etapas de ejecución:

Delimitación del alcance del estudio

Para esta etapa, se plantearán los puntos específicos en donde se trabajará dentro de la empresa y los clientes potenciales que se analizarán. Hay que considerar que principalmente se analizará el sistema de producción y la capacidad de las máquinas y las personas que interactúan, con el fin de transformar la materia prima en productos terminados. Finalmente, es necesario considerar los resultados esperados, como son el caso de un análisis de requerimientos del mercado, un modelo de capacidad, una comparación con la demanda y la generación de propuestas (Bertolino, Cloutier, & Lynch, 2003).

Esta sección también concibe el análisis de la situación actual para poder determinar los campos donde se tendrá un mayor impacto (Bertolino, Cloutier, & Lynch, 2003). Con esto se irá adecuando específicamente a los factores de mayor importancia y posteriormente a un proceso de estudio general de la empresa.

Levantamiento de información

Se inicia esta etapa definiendo las principales métricas que se requieren para cumplir con los objetivos establecidos. Igualmente, se analiza la disponibilidad de información y la forma en que ésta podrá ser obtenida (Pavletic, Sokovic, & Kern, 2010).

Primeramente, se determinarán las actividades específicas a medir y posteriormente el tamaño de la muestra necesario para poder definir las capacidades de las etapas de producción (Pavletic, Sokovic, & Kern, 2010). De forma similar para el caso del personal, es necesario determinar periodos en los que se realizarán mediciones de tiempos que toman para realizar actividades específicas.

Análisis de Información

Esta fase permite la identificación de las brechas existentes entre el proceso productivo y los requerimientos del mercado, determinando las causas principales que las provocan y los factores limitantes para poder tener un mejor rendimiento (Pavletic, Sokovic, & Kern, 2010).

Este análisis será la parte principal del trabajo, ya que junto con una comparación con la demanda histórica que se ha presentado hasta el momento, se podrán determinar los requerimientos específicos para poder satisfacerla con el nivel de servicio que la empresa establezca y a la vez adaptándose a los hallazgos encontrados en el análisis del mercado.

Generación de propuestas

Se determinarán los puntos críticos en el sistema de producción para la realización de un plan de mejoras que permita a la fábrica adaptarse a los nuevos requerimientos determinados (Pavletic, Sokovic, & Kern, 2010). De esta forma, a pesar de no acompañar en la implementación, se ofrecerán herramientas que puedan apoyar al desarrollo de la compañía.

Esta etapa se considera la determinación de indicadores clave para la medición del sistema de producción de tal forma que se pueda dar seguimiento al impacto que tengan los cambios que se vayan implementando.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Encuestas

1.1.1. Voz del cliente

La Voz del Cliente (VOC) significa buscar retroalimentación o reunir la información ya existente de los clientes (internos o externos) para determinar qué tanto el producto y/o servicio satisface sus necesidades. Este método refleja las necesidades del cliente, las cuales pueden ser convertidas en un producto determinado o servicio requerido. Estos requerimientos deben presentarse en una forma conveniente que aseguren alcanzar la satisfacción del cliente (UTB, 2010).

1.1.2. Planeación de la encuesta

La planificación de la encuesta tomará en consideración los pasos descritos por el libro Elementos de Muestreo, (Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1987):

- **Establecimiento de objetivos:** Establecer los objetivos de manera clara, concisa y fácil, para que la persona evaluadora entienda lo que se desea lograr, además de remitirse a estos objetivos conforme se avanza en la encuesta.
- **Determinación de la población objetivo:** Defina cuidadosamente la población que va a ser muestreada. Por ejemplo, si son adultos la población se debe definir desde que edad se considera adultos, de que ciudad son, etc.
- **El Marco:** “Seleccione un marco (o marcos) de tal manera que la lista de unidades muestrales y la población objetivo concuerden lo más posible” (Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1987).
 - **Elemento:** Objeto en el cual se toman las mediciones.

- **Población:** Colección de elementos sobre los cuales se hace una inferencia
- **Unidades de muestreo:** Colecciones no traslapadas de elementos de la población que cubren la población completa.
- **Marco:** Es una lista de unidades de muestro.
- **Diseño del muestreo:** Seleccionar un diseño de muestreo que contenga el número de elementos de muestra, donde la muestra proporcione información suficiente para los objetivos de la encuesta.
- **Método de medición:** Los métodos de medición son por lo general: entrevistas personales, entrevistas por teléfono, cuestionarios por correo u observación directa.
- **Instrumento de medición:** Conjuntamente con el paso anterior, especifique las mediciones que van a ser obtenidas. Planee las preguntas que minimicen el error al encuestado.
- **Selección y adiestramiento de investigadores de campo:** Una vez que el plan de muestreo esté establecido, seleccione y adiestre a las personas que van a recolectar los datos, sobre qué mediciones deben hacer y cómo hacerlas.
- **Prueba Piloto:** Seleccione una pequeña muestra y realice una prueba piloto, con la finalidad de probar la encuesta y los instrumentos de medición.
- **Organización del trabajo de campo:** Planear en detalle el trabajo de campo, coordinar llamadas y organizar datos.
- **Organización de manejo de datos:** Elaborar un esquema de cómo se va a receptar los datos obtenidos.
- **Análisis de datos:** Defina los análisis que deben realizarse.

1.1.3. Tamaño de la muestra

Tamaño de la muestra para una población finita:

Cuando se trabaja con una población finita, es decir, se conoce el tamaño de la población, la muestra necesaria es más pequeña y su tamaño se obtiene mediante la siguiente fórmula (Vallejo, 2011):

$$n = \frac{(z_{\alpha/2})^2(p)(q)(N)}{(e^2)(N - 1) + (z_{\alpha/2})^2(p)(q)}$$

Donde,

n : Tamaño de la muestra

N : Tamaño de la población.

p : Proporción de respuestas en una categoría.

q : Proporción de respuesta en la otra categoría ($1 - p$)

e : Error muestral aceptado.

$Z_{\alpha/2}$: Nivel de confianza.

1.2. Procesos

1.2.1. Levantamiento de procesos

Los procesos se pueden agrupar en tres grupos principales que son: Procesos gobernantes, Procesos productivos y Procesos habilitantes (Cisneros, 2012). Según Cisneros (2012), los procesos gobernantes son aquellos de tipo gerencial destinados a la planificación y control dentro de una organización. Los procesos productivos son aquellos que generan productos o servicios y que tienen alto impacto sobre la satisfacción del cliente. Y los procesos habilitantes son aquellos procesos internos que sirven de apoyo o soporte a los gobernantes y productivos. Estos 3 grupos de procesos se encuentran ilustrados en un diagrama de ICOM's, que es una herramienta que permite

identificar de una manera gráfica las entradas, controles, salidas y mecanismos (o recursos) de una empresa como en la Ilustración 1.

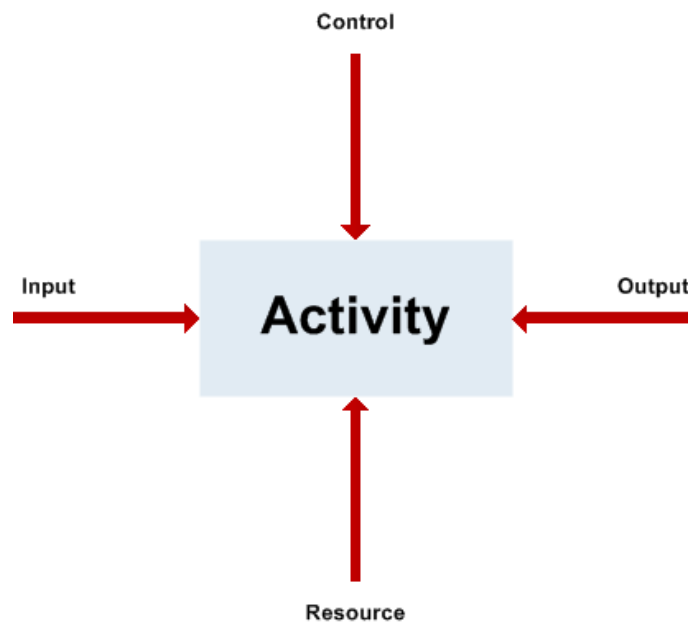


Ilustración 1: Ejemplo de un diagrama de ICOM's

1.2.2. Diagramas de Flujo

Un diagrama de flujo o flujograma es una representación gráfica de un proceso cuyo objetivo es mostrar la secuencia de actividades que se siguen dentro del mismo. Las representaciones gráficas de los procesos permiten conocer los detalles de los trabajos que se realizan en una empresa y registrarlos; de esta manera, se puede analizar los procesos y eliminar las principales deficiencias que existan (Niebel W, 1990).

1.2.2.1. Simbología

A continuación se presenta las formas para diagramas de flujo básicos (Niebel W, 1990).










Símbolo	Significado
	Inicio/fin de proceso
	Actividad
	Decisión
	Actividad de Archivo
	Documentación
	Conector dentro de página
	Conector de página
	Indicador de flujo
	Base de Datos

Ilustración 2: Formas para diagramas de flujos básicos

1.3. Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una herramienta para la medición del trabajo que permite reducir y controlar ciertos costos. A través de esta técnica se busca establecer un tiempo estándar permisible para realizar una tarea determinada, con base en la medición del trabajo considerando tolerancias (Niebel W, 1990).

1.3.1. Toma de Tiempos

Según Sanabria (2009), la medición del trabajo humano siempre ha sido un problema para la administración, ya que los planes para la fabricación de bienes o servicios, mediante un programa confiable y un costo predeterminado, siempre dependen de la exactitud con que se puede pronosticar y organizar la cantidad o tipo de trabajo humano implicado en el mismo. Aunque lo común en la práctica ha sido estimar objetivos

basándose en la experiencia, con frecuencia resultan ser una guía burda e insatisfactoria (Sanabria, 2009).

- **Tiempo de Reloj (TR):** Es el tiempo que un operario toma para ejecutar la tarea sin tomar en cuenta paros realizados por la persona ni tolerancias como fatiga o necesidades personales (Sanabria, 2009).
- **Tiempo Normal (TN):** Es el tiempo que un operario tardaría en ejecutar una tarea cuando la desarrolla a un ritmo normal de trabajo (Sanabria, 2009).
- **Tolerancias (TN * K):** Corresponden al tiempo en el cual el operador descansa por fatiga o necesidades personales. Estos períodos de inactividad (K) se establecen como un porcentaje de tiempo normal, el cual se establece de acuerdo a la dificultad y exigencia de la tarea y las condiciones del trabajador (Sanabria, 2009).
- **Tiempo Estándar (TS):** Comprende el tiempo normal más las tolerancias. El cual representa el tiempo necesario para que un trabajador capacitado realice sus tareas a ritmo normal (Sanabria, 2009). De esta forma, el cálculo del tiempo estándar para una actividad está dado por:

$$TS = TN * (1 + K)$$

En el modelo propuesto, se procede a utilizar los tiempos estándares obtenidos de tal forma que se analizan mediante pruebas de normalidad con el fin de expresarlos de la siguiente manera:

$$t = \mu + z\sigma$$

En donde el tiempo t del elemento analizado es igual a la media de la distribución normal μ más una constante seleccionada z por la desviación estándar de la distribución σ .

De esta forma, con los tiempos estimados mediante el estudio, se procedió a sacar un tiempo estándar por cada proceso en el cual se pudieron utilizar las propiedades de adición de la distribución normal.

1.3.2. Tamaño de la muestra

General Electric Company estableció un número recomendado de ciclos de observación como una guía aproximada (Niegel & Freivalds, 2004):

Tiempo de ciclo en minutos	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Tabla 1: Número recomendado de ciclos de observación

Sin embargo, en el libro de Niegel & Freivalds (2004) se menciona que se puede establecer un número más exacto con métodos estadísticos. Utilizando la media de la muestra \bar{x} , la desviación estándar s , se consigue la siguiente fórmula para la obtención del tamaño de la muestra del número de ciclos de observación:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2$$

Donde,

n : Número de observaciones.

t : Valor t correspondiente al número de grados de libertad y error seleccionado.

s : Desviación estándar.

k : Fracción aceptable de \bar{x} (probabilidad de error).

\bar{x} : Media de la muestra.

1.3.3. Metodología

División de la operación en elementos:

Según Niebel & Freivalds (2004), para facilitar la medición de tiempos se recomienda la división de la operación en grupos de movimientos conocidos como elementos. Los autores emiten algunas sugerencias que ayudan a desglosar los elementos (Niebel & Freivalds, 2004):

1. Separar los elementos manuales y de la máquina.
2. Separar los elementos constantes (donde el tiempo no varía dentro de un intervalo especificado) y elementos variables (donde el tiempo varía en un intervalo de tiempo especificado).
3. Cuando se repite un elemento, no se lo incluye nuevamente en la descripción.

1.4. Estadística

1.4.1. Análisis de Normalidad

La prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov “nace de la comparación de una distribución empírica con una distribución hipotética. Es particularmente útil para situaciones cuando el tamaño de la muestra es pequeño menor a 30” (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004). En este test la Hipótesis nula

H_0 : el conjunto de datos siguen una distribución normal.

Y la Hipótesis Alternativa:

H1: el conjunto de datos no sigue una distribución normal.

1.4.2. Prueba de Bondad de Ajuste: Kolmogorov-Smirnov

La prueba Kolmogorov-Smirnov mide el grado de aceptación entre la distribución de una muestra de números aleatorios generados y la distribución uniforme teórica (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004).

Los autores mencionan que esta prueba compara la función de distribución acumulada (CDF), $F(x)$, con el CDF de la distribución uniforme empírica, $S_N(x)$, de la muestra de N observaciones. Entonces por definición:

$$F(x) = x, \quad 0 \leq x \leq 1$$

Si la muestra del generador de números aleatorios es R_1, R_2, \dots, R_N , entonces el cdf empírico $S_N(x)$, está definido por

$$S_N(x) = \frac{\text{numero de } R_1, R_2, \dots, R_N \text{ donde son } \leq x}{N}$$

Como N se vuelve grande, $S_N(x)$ se debe volver una mejor aproximación a $F(x)$, por lo que la hipótesis nula es verdadera.

La prueba Kolmogorov-Smirnov se basa en la mayor desviación absoluta entre $F(x)$ y $S_N(x)$ en el rango de la variable aleatoria, es decir, que se basa en el estadístico:

$$D = \max |F(x) - S_N(x)|$$

La distribución de muestreo de D es conocida, se tabula como una función de N en el Anexo 1. Para probar contra una CDF uniforme, se sigue estos pasos (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004):

Paso 1: Liste los datos desde el más pequeño al más grande. Sea $R(i)$ la i -ésima observación más pequeña, para que:

$$R_{(1)} \leq R_{(2)} \leq \dots \leq R_{(N)}$$

Paso 2: Calcule

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq N} \left\{ \frac{i}{N} - R_{(i)} \right\}$$

$$D^- = \max_{1 \leq i \leq N} \left\{ R_{(i)} - \frac{i-1}{N} \right\}$$

Paso 3: Calcule $D = \max(D^+, D^-)$.

Paso 4: Ubicar en el Anexo 1 el valor crítico, D_α , para el nivel α de significancia especificado y valor de la muestra N .

Paso 5: Si el estadístico de prueba D es mayor que el valor crítico D_α , la hipótesis nula que la muestra de datos viene distribución uniforme es no aceptada. Si $D \leq D_\alpha$ concluya que no existe diferencia entre la distribución verdadera de $\{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ y la distribución uniforme (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004).

1.4.3. Propiedades de una Distribución Normal

Dentro de las propiedades de una distribución normal, se menciona que (Montgomery & Runger, Probabilidad y estadística aplicadas a la Ingeniería, 1996):

Si,

$$X \sim N(\mu_x, \sigma_x^2)$$

$$Y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

Son variables aleatorias normales independientes, entonces su suma está normalmente distribuida con,

$$U = X + Y$$

$$U \sim N(\mu_x + \mu_y, \sigma_x^2 + \sigma_y^2)$$

Recíprocamente, si dos variables aleatorias independientes tienen una suma normalmente distribuida, estas deben ser normales.

1.4.4. Análisis de Pareto

El Análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto. El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Las "Pocas Vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "Muchos Triviales" (los elementos poco importantes en ella) (Fundibeq, 2010). Este análisis también conocido la "Ley 80-20", menciona que en un 20% de los factores o causas se concentra el 80% del efecto (Vigo, 2009).

1.4.5. Valor P

El valor P determina si es adecuado rechazar la hipótesis nula en una prueba de hipótesis, su rango se encuentran entre 0 a 1. Mientras menor sea el valor p, es menor la probabilidad de rechazar por equivocación una hipótesis nula. Antes de realizar cualquier análisis, se debe determinar un nivel de significancia (α). Un valor comúnmente utilizado es 0.05. Si el valor p de una estadística de prueba es menor que su nivel de significancia, rechace la hipótesis nula (Montgomery & Runger, Probabilidad y estadística aplicadas a la Ingeniería, 1996).

1.4.6. Análisis de Regresión

Este análisis genera una ecuación que describe la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta y para predecir nuevas observaciones. La regresión utiliza el método de mínimos cuadrados ordinarios, del cual se obtiene la ecuación al minimizar la suma de los residuos cuadrados. Los resultados de una regresión indican la dirección, el tamaño y la significancia estadística de la relación entre un predictor y una respuesta (Minitab Inc., 2007). A continuación se muestra la ecuación que Minitab utiliza para obtener.

De una ecuación de regresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Para determinar los coeficiente de regresión se utiliza el método de mínimos cuadrados, el cual se expresa como

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Y la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a la recta de regresión es

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2$$

Entonces, las estimaciones de mínimos cuadrados de la ordenada al origen y la pendiente del modelo de regresión lineal simple son

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{n}}$$

Donde $\bar{y} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n y_i$ y $\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i$

1.5. Análisis de Gráficas

1.5.1. Gráfica de Dispersión

Esta gráfica se utiliza para ilustrar la relación entre dos variables al graficar una en función de la otra como se observa en la Ilustración 3. Las gráficas de dispersión también son útiles para graficar una variable en el tiempo, además se menciona que es

útil cuando se trata de datos que no se ingresan en orden cronológico o que se recolectan a intervalos irregulares (Minitab Inc., 2007).

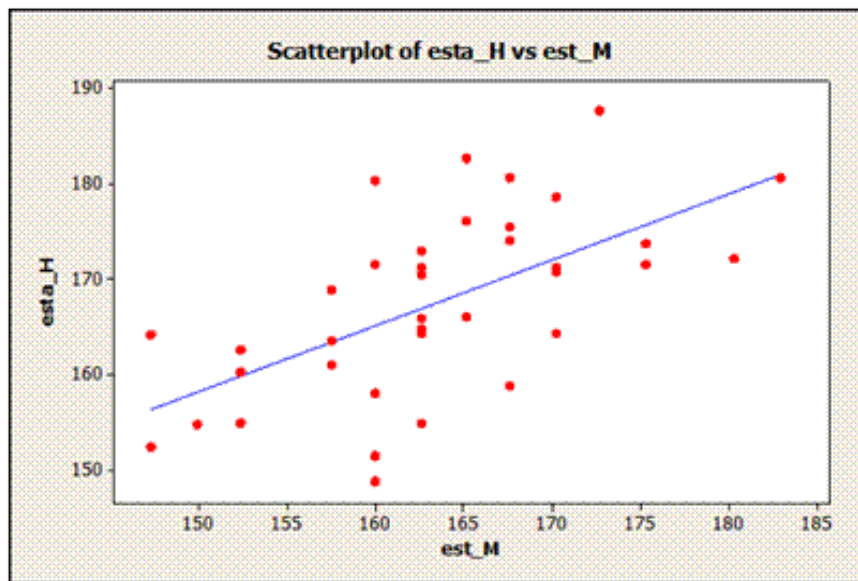


Ilustración 3: Ejemplo de una gráfica de dispersión

1.5.2. Gráfica de Probabilidad Normal

Para la prueba de normalidad se utiliza una gráfica de probabilidad (Ilustración 4), la cual sirve para evaluar el ajuste de una distribución a sus datos, estimar percentiles y comparar diferentes distribuciones de muestras. Una gráfica de probabilidad realiza lo siguiente (Minitab Inc., 2007):

- Grafica cada valor vs. porcentaje de valores en la muestra que son inferiores o iguales a éste, junto con una línea de distribución ajustada (línea azul intermedia).
- Las escalas se transforman según sea necesario, de manera que la distribución ajustada forme una línea recta.
- Puede mostrar los intervalos de confianza de aproximadamente 95% (líneas azules curvas) para los percentiles.

- Puede mostrar una tabla con estimados de parámetros de distribución junto con el estadístico de Anderson-Darling y el valor p para ayudar a evaluar el ajuste de distribución a sus datos.

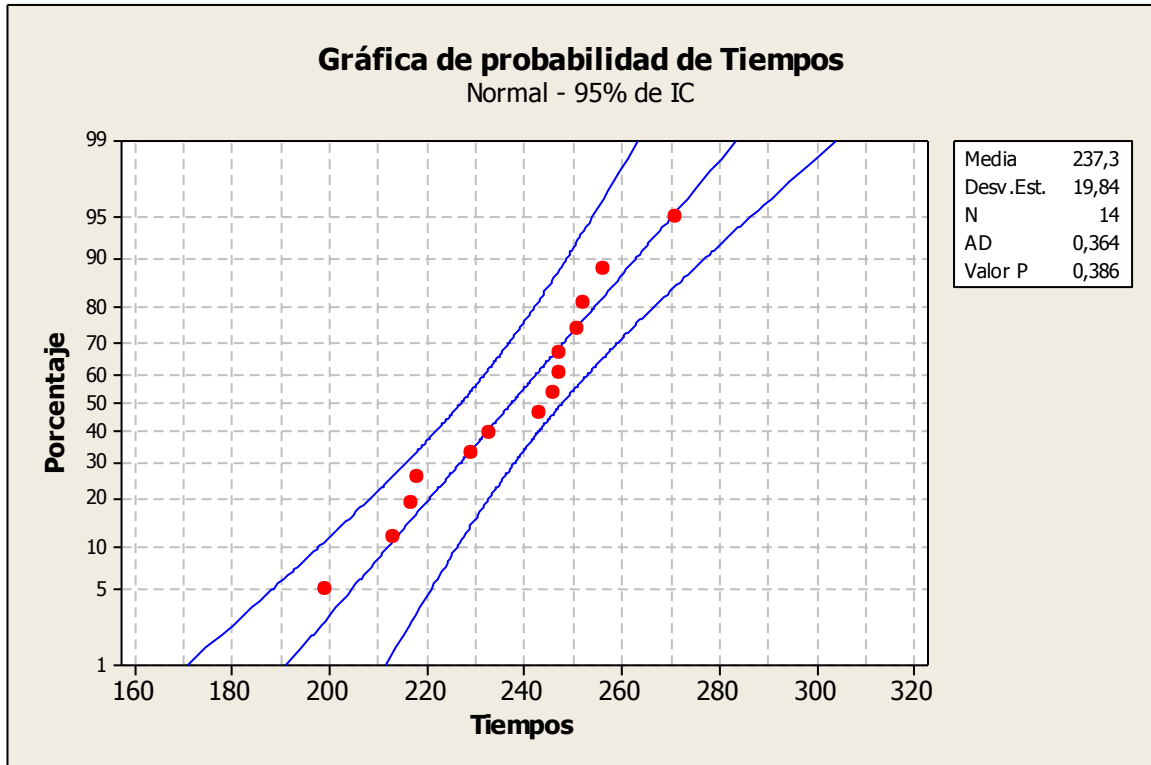


Ilustración 4: Ejemplo de una gráfica de probabilidad normal

1.5.3. Histograma

El histograma se utiliza para examinar la forma y dispersión de los datos de una muestra, esta gráfica divide los valores de las muestras en intervalos denominados secciones como en la Ilustración 5. Las barras verticales del histograma representan el número de observaciones que se ubican dentro de cada sección, que vienen a ser su frecuencia (Minitab Inc., 2007).

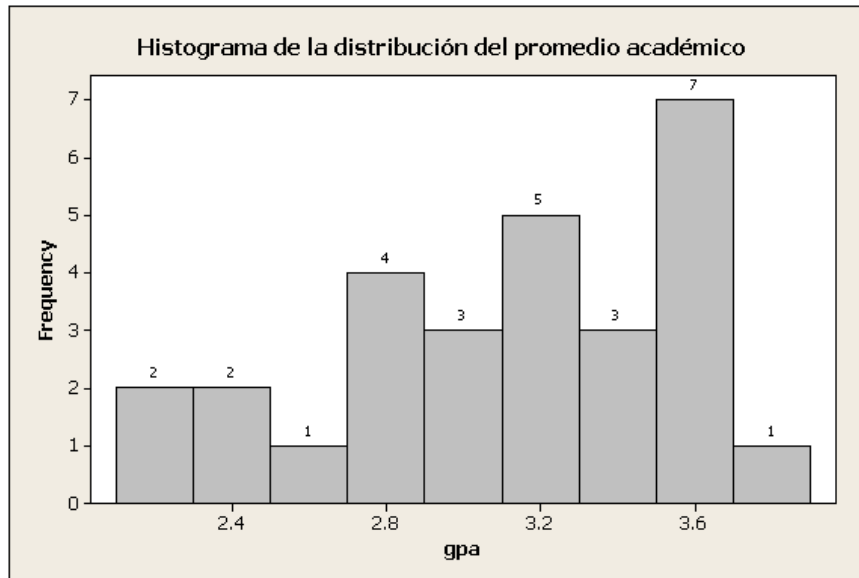


Ilustración 5: Ejemplo de una gráfica de Histograma

1.5.4. Gráfica de Residuos (4 en 1)

A continuación se presenta una descripción para la gráfica de residuos como en la Ilustración 6 (Minitab Inc., 2007).

- **Gráfica de probabilidad normal:** para detectar no normalidades. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente.
- **Histograma de los residuos:** para detectar diversos valores máximos, valores atípicos y no normalidades. El histograma debe ser aproximadamente simétrico y con forma de campana.
- **Residuos contra los valores ajustados:** para detectar varianza no constante, términos de orden superior omitidos y valores atípicos. Los residuos se deben dispersar aleatoriamente en torno a cero.
- **Residuos versus orden:** para detectar la dependencia del tiempo de los residuos. Los residuos no deben exhibir un patrón claro.

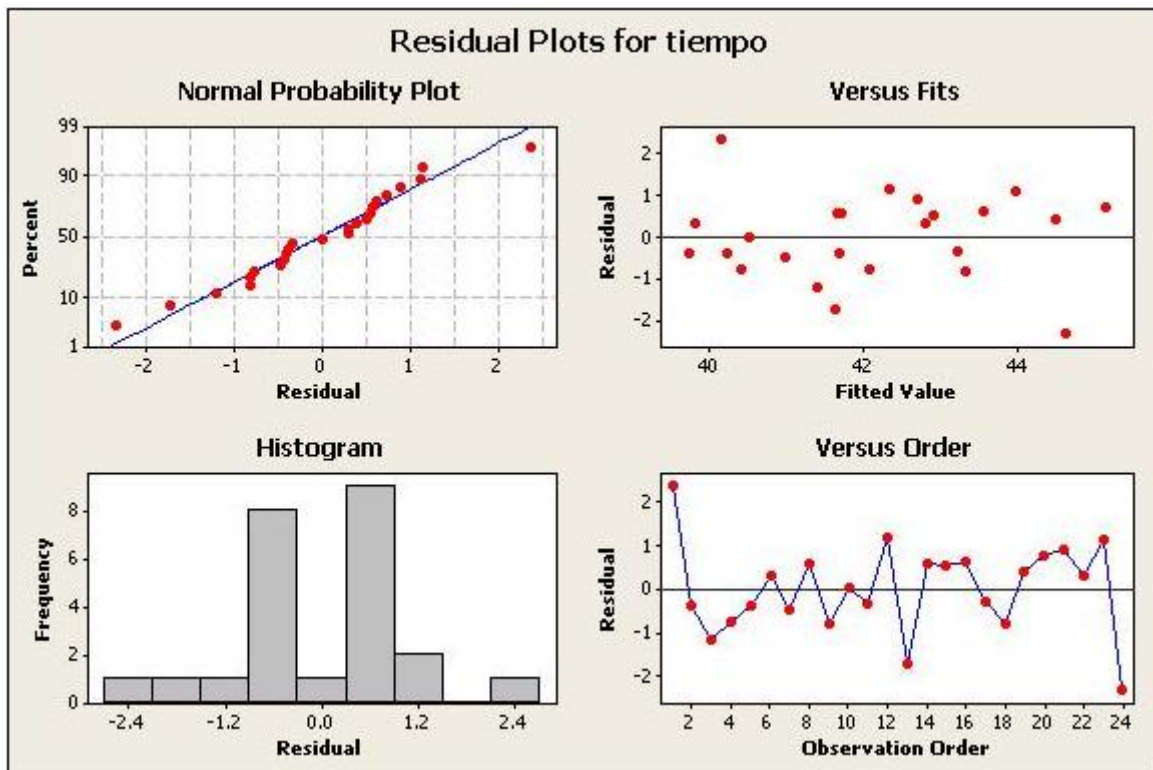


Ilustración 6: Ejemplo de una gráfica de Residuos

1.6. Análisis de Capacidad

El análisis de la capacidad de una fábrica, considera varios aspectos para la realización de una operación que resulte con la obtención de un producto. Algunos aspectos que se deben tomar en consideración son que las operaciones se encuentren dentro de los estándares definidos, la demanda requerida de cada producto, el tiempo real disponible durante el ciclo anual de manufactura. Este análisis identifica la capacidad práctica y máxima instalada en la planta para conocer si su producción puede abastecer o responder a la demanda con la que cuenta (Petroche & Camino, 2004).

1.7. Nivel de Servicio

El nivel de servicio representa la probabilidad esperada para no llegar a una situación de falta de existencias o inventario. Este porcentaje es necesario para calcular las existencias de seguridad. Intuitivamente, el nivel de servicio representa una

compensación entre el costo de inventario y el costo de la falta de existencias (pérdida de ventas, oportunidades y la frustración del cliente) (Lokad, 2012). Se definen 2 tipos de nivel de servicio:

- Nivel de servicio Tipo 1: Probabilidad de no quedarse sin mercancía en el tiempo de demora y está representado por el símbolo α .
- Nivel de servicio Tipo 2: es la proporción de las demandas que se surten con las existencias y se representa por el símbolo β .

1.8. Unidad Agregada de Producción

El término agregado en planeación, significa que las cantidades a producir se deben establecer de manera global o para una medida general de producción, o cuando mucho para algunas pocas categorías de productos acumulados. Es aconsejable utilizar unidades agregadas que abarquen familias de productos, unidad de peso, unidad de volumen, tiempo de uso de la fuerza de trabajo o valor en dinero. En fin, cualquier unidad agregada que se escoja debe ser significativa, fácilmente manejable y comprensible dentro del plan (AIU, 2010).

1.9. Utilización

La utilización es el valor de la capacidad de producción que en realidad se está utilizando durante un periodo específico de tiempo, es decir, la relación porcentual entre la producción real y la producción potencial. La tasa de utilización de la capacidad se mide en porcentaje y se ajusta para reflejar la aptitud de producción de diversos bienes y recursos naturales de los productores, así como fábricas, servicios públicos y similares (Sánchez, 2008).

$$Utilización = \frac{Produccion\ Real}{Produccion\ Potencial} \times 100$$

1.10. Indicadores de Producción

La existencia de indicadores de gestión en un sistema de producción es de suma importancia para la implementación de procesos productivos, ya que permiten la ejecución de ciclos de mejora continua, además de funcionar como parámetros de viabilidad de procesos (Salazar, 2011). Según Salazar (2011), la productividad se define como la eficiencia de un sistema de producción, que está dado por el cociente entre el resultado del sistema productivo (productos, clientes satisfechos - Ventas) y la cantidad de recursos utilizados.

A continuación se definen los indicadores que van a ser utilizados para el modelo de capacidad:

- **% de Utilización** = $\frac{\text{tiempo requerido}}{\text{tiempo disponible}} * 100\%$
- **Toneladas de producción:** toneladas totales requeridas de producción en cada etapa del proceso.
- **Residuos:** Cantidad de residuos, en toneladas, generados en cada etapa de producción.
- **Horas requeridas de producción:** horas de producción requeridas para la cantidad de producción planificada.
- **Toneladas de producto terminado fabricadas:** Cantidad, en toneladas de producto terminado, que se fabricaron.

1.11. Cartas de Control Estadístico

Carta de control por variable

Se habla de una variable cuando la característica que se está estudiando puede medirse y expresarse como un número dentro de una escala de medición continua. Para este caso, se utilizan las cartas de control de variables, donde la característica de calidad se

describe con una medida de tendencia central y una medida de variabilidad (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007).

Montgomery (2007), menciona que la carta x es la carta de uso más común para controlar la tendencia central antes mencionada, mientras que las cartas basadas en el rango muestral o en la desviación estándar, se usan para controlar la variabilidad de un proceso.

Carta de Control \bar{x} y R

Para el control del promedio del proceso se suele utilizar la carta de control para medias (carta \bar{x}), mientras que para observar la variabilidad del proceso se utiliza una carta de control para el Rango (carta R). Las cartas de control \bar{x} y R se encuentran entre las técnicas estadísticas de monitoreo y control más útiles e importantes.

Fundamentos estadísticos de las cartas:

Cartas con μ y σ conocidos:

Montgomery (2007), menciona que se supone que una característica de la calidad tiene una distribución normal con media μ y desviación estándar σ , donde tanto μ como σ son conocidas. Entonces si x_1, x_2, \dots, x_n es una muestra de tamaño n , su promedio de muestra es,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

y se sabe que \bar{x} sigue una distribución normal con media μ y desviación estándar $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$. Además, la probabilidad es de $1-\alpha$ para que cualquier media muestral se encuentre en,

$$\mu + Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2}\sigma/\sqrt{n}$$

y

$$\mu - Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2}\sigma/\sqrt{n}$$

Entonces, si μ y σ son conocidas las ecuaciones anteriores pueden utilizarse como límites de control superior e inferior.

Cartas con μ y σ desconocidos:

Por lo general en la práctica no se conocen μ y σ por lo tanto deben estimarse a partir de subgrupos tomados cuando se considera que el proceso está bajo control. Se menciona que las estimaciones deben basarse en al menos 20 o 25 muestras. Suponer que se cuentan con m muestras, cada una de las cuales contiene n observaciones (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007). De manera típica n suele ser pequeña, con frecuencia 4,5 o 6. Entonces, sean $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ los promedios de cada muestra, por lo que el promedio del proceso es,

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Por otro lado, si x_1, x_2, \dots, x_n es una muestra de tamaño n , entonces el rango de la muestra es la diferencia entre la observación mayor y menor, es decir,

$$R = x_{max} - x_{min}$$

Sean R_1, R_2, \dots, R_m los rangos de las m muestras, entonces el rango promedio es

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Límites de Control

Carta \bar{x} :

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Línea Central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Carta R :

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Línea Central} = \bar{R}$$

$$LCL = D_3\bar{R}$$

Limites de Control:

Los límites de control están regidos por la variabilidad natural del proceso, es decir, por los límites de tolerancia natural de un proceso. Estos límites permiten determinar si el proceso se encuentra bajo control estadístico cuando se seleccionan las m muestras iniciales. Al graficar las cartas \bar{x} y R , si todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control y no es evidente ningún comportamiento sistemático, se puede concluir entonces que el proceso está bajo control y estos límites son apropiados para controlar la producción actual o futura (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007).

Limites de Especificación:

La determinación de los límites de especificación son externos, estos límites pueden ser establecidos por la administración, por los ingenieros del proceso, por el cliente o por los diseñadores del producto (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007). El autor menciona que las características de calidad se evalúan tomando en cuenta las especificaciones, donde para un producto las especificaciones son las mediciones deseadas de las características de la calidad de los componentes y subensamblajes que constituyen el producto.

Subgrupos Racionales

Cuando se aplican cartas de control a procesos de producción, el orden en el tiempo de la producción es una base lógica para establecer subgrupos racionales. Un enfoque para la utilización de subgrupos racionales, dice que cada muestra está formada de unidades

del producto que son representativas de todas las unidades que se produjeron desde que se tomó la última muestra, es decir, cada subgrupo es una muestra aleatoria de toda la producción del proceso sobre el intervalo de muestreo (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007).

Tamaño de la muestra para una población infinita:

Cuando se trabaja con una población infinita, es decir, el tamaño de la población es muy grande o indefinido, cuyo tamaño exacto no se puede conocer, su tamaño se obtiene mediante la siguiente fórmula (Vallejo, 2011):

$$N = \frac{(z)^2(p)(q)}{(e)^2}$$

Donde,

N : Tamaño de la muestra.

p : Proporción de respuestas en una categoría.

q : Proporción de respuesta en la otra categoría ($1 - p$)

e : Error muestral aceptado.

Z : Nivel de confianza.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Descripción de la empresa

Conduit del Ecuador S.A inició sus operaciones en el año 1979 como una industria productora de tuberías de acero bajo la marca tubos Fuji. En los inicios, Conduit del Ecuador tenía una producción con una gama de tuberías limitada a la conducción de agua, ciertas instalaciones eléctricas y usos estructurales (Conduit del Ecuador: Fujinox, 2009).

Sin embargo, con el pasar del tiempo se ha mantenido a la vanguardia introduciendo nuevos tipos de tubería en el mercado ecuatoriano y de exportación. De esta forma comenzó con la producción de tubería para la conducción de cables eléctricos grado intermedio y a prueba de explosión (Conduit del Ecuador: Fujinox, 2009). Y recientemente Hidrinox, un sistema para la conducción de fluidos fabricado íntegramente en acero inoxidable.

En 1992 se dio el primer paso para expandir la influencia de la empresa con la exportación de tubería en el mercado colombiano. Hoy en día, los productos son ampliamente reconocidos en todos los países de la comunidad Andina de Naciones, y también en otros países como son Chile, Panamá, Costa Rica, Republica Dominicana y varias regiones de los Estados Unidos (Conduit del Ecuador: Fujinox, 2009).

En el año 2003, una nueva etapa da inicio a la producción y distribución para todos los clientes, la introducción de un nuevo tubo Fujinox, el primer tubo estructural y decorativo fabricado en acero inoxidable (Conduit del Ecuador: Fujinox, 2009). Este tubo es hoy en día uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente utilizado desde que los costos se han vuelto razonables es precisamente el acero inoxidable.

2.2. Misión

La misión de Kubic-Conduit es:

Contribuimos al logro de los objetivos de rentabilidad y cumplimiento de nuestros clientes. Con soluciones innovadoras, eficientes, confiables y perdurables para la construcción y la metalmecánica. Desarrolladas en un equipo humano experto y comprometido. Aportando siempre al logro de los objetivos de nuestro grupo de intereses (Clientes, colaboradores – asociados, proveedores, accionistas y nuestro entorno de influencia) (Kubic-Conduit, 2012).

2.3. Visión

La visión de Kubic-Conduit (2012) es:

Incrementar constantemente nuestra participación en el mercado, siendo líderes en el desarrollo de provisión de productos y servicios innovadores para la construcción y metalmecánica. Y, con un equipo humano distinguido por su experiencia motivación y compromiso.

2.4. Valores Corporativos

Sus valores en que se encuentran reflejados son:

- Realizar todo esfuerzo para cumplir las obligaciones contraídas con el cliente.
- Actuar con integridad
- Mantener un sentido de urgencia en la relación con el cliente
- Proveer productos y servicios de calidad un precio justo y competitivo
- Tratar a la gente con dignidad y respeto
- Sobresalir en innovación, sencillez y rapidez

- Ser clientes leales hacia los proveedores competitivos que satisfacen nuestros requerimientos ante cualquier condición del mercado
- Capacitar a nuestro personal para que este altamente calificado
- Contribuir a la protección y cuidado del medio ambiente

2.5. Puntos de Calidad

Los puntos de calidad para Kubic-Conduit (2012) son:

Incrementar rentablemente la participación en el mercado, cumpliendo los requerimientos del cliente en condiciones positivamente diferentes a la competencia; esto lo conseguiremos con un equipo humano experto, motivado y comprometido con la innovación, el mejoramiento continuo de los procesos y respetando al ambiente.

2.6. Objetivos de Calidad

Los objetivos de calidad apuntados por la compañía son:

- Lograr una rentabilidad sostenida
- Incrementar en ventas anuales
- Introducir en el mercado de productos innovadores
- Ser la empresa que ofrece mejor disponibilidad de productos en el mercado
- Ser una empresa competitiva en costos y gastos
- Lograr que el usuario final decida su compra porque percibe una entrega más rápida y de mejor calidad
- Promover un equipo humano comprometido
- Lograr el desarrollo de la empresa y del equipo humano
- Implementar acciones para respetar el ambiente
- Mejorar indicador de relación de inventarios

- Lograr exportaciones o ventas en el extranjero.

2.7. Datos del mercado

2.7.1. Mercado del Acero

En el artículo Lo bueno, lo malo y China (Beltrán, 2011), se inicia mencionando que una proyección del desempeño del sector siderúrgico latinoamericano para el 2011 debe considerar el protagonismo de China en su evolución, puesto que influye y seguirá influyendo sobre la producción y el consumo mundial de acero este año.

Además, Beltrán (2011) asegura que la demanda mundial de acero debiera reportar un crecimiento de 5,3% el 2011. Beltrán añade que, la demanda de Latinoamérica también está creciendo con rapidez, con un repunte de 23,5% previsto para el 2010 y de 8,4% en el consumo del 2011. Este tipo de crecimiento probablemente llevará a China a seguir aumentando sus exportaciones a la región, según el director presidente de la siderúrgica brasileña Gerdau, André Gerdau Johannpeter como menciona Beltrán. En respuesta, el autor resalta que las siderúrgicas de la región están solicitando que los gobiernos apliquen medidas que protejan al mercado de las importaciones siderúrgicas chinas a bajo costo y para este año se pronostican avances al respecto.

Y estos datos se ven reflejados para Latinoamérica al ver que China ha aumentado su participación en proyectos, y compañías estatales chinas han suscrito contratos con gobiernos de países como Venezuela, Ecuador y Argentina.

Con respecto al Ecuador, el Eco. Luis Luna (2012) menciona que según Fedimetal, el Ecuador no llega ni al 1% del consumo de acero en América del Sur, pues el consumo se ubica en 82 kg por habitante anual, mientras que el promedio latinoamericano es de 126 kg por habitante. Según Luna, para el Ecuador la producción nacional apenas alcanza el 10% de la demanda, debiendo importar la diferencia. Es así que, a nivel nacional existen 20 empresas que producen acero, mientras que cerca de 20 mil lo

utilizan como materia prima. Con respecto al mercado de fundidores de chatarra, Luna menciona que está concentrado en más del 98 % en tres empresas que son: Andec, Adelca, y Novacero, mientras que los pequeños fundidores representan el 2%.

2.7.2. Tuberías de Acero

El acero es “básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%)” (InfoAcero, 2010). Según el Grupo Sitsa (2010), el acero es uno de los materiales de construcción más versátil, adaptable y ampliamente usado. El precio del acero es relativamente bajo, ofrece gran resistencia y puede ser trabajado empleando numerosos métodos.

Las tuberías de acero tienen un gran uso industrial debido a su alta resistencia en la contención de fluidos, presión y dureza. Se usa en gran cantidad de aplicaciones industriales manejando fluidos abrasivos y corrosivos. Así mismo, es utilizada en la construcción en ductos de agua, y dentro de las viviendas para conducción de agua y gas (Sitsa, 2010).

Las tuberías de acero son denominadas por su diámetro nominal en milímetros o en pulgadas. Un parámetro que la caracteriza es la costura y que es de vital importancia según la aplicación de la tubería.

2.7.3. Sector de la construcción

Según Juan Ponce (2012), el sector de la construcción ha estado viviendo durante los últimos años un crecimiento muy acelerado que ha contribuido a dinamizar la economía. Por un lado, ha sido el resultado del período de bonanza que el país ha vivido durante estos años (el poder adquisitivo de la población ha aumentado) y por otro, lo fácil que se ha vuelto el acceder a créditos hipotecarios (creación del BIESS). Es así que, una redacción de Negocios menciona que “el crecimiento económico del país se

aceleró al 8,62% en el primer trimestre del 2011, impulsado por el desempeño de varios sectores, entre ellos el de la construcción, que creció 17,5% respecto a igual período del 2010” (Negocios, 2011).

Por el lado, inmobiliario Jaime Rumbea, vocero de la Asociación de Promotores Inmobiliarios de Vivienda del Ecuador (APIVE), explicó que el mercado inmobiliario del país “este año el crecimiento debería estar entre el 10 y 15%” (Negocios, 2011). Además, Víctor Vizúete (2011) asegura que el sector inmobiliario vive una de sus mejores etapas desde la creación de la República y es la inversión más segura en el largo plazo.

2.7.4. Mercado atendido por la empresa.

Conduit del Ecuador S.A atiende un mercado diverso de alrededor de aproximadamente 1000 clientes. En este mercado se encuentran proveedores muy pequeños como ferreterías y tiendas, empresas medianas y grandes, especializadas en la venta y distribución de materiales para la construcción y metalmecánica (López, 2012). Por lo tanto, la compañía atiende una demanda muy diversa y con diferentes tipos de necesidades.

La gran cantidad de clientes y sus diferentes tipos han presentado un desafío para el establecimiento estratégico de la compañía. El tamaño del mercado influye de gran forma por el hecho que es difícil manejar la demanda de una cantidad tan grande de clientes que poseen requerimientos diversos. Todo esto influye de gran forma tanto en la producción que tiene la empresa como en la competencia a la que se enfrenta en cada segmento.

Según López (2012), las ferreterías y tiendas pequeñas atienden a un mercado de gente dedicada a la construcción y reparación de estructuras que requieran tubos de acero. Por

otro lado, las empresas medianas se dedican, en general, a la compra de artículos de acero para atender los requerimientos de constructoras de tal forma que se consolidan junto con otros artículos antes de llegar al cliente que las utilizará. Finalmente, López resalta que entre las compañías de mayor tamaño se pueden encontrar otros enfoques como la de venta a mercados selectos en busca de productos con acabados finos, la exportación de productos a otros países o la atención de mercados de construcción de tamaño considerablemente mayores.

Con todo esto se pueden concluir dos puntos importantes en base al análisis del mercado atendido:

1. Conduit del Ecuador S.A. no atiende directamente al cliente final de los artículos que produce.
2. Es de vital importancia reconocer las necesidades de cada segmento del mercado de acero ya que esto permitirá dirigir las estrategias de la compañía de una forma más definida.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DEL MERCADO

3.1. Encuesta 1: Determinación de factores influyentes del mercado

3.1.1. Preparación y realización de la encuesta 1

Esta primera encuesta tiene como objetivo principal determinar los factores críticos que incentivan al cliente a realizar la compra, es decir, las características que en las que primeramente se fija el consumidor y que diferencien a la empresa de la competencia. Para esto, el área de comercialización mencionó 6 factores que engloban características del servicio y producto de la compañía. Entre estos se encuentran la disponibilidad, precio, atención, precisión de las dimensiones, presentación y gama de productos.

Para la herramienta de investigación se tomarán en consideración los pasos descritos por Scheaffer, Mendenhall y Ott (1987) en su libro Elementos de Muestreo, para la planeación de una encuesta.

3.1.1.1. Establecimiento de objetivos

Los objetivos planteados para la encuesta son los siguientes:

- Recolectar información demográfica de los clientes (nombre de la empresa, tamaño, # sucursales y sector).
- Conocer los principales proveedores de tuberías de acero, es decir, la competencia de la compañía.
- Determinar factores críticos para el cliente, que influyen en la toma de decisiones para la compra de tuberías.
- Obtener la calificación de la empresa frente a sus competidores.

3.1.1.2. Determinación de la población objetivo y tamaño de muestra

La población objetivo son las empresas pequeñas, medianas y grandes que se encuentran actualmente dentro de la cartera de clientes de Conduit, las cuales mantienen un registro de compras o pedidos continuo. Éstas son empresas que Conduit mantiene cobertura en las ciudades de Quito, Ambato, Riobamba e Ibarra.

La cantidad de encuestas a ser realizadas se obtuvo en base a la fórmula establecida por Montgomery, la cual garantiza una de tamaño estadísticamente representativo de la población (Montgomery, 1998). Vale mencionar que se recomienda la utilización de esta fórmula cuando se van a realizar inferencias estadísticas sobre la muestra de una población de tamaño conocido, tal como es requerido en este caso. Además, se decidió aplicar esta fórmula ya que se adapta al objetivo de determinar qué factores son o no son importantes para los clientes de la compañía. La fórmula se presenta a continuación:

$$n = \frac{(z_{\alpha/2})^2(p)(1-p)(N)}{(e^2)(N-1) + (z_{\alpha/2})^2(p)(1-p)}$$

En donde:

N: Tamaño de la población. Conduit posee aproximadamente 1000 clientes.

p: Probabilidad estimada de la respuesta. Ya que este valor no es conocido, se utiliza 50% para que de esta forma, se maximice el tamaño de la muestra (Montgomery, 1998).

e: Precisión o error máximo. Se utiliza un error del 10% ya que a pesar de que generalmente se recomienda un 5%, esto genera tamaños de muestra demasiado grandes con lo se puede utilizar un 10% para la mayoría de casos.

$z_{\alpha/2}$: Nivel de confianza. Se recomiendan altos niveles de confianza para estudios que puedan generar grandes riesgos por lo que para esta investigación se determinó que el nivel de confianza del 90% sería suficiente, con un valor de 1.64.

Reemplazando se obtiene:

$$n = \frac{(1.64)^2(0.50)(0.50)(1000)}{(0.10)^2(1000 - 1) + (1.64)^2(0.50)(0.50)}$$

$$n = 63.06 \approx 64$$

Vale mencionar que los datos obtenidos fueron analizados de una lista de clientes entregada por la empresa con lo que no se puede garantizar la aleatoriedad de los contactos encuestados.

3.1.1.3. El Marco

El marco fue enfocado a las personas encargadas del departamento de compras o adquisiciones de cada empresa, y las empresas fueron seleccionadas de acuerdo a un listado de clientes proveídos por Conduit. Dentro de este marco los clientes fueron seleccionados de manera aleatoria de la lista proporcionada por la empresa, pero cabe recalcar que no todos los clientes se prestaron para ser encuestados.

3.1.1.4. Diseño del muestreo

La encuesta tiene un diseño básico o muestreo irrestricto aleatorio que según Scheaffer, Mendenhall, & Ott (1987), éste consiste en seleccionar un grupo de n unidades muestrales de tal manera que cada muestra de tamaño n tenga la misma oportunidad de ser seleccionada. Una muestra irrestricta aleatoria “va a contener tanta información sobre la preferencia de la comunidad como cualquier otro diseño de muestreo, siempre y cuando todos los votantes en la comunidad tengan características socioeconómicas similares” (Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1987).

3.1.1.5. Método de medición

El método de medición utilizado para el levantamiento de la voz del cliente es una prueba de consumidor, el cual mide los factores que influyen el gusto, preferencia y consumo de un producto o servicio. Dentro de las pruebas de consumidor se utilizará un

método cuantitativo representado por la encuesta, en este caso una encuesta telefónica destinada a los encargados del área de adquisiciones.

El cuestionario para una encuesta telefónica debe depurarse a fondo: pocas cuestiones y muy sencillas, con la misma escala de respuesta para todas. Hay que prever que el encuestado será reticente a una encuesta que no sea muy breve y que, aunque acepte una encuesta larga, sus respuestas son menos fiables cuanto menos transparentes sean las cuestiones y las opciones de respuesta, y cuanto más se alargue la encuesta (Canela, 2010).

3.1.1.6. Instrumento de medición

El instrumento de medición es una encuesta (Ver Anexo 2), iniciada con 4 preguntas demográficas sobre el nombre de la empresa, su tamaño con respecto al número de trabajadores, el número de sucursales con las que cuenta y el sector donde se encuentran ubicados, además de una pregunta para conocer sus principales proveedores de tuberías de acero.

Para el tamaño de la empresa se tomó como referencia el tamaño de empresas por número de empleados expuesto en la Resolución 1260 emitida por la Secretaría de la Comunidad Andina, donde una microempresa tiene entre 1 a 9 trabajadores, una pequeña empresa tiene entre 10-49 trabajadores, una mediana empresa tiene entre 50-199 trabajadores y una empresa grande tiene 200 o más trabajadores (Araque, 2011). Cabe recalcar que el criterio para delimitar el tamaño de las empresas (número de trabajadores) fue seleccionado ya que es un dato que los encuestados pueden aceptarlo fácilmente, en comparación con criterios de volumen de ventas, producción, etc. Además eran datos que por confidencialidad las empresas no estarían dispuestas a divulgar. Para facilidad del estudio se decidió tomar a las empresas pequeñas con un

rango desde 1 a 49 empleados, absorbiendo dentro de su campo a una microempresa ya que no existen muchos clientes de este tipo.

Posteriormente, la encuesta posee 6 factores (definidos por la gerencia) que se consideran al momento de realizar una compra (disponibilidad, precio, atención, precisión de las dimensiones, presentación y gama de productos) representadas por preguntas cerradas, donde “cada pregunta debe tener una respuesta numérica simple o un número fijo de selecciones predeterminadas, una de las cuales debe ser elegida por el respondiente” (Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1987), calificados en un orden de importancia por método de ranking 1 al 6, donde 1 es el menos importante y 6 el más importante, definidos a continuación:

- **Disponibilidad:** Tiempo de entrega del producto al cliente.
- **Precio:** Cantidad de dinero a pagar por el producto.
- **Atención:** Relacionamiento entre vendedor-cliente y realización de pedidos mediante contact-center.
- **Precisión de Dimensiones:** Exactitud de dimensiones de espesor, longitud y diámetro o ancho cumpliendo especificaciones de calidad de tuberías.
- **Presentación:** Percepción visual del cliente sobre el producto entregado.
- **Gama de productos:** Diversidad de tipos de tuberías y dimensiones.

Finalmente, una pregunta de calificación de la empresa frente a sus competidores, donde el modo de respuesta está descrito por una escala de Likert de 5 puntos utilizada para medir actitudes. La escala Likert según Julián Rodríguez es un conjunto de ítems ante las cuales la persona expresa su grado de acuerdo o desacuerdo o indecisión (Rodríguez, 2012). Según Rodríguez, esta escala fue diseñada para medir actitudes pero, además por

lo fácil que resulta construirla, contestarla y analizarla, y también porque sus propiedades psicométricas son fáciles de evaluar, es usada para medir opiniones, percepciones, valores y otras variables. Para esta encuesta las posibilidades de respuesta son 1) insuficiente; 2) regular; 3) buena; 4) muy buena, y 5) excelente, ya que se trata de medir el servicio de la empresa frente a sus competidores.

3.1.1.7. Selección y adiestramiento de investigadores de campo

Previo a las encuestas telefónicas, los tesisistas recibieron toda la información necesaria para poder responder a las posibles inquietudes de los entrevistados, mediante una inducción técnica sobre el proceso de producción de la tubería, tiempos de entrega y relación vendedor-cliente.

3.1.1.8. Prueba Piloto

Se realizó una prueba piloto con un cliente especial de la empresa acompañados de personal de Conduit, con la finalidad de medir la capacidad de los entrevistadores a responder las inquietudes de los encuestados, y verificar que todos los conceptos sean transmitidos claramente para así evitar sesgos y respuestas no deseadas.

3.1.1.9. Organización del trabajo de campo

Las encuestas serán realizadas por ambos estudiantes de acuerdo a una lista depurada de clientes dividida equitativamente, mediante una llamada telefónica al jefe de adquisiciones de la empresa, con una duración de no más de 5 minutos.

3.1.1.10. Organización de manejo de datos

Los datos obtenidos de las encuestas telefónicas serán llenados conjuntamente en una hoja Excel.

3.1.1.11. Análisis de datos

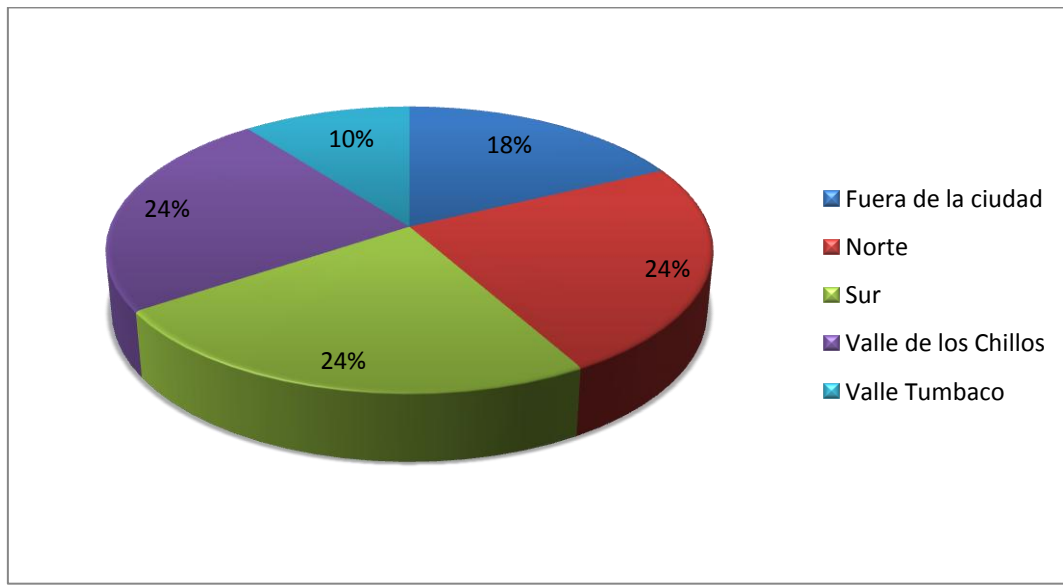


Ilustración 7: Ubicación de los clientes

En la Ilustración 7 se puede concluir que los clientes de la compañía se encuentran igualmente repartidos a lo largo de todos los sectores de la ciudad. Los principales tres grupos, con un 24% cada uno, se encuentran ubicados en el Valle de los Chillos, en el Sur y Norte de la ciudad de Quito. A continuación se tiene que un 18% de los clientes se encuentran ubicados fuera de la ciudad y finalmente un 10% en el Valle de Tumbaco.

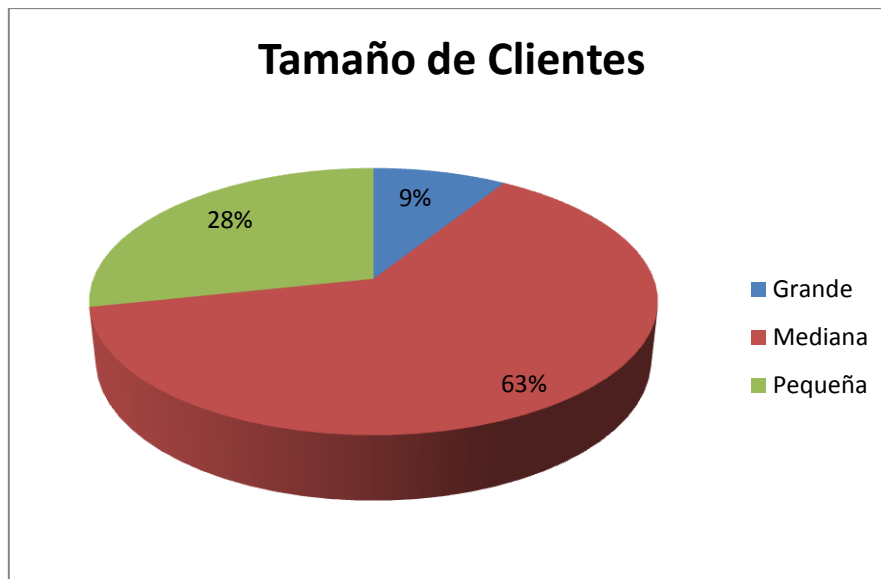


Ilustración 8: Tamaño de clientes de la compañía

De la Ilustración 8 se puede concluir que el mayor porcentaje (63%) de los clientes de la compañía es de tamaño mediano, es decir, posee entre 50 y 199 empleados. En segundo lugar se tiene con un 28% a compañías pequeñas (1-49 empleados). Finalmente, el menor porcentaje de los clientes es considerado de tamaño grande (200 o más empleados) con 9%.

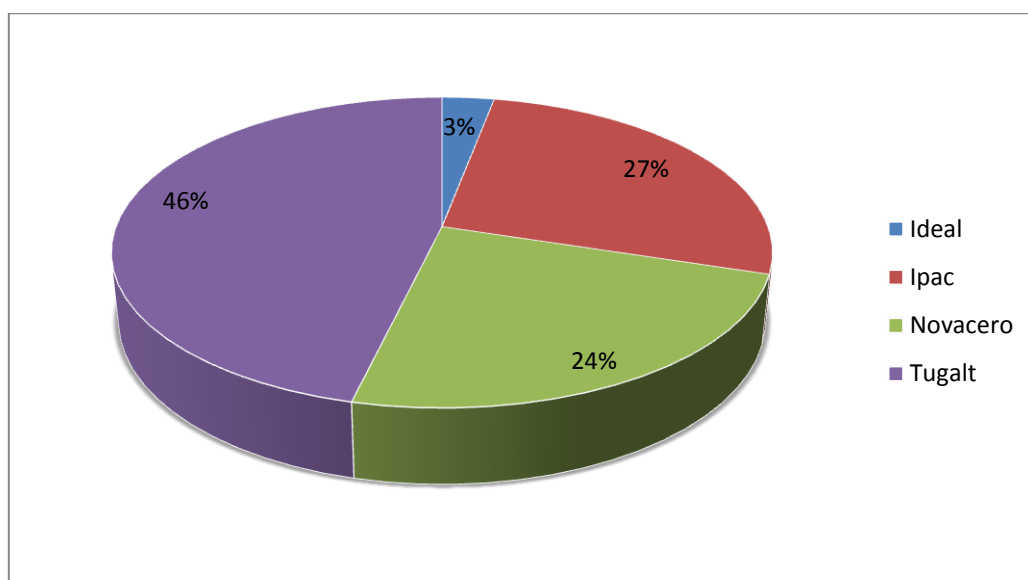


Ilustración 9: Principales proveedores del mercado

Ahora, para conocer los principales competidores de la compañía, se realizó una pregunta a los clientes entrevistados con el fin de determinar la participación de otras empresas en el mercado. Se obtuvieron 4 participantes mayoritarios en el mercado. El mayor competidor es Tugalt con una participación del 46%, seguido por Ipac con un 27%, de manera muy cercana a Novacero con un 24% y finalmente, a Ideal con un 3%. De la misma forma, se analizaron los principales proveedores para cada tamaño de empresa:

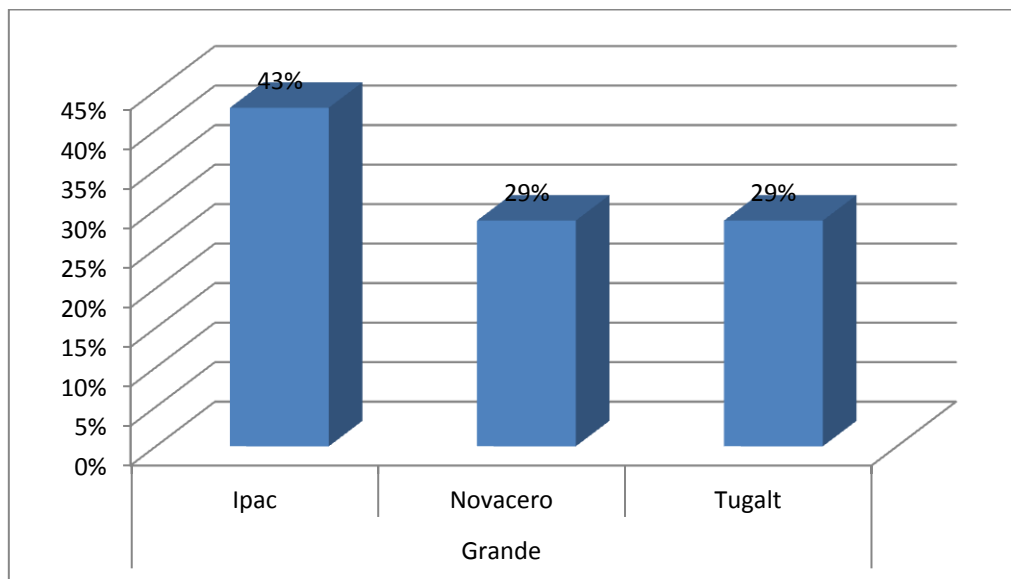


Ilustración 10: Principales competidores entre clientes de tamaño grande

Para tener una noción más clara de la competencia, se analizó su participación entre cada uno de los tamaños de clientes. Para el caso del mercado de clientes considerados de tamaño Grande se analizó la Ilustración 10, se obtuvo que Ipac posee una mayor participación con un 43%, seguido por Tugalt con uno 29% y Novacero con un 29%.

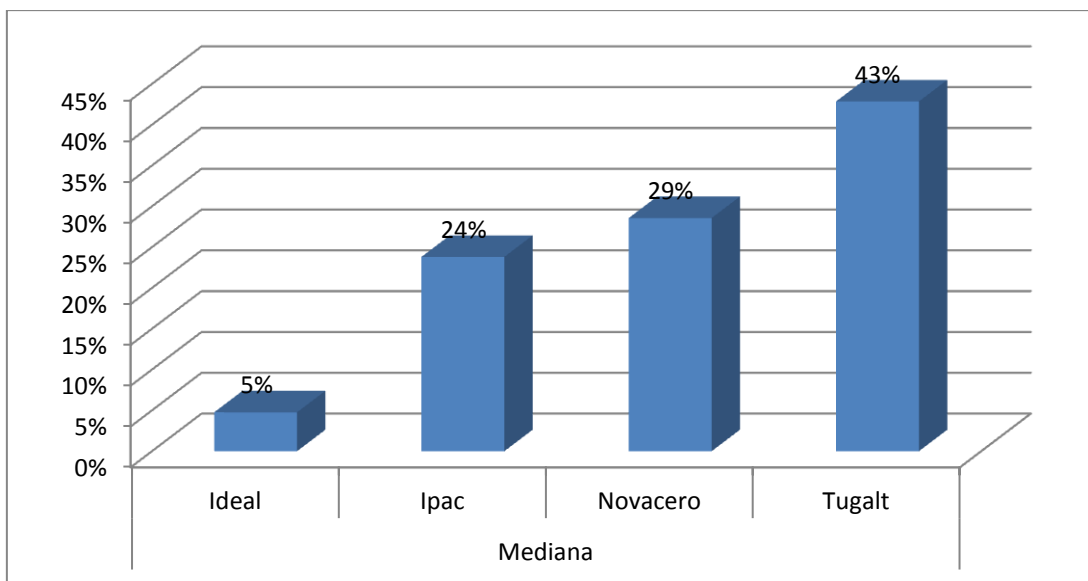


Ilustración 11: Principales competidores entre clientes de tamaño mediano

En la Ilustración 11 se obtiene que entre los clientes de tamaño mediano, el mayor competidor para la compañía es Tugalt con una participación del 43%. En segundo lugar se tiene a Novacero con un 29%, seguido por Ipac con un 24% y finalmente, por Ideal con un 5%. Se puede notar que la mayor participación de la competencia se encuentra en el mercado de tamaño mediano ya que todas las compañías mencionadas poseen un porcentaje del mercado.

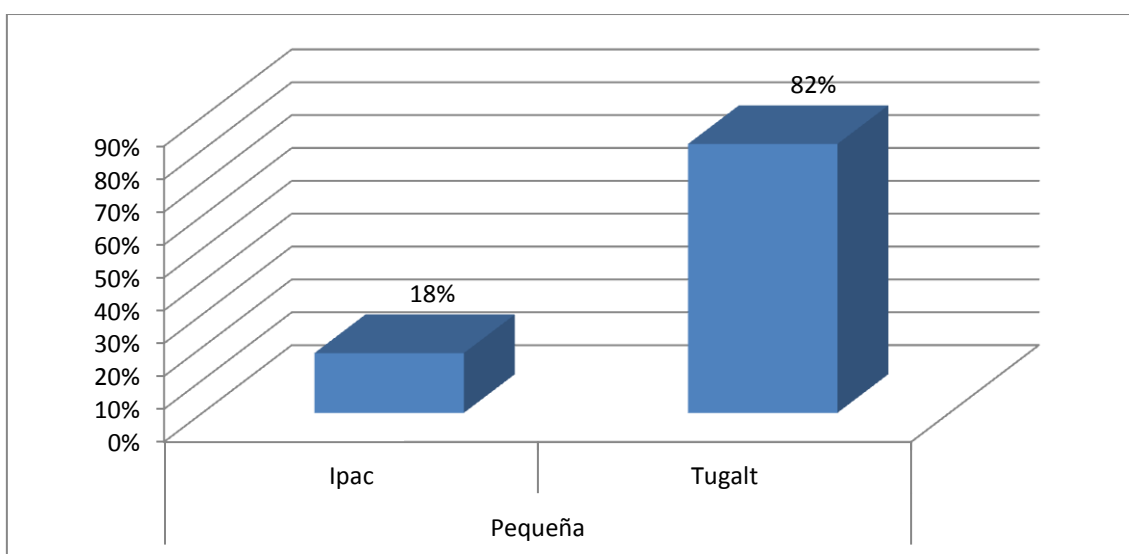


Ilustración 12: Principales competidores entre clientes de tamaño pequeño

En el mercado de clientes de tamaño pequeño se tiene que solamente existe una participación de dos compañías: Ipac y Tugalt con 18% y 82% del mercado respectivamente. Se puede concluir que este es un mercado en donde existe menor interés de las compañías para participar por lo que existe una menor competencia.

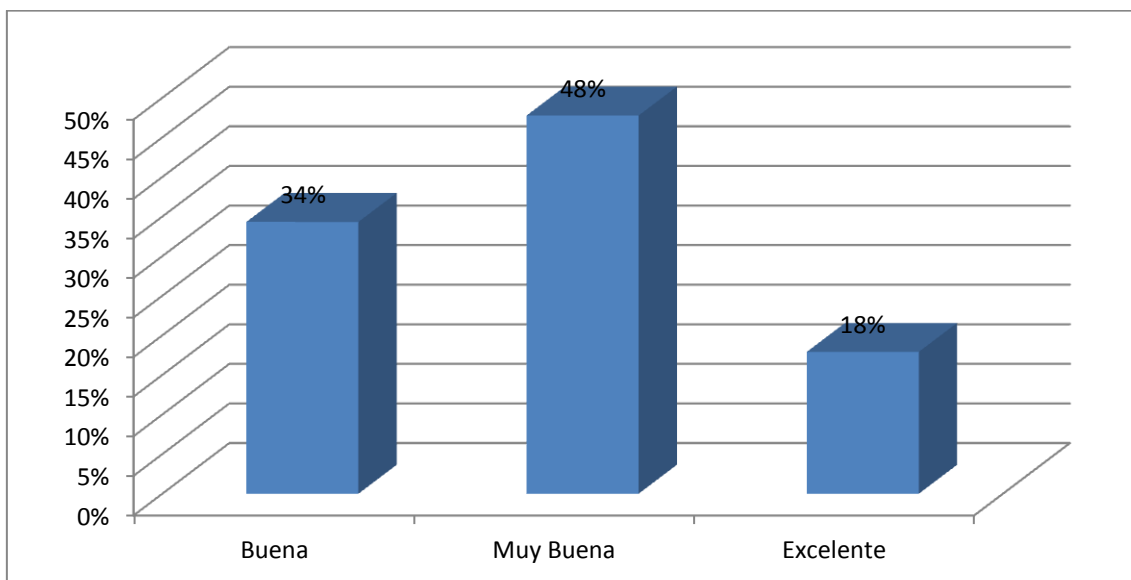


Ilustración 13: Calificación con respecto a la competencia

En la Ilustración 13 se presenta la calificación de los clientes encuestados con respecto a la competencia. El 34% de los encuestados calificó a la compañía con un valor 3 equivalente a “Buena”. El 48% la calificó como “Muy buena” y el 18% como “Excelente”.

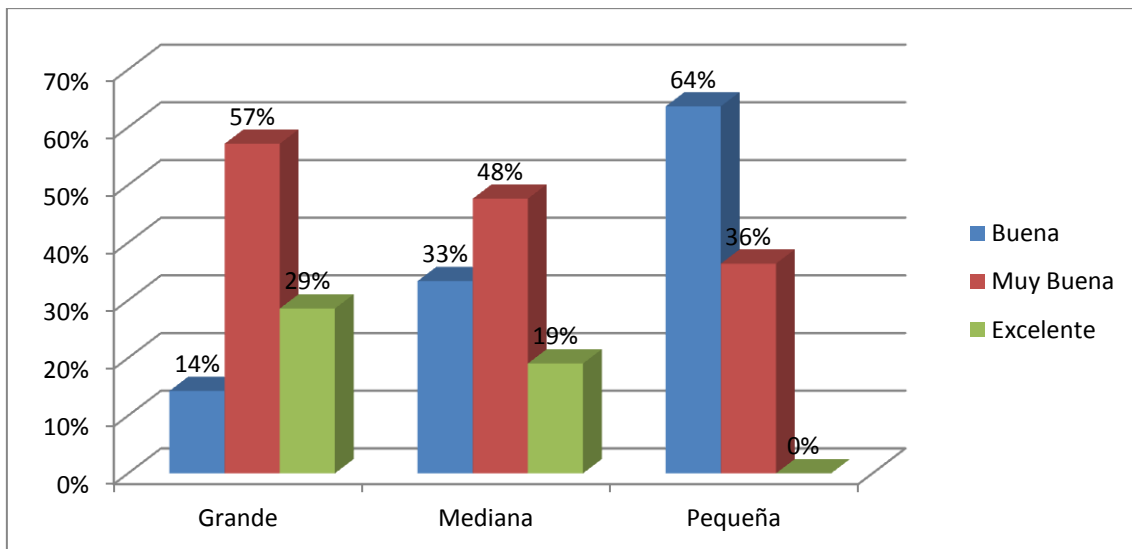


Ilustración 14: Calificación con respecto a la competencia para cada tamaño de empresa

En la Ilustración 14 se presentan los porcentajes de las calificaciones obtenidas dentro de cada una de las clasificaciones de tamaños de compañías considerados en la encuesta. Para el caso de empresas de tamaño grande el 14% calificó a la compañía como “Buena”, el 57% como “Muy Buena” y el 29% como “Excelente”. Para empresas de tamaño medio se obtuvo que la calificación de “Buena” dado por el 33%, “Muy Buena” por el 48% y “Excelente” por el 19% de los encuestados. Finalmente, para las empresas de tamaño pequeño se obtuvieron calificaciones de “Buena”, “Muy Buena” y “Excelente” con porcentajes de 64%, 35% y 0% respectivamente.

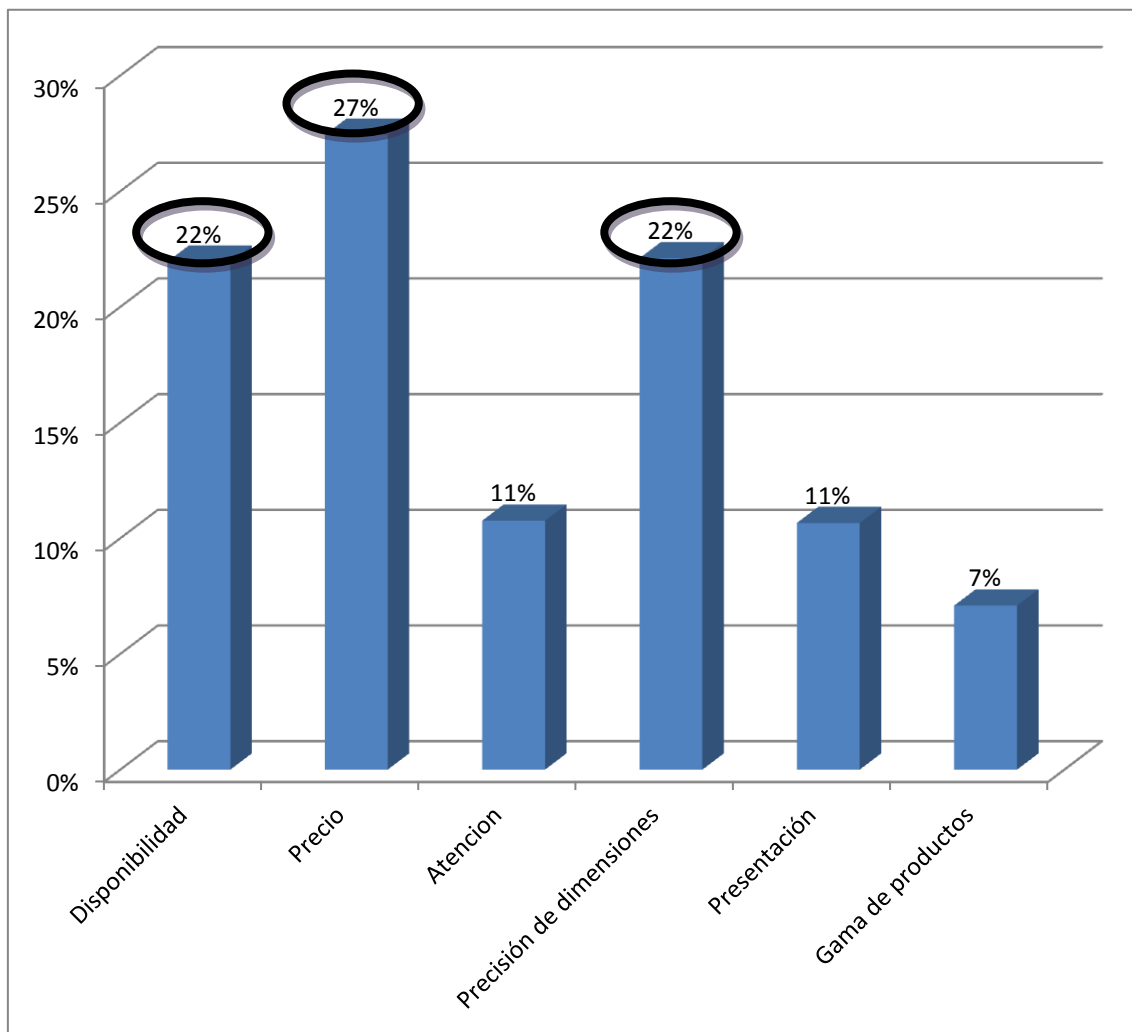


Ilustración 15: Factores de interés para los encuestados

Como se puede ver en la Ilustración 15 se presenta un mayor interés por parte de los clientes encuestados en 3 factores principales:

- Disponibilidad: 22%
- Precio: 27%
- Precisión en las dimensiones: 22%

Todos estos factores seguidos por una preferencia menor o igual al 11% en todos los demás casos.

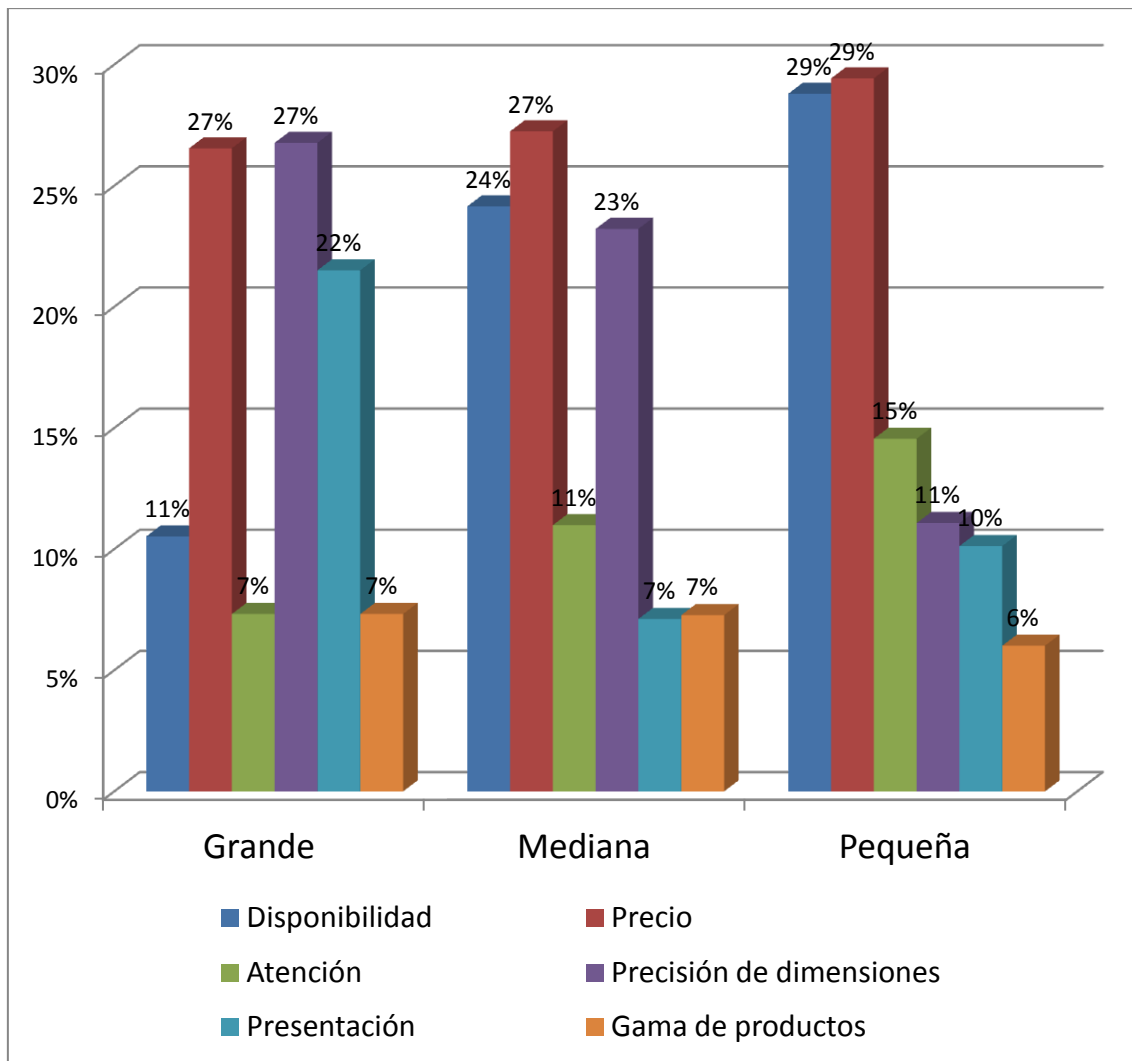


Ilustración 16: de interés para los encuestados por tamaño de la compañía

Finalmente, con el objetivo de analizar las preferencias de cada uno de los tipos de compañías, clasificados por su tamaño, se procedió a analizar las calificaciones obtenidas para cada tipo en la Ilustración 16. Con esto, se obtuvo que las compañías grandes dan mayor importancia a 3 factores esenciales como son precio (27%), precisión de dimensiones (27%) y presentación (22%). A continuación, las compañías medianas seleccionaron al disponibilidad (24%), precio (27%), y precisión de dimensiones (23%). Por último, las compañías pequeñas seleccionaron 2 factores, siendo estos disponibilidad y precio, con 29% en ambos casos.

3.2. Encuesta 2: Determinación de indicadores de los factores seleccionados

3.2.1. Preparación y realización de la encuesta 2

Esta segunda encuesta tiene como objetivo principal determinar indicadores para las 3 características señaladas como predominantes en la encuesta anterior que son disponibilidad, presentación y precisión de las dimensiones. Nuevamente, con la ayuda del área comercial se observó la necesidad de determinar indicadores para tiempos de entrega (disponibilidad), etiquetado de tuberías (presentación), rebarbados (presentación) y tolerancias de error en dimensiones de espesor, largo y ancho de las tuberías (precisión de dimensiones) mediante la perspectiva del cliente.

Nuevamente se tomarán en consideración los pasos descritos por Scheaffer, Mendenhall, y Ott (1987) en su libro Elementos de Muestreo, para la planeación de una encuesta.

3.2.1.1. Establecimiento de objetivos

Los objetivos planteados para la encuesta son los siguientes:

- Definir indicadores para los factores de disponibilidad, presentación y precisión de las dimensiones.
- Determinar la calificación frente a la competencia para cada factor listado.

3.2.1.2. Determinación de la población objetivo

Nuevamente, se utilizó a la población de clientes como la población objetivo de la encuesta. En este caso, la empresa solicitó que se trabaje con la misma lista de clientes proporcionada anteriormente.

3.2.1.3. El Marco

De la misma que en la primera encuesta, se procedió a realizar las preguntas a los encargados del departamento de compras de cada empresa encuestada.

3.2.1.4. Diseño de muestreo

En este apartado se utilizó nuevamente el diseño básico aleatorio mencionado en la encuesta 1 (Ver página 57)

3.2.1.5. Método de medición

De igual forma se realizaron encuestas vía telefónica procurando obtener información de una manera rápida sin exceder los 3 minutos de conversaciones con los encuestados.

3.2.1.6. Instrumento de medición

El instrumento de medición es una encuesta (Ver Anexo 3), donde se evaluarán indicador cada factor seleccionado como se presenta a continuación:

Disponibilidad

- Tiempo de entrega máximo del producto medido en días que el cliente estaría dispuesto a esperar.

Presentación

Para la presentación la gerencia de la compañía, determinó que los principales factores que los clientes toman en cuenta son los siguientes:

- Rebarbado
- Etiquetado

De esta forma se procedió preguntar si consideran necesario que estas características se encuentren en el producto.

Precisión en dimensiones

- Tolerancia máxima del error del espesor aceptada por el cliente medida en milímetros.
- Tolerancia máxima del largo aceptada por el cliente medida en centímetros.
- Tolerancia máxima del ancho aceptada por el cliente medida en milímetros.

Seguido por una pregunta abierta catalogada como “otro”, donde el entrevistado puede comentar alguna otra característica que considere importante. En una pregunta abierta “se permite al respondiente la libre expresión de una respuesta no estructurada. Las preguntas abiertas permiten al respondiente expresar algunas peculiaridades y matices del significado de la respuesta” (Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1987).

Finalmente, una pregunta de calificación de la empresa frente a sus competidores para cada factor, donde el modo de respuesta está descrito por una escala de Likert de 5 puntos utilizada para medir actitudes (Ver Anexo 3).

3.2.1.7. Selección y adiestramiento de Investigadores de campo

Para las encuestas telefónicas, los tesistas recibieron toda la información necesaria para poder responder a las posibles inquietudes de los entrevistados, mediante una inducción técnica sobre el proceso de producción de la tubería, la presentación del producto y las medidas necesarias que debe contar la tubería para ser catalogado como un producto de calidad.

3.2.1.8. Prueba Piloto

Se realizó una prueba piloto con un cliente especial de la empresa igualmente como se realizó en la encuesta 1 (Ver página 60)

3.2.1.9. Organización de trabajo de campo

Las encuestas serán realizadas por ambos estudiantes de acuerdo a una lista de clientes proveído por la empresa, por medio de una llamada telefónica al jefe de adquisiciones de la empresa, con una duración de no más de 3 minutos.

3.2.1.10. Organización de manejo de Datos

Los datos obtenidos de las encuestas telefónicas serán llenados conjuntamente en una hoja Excel, donde se encuentran separados los 3 factores descritos anteriormente en el punto 6 con la pregunta abierta “otro” y la calificación respecto de la competencia para cada una de las empresas entrevistadas.

3.2.1.11. Análisis de Datos

En los siguientes puntos se presentan los resultados obtenidos del análisis de todas las preguntas de la encuesta:

- Factor: Disponibilidad.

Este factor fue analizado mediante la estimación del indicador Tiempo de Entrega. De esta forma se procedió a solicitar a los encuestados el valor máximo de días que consideran aceptable para la entrega de sus órdenes. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

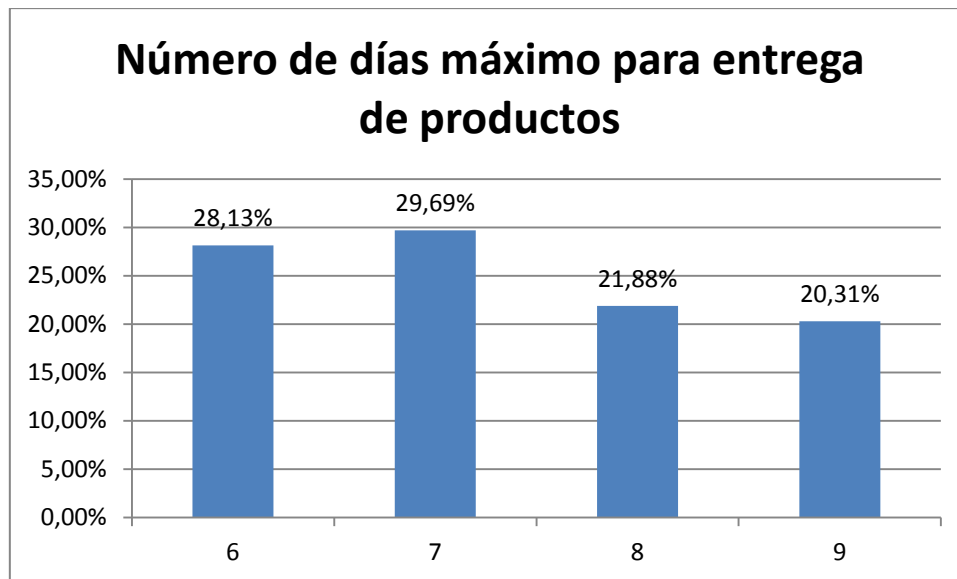


Ilustración 17: Tiempo de entrega esperado por los clientes encuestados

Con lo que en la Ilustración 17 se puede ver que aproximadamente un 30% de la población encuestada espera que las entregas se realicen hasta 7 días después de puesta la orden. En cambio, aproximadamente un 29% de los encuestados aceptarían sus entregas hasta 6 días después, un 22% las aceptaría hasta 8 días después mientras que finalmente, un 20% aceptaría las entregas hasta 9 días después de solicitado el producto.

A continuación se muestra una tabla resumen de los valores obtenidos:

Promedio	Min	Max
7.34	6	9

Tabla 2: Estadísticas descriptivas de la pregunta 1

Con lo que se puede notar claramente que la mayoría de la población espera que su orden sea entregada hasta una semanas después de realizada la orden. Además, el promedio de días máximos que los clientes están dispuestos a esperar es de 7.34 días.

Por último, se presenta a continuación la calificación de este factor con respecto a la competencia:

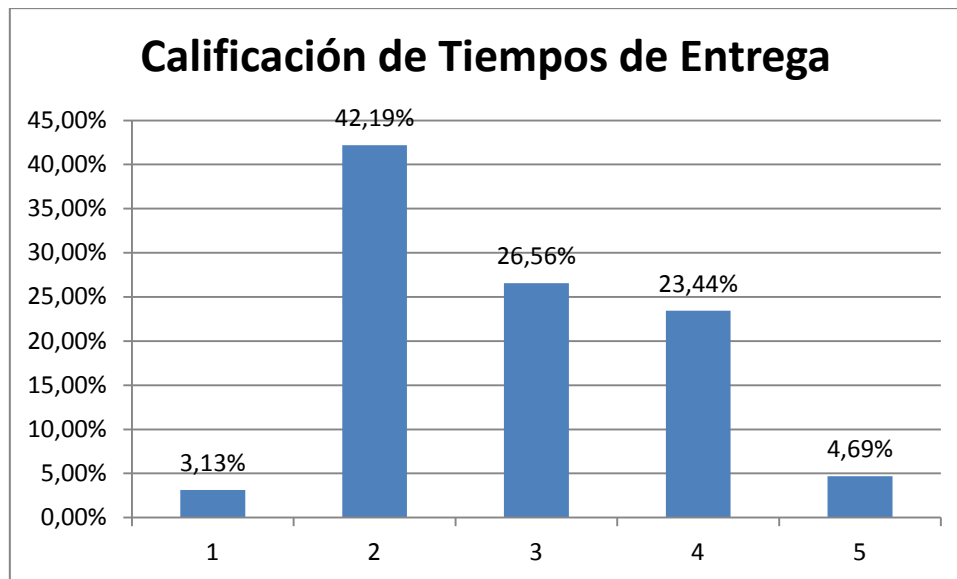


Ilustración 18: Calificación del factor Tiempo de Entrega

Con lo que se puede analizar que la mayoría de calificaciones fueron de 2 sobre 5 con respecto a la competencia. De esta manera, analizando los valores obtenidos se obtuvo una calificación promedio de 2.95 sobre 5, lo que expresa que la compañía está entre regular a buena en comparación con el mercado.

- Factor: Presentación.

En el factor de presentación se identificaron 2 aspectos esenciales para que el cliente, estos son que el producto se encuentre rebarbado y se encuentre etiquetado. Considerando esto, se procedió a establecer el porcentaje de clientes que esperarían poseer cada uno de estos acabados en los productos. A continuación se presentan los resultados:

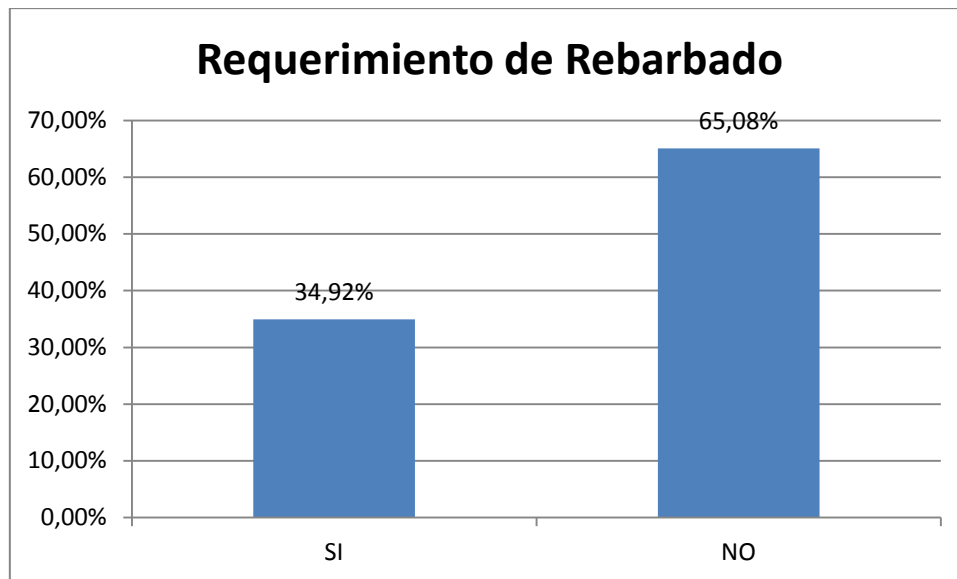


Ilustración 19: Porcentaje de clientes que requiere rebarbado en los productos

En la Ilustración 19 se puede notar que el rebarbado no es solicitado por la mayoría de clientes, solamente un 35% aproximadamente requieren que se cumpla con este acabado. Ahora, a continuación se muestran los porcentajes obtenidos para Etiquetado:

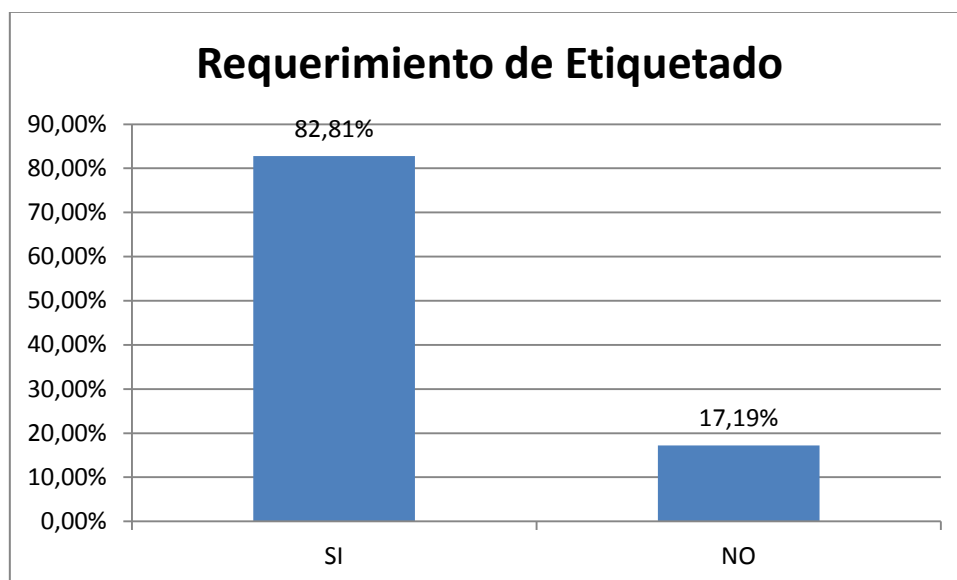


Ilustración 20: Porcentaje de clientes que requieren etiquetado en los productos

En la Ilustración 20 se puede notar que el 83% de los clientes encuestados consideran que el tener un producto etiquetado es necesario mientras que el resto no lo considera

esencial. Finalmente, se presenta a continuación la calificación del factor presentación con respecto a la competencia:

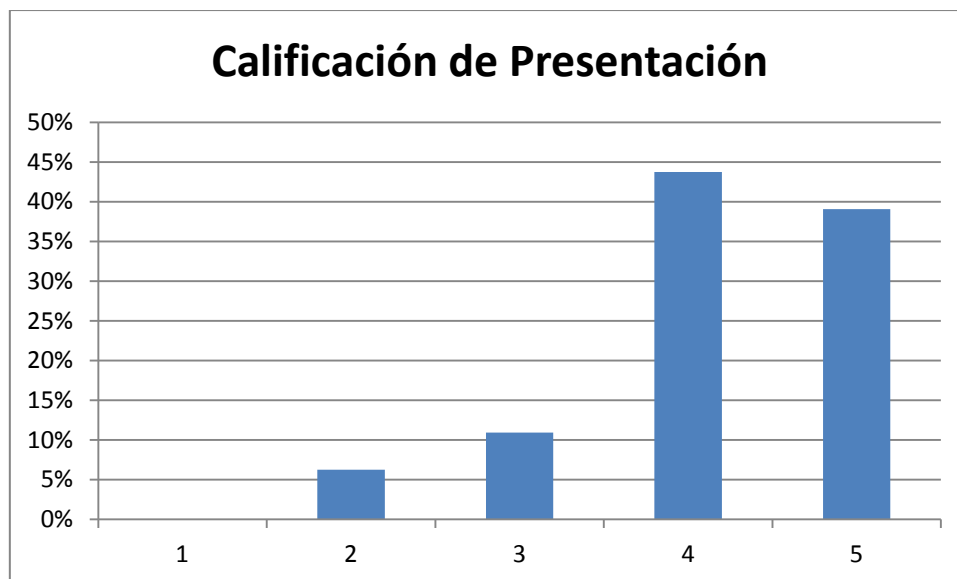


Ilustración 21: Calificación del factor presentación

Con lo que se puede determinar que aproximadamente un 44% de encuestados calificó a la compañía con un valor de 4 sobre 5. Considerando todas las encuestas se obtuvo que el promedio de calificación de este factor es de 4.15, lo que significa que la compañía es buena en esta característica

- Factor: Precisión de dimensiones.

Este factor fue el último en analizado en la encuesta, para determinar los indicadores, se decidió analizar las 3 dimensiones consideradas al momento de estimar la precisión de las medidas del producto. Es por esta razón que se solicitaron los valores máximos de variación (con respecto a las especificaciones de venta) que el cliente aceptaría en longitud, ancho y espesor. A continuación se presentan los resultados:

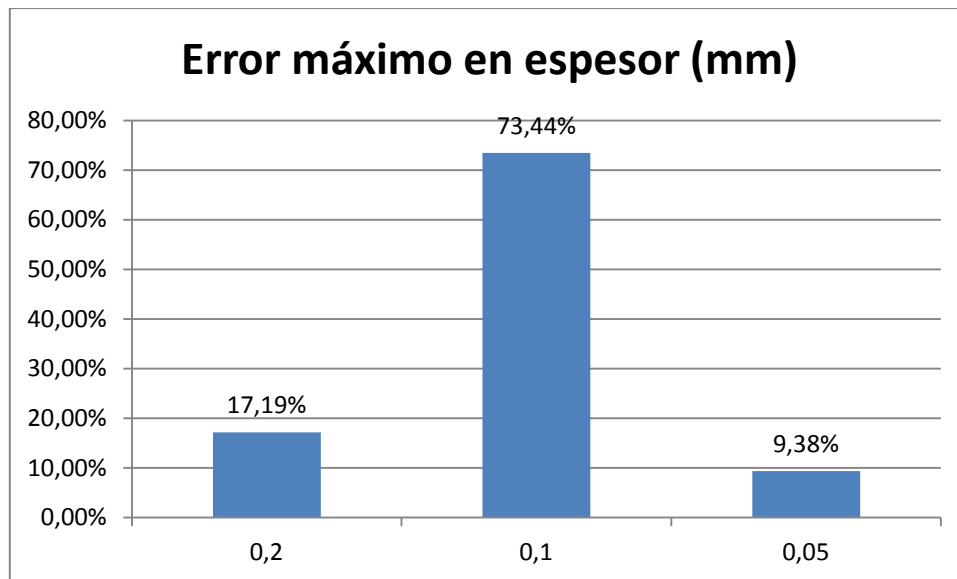


Ilustración 22: Variación máximo en espesor

Con lo que en Ilustración 22 se puede notar que aproximadamente un 74% de la población especificó que el límite permisible de variación sería de 0,1 mm. Analizando todas las encuestas se determinó que el promedio de los valores seleccionados por los clientes encuestados fue de una variación máxima de 0,11 mm.

Ahora, se procedió a analizar de forma similar en la dimensión de longitud, a continuación se muestran los resultados:

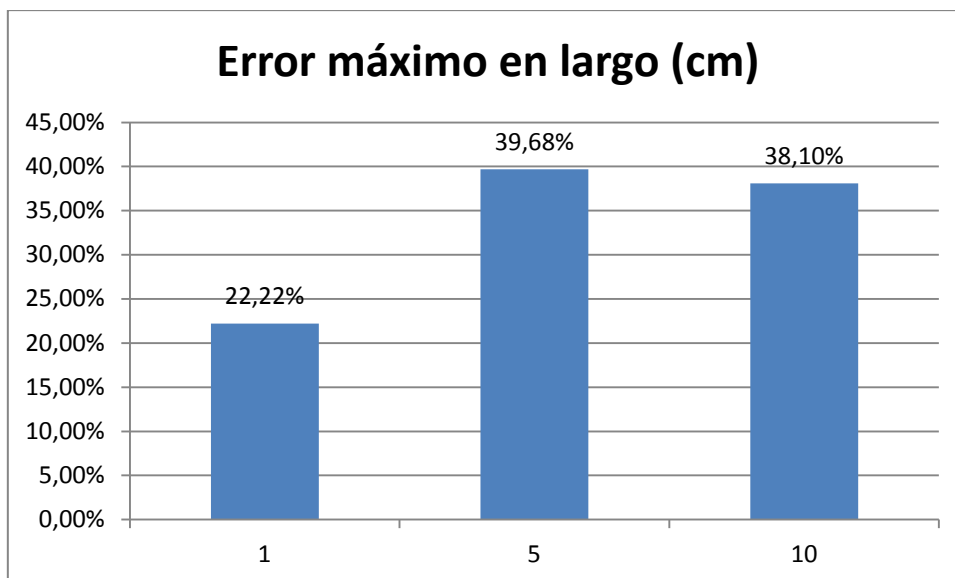


Ilustración 23: Variación máxima en largo

De la Ilustración 23 se puede concluir que aproximadamente el 40% de clientes aceptaría una variación de 5 cm, en cambio el 38% de hasta 10 cm y finalmente el 22% de hasta 1 cm. Analizando los valores obtenidos en las encuestas se determinó que el promedio máximo de variabilidad aceptado por la población analizada sería de 6,01 cm con respecto a las especificaciones del producto.

En tercer lugar se procedió a analizar el error máximo en la dimensión de ancho/diámetro de los tubos. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

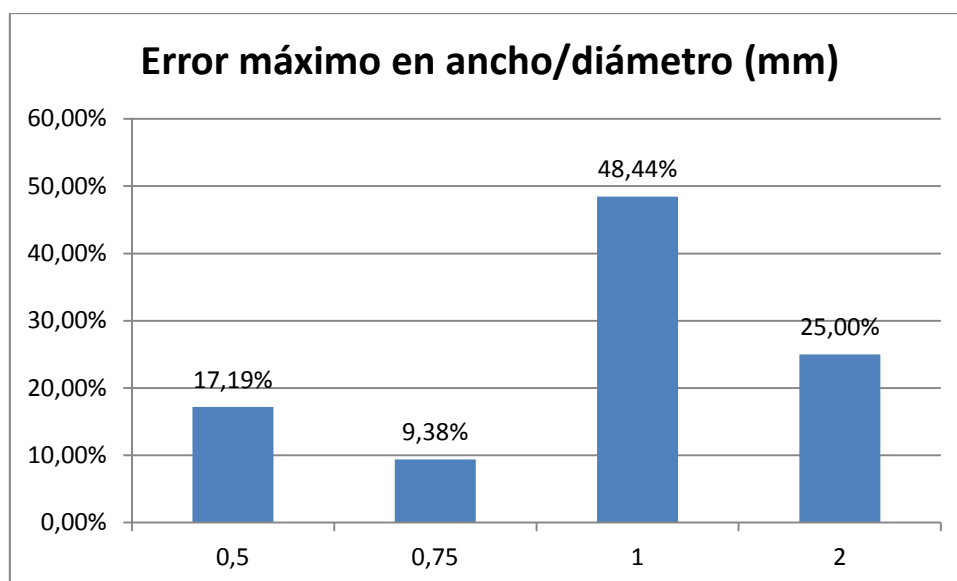


Ilustración 24: Variación máxima en ancho/diámetro

De esta manera se pudo determinar que la mayoría de la población (48% aproximadamente) considera que hasta 1 mm es una variación aceptable. Por otro lado, un 25% considera que hasta 2 mm, el 17% considera el límite de hasta 0,5 mm y finalmente, el 9% considera que hasta 0,75 mm sería un límite máximo de variación. Con esto, analizando los valores obtenidos se obtuvo que el promedio máximo de variación en el ancho/diámetro de los tubos debería ser de hasta 1,14 mm.

Finalmente, se analizó nuevamente la calificación de este factor y se obtuvieron los resultados a continuación:

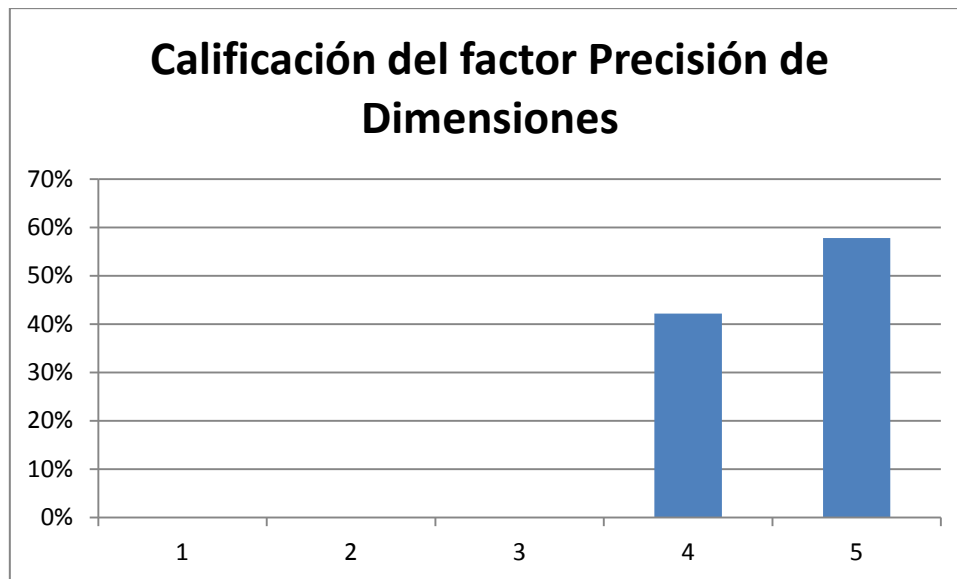


Ilustración 25: Calificación del factor Precisión de Dimensiones

Así, se pudo notar que las todas las calificaciones en este factor fueron de 4 o 5 sobre 5.

Con lo que se procedió a obtener el valor promedio de los datos obtenidos el cual fue de

4,58 sobre 5, lo que significa que la compañía es muy buena en esta característica.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

4.1. Análisis de Procesos

En este capítulo se realizará el levantamiento de los procesos productivos de cada sección de la empresa (corte, formado, galvanizado, enderezado y roscado) para entender de mejor manera la fabricación de una tubería de acero ya sea negra, galvanizada o inoxidable. Cada etapa dentro del proceso de producción, funciona como un taller independiente. La diagramación de estos tiene como objetivo el observar las distintas actividades que componen el proceso, para así poder realizar la toma de tiempos considerando dichas actividades.

Se muestra un macroproceso productivo, el cual señala las distintas etapas de producción de una tubería desde la materia prima, hasta la colocación de los tubos en la bodega de producto terminado. Asimismo, se realizó un diagrama de ICOM's, que es una herramienta que permite identificar de una manera gráfica las entradas, controles, salidas y mecanismos de una empresa.

Para cada proceso diagramado se realizó un diccionario de términos, el cual brinda un mejor entendimiento al lector sobre el significado de las actividades que se realizan en cada área. El levantamiento de todos los procesos involucrados en la producción se los realizó con el asesoramiento de sus operadores, y se los validó con el jefe de cada sección, para responder a cualquier inquietud sobre aspectos técnicos de las maquinarias.

4.1.1. Diagramación del proceso de producción

A continuación, se muestra en el Diagrama 1 el macroproceso productivo de las tuberías

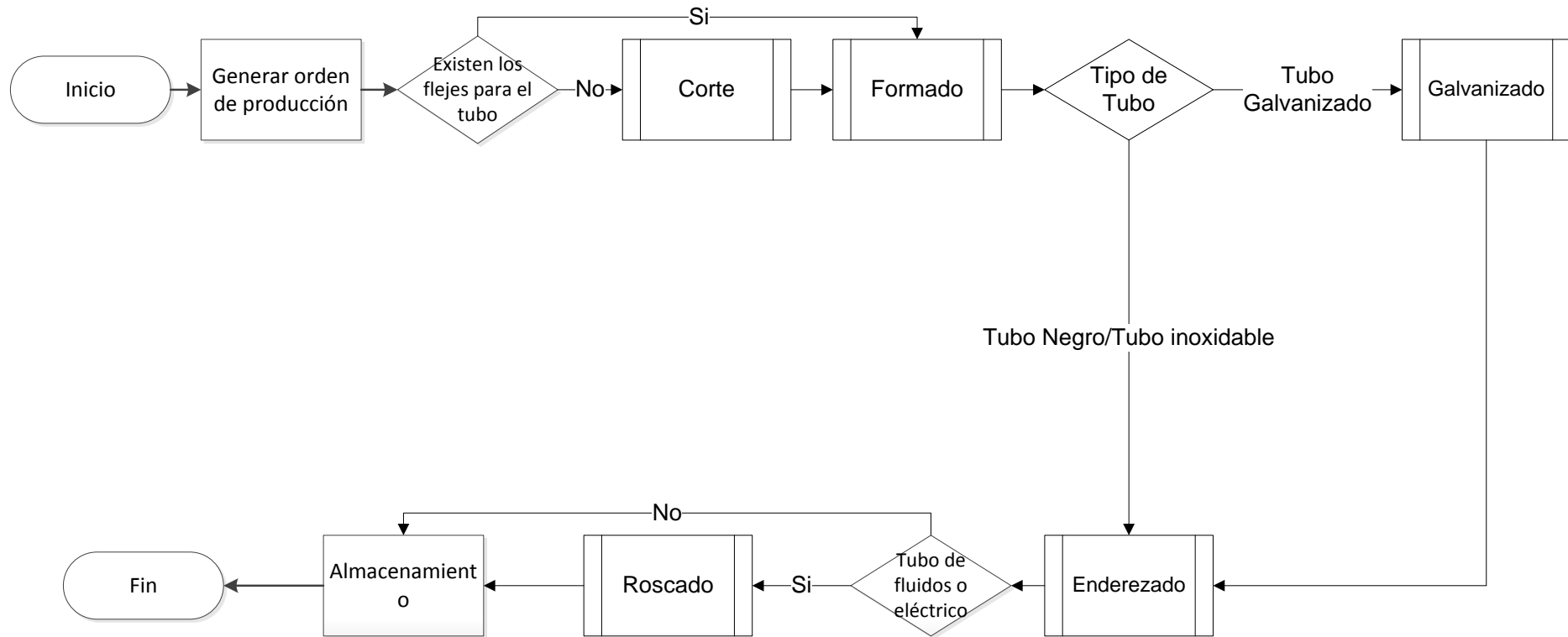


Diagrama 1: Macroproceso productivo

4.1.2. Jerarquización de los procesos de producción

El Diagrama 2 presenta la jerarquización de los procesos de producción por medio del diagrama de ICOM's.

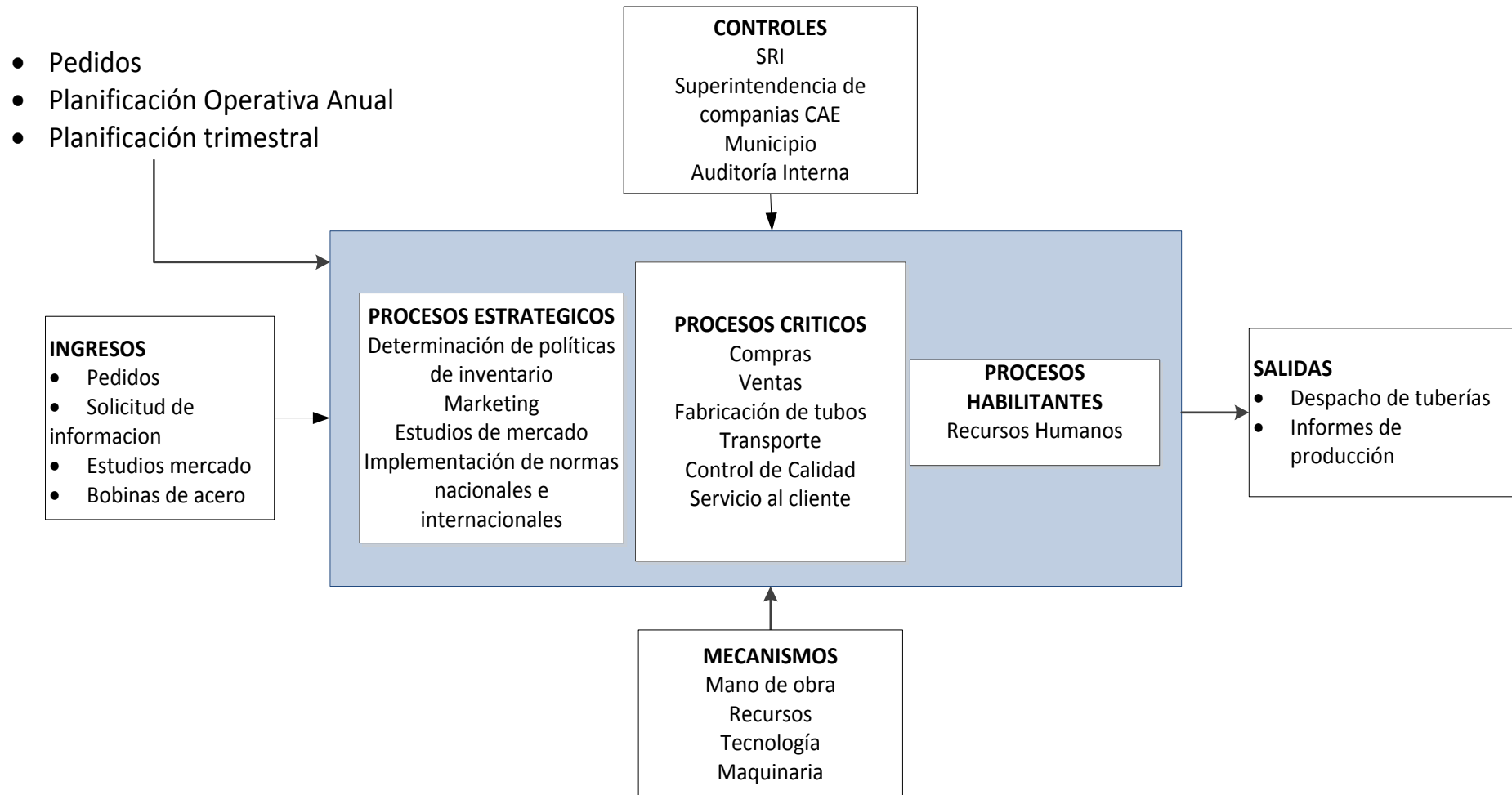


Diagrama 2: Diagrama de ICOM's

En el Diagrama 2 se puede apreciar el diagrama de ICOMS en el cual se ilustran todos los ingresos, controles, mecanismos y salidas que la compañía tiene que cumplir para su funcionamiento. Aquí se pueden ver como mediante los procesos productivos, a base de los requerimientos de ingresos de materiales e información proveniente de fuentes externas, se producen bienes, en este caso tubos de acero. Es importante considerar la influencia que tienen los entes de control ya que estos limitan el funcionamiento general de la empresa en diferentes aspectos como manejo de desperdicios, desecho de residuos tóxicos, cumplimiento de normas de seguridad industrial, entre otros.

Dentro de los procesos críticos, es decir, los procesos que apoyan directamente en la fabricación de tubos es necesario conocer la jerarquía y sus elementos. Esta jerarquía permitirá entender de forma más clara la organización que se sigue para la fabricación de productos finales que se venderán en el mercado. Los procesos productivos se encuentran organizados en elementos de la siguiente manera:

- Corte
 - Preparación de bobina
 - Preparación previa al corte
 - Set-up de máquina
 - Corte de bobinas
 - Embobinado de flejes
 - Almacenamiento de flejes
- Formado
 - Preparación para formado
 - Conformado de tubos
 - Preparación de paquete de tubos
 - Almacenamiento de tubos

- Galvanizado
 - Preparación para galvanizado
 - Desengrasado
 - Aplicación de ácido
 - Enjuagado
 - Aplicación de flux
 - Aplicación de Zinc
 - Enfriamiento
 - Control de calidad
 - Preparación y almacenamiento de paquetes

- Enderezado
 - Preparación para enderezado
 - Enderezado de tubos
 - Empaquetamiento de tubos
 - Almacenamiento de tubos

- Roscado
 - Preparación para roscado
 - Roscado de tubos
 - Empaquetamiento de tubos
 - Almacenamiento de tubos

Donde cada elemento, está formado por un conjunto de actividades, detalladas gráficamente en los flujos presentados a continuación.

4.2. Flujogramas de los procesos por sección/etapas del proceso

4.2.1. Corte

Esta sección es la encargada de cortar las bobinas de acero (materia prima) en láminas de flejes correspondientes al diámetro del tubo que será fabricado en la sección de formado. Consta de una máquina desembobinadora que desenrolla la bobina y mediante un cizallamiento circular corta la bobina en flejes deseados, los que deben ser templados para su posterior embobinado.

4.2.1.1. Diccionario del proceso de corte

- **Orden de corte:** Documento emitido por el departamento de producción para iniciar el proceso de corte de la bobina especificada.
- **Bobina:** Es una lámina de acero enrollada, que puede ser de acero inoxidable o negro, que forma parte de la materia prima del proceso de producción.
- **Bodega de materia prima:** Depósito específico para bobinas de acero.
- **Puente grúa:** “Son máquinas utilizadas para la elevación y transporte, en el ámbito de su campo de acción, de materiales generalmente en procesos de almacenamiento o curso de fabricación” (Alguero, 2009).
- **Zunchos:** “Material que permite embalar, ajustar y asegurar todo tipo de producto de acuerdo a las necesidades de traslado de un punto a otro ahorrando espacio y tiempo” (PrintoPac, 2009).
- **Coche:** Máquina que transporta la bobina hacia la desembobinadora.
- **Desembobinador:** Máquina automática adecuada para desenrollar la bobina de acero.
- **1er y 2do Control de calidad:** Verificación del espesor y ancho de la bobina y fleje respectivamente.

- **Ejes de corte:** Discos en forma de cuchillas ubicados en forma de una cizalla.
- **Cizallar:** Cortes verticales de la bobina en flejes mediante ejes de corte.
- **Flejes:** Resultado del corte de una bobina de acuerdo al ancho de las tuberías.
- **Cola de pescado:** Defecto en el corte inicial y final de las bobinas, parecido a la cola de un pescado, o a los dientes de una sierra de corte.
- **Templar fleje:** Proceso para estirar los flejes para un correcto embobinado.
- **Embobinador de flejes:** Máquina automática adecuada para enrollar los flejes de acero.
- **Punto de suelda:** Método de soldadura para unir o sellar el extremo del fleje.
- **Bodega de flejes:** Depósito específico para los flejes de acero.

4.2.1.2. Diagramación del proceso de corte

Aquí se muestra el Diagrama 3 con el flujograma del proceso de corte y sus respectivos operarios:

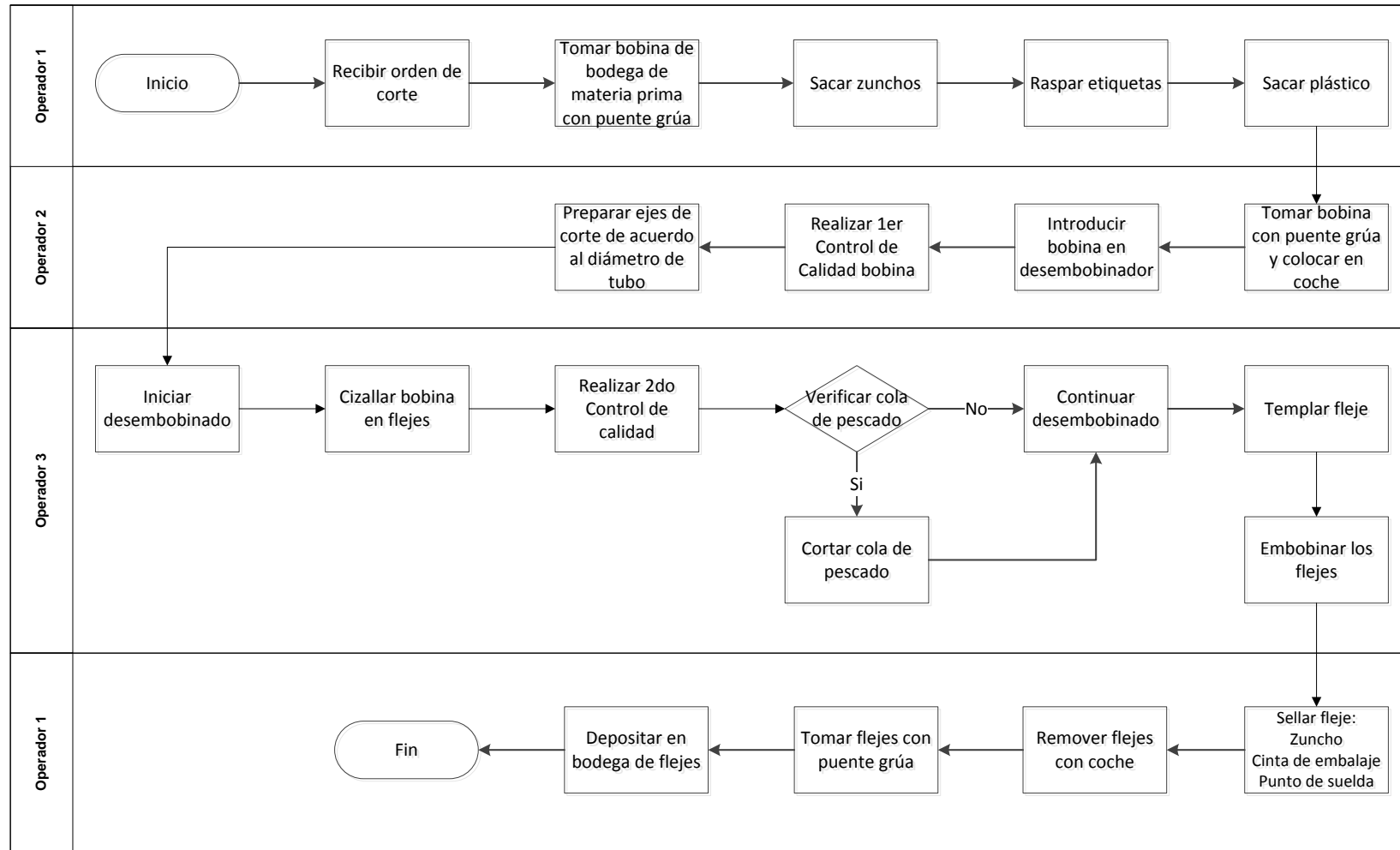


Diagrama 3: Flujograma de la sección de corte

4.2.2. Formado

Esta sección es la encargada de la fabricación de la tubería por medio de los flejes. Consta de una máquina acumuladora de flejes, la cual asegura una producción continua al mantener alimentada constantemente a la formadora. El tren de formado, compuesta por el *forming* que da una forma redonda inicial del tubo; pasa por una suelda de alta frecuencia (proceso de inducción) para soldar los extremos del tubo; una tina de enfriamiento con refrigerante; una estación de *sizing* que brinda la forma final del tubo (cuadrado, redondo, rectangular); y finalmente por una cortadora automática que divide en tuberías de 6 metros.

4.2.2.1. Diccionario del proceso de formado

- **Orden de formado:** Documento emitido por el departamento de producción para iniciar el proceso de formado de las tuberías.
- **Desembobinadora elefante:** Máquina automática adecuada para desenrollar 2 flejes a la vez, se unen ambos flejes con un punto de suelda para asegurar una producción continua.
- **Remover sellado:** Retirar el sellado colocado en la sección de corte que puede ser zuncho, suelda o punto de suelda.
- **Acumulador horizontal:** Es una maquina que apila los flejes desenrollados de forma horizontal, para mantener a la maquina formador alimentada continuamente.
- **Rodillos de conformado:** Son rodillos situados en varias estaciones que doblan y forman el fleje.
- **Maquina de *forming*:** Máquina que da la forma redonda al fleje dependiendo del diámetro deseado de la tubería.

- **Suelda de alta frecuencia:** es la máquina que realiza el proceso de unión de ambas puntas de la tubería.
- **Tina de enfriamiento:** Tina con refrigerante utilizada para bajar la temperatura de la tubería después del proceso de fusión.
- **Maquina de sizing:** Máquina que da la forma final de la tubería, es decir, redonda, cuadrada o rectangular.
- **Enderezado de tubo:** Estación que corrige y alinea para asegurar la forma recta del tubo.
- **Cortadora automática (troquel con cuchillas):** Máquina que se mueve horizontalmente a la velocidad de producción que corta la tubería mediante un sistema de cuchillas.
- **Control de calidad:** Pruebas de calidad para verificar la soldadura (costura), pruebas de resistencia (doblado y expandido).
- **Hoja de ruta:** Documento donde se apuntan las especificaciones de la tubería como dimensiones (ancho, espesor) y peso.
- **Bodega de productos en proceso:** Depósito específico para tubería no terminada.

4.2.2.2. Diagramación del proceso de formado

A continuación, se muestra el Diagrama 4 con el flujograma del proceso de formado y sus respectivos operarios.

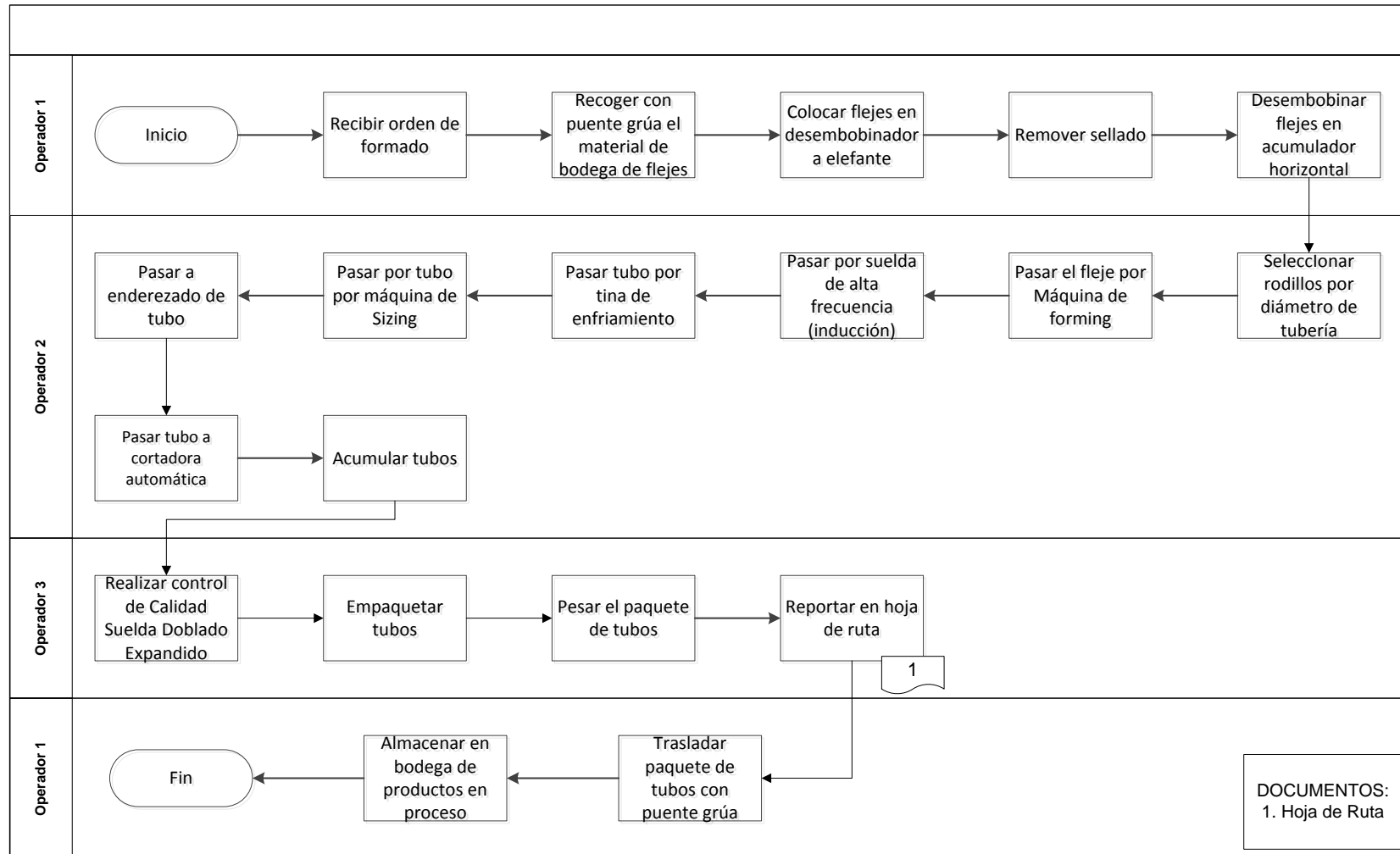


Diagrama 4: Flujograma de la sección de formado

4.2.3. Galvanizado

Esta sección es la encargada de galvanizar la tubería mediante un recubrimiento con una capa de zinc, que brinda protección a la corrosión. Inicia con unos baños desengrasantes para remover toda la grasa y aceite del proceso anterior; pasa por una tina de ácido la cual decapa el tubo, removiendo el color negro; pasa por una tina de enjuague para remover impurezas; y finalmente por una tina de flux que permite una mejor adherencia del zinc al tubo. Aquí los tubos continúan por un proceso de inmersión en caliente en una tina de zinc regulada a 460°C; para luego pasar a una tina de enfriamiento de agua con cromo para dar brillo a la capa de zinc, finalizando así su proceso de galvanizado.

4.2.3.1. Diccionario del proceso de galvanizado

- **Orden de galvanizado:** Documento emitido por el departamento de producción para iniciar el proceso de galvanizado de las tuberías.
- **Pesar tubería:** Se pesa el paquete de tuberías al inicio y al final del proceso para comprobar la cantidad de zinc añadido durante la galvanización.
- **Tina desengrasante:** Una mezcla de agua con detergente químico para remover la grasa y aceite de las tuberías provenientes del proceso de formado.
- **Tina de ácido:** tina que contiene ácido clorhídrico que actúa como un decapado, el cual remueve el color negro o grasa de los tubos.
- **Tina de enjuague:** Es una tina de agua (H_2O) con un pH de 7, para remover las sustancias antes adheridas.
- **Tina de flux:** Compuesto químico que permite que el zinc se adhiera al tubo.
- **Mesa de secado:** Mesa que seca el contenido de flux para una mejor adherencia del zinc.
- **Caballote:** Aparato que ordena los tubos antes de la inmersión en zinc.

- **Tina de zinc:** tina que contiene de zinc para su aplicación en las tuberías
- **Remover exceso de zinc:** Proceso manual en que un operador golpea los tubos para escurrir el exceso de zinc.
- **Tina de enfriamiento:** Una mezcla de agua con cromo ($H_2O + Cr$) para dar brillo a la capa de zinc.
- **Mesa de inspección:** mesa donde se verifica que la capa de zinc esté correctamente adherida al tubo, y que no se encuentre grumos de zinc en la tubería.

4.2.3.2. Diagramación del proceso de galvanizado

A continuación, se muestra el Diagrama 5 con el flujograma del proceso de galvanizado.

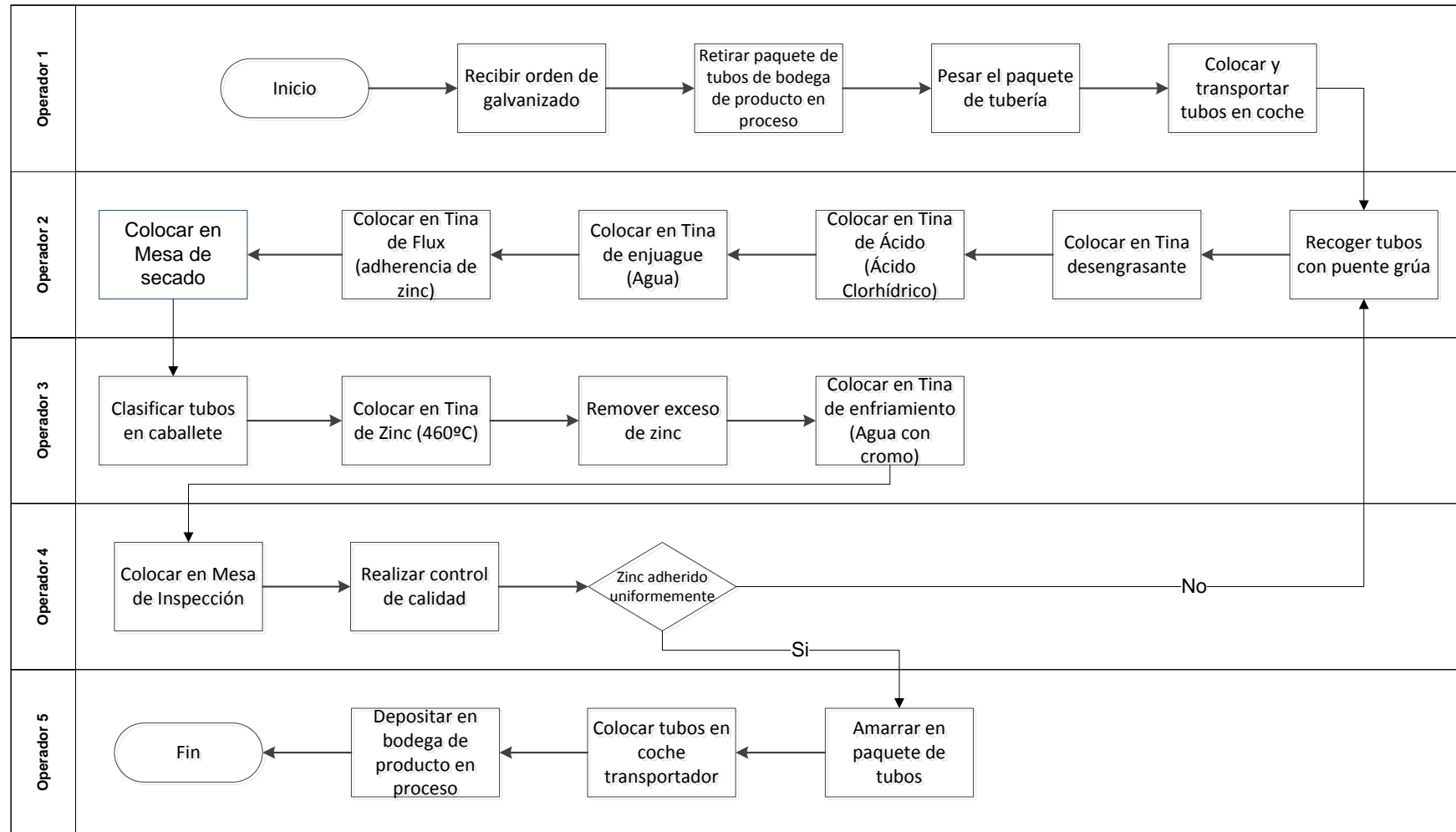


Diagrama 5: Flujograma de la sección de galvanizado

4.2.4. Enderezado

Esta sección se encarga de corregir y alinear las tuberías por unidad para asegurar su forma recta. Además, cuenta con una máquina de etiquetado por impresión a chorro la cual dota al tubo de un etiquetado único (nombre de la empresa, número de lote y fecha de producción) que se utiliza para dar trazabilidad ante cualquier reclamo del cliente. Finalmente, mientras se forman los paquetes de tubos, se procede a realizar el rebarbado de los productos.

4.2.4.1. Diccionario del proceso de enderezado

- **Orden de enderezado:** Documento emitido por el departamento de producción para iniciar el proceso de enderezado de las tuberías.
- **Enderezadora:** Máquina automática que corrige y alinea los tubos por unidad para asegurar su forma recta, después de algún defecto en el proceso de galvanizado por el calentamiento de la tubería.
- **Etiquetado:** proceso donde imprime un etiquetado mediante un chorro de tinta. Es un etiquetado único porque contiene el nombre de la empresa, el número de lote y la fecha cuando fue producido, facilitando así la trazabilidad del producto.
- **Bodega de producto terminado:** Depósito específico para el producto final.

4.2.4.2. Diagramación del proceso de enderezado

En el Diagrama 6 se muestra el flujograma del proceso de enderezado y sus respectivos operarios.

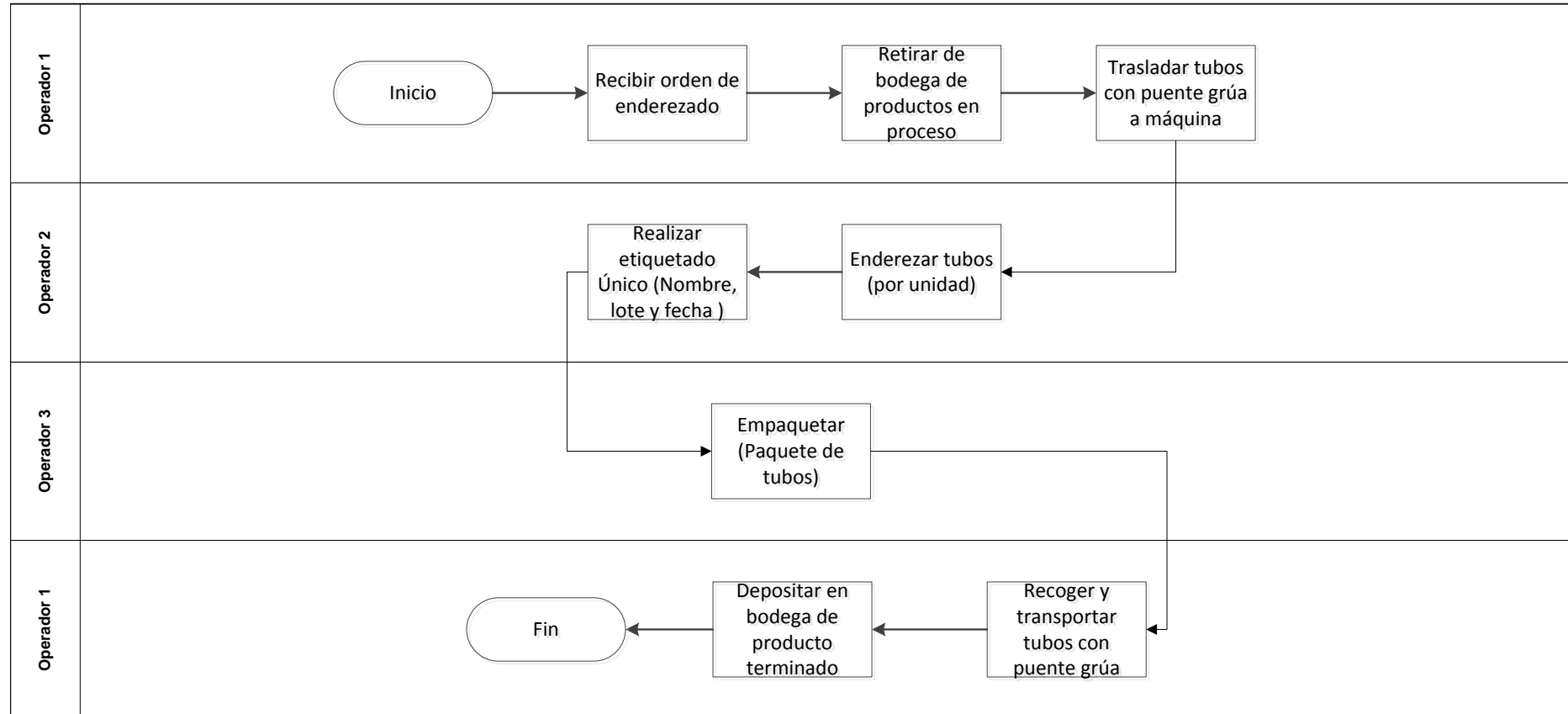


Diagrama 6: Flujograma de la sección de enderezado

4.2.5. Roscado

Esta sección es la encargada de roscar ambos extremos del tubo y colocar una protección de rosca para tuberías a ser utilizadas en fluidos y electricidad.

4.2.5.1. Diccionario del proceso de roscado

- **Orden de roscado:** Documento emitido por el departamento de producción para iniciar el proceso de roscado en tuberías de fluidos y eléctricas.
- **Roscadora:** Máquina automática que realiza una rosca en ambas puntas del tubo y trabaja un producto a la vez (por unidad).
- **Protector de rosca:** Recubrimiento plástico que protege al tubo de cualquier golpe en el área de la rosca.

4.2.5.2. Diagramación del proceso de roscado

En Diagrama 7 se muestra el flujograma del proceso de roscado y sus respectivos operarios.

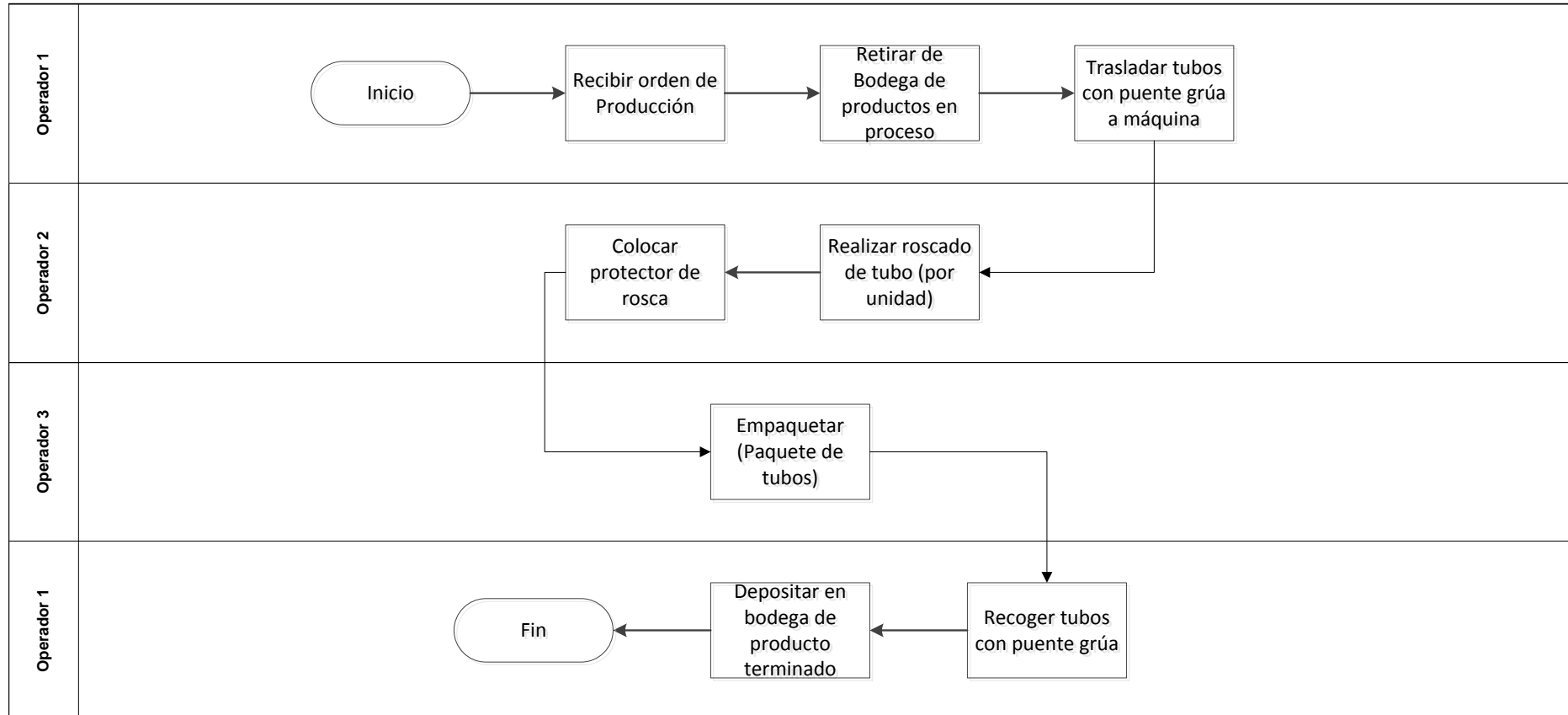


Diagrama 7: Flujograma de la sección de roscado

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE TIEMPOS

5.1. Estudio de tiempos

5.1.1. Objetivos

- Determinar tiempos estándar para las actividades que se realizan en las diferentes unidades de producción.
- Determinar el comportamiento estadístico de los tiempos obtenidos.
- Determinar de la capacidad estimada de producción de cada etapa del proceso.

5.1.2. Introducción

Con el fin de determinar la capacidad de producción, se seleccionó al estudio de tiempos ya que no existe una estimación precisa de los tiempos requeridos para la fabricación de los artículos más comunes que la compañía vende. Con este objetivo, se decidió determinar los tiempos estándar de cada uno de los elementos de producción de tal forma que se puede estimar los plazos que tomaría el producir los requerimientos que el mercado tiene de la compañía tomando en cuenta las expectativas obtenidas mediante las 2 encuestas realizadas previamente.

La determinación de tiempos estándar para la realización de actividades permite ajustar de mejor forma los objetivos de producción para evitar que “los operarios deseen justificar su día completo incluyendo retrasos personales, inevitables y evitables” (Niebel & Freivalds, 2004). Esto, junto con el beneficio de poder ofrecer estimaciones precisas de los tiempos que se tomarán para entregar órdenes a los clientes de mayor interés para la compañía.

Para la determinación de la capacidad es importante establecer la holgura que se requiere para garantizar que los plazos establecidos y ofrecidos al mercado sean cumplidos a cabalidad. Ahora, considerando esto se procederá a determinar la adaptación de los tiempos obtenidos a una

distribución normal con el fin de cubrir un porcentaje específico de su variabilidad; este valor será establecido por la gerencia.

Es necesario mencionar que se consideró el hecho de que en simulaciones se recomienda no utilizar una distribución normal para el modelamiento de tiempos. La razón es que la normal, al ser una distribución que se extiende hacia el infinito por ambos lados de la media, eventualmente podría producir que se genere un tiempo negativo como parte de la simulación. Ahora, se analizó la posibilidad de aplicar el truncamiento de colas de la distribución, pero se consideró que no era necesario ya que en la aplicación de la misma, al modelo matemático propuesto, solamente se requería la determinación de un punto específico de interés, mas no la generación de números aleatorios utilizando esta distribución.

5.1.3. Metodología

La metodología utilizada para el estudio de tiempos es la recomendada por Niebel y Freivalds (Niebel & Freivalds, 2004), junto con la detallada en el Manual del Ingeniero Industrial (Maynard, 2005).

5.1.3.1. Materiales

Los materiales listados a continuación serán los utilizados para la obtención y análisis de tiempos:

- Reloj digital
- Formato para registro de tiempos (Ver Anexo 4)
- Calculadora

5.1.3.2. Tipo de estudio

Se utilizó el Método de Regreso a Cero detallado en Niebel (2004) ya que se tomaron mediciones en diferentes momentos de los turnos de las personas y no se analizaron de forma continua con lo que se tenía el tiempo suficiente para registrar los resultados y proceder a realizar una nueva medición.

Para garantizar que en los diferentes ciclos de medición no exista influencia de los analistas, se seleccionaron operarios de forma aleatoria garantizando con el acompañamiento de supervisores (en ciertas ocasiones) con el fin de que se sigan los métodos establecidos para las tareas que estaban siendo analizadas. Además, se garantizó que todos los operarios tengan el entrenamiento suficiente y los conocimientos sobre sus tareas de tal forma que se pudieran obtener estimaciones precisas (Niebel & Freivalds, 2004).

5.1.3.3. Método de medición de tiempos

Los momentos establecidos para la medición fueron seleccionados aleatoriamente mediante la generación de números aleatorios en Excel. Las mediciones se realizaron desde el día 28 de agosto del año 2012 hasta el día 30 de octubre del mismo año. De acuerdo a la disponibilidad de los analistas se establecieron días diferentes en la semana para las visitas a la fábrica en las que se tomarían los datos. Para cada día establecido se generaron números aleatorios mediante la herramienta Excel del 1 al 26 de tal forma que cada uno de los números estuviera asignado a uno de los elementos que se iban a analizar, con lo que se procedía a realizar la medición de tiempos del mismo y registrar el resultado. Una vez completada esta actividad se procedía nuevamente a generar un número aleatorio, el cual indicaría cuál sería el nuevo proceso a ser analizado.

La selección del personal fue de igual forma aleatoria ya que mediante la generación de estos números que definían el proceso a ser examinado, se elegían momentos del día aleatorios para

cada elemento con lo que se analizaba al operario o equipo de operarios que se encontraran en ese momento realizando la labor. Los supervisores en todas las ocasiones dieron fe que los operarios que fueron utilizados para la obtención de datos estén capacitados para realizar las labores asignadas de forma eficiente de acuerdo a los métodos establecidos por la compañía (Niebel & Freivalds, 2004).

En cada una de las mediciones la posición del observador fue alrededor de uno o dos metros detrás del operario con el fin de no interferir con su trabajo y poder moverse de manera cómoda para no intervenir o generar molestias en los trabajadores (Niebel & Freivalds, 2004).

Los elementos que se midieron para poder determinar los tiempos estándar de cada etapa del proceso fueron divididos de tal forma que se consideren las actividades manuales y de las máquinas. Además, cada uno de los elementos fue considerado de tal forma que se garantice que las actividades realizadas son repetitivas en los procesos de fabricación, es decir, todas las actividades incluidas en los elementos son comunes para todos los productos que tiene que pasar por esa etapa del proceso. Por otro lado, también se consideró que era necesario tener duraciones de tiempo que no sean muy cortas ya que esto requiere un número mucho mayor de muestras y genera mayor cantidad de errores en la medición (Maynard, 2005).

Para garantizar un número representativo de muestras se utilizó la tabla de número de ciclos de observación propuesta en el libro de Niebel & Freivalds. A pesar que esta tabla recomienda números de muestras entre 3 y 200 de acuerdo a la duración promedio de las actividades, se decidió utilizar un número base de 20 muestras con el fin de garantizar que todas las muestras sean estadísticamente representativas. Para determinar el número de muestras requerido, se utilizaron los tiempos históricos de cada elemento, con lo que se utilizó la Tabla 1 para

determinar los ciclos de medición requeridos. Posteriormente, una vez que se obtuvieron todas las mediciones, se procedió a confirmar el tamaño de muestra mediante la aplicación de la fórmula recomendada por Niebel y Freivalds.

Con el objetivo de estandarizar las mediciones, los datos tomados fueron para la duración de la fabricación de una tonelada del producto final (unidad agregada de producción) de cada etapa del proceso. Esto con el fin de poder tener una medida común que permita posteriormente tener mediciones precisas y únicas en cuanto a la capacidad estimada.

Finalmente, se determinó junto a la gerencia los factores que podrían influir en los tiempos medidos en cada una de las etapas a ser analizadas. De acuerdo a este estudio se decidió considerar estos factores para poder detectar y determinar si establecen o no influencia en los tiempos de los elementos. Solamente fueron aplicados en 2 elementos ya que todas las actividades se encuentran estandarizadas para todos los productos, y no existe variación en los tiempos dependiendo del producto.

5.1.3.4. Método de análisis de tiempos

Para el análisis de los tiempos medidos, se utilizaron pruebas de bondad de ajuste para saber si los datos se adaptaban a una distribución normal. Se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov que está diseñada para su aplicación en distribuciones continuas como en este caso es el tiempo (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004). Esta prueba permite la comparación de dos estadísticos para la verificación de la adaptación de la muestra a la distribución deseada. En este caso se desea determinar si los datos se pueden adaptar a la distribución normal con el fin de poder determinar de forma sencilla qué nivel de variabilidad de los tiempos del proceso se desea cubrir posteriormente.

Es importante mencionar que se decidió utilizar a la distribución normal por la facilidad del manejo de la información que ofrece. El objetivo del modelo es presentar una opción fácil de aplicar y con capacidad de adaptación; por esta razón la distribución normal presenta facilidades para la comprensión de sus parámetros y la actualización de información periódicamente. Finalmente, se decidió utilizar esta distribución por el hecho de que ofrece facilidades para parametrizar los niveles de variabilidad y adaptarlos de acuerdo a los resultados o decisiones que llegue a tomar la gerencia.

Los estadísticos a ser utilizados en esta prueba son el valor P y KS que serán obtenidos mediante un análisis realizado por el paquete de software estadístico Minitab. El valor de significancia para esta prueba será $\alpha = 0.05$ ya que minimiza los valores de los errores tipo I y II (Montgomery & Runger, Probabilidad y estadística aplicadas a la Ingeniería, 1996). Para el estadístico KS se utilizarán los valores críticos recomendados para pruebas Kolmogorov-Smirnov de acuerdo al tamaño de la muestra (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2004).

Durante la medición de tiempos se obtuvieron valores que se consideraron atípicos ya que se encontraban fuera de las tendencias o variabilidad regulares de los procesos analizados. Las razones o situaciones que generaron estos valores atípicos fueron registradas en los formatos de medición de tiempos con el fin de mantener un control de los mismos. Dentro de cada análisis se determinará si existieron valores atípicos y si se decidió incluirlos en las pruebas de bondad de ajuste.

5.2. Corte

5.2.1. Realización del estudio de tiempos en la sección de corte

5.2.1.1. Determinación del número de mediciones

Para la sección de corte se han agrupado las actividades en elementos, para así descartar actividades que no influyan directamente en la toma de tiempos. La división del proceso en elementos se lista a continuación con sus respectivos tiempos históricos en segundos entregados por la gerencia y sus tamaños de muestra obtenidos de la tabla de Niebel & Freivalds (2004):

Elemento	Tiempo Histórico (seg)	Número de Observaciones
Preparación de la bobina	77	20 muestras
Preparación previa al corte	90	20 muestras
Set-up máquina	98	20 muestras
Corte de bobinas	650	20 muestras
Embobinado de flejes	410	20 muestras
Almacenamiento de flejes	104	20 muestras

Tabla 3: Número de muestras para cada elemento de la sección de corte

5.2.1.2. Inducción y adiestramiento de analistas

Previo a la toma de tiempos, los estudiantes recibieron una inducción técnica sobre el proceso de corte, las diferentes estaciones con las que cuenta que son la preparación de la bobina, preparación previa al corte, corte y embobinado de flejes, y la forma correcta de tomar los tiempos, es decir, desde cuando inicia una actividad y cuando finaliza la misma. Esta sección cuenta con 3 operadores y un jefe de sección quien es el que revisa la producción de su línea.

5.2.2. Tiempos obtenidos

5.2.2.1. Preparación de bobina

Los tiempos obtenidos para este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	74
2	63
3	76
4	77
5	66
6	75
7	65
8	60
9	70
10	78
11	73
12	61
13	65
14	67
15	67
16	72
17	75
18	64
19	75
20	66

Tabla 4: Tiempos de preparación de Bobina

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 5.7}{0.05 * 69.4} \right)^2 = 12$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Realizando la prueba de normalidad en Minitab se obtiene la gráfica a continuación:

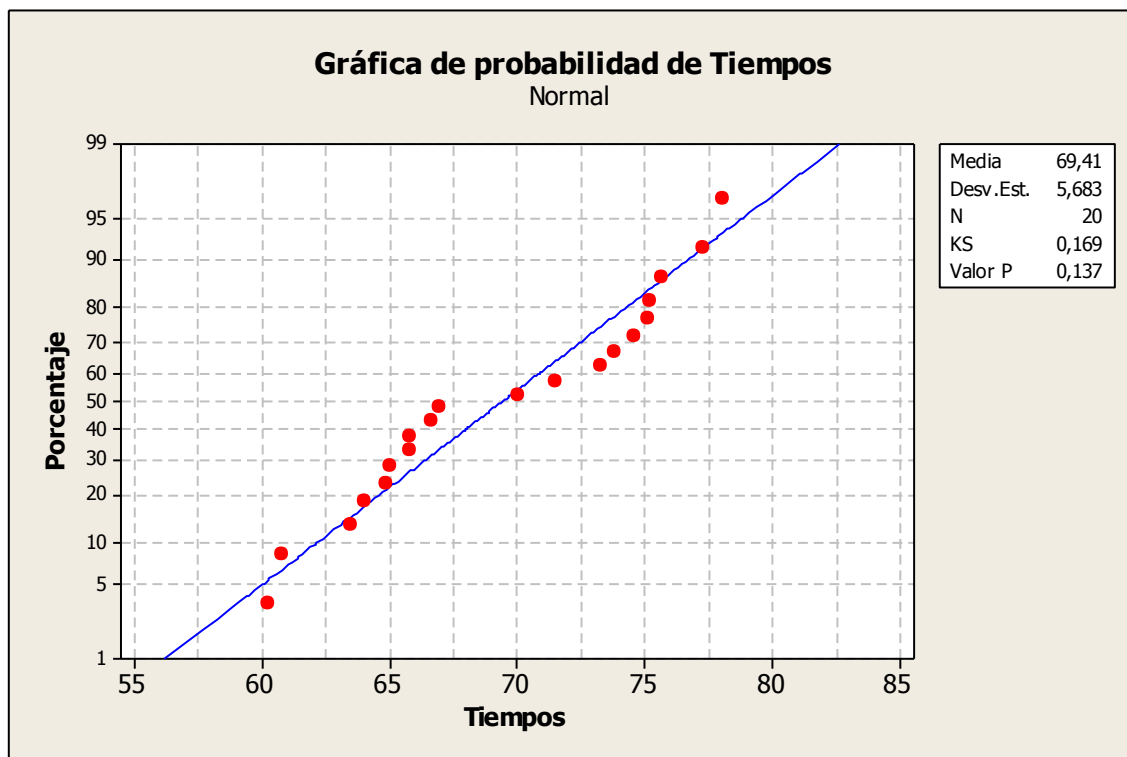


Ilustración 26: Gráfica de normalidad de Preparación de Bobina

Como se puede ver en la Ilustración 26 los tiempos de preparación de la bobina, sí cumplen con los requisitos de normalidad, ya que el valor KS (0,169) es menor al KS crítico (0,294), y el valor P (0,137) mayor al α seleccionado de 0,05.

5.2.2.2. Preparación previa al corte

Los tiempos medidos para este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	96
2	80
3	83
4	92
5	101
6	90
7	100
8	93
9	75
10	85
11	101
12	95
13	93
14	98
15	99
16	95
17	96
18	100
19	86
20	88

Tabla 5: Tiempos de Preparación Previa al Corte

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 7.4}{0.05 * 92.2} \right)^2 = 12$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Realizando la prueba de normalidad en Minitab se obtuvo la siguiente gráfica:

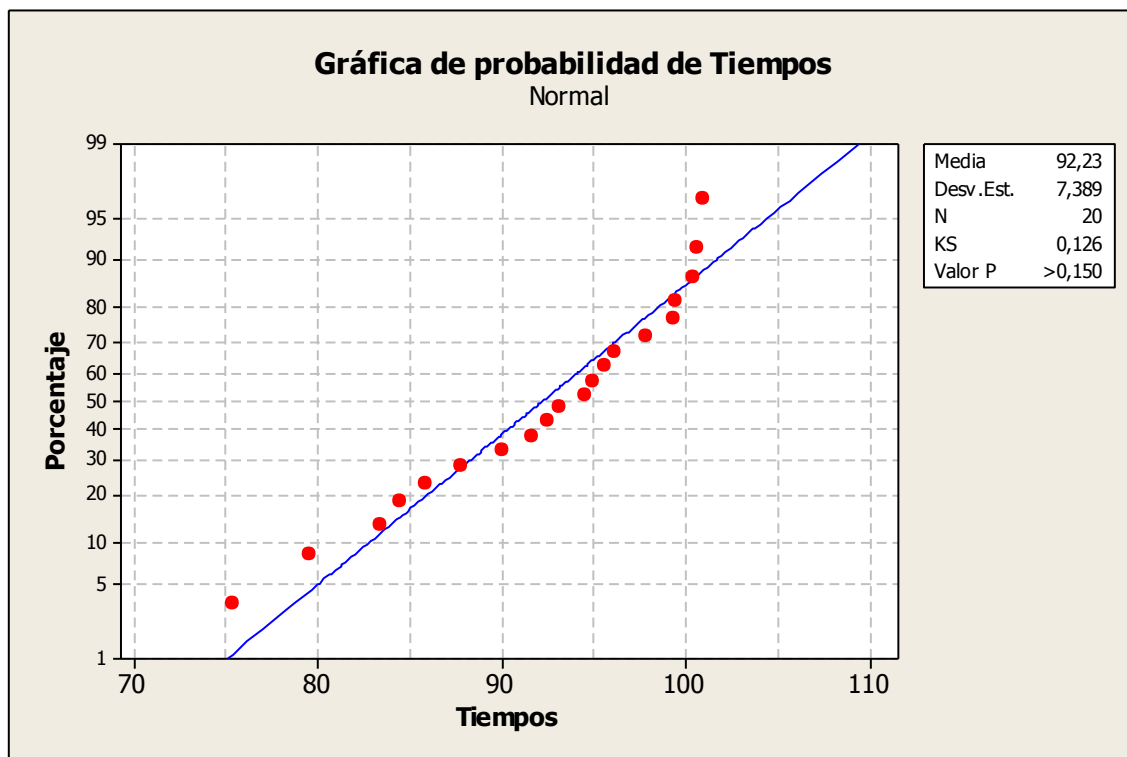


Ilustración 27: Gráfica de normalidad de preparación previa al corte

Analizando la Ilustración 27 se puede comprobar que el set de muestras obtenidas se adapta a la distribución normal ya que los valores KS y P cumplen con los parámetros establecidos previamente.

5.2.2.3. Set-up de la máquina

Los tiempos medidos se muestran a continuación:

#	Tiempos (s)
1	91
2	90
3	88
4	94
5	91
6	96
7	89
8	95
9	89
10	86
11	87
12	98
13	95
14	97
15	90
16	90
17	96
18	92
19	87
20	90

Tabla 6: Tiempos de Set-up de la Máquina

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 3.6}{0.05 * 91.5} \right)^2 = 3$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

La gráfica de prueba de normalidad (obtenida con Minitab) se muestra a continuación:

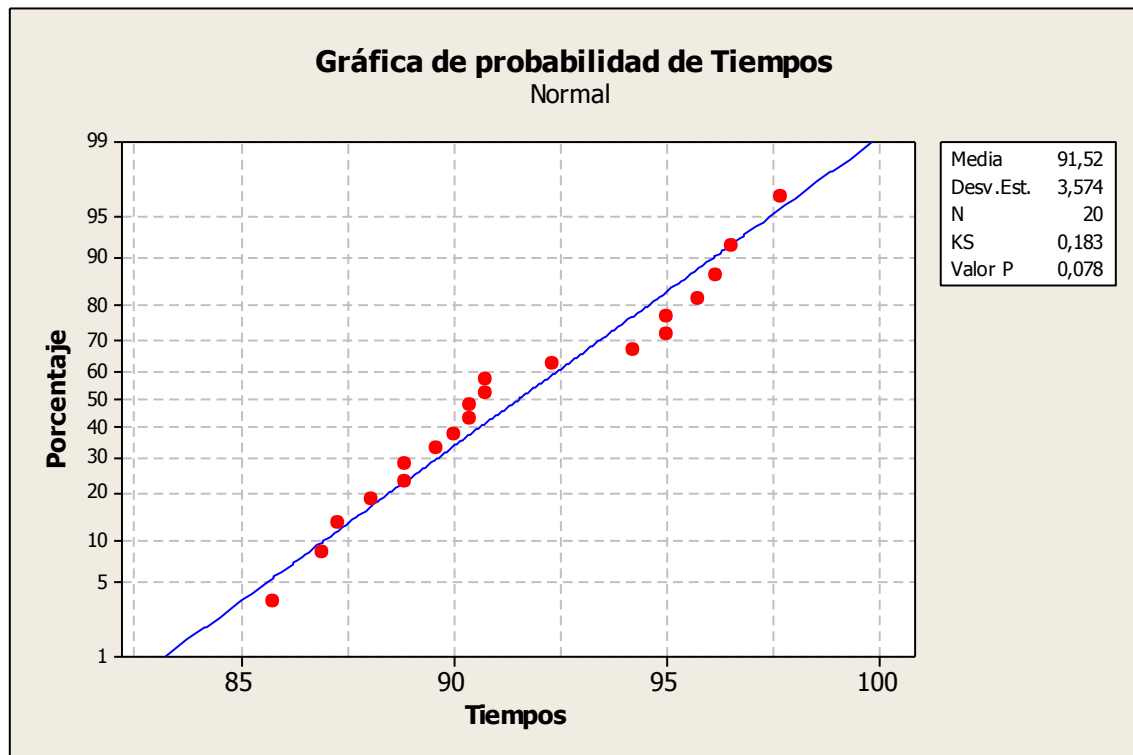


Ilustración 28: Gráfica de Normalidad de Set-up de la Máquina

En la Ilustración 28 se puede observar que los tiempos del elemento set-up de la máquina sí cumplen con los requisitos de normalidad puesto que el valor P es mayor que al nivel de significancia y el valor KS es menor que el valor crítico para 20 mediciones.

5.2.2.4. Corte de Flejes

Los valores medidos de tiempos se muestran a continuación:

#	Tiempos (s)
1	617
2	630
3	621
4	615
5	621
6	611
7	626
8	612
9	613
10	627
11	622
12	615
13	615
14	626
15	640
16	611
17	623
18	647
19	628
20	616

Tabla 7: Tiempos de Corte de Flejes

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 9.6}{0.05 * 621.7} \right)^2 = 1$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Analizando los tiempos obtenidos mediante una prueba de normalidad se obtiene la gráfica a continuación:

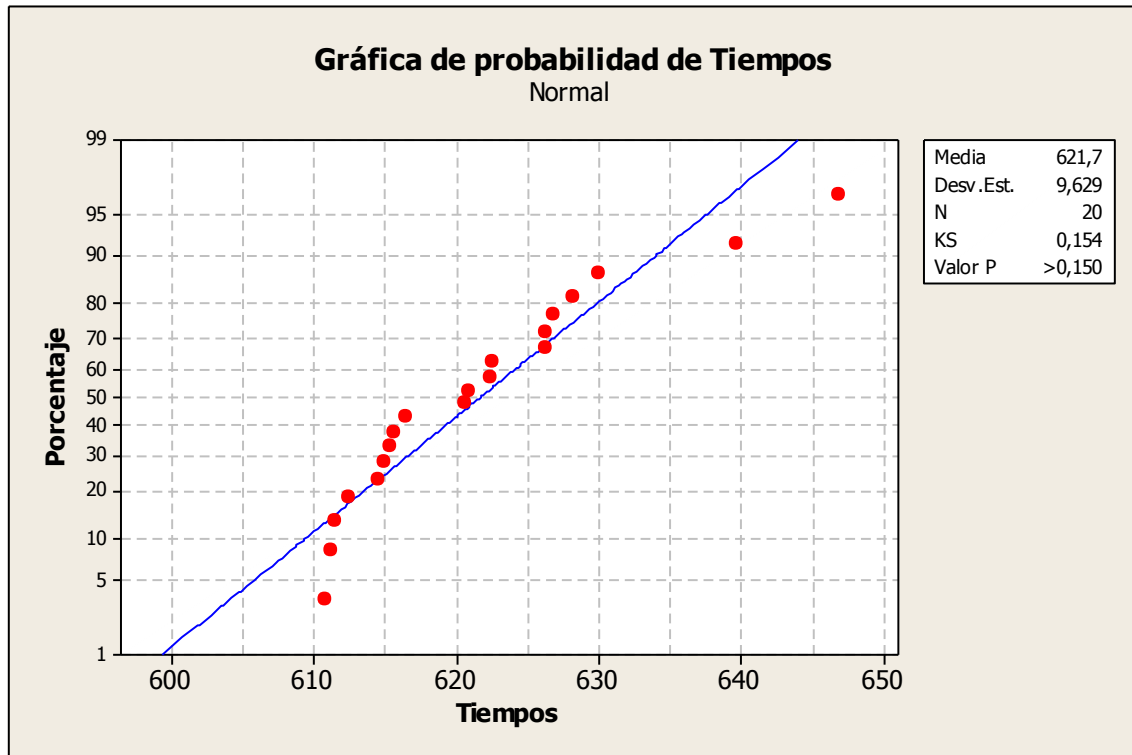


Ilustración 29: Gráfica de Normalidad de Corte de Flejes

Como se puede ver en la Ilustración 29 los tiempos del elemento de corte de bobinas cumplen con los requisitos de normalidad, ya que el valor KS (0,154) es menor al KS (0,294) crítico, y el valor P (>0,150) mayor al α de 0,05.

5.2.2.5. Embobinado de flejes

Los tiempos medidos para este proceso se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	395
2	372
3	390
4	375
5	401
6	377
7	385
8	410
9	384
10	562
11	394
12	402
13	431
14	390
15	380
16	385
17	382
18	419
19	420
20	433

Tabla 8: Tiempos de Embobinado de Flejes con Valor Atípico

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 41.17}{0.05 * 404.3} \right)^2 = 19$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Mediante un análisis de normalidad realizado en el software informático Minitab se obtiene la gráfica a continuación:

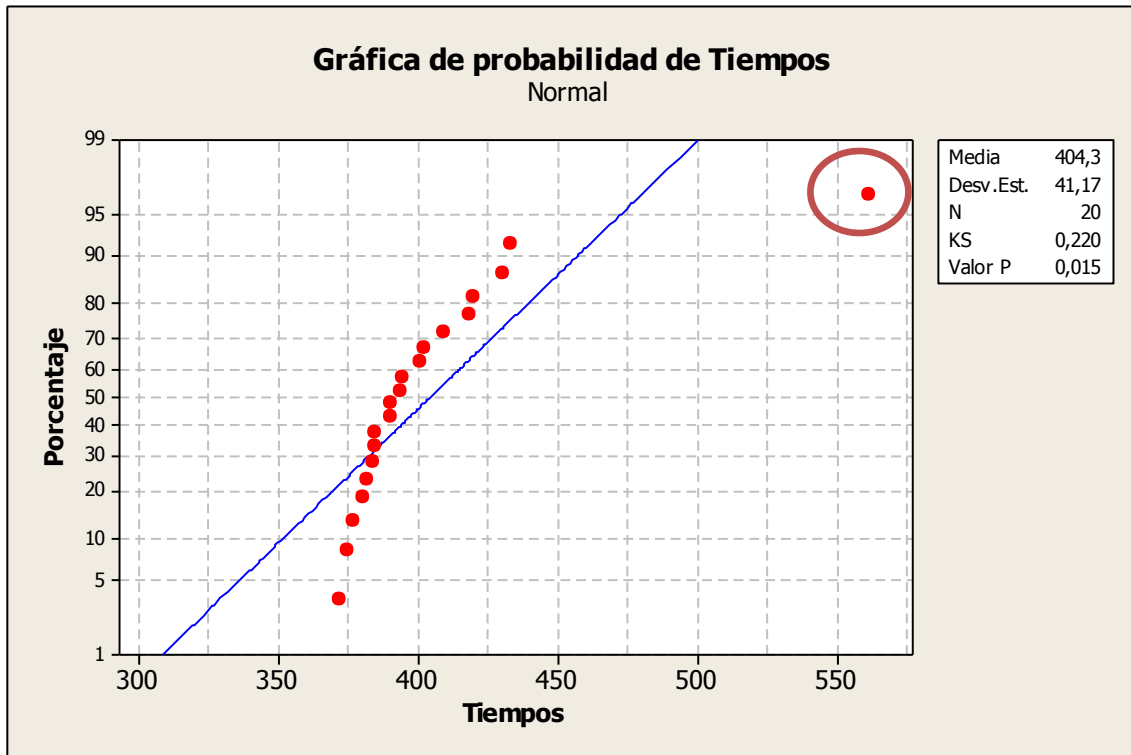


Ilustración 30: Gráfica de Normalidad de Embobinado de Flejes con Valor Atípico

Como se puede ver en la

#	Tiempos (s)
1	395
2	372
3	390
4	375
5	401
6	377
7	385
8	410
9	384
10	562
11	394
12	402
13	431
14	390
15	380
16	385
17	382

18	419
19	420
20	433

Tabla 8 de los tiempos de embobinado de flejes existe un dato atípico de 1460 segundos (00:24:30), el cual sucedió ya que al momento de templar los flejes uno de estos se atascó en la máquina embobinadora, desencadenando que todo el proceso de embobinado tarde más en realizarse. De igual forma, en la Ilustración 30 se puede ver que a causa del dato atípico la distribución de los datos no cumple con los requisitos de normalidad.

Este dato se consultó con el jefe de área de corte y mencionó que este tiempo no debe ser tomado en consideración, ya que es un hecho que no suele suceder durante el proceso. Es por esta razón, que se decidió tomar una medición más para reemplazar el tiempo con el dato atípico, el cual se presenta a continuación.

#	Tiempos (s)
1	395
2	372
3	390
4	375
5	401
6	377
7	385
8	410
9	384
10	426
11	394
12	402
13	431
14	390
15	380

16	385
17	382
18	419
19	420
20	433

Tabla 9: Tiempos de Embobinado de Flejes

Con la nueva medición, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 19.25}{0.05 * 397.6} \right)^2 = 5$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Analizando nuevamente los tiempos obtenidos para este elemento se obtiene la gráfica a continuación:

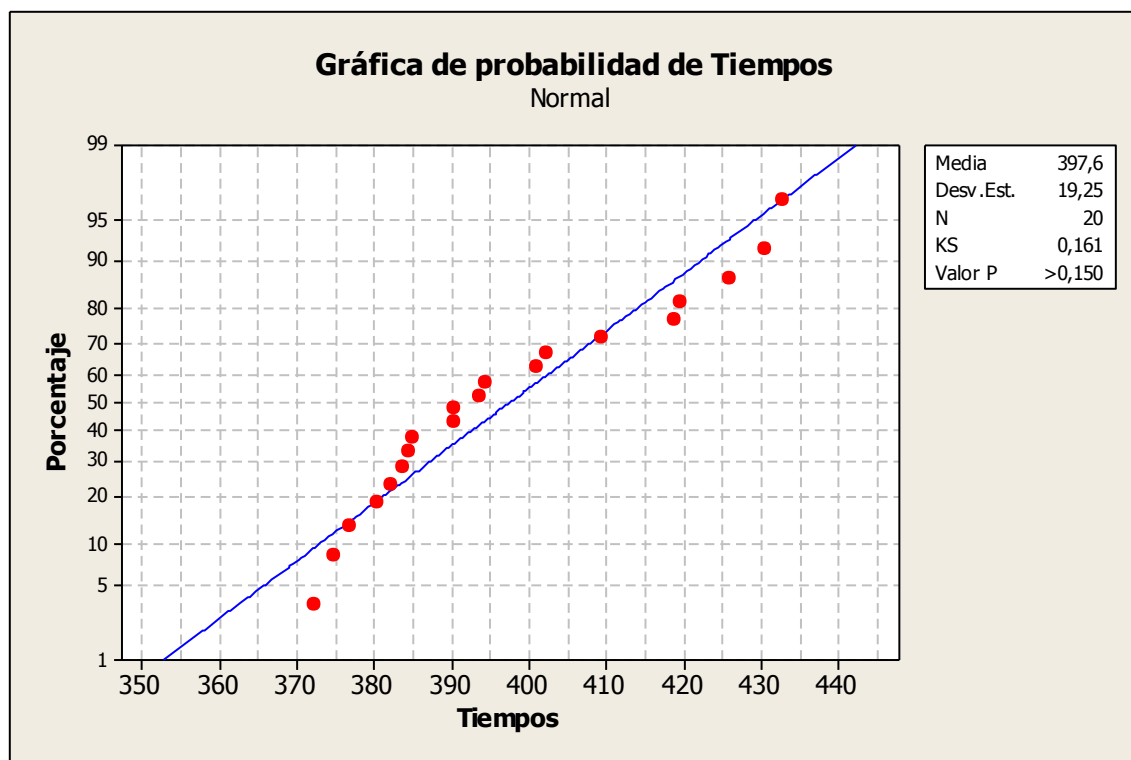


Ilustración 31: Gráfica de normalidad de Embobinado de Flejes

Como se puede observar en la

#	Tiempos (s)
1	395
2	372
3	390
4	375
5	401
6	377
7	385
8	410
9	384
10	426
11	394
12	402
13	431
14	390
15	380
16	385
17	382
18	419
19	420
20	433

Tabla 9 y en la Ilustración 31: Gráfica de normalidad de Embobinado de Flejes, el dato con el tiempo atípico anterior fue reemplazado con una nueva medición y se realizó la prueba de normalidad, dando como resultado que los datos sobre los tiempos de embobinado de flejes sí cumplen con los requisitos de normalidad.

5.2.2.6. Almacenamiento de flejes

Los tiempos obtenidos para este elemento son los presentados a continuación:

#	Tiempos (s)
1	110
2	120
3	124
4	112
5	124
6	108
7	113
8	129
9	111
10	119
11	118
12	107
13	125
14	104
15	121
16	127
17	129
18	126
19	120
20	107

Tabla 10: Tiempos de Almacenamiento de Flejes

Una vez obtenidos los datos recomendados por la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 8.002}{0.05 * 117.6} \right)^2 = 9$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se pudo realizar una prueba de normalidad en Minitab, la gráfica obtenida se presenta a continuación:

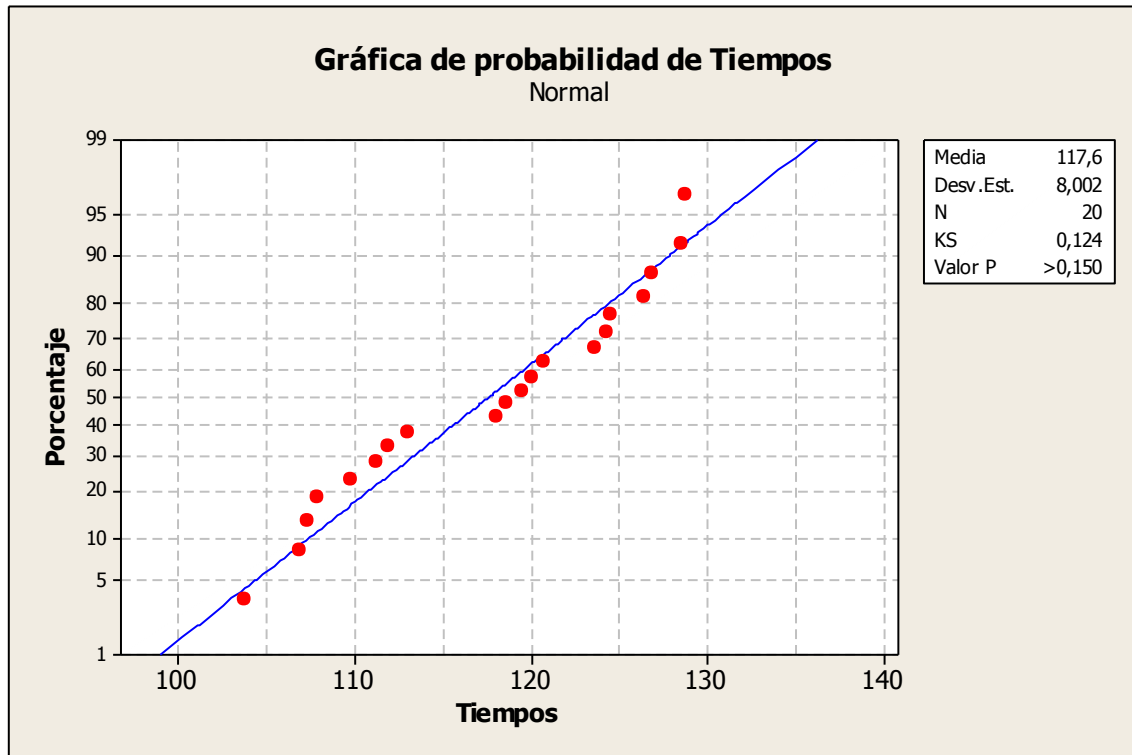


Ilustración 32: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Flejes

Con lo que analizando esta ilustración se puede concluir que los datos recolectados se adaptan a la distribución normal ya que ambos parámetros P y KS se encuentran dentro de los límites de aceptación establecidos.

5.3. Formado

5.3.1. Realización del estudio de tiempos en la sección de Formado

5.3.1.1. Determinación del número de mediciones

A continuación se muestran el número de ciclos requerido para cada elemento de acuerdo a los datos históricos aplicados en la tabla especificada por Niebel y Freivalds (2004):

Elemento	Tiempo Histórico (seg)	Número de Observaciones
Preparación para formado	227	20 muestras
Conformado de tubos	502	20 muestras
Preparación de paquete de tubos	245	20 muestras
Almacenamiento de paquete de tubos	127	20 muestras

Tabla 11: Número de muestras para cada elemento de la sección de formado

5.3.1.2. Inducción y adiestramiento de analistas

Previo a la toma de tiempos, los estudiantes recibieron una inducción técnica sobre el proceso de formado, las diferentes estaciones con las que cuenta que son la preparación para el formado, conformado, preparación de paquete de tubos y almacenamiento de paquete de tubos; y la forma correcta de tomar los tiempos, es decir, desde cuando empieza una actividad y cuando finaliza la misma. Esta sección cuenta con 3 operadores y un jefe de sección quien es el que revisa la producción de su línea.

5.3.2. Tiempos obtenidos

5.3.2.1. Preparación para Formado

Los tiempos medidos para este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	254
2	197
3	190
4	220
5	246
6	208
7	254
8	203
9	258
10	210
11	237
12	247
13	207
14	249
15	200
16	214
17	241
18	184
19	238
20	213

Tabla 12: Tiempos de Preparación para Formado

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 23.8}{0.05 * 223.5} \right)^2 = 20$$

Con lo que la cantidad de muestras requeridas queda confirmado. Mediante un análisis en Minitab se tiene la gráfica de normalidad a continuación:

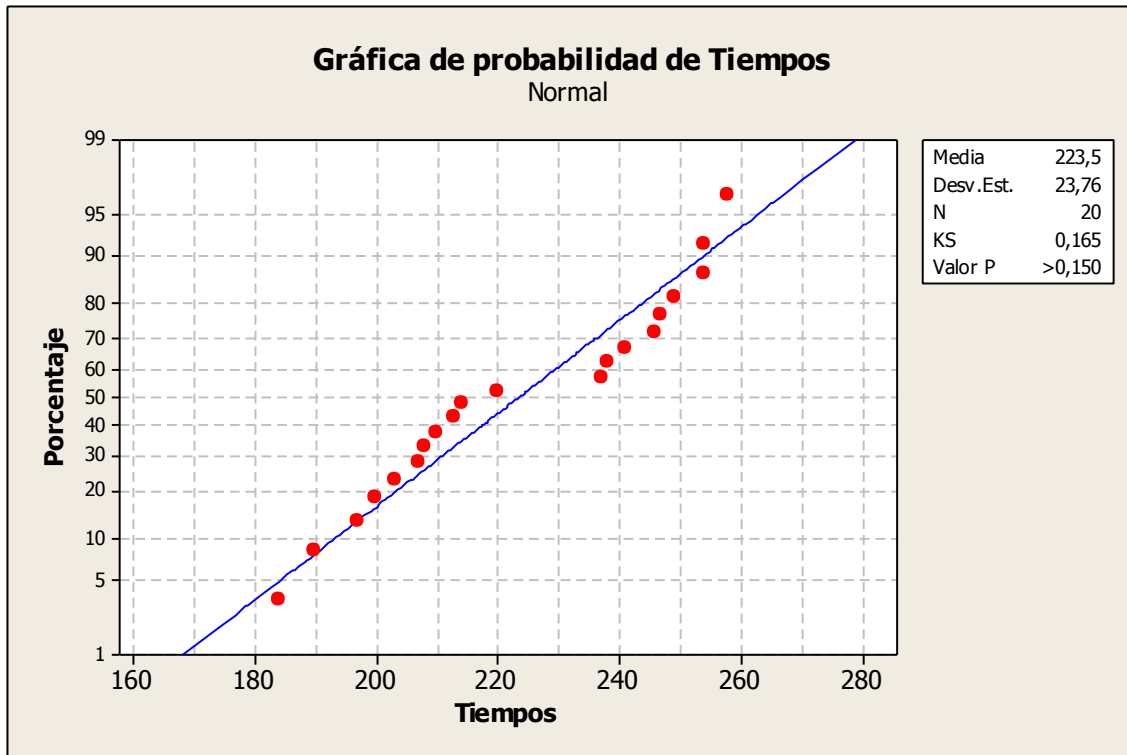


Tabla 13: Gráfica de Normalidad de Preparación para Formado

Con esto se puede llegar a la conclusión que los datos recolectados se adaptan a la distribución normal ya que los valores KS y P se encuentran en los rangos aceptables establecidos.

5.3.2.2. Conformado de Tubos

Para el caso de tiempos de formado, la gerencia y las líneas de supervisión comentaron que existe una influencia en base al peso del tubo lo cual sería necesario considerar en caso que quisiéramos estimar tiempos más precisos. Es por esto que se fueron registrando los tiempos medidos junto con el peso de los tubos en base a las especificaciones del mismo. Además, con el fin de tener una medida más precisa de la posible dependencia entre estos 2 factores, se decidió aumentar el número de mediciones a 40 con el fin de garantizar resultados más exactos. A continuación se muestra la lista de datos obtenidos para este proceso:

#	Peso (kg)	Tiempos (seg)
1	6,72	774
2	10,92	554
3	14,46	453
4	18,18	321
5	13,08	462
6	14,46	455
7	10,92	597
8	8,82	669
9	11,16	554
10	10,56	610
11	12,36	524
12	6,90	827
13	5,70	883
14	8,10	721
15	15,60	410
16	9,66	631
17	6,72	792
18	13,98	446
19	5,28	943
20	11,94	516
21	10,74	568
22	5,40	942
23	8,28	729
24	8,28	714
25	18,60	317
26	19,50	296
27	14,04	421
28	8,28	726
29	8,40	710
30	8,10	763
31	5,28	947
32	10,92	523
33	14,46	428
34	6,90	875
35	5,94	926
36	7,50	812
37	10,92	538
38	10,68	574
39	6,90	895
40	10,68	581

Tabla 14: Tiempos de Conformado de tubos

Con esta información, se procedió a realizar una gráfica de dispersión para poder identificar la posible influencia que existe en los tiempos por parte del peso del tubo. A continuación se muestra la gráfica:

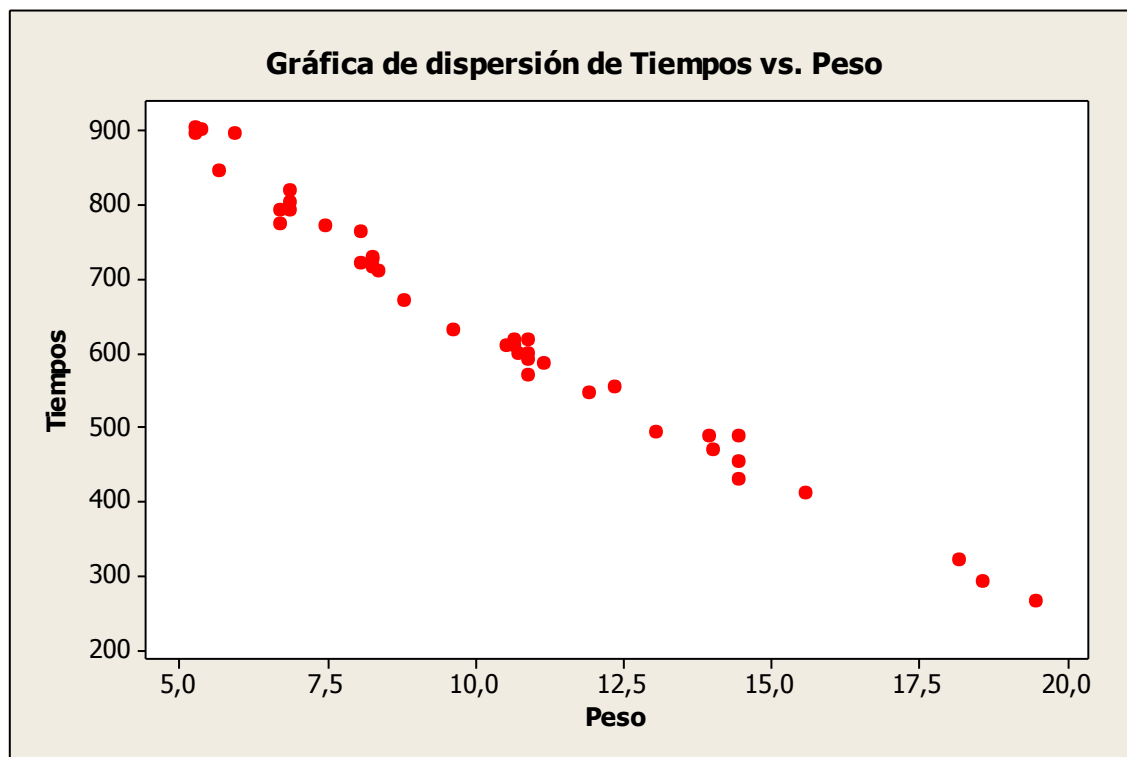


Ilustración 33: Gráfica de dispersión del Tiempo vs. Peso

En la Ilustración 33 se puede ver que aparentemente existe una relación lineal (negativa) entre las 2 variables con lo que se procede a realizar una regresión con el fin de determinar las constantes de la ecuación de la recta. A continuación se presentan los resultados:

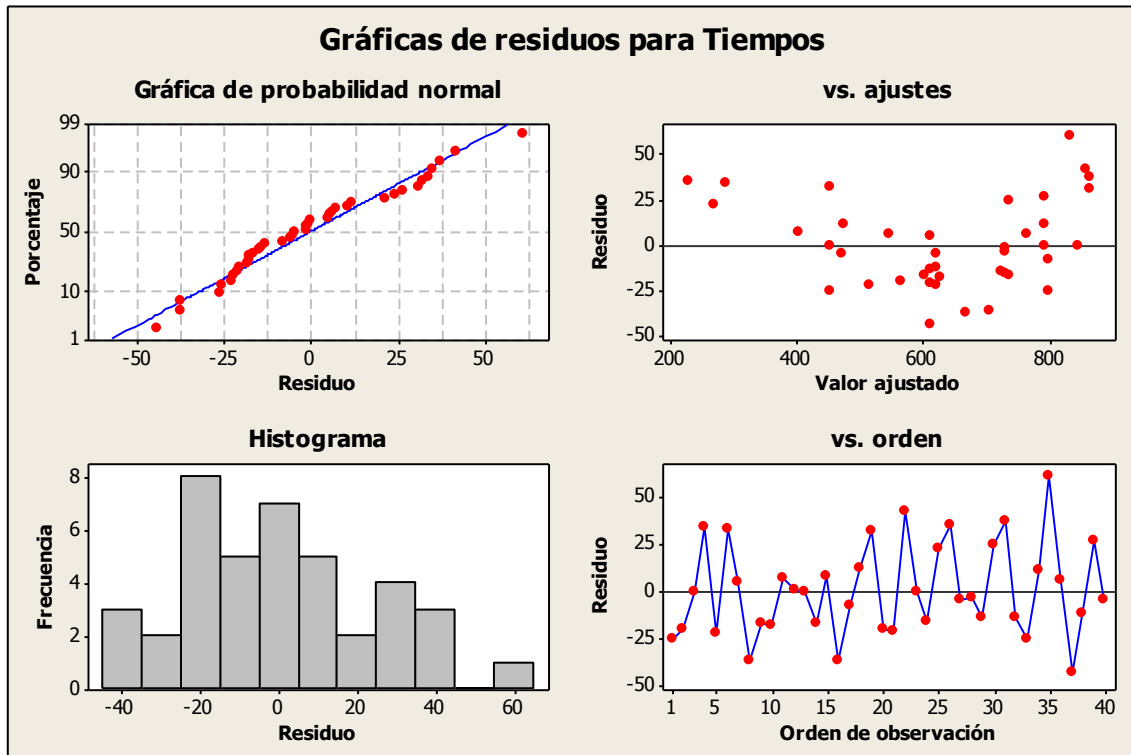


Ilustración 34: Gráfica de residuos para los Tiempos de conformado

Análisis de regresión: Tiempo Promedio vs. Peso

La ecuación de regresión es
 Tiempos = 1101 - 44,8 Peso

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P	VIF
Constante	1101,09	11,64	94,60	0,000	
Peso	-44,779	1,056	-42,42	0,000	1,000

S = 24,7829 R-cuad. = 97,9% R-cuad.(ajustado) = 97,9%

PRESS = 26580,8 R-cuad.(pred) = 97,64%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	1105330	1105330	1799,65	0,000
Error residual	38	23339	614		
Falta de ajuste	25	18829	753	2,17	0,073
Error puro	13	4510	347		
Total	39	1128669			

Tabla 15: Análisis de regresión de Tiempo vs. Peso

Con lo que mediante un análisis del valor R-cuad. (Ajustado) se puede ver que los datos se adaptan a la ecuación presentada por la herramienta por el valor de su ajuste de 97,9%. Además, el valor P de la “Falta de ajuste” de 0,073 sugiere que el modelo propuesto se ajusta adecuadamente a los datos ya que supera al 0.05 establecido como nivel de significancia. De la misma manera, no se puede ver ningún patrón o tendencia en la gráfica de residuos versus ajustes o en la de residuos versus orden de observación. Finalmente, mediante un análisis con la gerencia se pudo determinar que los datos presentan una lógica comprensible ya que la máquina generalmente corre a la misma velocidad (con variaciones mínimas) para todos los tubos.

5.3.2.3. Preparación de Paquete de Tubos

Los tiempos obtenidos para este elemento se listan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	217
2	213
3	247
4	252
5	247
6	233
7	218
8	246
9	251
10	271
11	243
12	229
13	256
14	199
15	271
16	257
17	221
18	254
19	197
20	266

Tabla 16: Tiempos de Preparación de Paquetes de Tubos

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 22.4}{0.05 * 239.4} \right)^2 = 16$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Ahora, para poder analizar si los datos se adecúan a la distribución normal se realizó la prueba de normalidad, a continuación se muestra la gráfica obtenida:

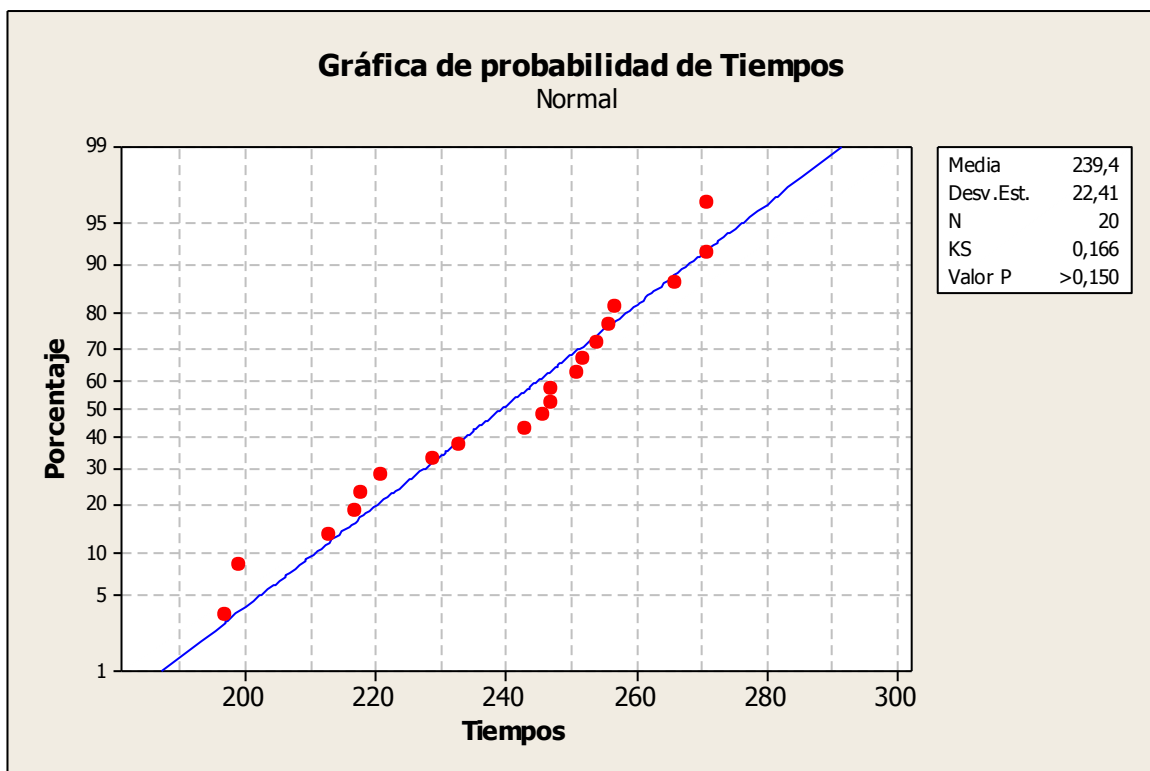


Ilustración 35: Gráfica de Normalidad de Preparación de Paquetes de Tubos

Como se puede ver en la Ilustración 35: Gráfica de Normalidad de Preparación de Paquetes de Tubos los tiempos del elemento de preparación de paquete de tubos, sí cumplen con los requisitos de normalidad.

5.3.2.4. Almacenamiento de Paquete de Tubos

Los tiempos medidos para este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	111
2	124
3	145
4	118
5	131
6	101
7	121
8	99
9	115
10	138
11	110
12	120
13	137
14	129
15	114
16	129
17	115
18	118
19	107
20	129

Tabla 17: Tiempos de Almacenamiento de Paquete de Tubos

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 12.3}{0.05 * 120.5} \right)^2 = 19$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se procedió a realizar una prueba de normalidad en Minitab, de esta forma se obtuvo la gráfica a continuación:

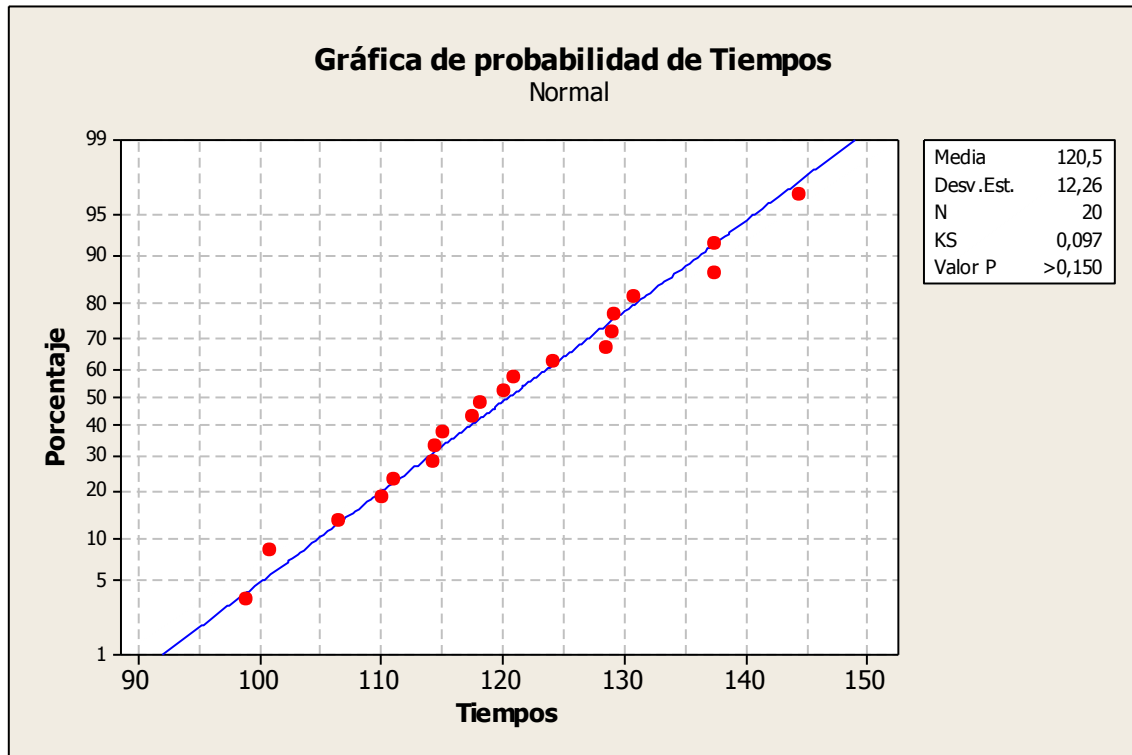


Ilustración 36: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Paquetes de Tubos

Con esto se puede llegar a la conclusión que los datos recolectados se adaptan a la distribución normal ya que los valores KS y P se encuentran en los rangos aceptables establecidos.

5.4. Galvanizado

5.4.1. Realización del estudio de tiempos en la sección de Galvanizado

5.4.1.1. Determinación del número de mediciones

A continuación se muestran el número de ciclos requerido para cada elemento de acuerdo a los datos históricos aplicados en la tabla especificada por Niebel y Freivalds (2004):

Elemento	Tiempo Histórico (seg)	Número de Observaciones
Preparación para galvanizado	155	20 muestras
Desengrasado	502	20 muestras
Aplicación de ácido	533	20 muestras
Enjuagado	52	40 muestras
Aplicación de flux	165	20 muestras
Aplicación de Zinc	318	20 muestras
Enfriamiento	295	20 muestras
Control de calidad	135	20 muestras
Preparación final de paquetes	258	20 muestras

Tabla 18: Número de muestras para cada elemento de la sección de galvanizado

5.4.1.2. Inducción y adiestramiento de analistas

Previo a la toma de tiempos, los estudiantes recibieron una inducción técnica sobre el proceso de galvanizado, las diferentes estaciones con las que cuenta que son la preparación para el galvanizado, desengrasante, ácido, enjuague, flux, zinc, enfriamiento, control de calidad y preparación final de paquetes; y la forma correcta de tomar los tiempos, es decir, desde cuando empieza una actividad y cuando finaliza la misma. Esta sección cuenta con 5 operadores y un jefe de sección quien es el que revisa la producción de su línea.

5.4.2. Tiempos obtenidos

5.4.2.1. Preparación para Galvanizado

Los datos obtenidos para este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	161
2	230
3	155
4	155
5	158
6	146
7	151
8	158
9	154
10	151
11	165
12	159
13	150
14	147
15	158
16	163
17	162
18	168
19	248
20	160

Tabla 19: Tiempos de Preparación para Galvanizado con Valores Atípicos

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 26.1}{0.05 * 165} \right)^2 = 44$$

Para este set de tiempos medidos se obtuvieron dos valores atípicos ya que en ambas ocasiones existieron problemas con la balanza ya que esta se descalibró por lo que se decidió no tomar más muestras hasta realizar la prueba de normalidad. A continuación se muestra el análisis de ajuste de estos datos a la distribución normal:

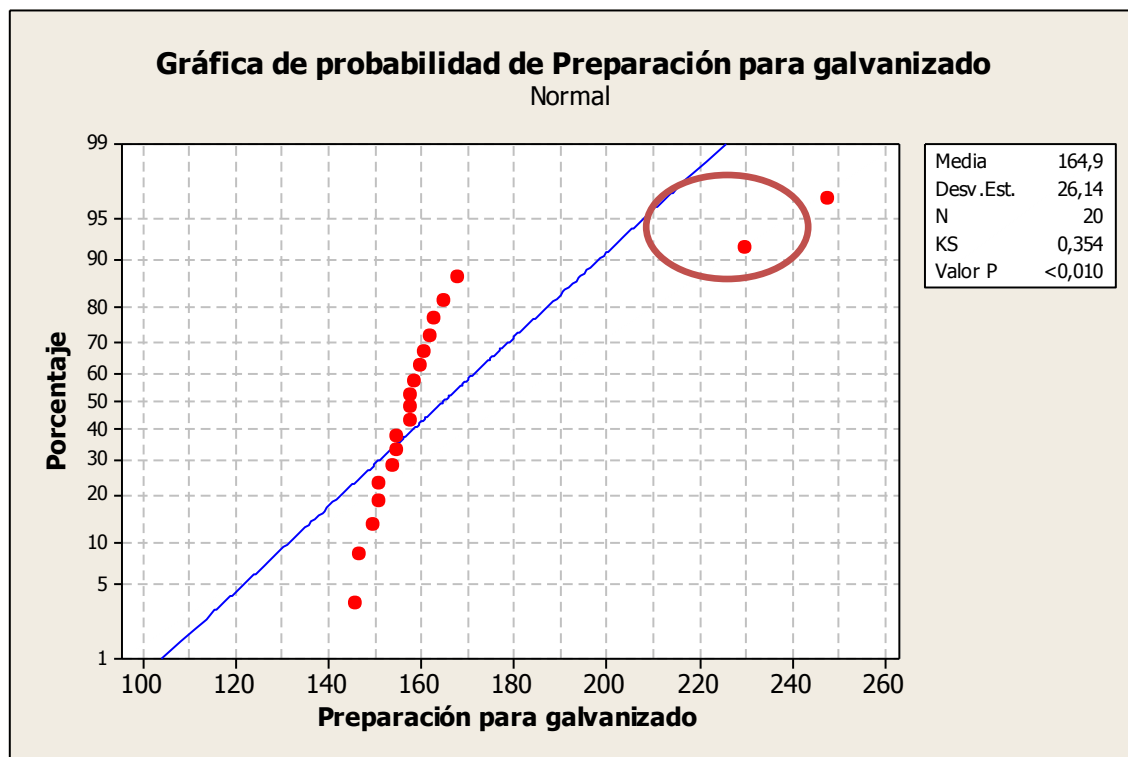


Ilustración 37: Gráfica de Normalidad de Preparación para Galvanizado con Valores Atípicos

Mediante el análisis realizado se tiene que los tiempos medidos no se adaptan a la distribución normal ya que los valores P y KS no cumplen las condiciones establecidas. Con esto, se decidió consultar a la gerencia la posibilidad de eliminar estos valores, ya que se consideran eventos aislados que no repiten de manera frecuente. Por este hecho, se procedieron a obtener 2 datos nuevos para reemplazar los valores atípicos, el nuevo listado de tiempos se presenta a continuación:

#	Tiempos (s)
1	161
2	160
3	155
4	155
5	158
6	146
7	151
8	158
9	154
10	151
11	165
12	159
13	150
14	147
15	158
16	163
17	162
18	168
19	159
20	160

Tabla 20: Tiempos de Preparación para Galvanizado

Con los nuevos valores de la tabla, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 5.8}{0.05 * 157} \right)^2 = 3$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con estos nuevos valores obtenidos se procedió a realizar la prueba de normalidad nuevamente, a continuación se presenta la gráfica obtenida a partir del software Minitab:

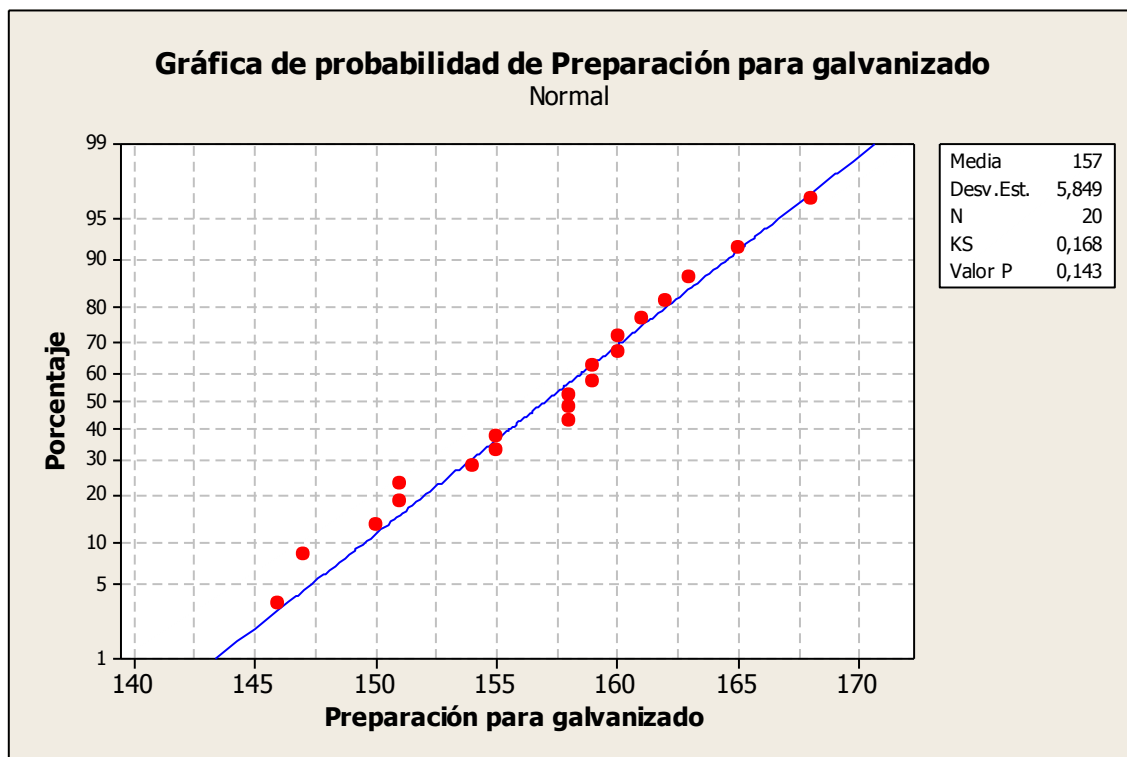


Ilustración 38: Gráfica de Normalidad de Preparación para Galvanizado

Con lo que se tiene que los nuevos valores obtenidos los datos se adaptan a la distribución normal. El valor KS de 0.143 cumple con el valor crítico para este número de mediciones y el valor P es mayor a 0.05 que fue el nivel de significancia utilizado.

5.4.2.2. Desengrasado

Las mediciones obtenidas para este elemento son las siguientes:

#	Tiempos (s)
1	481
2	495
3	470
4	459
5	526
6	545
7	472
8	474
9	445
10	514
11	422
12	499
13	454
14	399
15	468
16	520
17	488
18	516
19	456
20	539

Tabla 21: Tiempos de Desengrasado

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 38.1}{0.05 * 482.1} \right)^2 = 11$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con estos valores se procedió a realizar una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov en

Minitab, de esta forma se obtuvo la gráfica a continuación:

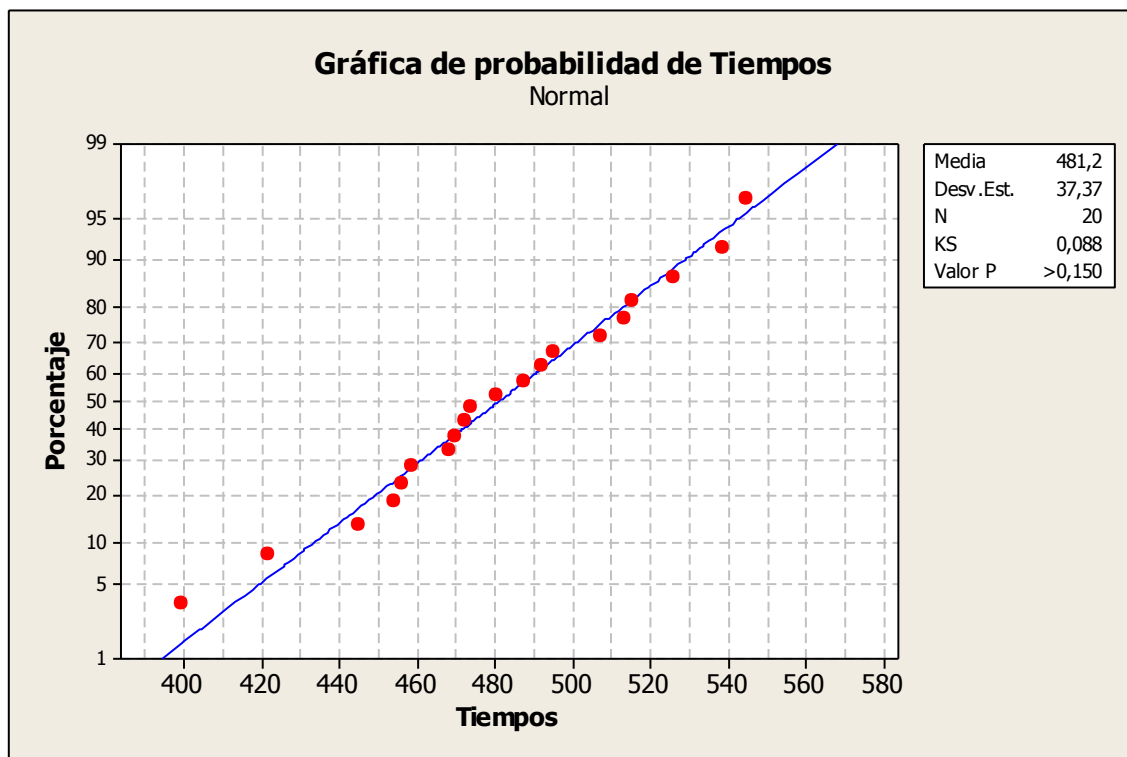


Ilustración 39: Gráfica de Normalidad de Desengrasado

En la Ilustración 39 se comprueba que los datos obtenidos para este elemento se adaptan a la distribución normal ya que los valores KS y P se encuentran dentro de los límites permitidos para no rechazar la hipótesis nula.

5.4.2.3. Aplicación de Ácido

De la misma forma que para el caso Formado de tubos, se decidió tomar una mayor cantidad de datos para garantizar una mayor precisión en la determinación de la relación entre la concentración del ácido y el tiempo medido en la aplicación de este material en las tuberías. A continuación se presenta la tabla de datos obtenidos:

#	Concentración (%)	Tiempo (s)
1	90	187
2	59	318
3	65	289
4	76	225
5	53	384
6	64	307
7	92	147
8	73	236
9	70	268
10	95	121
11	71	248
12	58	339
13	91	172
14	51	350
15	59	301
16	88	164
17	62	307
18	83	217
19	89	182
20	60	332
21	59	294
22	61	287
23	78	214
24	96	133
25	88	207
26	92	180
27	53	346
28	80	223
29	91	151
30	86	192
31	72	263
32	69	271
33	85	232
34	62	281
35	81	229
36	57	293
37	75	237
38	96	130
39	84	209
40	85	154

Tabla 22: Tiempos de Aplicación de Ácido

Es con esto que se procede a realizar una gráfica de dispersión para poder determinar la posible relación entre estos factores. Los resultados se presentan a continuación:

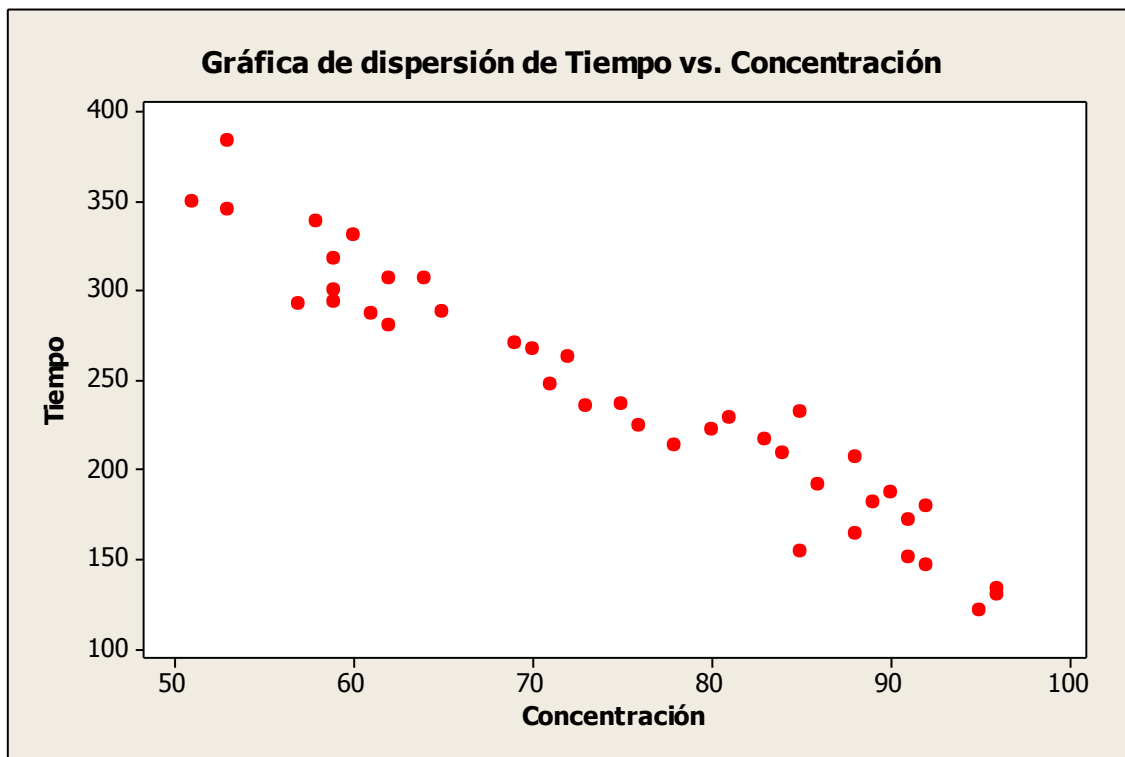


Ilustración 40: Gráfica de dispersión de Tiempo Vs. Concentración

En la Ilustración 40 se puede notar que aparentemente existe una relación lineal negativa entre los factores. Es con esto que se procede a realizar una regresión lineal con el fin de determinar el ajuste de una ecuación a los datos obtenidos. Los resultados se presentan a continuación:

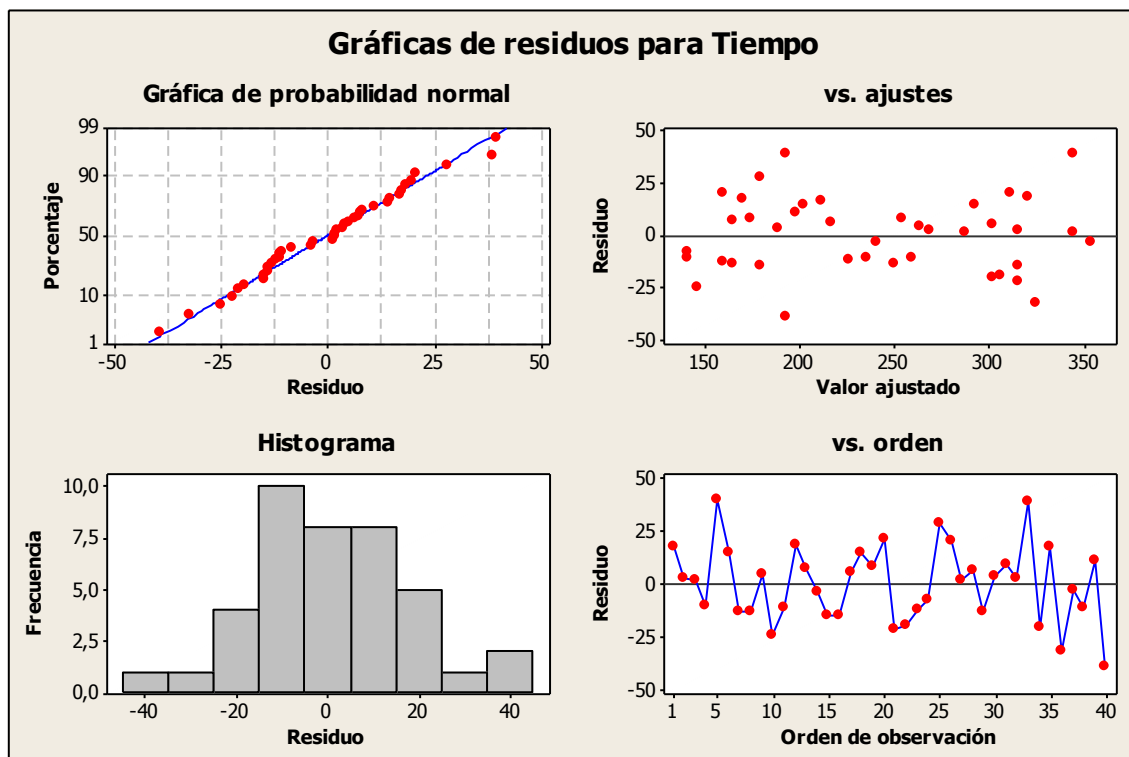


Ilustración 41: Gráfica de residuos para el Tiempo de Aplicación de Ácido

En la Ilustración 41 se puede notar que no existen patrones notorios en las gráficas de residuos versus ajustes, ni en la de residuos versus orden. Es con esto que se puede proceder a realizar el análisis para determinar la regresión que se adecúe a los datos:

Análisis de regresión: Tiempo vs. Concentración de Ácido

La ecuación de regresión es
 Tiempo = 595 - 4,72 Concentración

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P	VIF
Constante	594,70	15,84	37,54	0,000	
Concentración	-4,7242	0,2078	-22,74	0,000	1,000

S = 18,1894 R-cuad. = 93,2% R-cuad. (ajustado) = 93,0%

PRESS = 14074,1 R-cuad. (pred) = 92,33%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	171023	171023	516,91	0,000
Error residual	38	12573	331		
Falta de ajuste	29	6472	223	0,33	0,098
Error puro	9	6101	678		
Total	39	183596			

Tabla 23: Análisis de Regresión del Tiempo vs. Concentración del ácido

Con esto se puede ver que el ajuste R-cuad. (ajustado) es alto y además, el valor P de la falta de ajuste se encuentra por encima del nivel de significancia establecido de 0,05 con lo que se puede concluir que el modelo se adapta correctamente a los datos medidos y se puede aceptar la ecuación propuesta por el software Minitab. Cabe recalcar que el R-cuad (coeficiente de determinación) es una medida de la bondad del ajuste del modelo ya que da la proporción de variación de Y explicada por el modelo, y el R-cuad (ajustado), es una corrección de R-cuad para ajustar mejor el modelo a la población objeto de estudio. En estos casos es recomendable utilizar el R-cuad, ya que este es más utilizado cuando solo se mide una variable.

5.4.2.4. Enjuagado

Los datos obtenidos para el elemento de enjuagado se muestran a continuación, vale la pena mencionar que ya que su duración es menor, para este caso se requirieron 40 mediciones:

#	Tiempos (s)
1	57
2	54
3	46
4	62
5	58
6	62
7	51
8	68
9	43
10	47
11	38
12	50
13	60
14	48
15	56
16	61
17	55
18	60
19	55
20	44
21	60
22	43
23	59
24	57
25	37
26	55
27	55
28	51
29	55
30	48
31	58
32	48
33	56
34	36
35	61
36	46
37	67
38	45
39	53
40	56

Tabla 24: Tiempos de Enjuagado

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 7.8}{0.05 * 53} \right)^2 = 35$$

Para garantizar representatividad se mantiene la base de 40 muestras.

Debido a que el número de mediciones es diferente para esta muestra, es requerido obtener el valor crítico para la prueba de Kolmogorov-Smirnov, a continuación se presenta el resultado:

$$D = \frac{136}{\sqrt{N}} = \frac{136}{\sqrt{40}} = 21,503$$

A continuación se presenta la prueba de normalidad realizada mediante la herramienta Minitab:

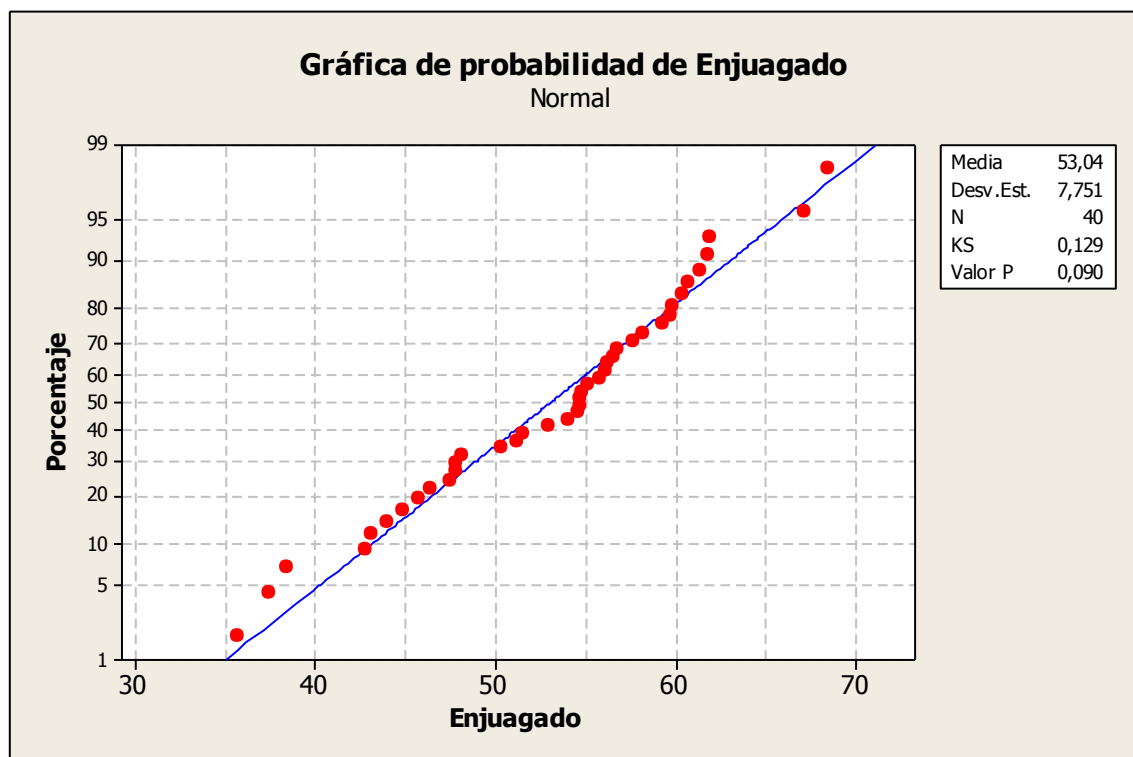


Ilustración 42: Gráfica de Normalidad de Enjuagado

En la Ilustración 42 se comprueba que los datos obtenidos para este elemento se adaptan a la distribución normal ya que los valores KS y P se encuentran dentro de los límites permitidos para no rechazar la hipótesis nula.

5.4.2.5. Aplicación de Flux

Los tiempos medidos para el elemento de aplicación de flux se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	196
2	224
3	162
4	178
5	187
6	144
7	179
8	167
9	150
10	162
11	201
12	226
13	171
14	191
15	179
16	165
17	195
18	204
19	194
20	179

Tabla 25: Tiempos de Aplicación de Flux

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 21.9}{0.05 * 182.6} \right)^2 = 25$$

En la Tabla 26 se observan 5 datos extra para completar el tamaño de muestra recomendado.

#	Tiempos (s)
21	138
22	159
23	198
24	203
25	215

Tabla 26: Tiempos de Aplicación de Flux extra

Con estos datos se procedió a realizar una prueba de normalidad en Minitab, se presenta a continuación el resultado obtenido:

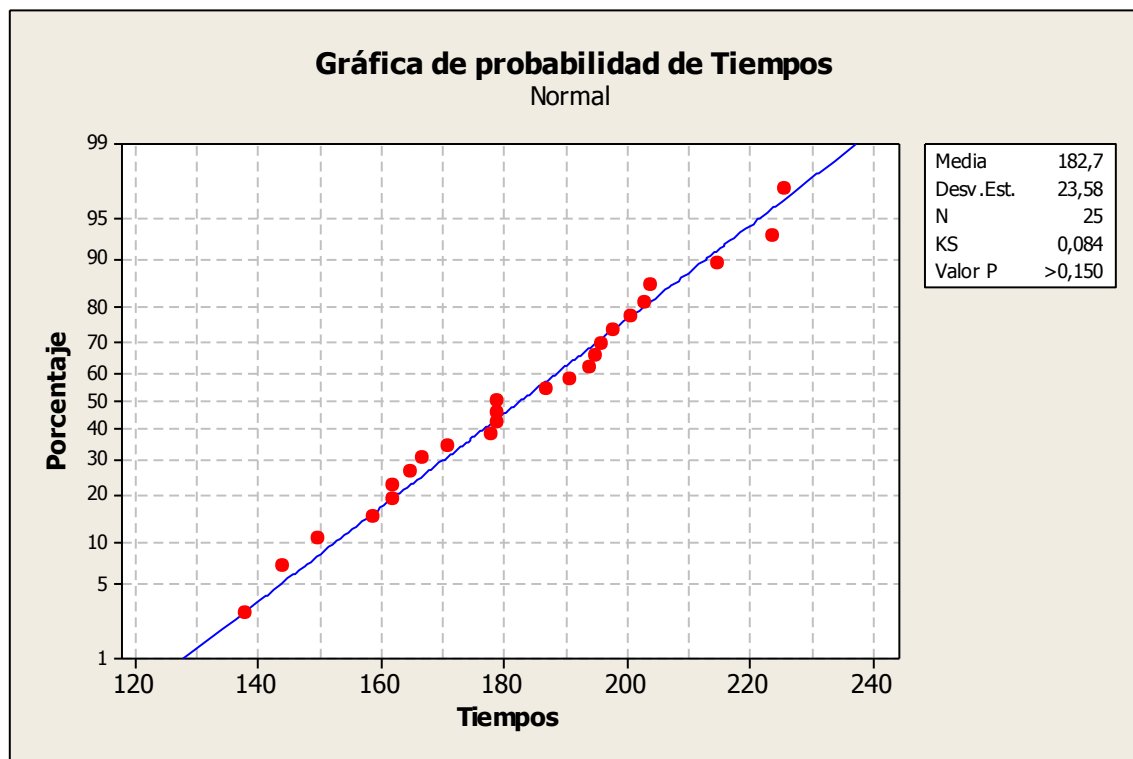


Ilustración 43: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Flux

Con lo que en la Ilustración 43 se puede observar que los valores KS y P se encuentran dentro de los límites permisibles. De esta forma se puede concluir que los datos sí se adaptan a la distribución normal.

5.4.2.6. Aplicación de Zinc

Los datos obtenidos para el elemento de Aplicación de Zinc se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	316
2	352
3	322
4	310
5	309
6	343
7	347
8	292
9	330
10	381
11	348
12	371
13	492
14	315
15	362
16	314
17	350
18	299
19	309
20	307

Tabla 27: Tiempos de Aplicación de Zinc con datos atípicos

Con los datos de la tabla, se procede a sacar la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 44}{0.05 * 338.5} \right)^2 = 30$$

Como se puede ver en la Tabla 27, existe un valor que parece ser atípico, por lo que se decide no tomar más muestras hasta confirmar si se considerarán estos datos para el análisis. En las anotaciones registradas el día que se midió el valor, se muestra que existió un acontecimiento ya que una de las calderas que mantiene el Zinc en estado líquido y en la temperatura requerida, dejó de funcionar por 22 minutos con lo que la aplicación de este material tomó mayor tiempo

para cumplir con el resultado requerido. A continuación, se muestra la prueba de normalidad realizada a estos valores para ver su adaptación a la distribución normal:

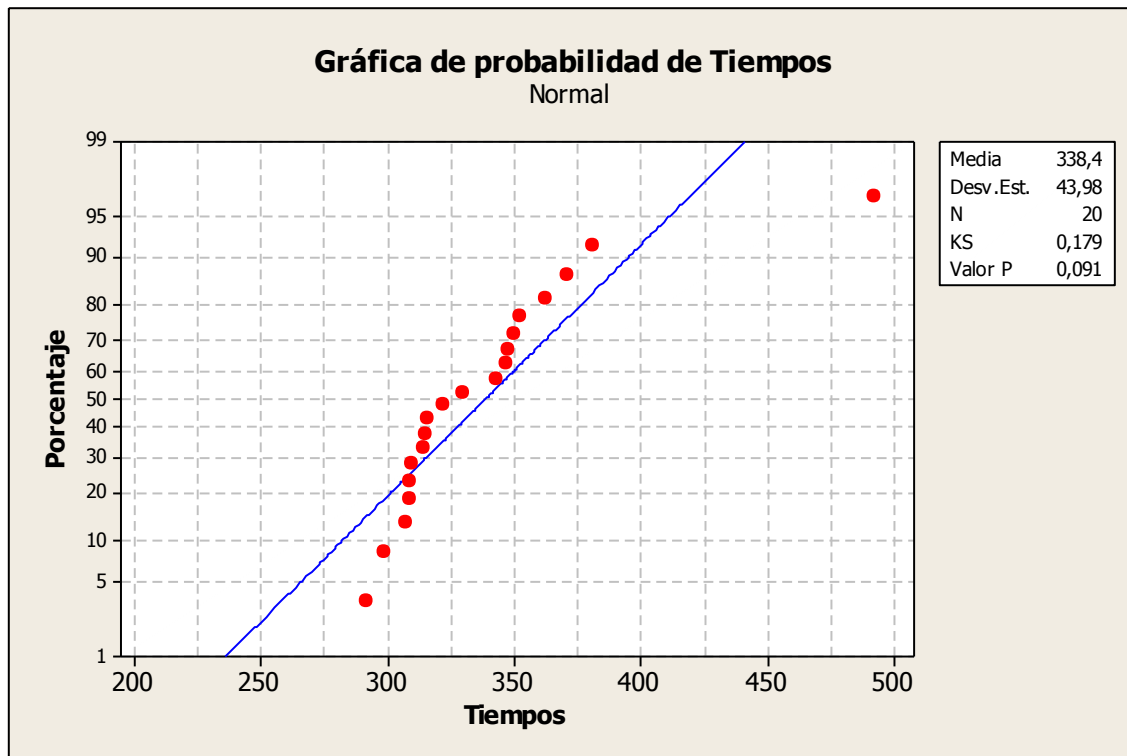


Ilustración 44: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Zinc con datos atípicos

Como se puede notar en la Ilustración 44, los datos analizados sí se adaptan a la distribución normal ya que P se encuentra sobre el límite establecido de 0.05 y KS es menor al valor crítico de 0.294. A pesar de esto, en el momento de revisión de los datos por parte de la gerencia y las líneas de supervisión, se solicitó no tomar en cuenta el valor atípico ya que no era un acontecimiento común en la fábrica. De esta forma se obtuvo un nuevo dato con el fin de tener una estimación más precisa de la media y desviación estándar del proceso. A continuación se presenta la nueva lista de datos:

#	Tiempos (s)
1	316
2	352
3	322
4	310
5	309
6	343
7	347
8	292
9	330
10	381
11	348
12	371
13	351
14	315
15	362
16	314
17	350
18	299
19	309
20	307

Tabla 28: Tiempos de Aplicación de Zinc

Con los nuevos datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 25.5}{0.05 * 331.4} \right)^2 = 11$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

De esta forma, nuevamente se procede a realizar la prueba de normalidad con el dato atípico reemplazado. Los resultados se muestran en la siguiente ilustración:

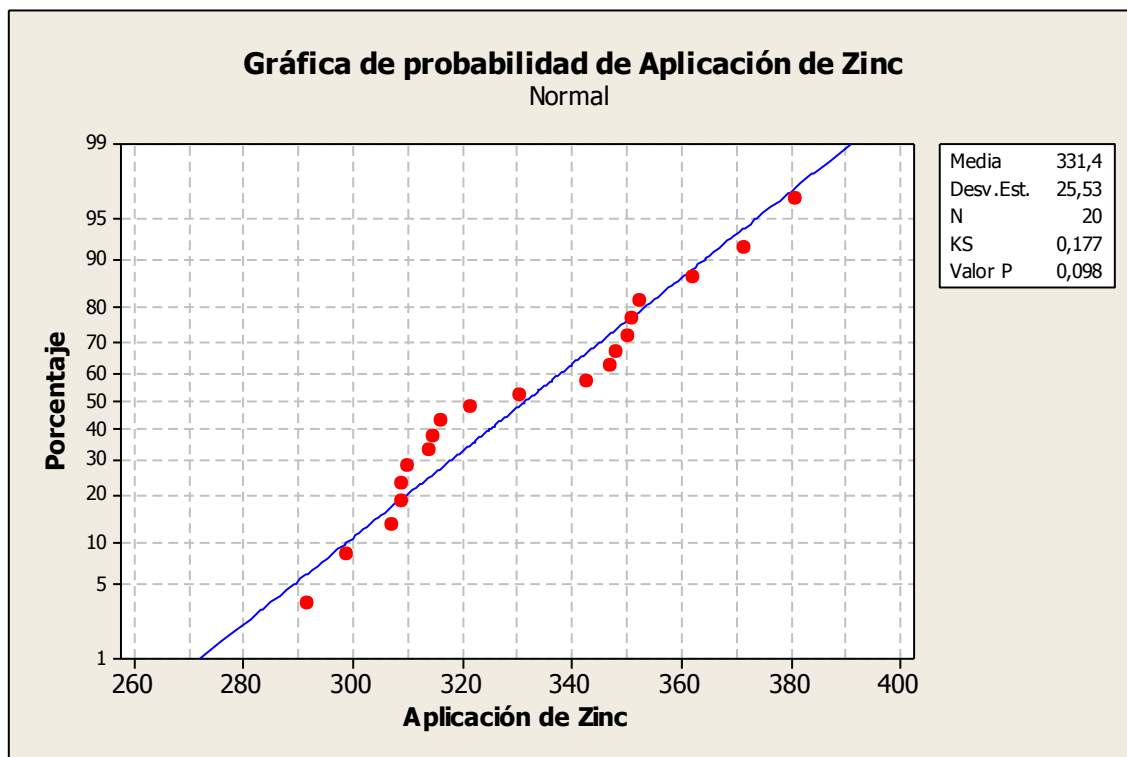


Ilustración 45: Gráfica de Normalidad de Aplicación de Zinc

De esta forma en la Ilustración 45 se puede comprobar que los datos se adaptan de mejor forma después de la eliminación del valor atípico. El valor KS disminuyó y el P se incrementó de tal forma que se verifica el ajuste a la distribución normal.

5.4.2.7. Enfriamiento

Los datos obtenidos para el elemento de enfriamiento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	310
2	294
3	307
4	308
5	305
6	306
7	314
8	306
9	287
10	321
11	297
12	316
13	299
14	318
15	283
16	271
17	284
18	261
19	267
20	297

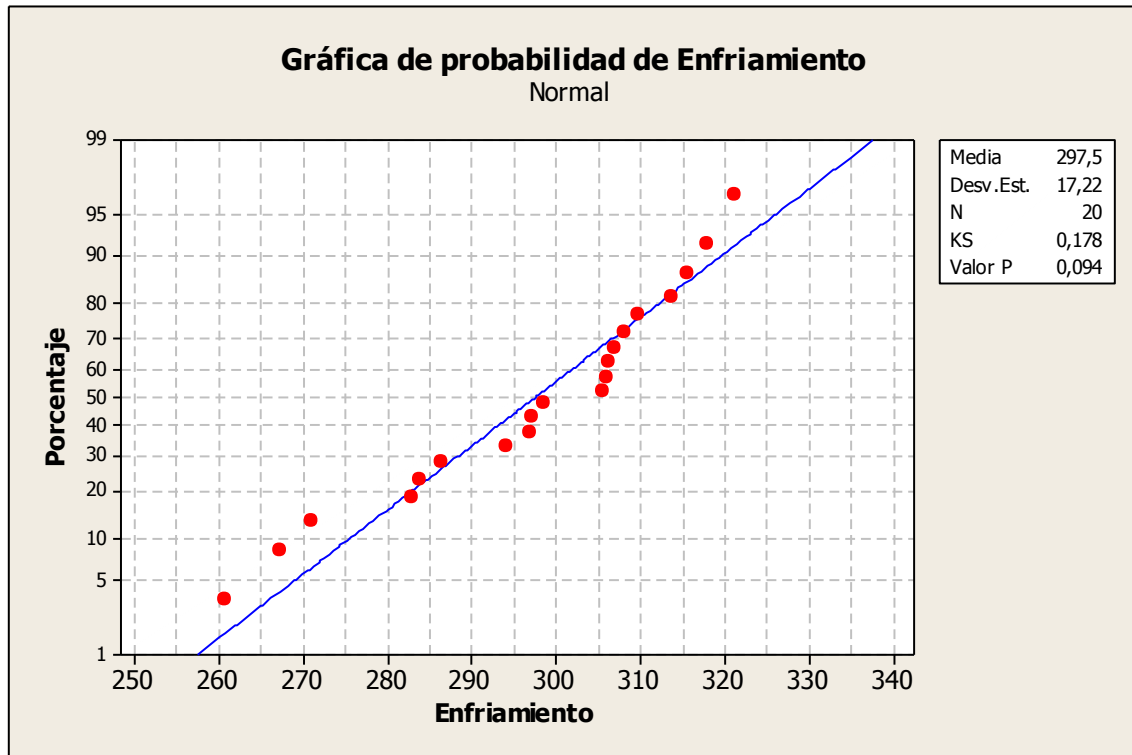
Tabla 29: Tiempos de Enfriamiento

Con los nuevos datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 17.2}{0.05 * 297.5} \right)^2 = 6$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se procedió a realizar la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para poder determinar el ajuste de los datos a la distribución normal, los resultados obtenidos en Minitab se presentan a continuación:



De esta forma se pudo comprobar que no se rechaza la hipótesis nula ya que el valor P es mayor a 0.05 (nivel de significancia) y el valor KS obtenido es menor a 0.294 con lo que se prueba la normalidad de los tiempos analizados.

5.4.2.8. Control de Calidad

Los datos obtenidos para el elemento de Control de Calidad se presentan en seguida:

#	Tiempos (s)
1	126
2	144
3	153
4	121
5	142
6	147
7	156
8	152
9	131
10	116
11	121
12	127
13	134
14	131
15	129
16	145
17	128
18	147
19	126
20	130

Tabla 30: Tiempos de Control de Calidad

Con los nuevos datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 11.8}{0.05 * 135.3} \right)^2 = 14$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se procedió a realizar una prueba de normalidad, los resultados obtenidos mediante el software Minitab se presentan a continuación:

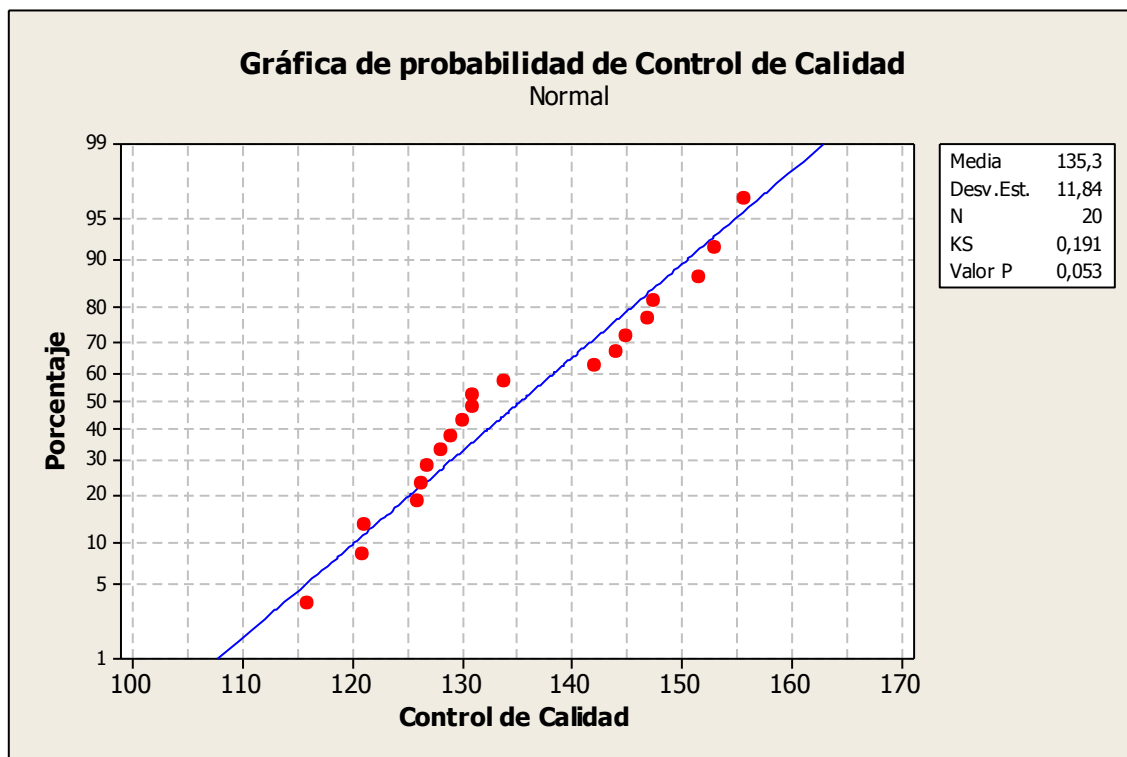


Ilustración 46: Gráfica de Normalidad de Control de Calidad

En base la prueba de bondad de ajuste mostrada en la Ilustración 46 se puede confirmar que los datos obtenidos para los tiempos transcurridos en la realización de control de calidad se ajustan a la distribución normal.

5.4.2.9. Preparación Final de Paquetes

A continuación se presenta la lista de datos obtenidos para este elemento:

#	Tiempos (s)
1	238
2	244
3	257
4	241
5	341
6	258
7	244
8	246
9	230
10	278
11	244
12	364
13	254
14	291
15	288
16	368
17	306
18	275
19	301
20	288

Ilustración 47: Tiempos de Preparación final de Paquetes con puntos atípicos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 41.3}{0.05 * 277.8} \right)^2 = 39$$

Como se puede notar, existen dos valores que se encuentran fuera del rango normal de tiempos en la muestra, es así que se decidió no tomar más muestras hasta determinar si estos datos van a ser considerados.

Estos valores se produjeron ya que, para el primer caso se tuvo que no estaba el operador disponible al momento que debía cumplir estas actividades ya que se encontraba fuera de su estación de trabajo, en cambio, para el otro caso existía un obstáculo a la entrada del sitio donde

se almacena el producto en proceso con lo que tuvo que esperar hasta que la maquinaria estuviera disponible de tal forma que se pudiera quitar estos materiales del camino. De todas maneras, se procedió a realizar la prueba de bondad de ajuste que se muestra a continuación:

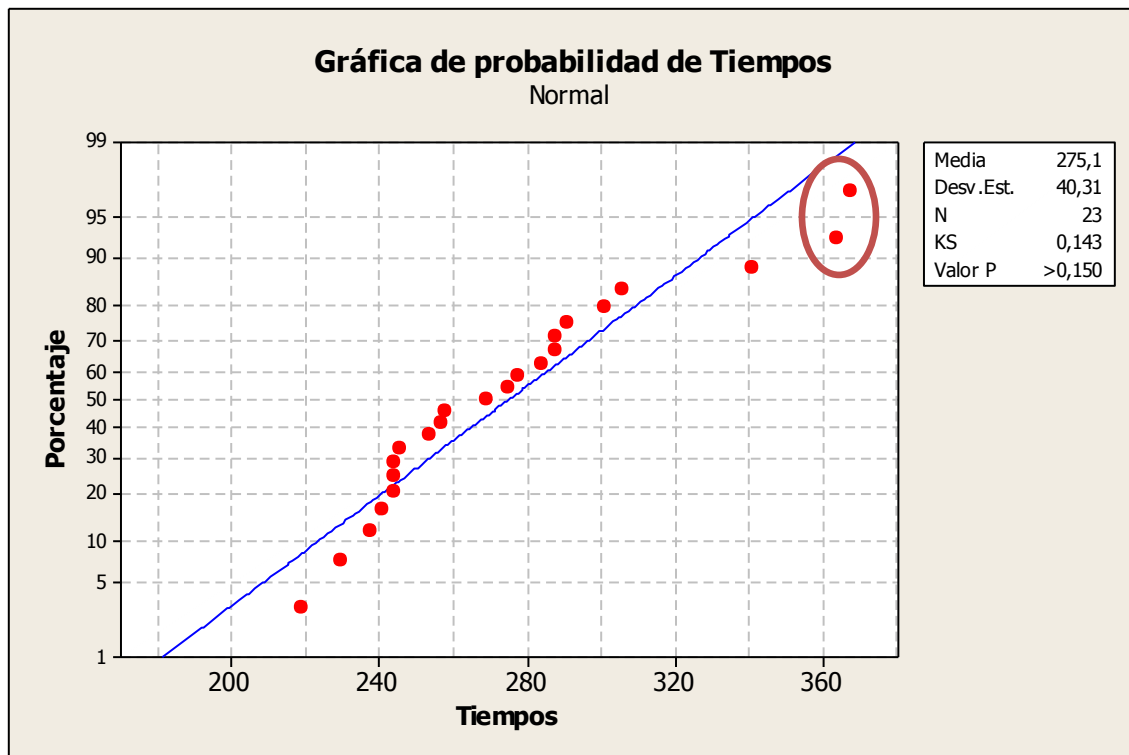


Ilustración 48: Gráfica de Normalidad de Preparación Final de Paquetes

Con esto se puede comprobar que los datos obtenidos se adaptan a la distribución normal pero es importante notar que los valores KS y especialmente el P se encuentran muy cerca de los valores críticos aceptables. Es por esto razón que se decidió tomar 2 valores para reemplazar ambas mediciones que se consideraron atípicas. En la tabla siguiente se muestra la nueva lista de valores a analizar:

#	Tiempos (s)
1	238
2	244
3	257
4	241
5	341
6	258
7	244
8	246
9	230
10	278
11	244
12	315
13	254
14	291
15	288
16	304
17	306
18	275
19	301
20	288

Tabla 31: Tiempos de Preparación final de paquetes

Con los nuevos datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 31.1}{0.05 * 271.6} \right)^2 = 23$$

En la Tabla 32 se observan 3 datos extra para completar el tamaño de muestra recomendado:

#	Tiempos (s)
21	269
22	284
23	219

Tabla 32: Tiempos de Preparación final de paquetes extra

A continuación se muestra el análisis obtenido en la prueba de bondad de ajuste de los tiempos obtenidos:

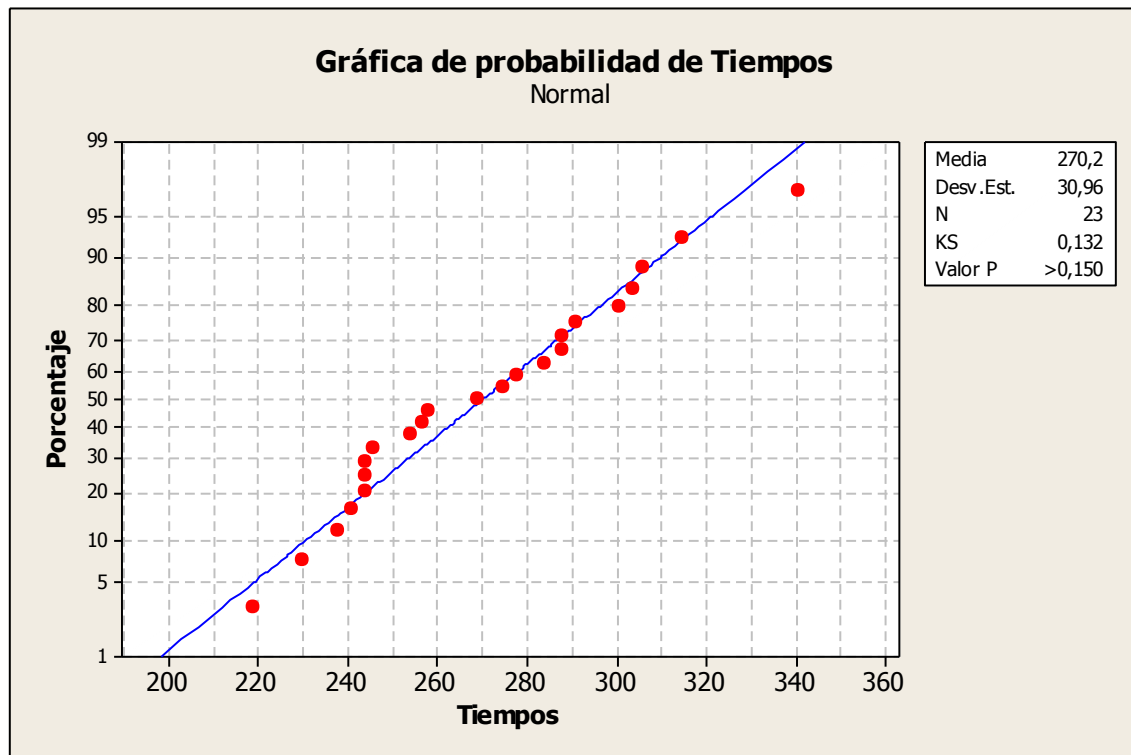


Ilustración 49: Gráfica de Normalidad de Preparación Final de Paquetes

Con lo que se comprueba nuevamente que los valores se adaptan a la distribución normal y esta vez el valor P posee una mayor holgura sobre el valor crítico del nivel de significancia (0.05).

5.5. Enderezado

5.5.1. Realización del estudio de tiempos en la sección de enderezado

5.5.1.1. Determinación del número de mediciones

Para esta sección se procede a aplicar la tabla recomendada por Niebel & Freivalds (2004), utilizando los valores históricos de duración de cada elemento:

Elemento	Tiempo Histórico (seg)	Número de Observaciones
Preparación para enderezado	158	20 muestras
Enderezado de tubos	2,181	20 muestras
Empaquetado de tubos	983	20 muestras
Almacenamiento de tubos	271	20 muestras

Tabla 33: Número de muestras para cada elemento de la sección de enderezado

5.5.1.2. Inducción y adiestramiento de analistas

Previo a la toma de tiempos, los estudiantes recibieron una inducción técnica sobre el proceso de enderezado, las diferentes estaciones con las que cuenta que son la preparación para enderezado, enderezado, empaquetado de tubos y almacenamiento de tubos; y la forma correcta de tomar los tiempos, es decir, desde cuando empieza una actividad y cuando finaliza la misma. Esta sección cuenta con 3 operadores y un jefe de sección quien es el que revisa la producción de su línea.

5.5.2. Tiempos obtenidos

5.5.2.1. Preparación para enderezado

A continuación, se muestran los datos obtenidos para el elemento de Preparación de enderezado:

#	Tiempos (s)
1	112
2	129
3	116
4	103
5	114
6	131
7	122
8	134
9	128
10	120
11	129
12	138
13	127
14	109
15	137
16	132
17	110
18	126
19	108
20	128

Tabla 34: Tiempos de Preparación de Enderezado

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 10.48}{0.05 * 122.7} \right)^2 = 13$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con esto, se realiza la prueba de bondad de ajuste para comprobar si los datos se adaptan a la distribución normal:

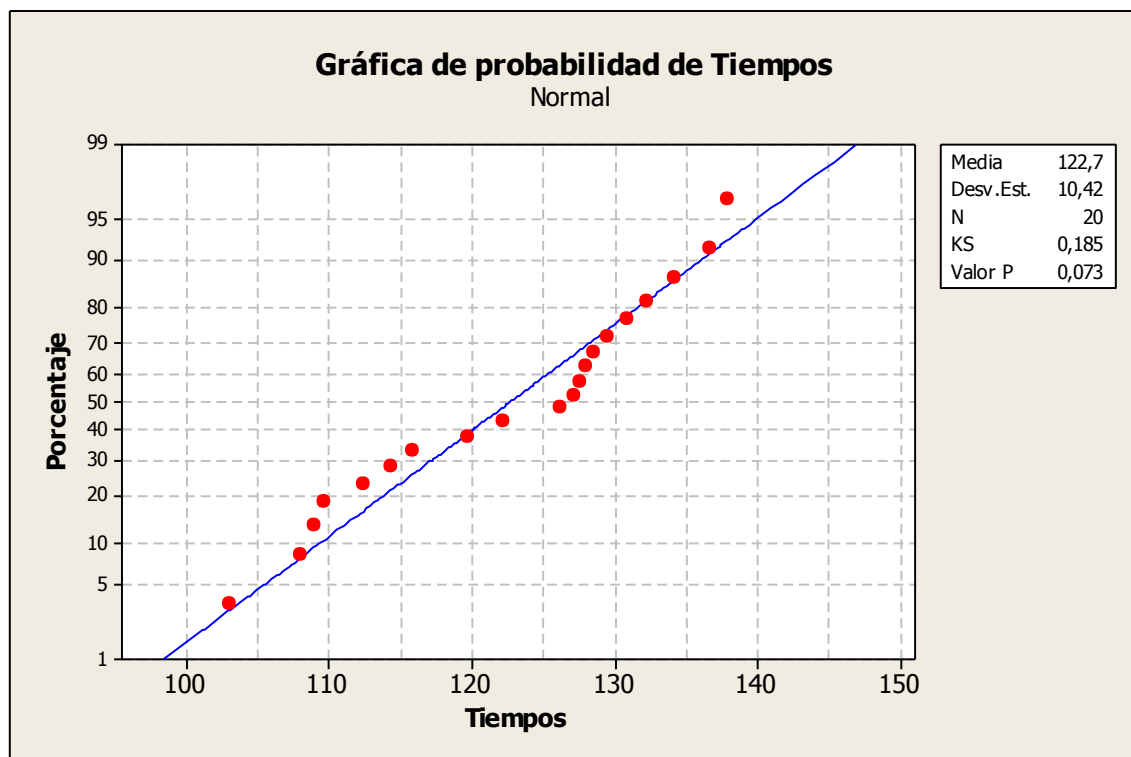


Ilustración 50: Gráfica de Normalidad de Preparación para Enderezado

En la Ilustración 50 se muestra que los tiempos de preparación para enderezado, sí cumplen con los requisitos de normalidad, ya que el valor KS (0,185) es menor al KS (0,294) crítico, y el valor P (0,073) mayor al α de 0,05.

5.5.2.2. Enderezado de Tubos

La presenta la lista de tiempos obtenidos para este elemento a continuación:

#	Tiempos (s)
1	2322
2	2318
3	2390
4	2230
5	2310
6	2700
7	2790
8	2456
9	2257
10	2377
11	2358
12	2264
13	2196
14	2323
15	2328
16	2411
17	2341
18	2359
19	2353
20	2408

Tabla 35: Tiempos de Enderezado de Tubos con Valores Atípicos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 142.1}{0.05 * 2374.6} \right)^2 = 7$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Como se puede ver en la Tabla 35 de los tiempos de enderezado existen 2 datos atípicos de 2712 segundos (00:45:12) y de 2600 segundos (00:43:00), los cuales sucedieron porque al momento de realizar el etiquetado único la máquina de impresión se quedó sin tinta, demorando así el

proceso de etiquetado hasta cambiar por un nuevo cartucho. De todas formas, se procedió a realizar la prueba de bondad de ajuste con lo que se obtuvo los resultados mostrados a continuación:

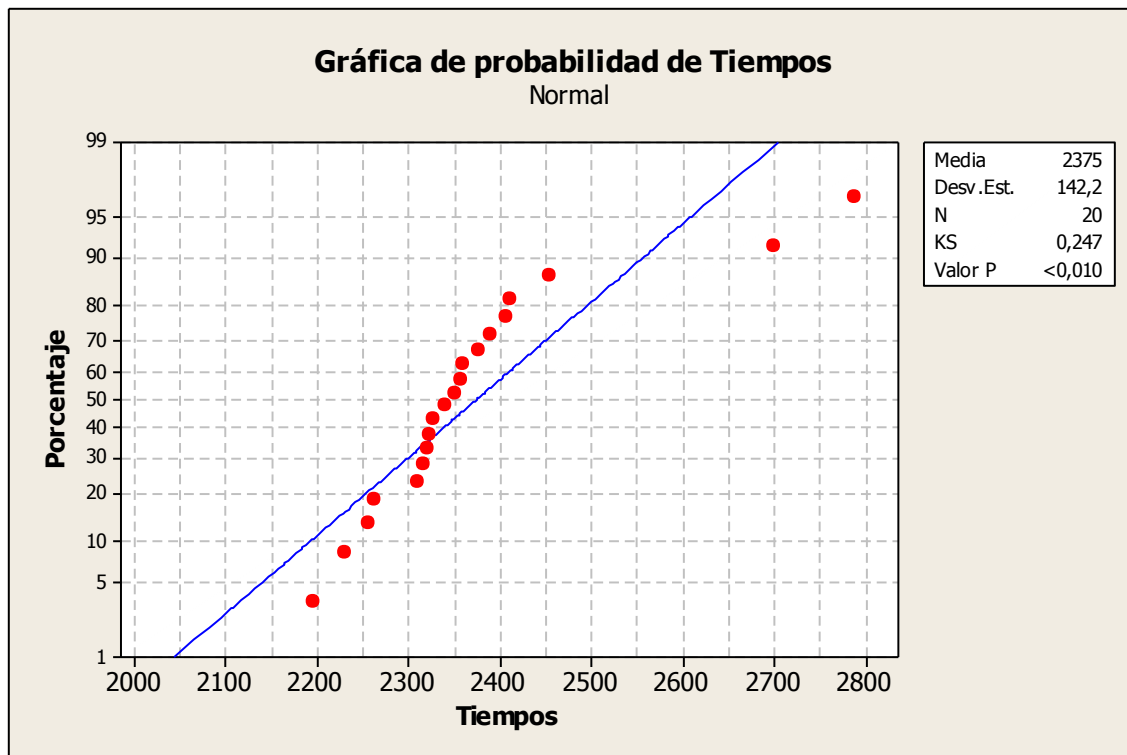


Ilustración 51: Gráfica de Normalidad de Enderezado de Tubos

En la Ilustración 51 se puede ver que a causa de los datos atípicos la distribución de los tiempos no cumplen con los requisitos de normalidad, a pesar que el valor KS (0,247) es menor al KS (0,294) crítico, el valor P (<0,010) es menor al α de 0,05.

Se consultó con el jefe de área de enderezado y mencionó que estos tiempos no deben ser tomados en consideración, ya que son situaciones que no suele suceder durante el proceso. Es por esta razón, que se decidió tomar dos mediciones más para reemplazar los datos atípicos, los que se presentan a continuación.

#	Tiempos (s)
1	2322
2	2318
3	2390
4	2230
5	2310
6	2360
7	2390
8	2456
9	2257
10	2377
11	2358
12	2264
13	2196
14	2323
15	2328
16	2411
17	2341
18	2359
19	2353
20	2408

Tabla 36: Tiempos de Enderezado de Tubos

Con los nuevos datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 64.3}{0.05 * 2338} \right)^2 = 2$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Así, se realiza la prueba de bondad de ajuste con lo que se tiene:

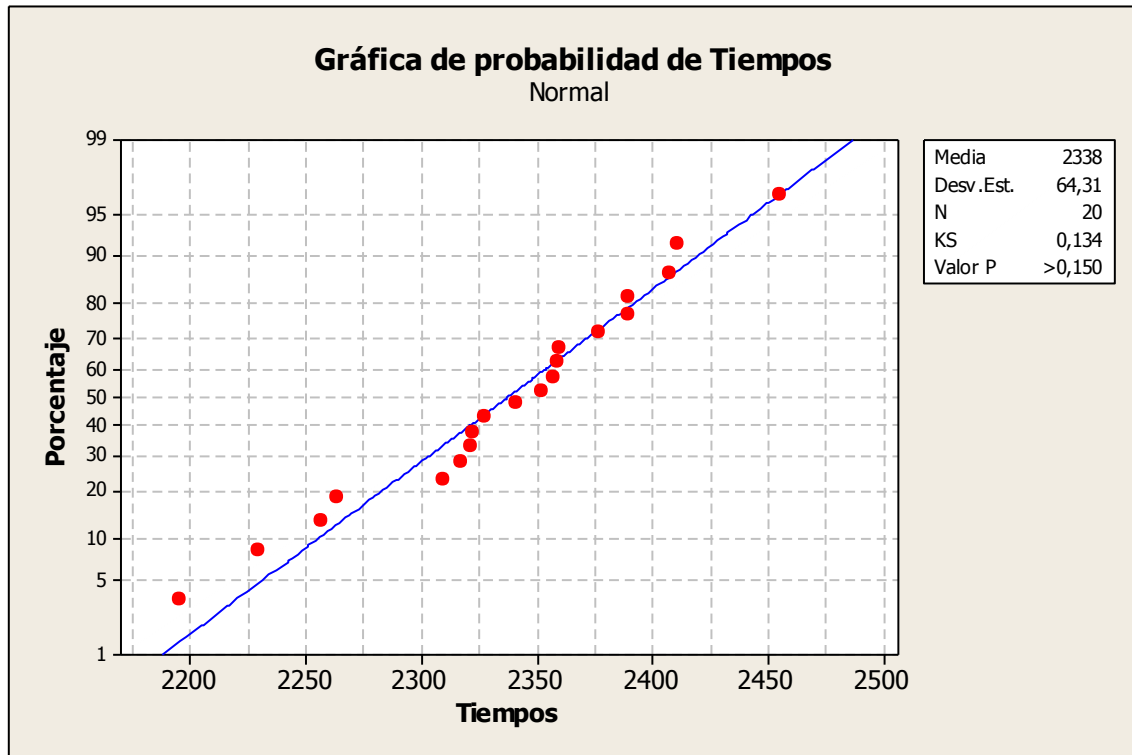


Ilustración 52: Gráfica de Normalidad de Enderezado de Tubos

Como se puede observar en la Tabla 36: Tiempos de Enderezado de Tubos y en la Ilustración 52, los datos con los tiempos atípicos anteriores fueron reemplazados con nuevas mediciones y se realizó la prueba de normalidad, dando como resultado que los datos sobre los tiempos de enderezado sí cumplen con los requisitos de normalidad, ya que el valor KS (0,134) es menor al KS (0,294) crítico, y el valor P ($>0,150$) mayor al α de 0,05.

5.5.2.3. Empaquetado de Tubos

A continuación se muestran los tiempos medidos para este elemento:

#	Tiempos (s)
1	929
2	904
3	905
4	900
5	904
6	901
7	920
8	902
9	943
10	922
11	909
12	900
13	866
14	926
15	896
16	924
17	860
18	945
19	890
20	906

Tabla 37: Tiempos de empaquetado de Tubos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 21.5}{0.05 * 907.6} \right)^2 = 1$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con estos datos se procedió a realizar una prueba de bondad de ajuste. Los resultados se muestran a continuación:

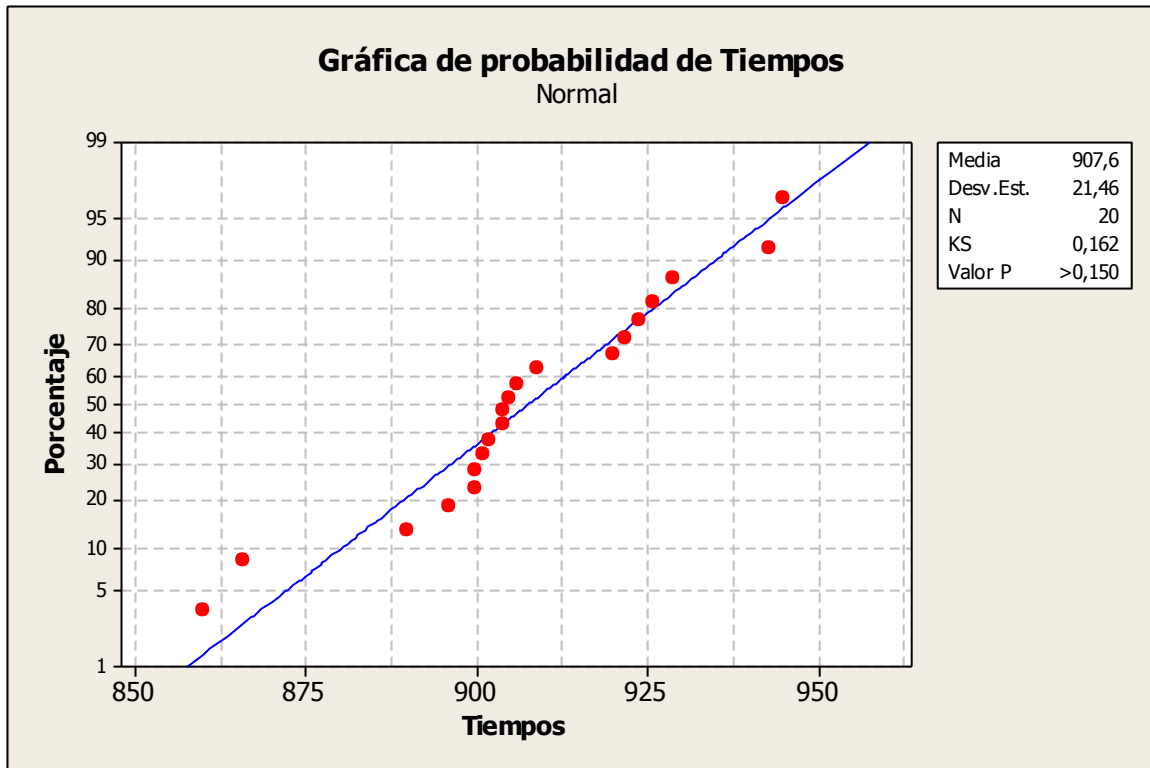


Ilustración 53: Gráfica de Normalidad de Empaquetado de Tubos

En la Ilustración 53 se puede observar que los tiempos de empaquetado de tubos, cumplen con las condiciones para no rechazar la hipótesis nula. En este caso el valor P es mayor a 0.15 con lo que supera claramente el límite del nivel de significancia, además, el valor KS se mantiene debajo del valor crítico con 0.162.

5.5.2.4. Almacenamiento de tubos

Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

#	Tiempos (s)
1	195
2	170
3	145
4	170
5	236
6	220
7	269
8	245
9	225
10	270
11	250
12	250
13	265
14	239
15	199
16	259
17	259
18	257
19	176
20	203

Tabla 38: Tiempos de Almacenamiento de Tubos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 18.6}{0.05 * 236.4} \right)^2 = 11$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis realizado en Minitab aplicando pruebas de bondad de ajuste:

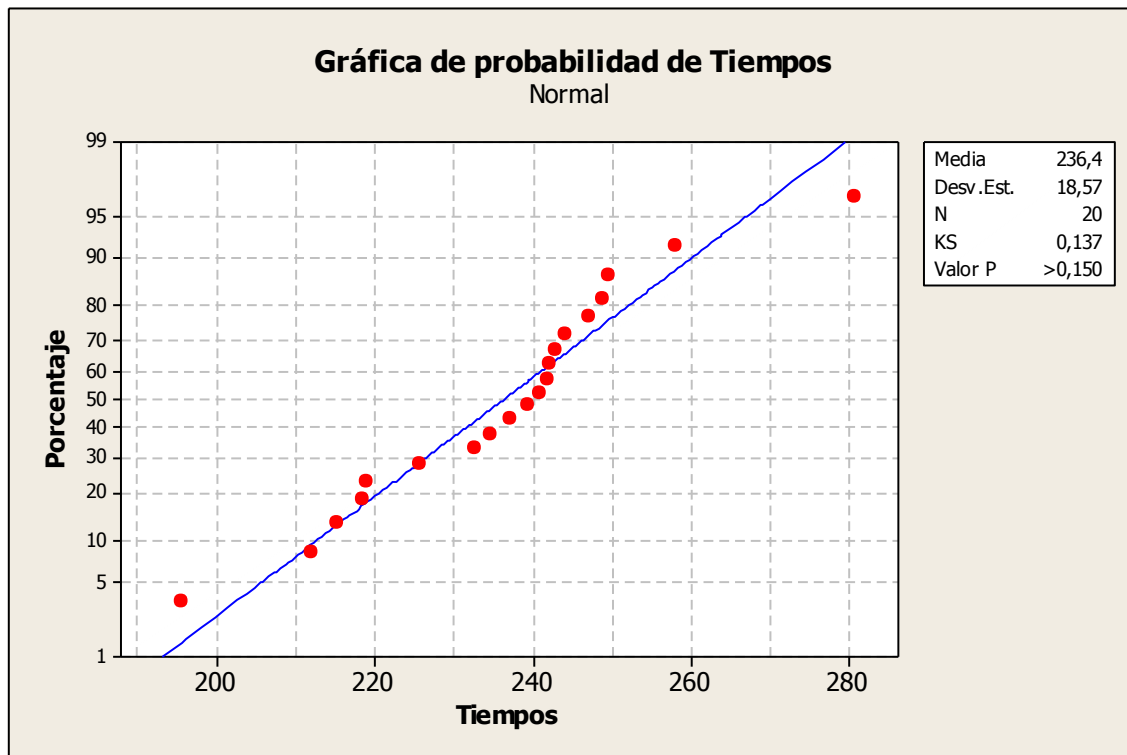


Ilustración 54: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Tubos

En la gráfica presentada previamente presentada muestra que los datos recolectados cumplen con el ajuste a la distribución normal ya que los valores KS y P se encuentran dentro de los límites permisibles para no rechazar la hipótesis nula.

5.6. Roscado

5.6.1. Realización del estudio de tiempos en la sección de Roscado

5.6.1.1. Determinación del número de mediciones

A continuación se muestran el número de ciclos requerido para cada elemento de acuerdo a los datos históricos aplicados en la tabla especificada por Niebel y Freivalds (2004):

Elemento	Tiempo Histórico (seg)	Número de Observaciones
Preparación para roscado	197	20 muestras
Roscado de tubos	2512	20 muestras
Empaquetado de tubos	1043	20 muestras
Almacenamiento de tubos	221	20 muestras

Tabla 39: Número de muestras para cada elemento de la sección de roscado

5.6.1.2. Inducción y adiestramiento de analistas

Previo a la toma de tiempos, los estudiantes recibieron una inducción técnica sobre el proceso de roscado, las diferentes estaciones con las que cuenta que son la preparación para roscado, roscado, empaquetado de tubos y almacenamiento de tubos; y la forma correcta de tomar los tiempos, es decir, desde cuando empieza una actividad y cuando finaliza la misma. Esta sección cuenta con 3 operadores que se encuentran constantemente y un jefe de sección quien es el que revisa la producción de su línea.

5.6.2. Tiempos obtenidos

5.6.2.1. Preparación para roscado

Los datos obtenidos de este elemento se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	125
2	116
3	137
4	122
5	98
6	112
7	146
8	147
9	121
10	123
11	112
12	105
13	117
14	109
15	117
16	121
17	114
18	117
19	125
20	121

Tabla 40: Preparación para Roscado

Con los datos de la tabla, se calcula la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 12.2}{0.05 * 120.2} \right)^2 = 19$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con estos datos se procedió a analizar mediante una prueba de bondad de ajuste en Minitab, el resultado se presenta a continuación:

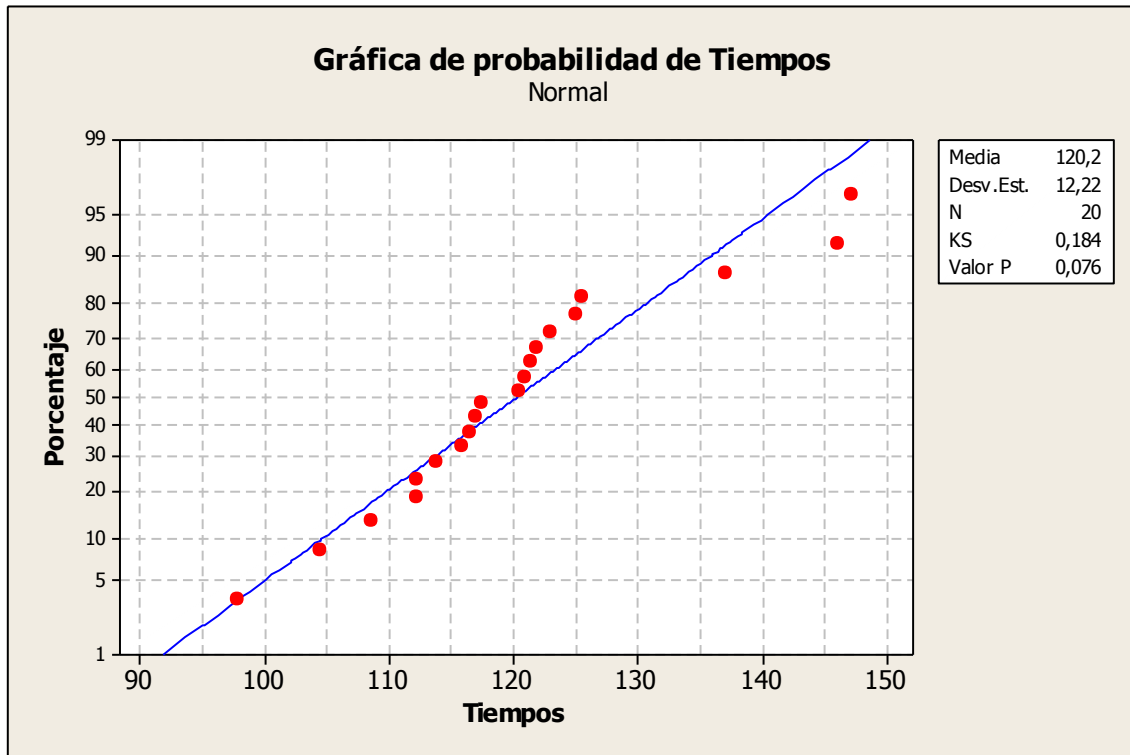


Ilustración 55: Gráfica de Normalidad de Preparación para Roscado

En la Ilustración 55 se puede observar que los tiempos de preparación para roscado se adaptan a la distribución normal ya que los valores P y KS cumplen las condiciones para no rechazar la hipótesis nula.

5.6.2.2. Roscado de tubos

Los datos obtenidos de la medición de tiempos para el elemento de Roscado de Tubos se presentan a continuación:

#	Tiempos (s)
1	2793
2	2633
3	2836
4	2735
5	2677
6	2676
7	2648
8	2616
9	2654
10	2938
11	2651
12	2837
13	2794
14	2571
15	2702
16	2671
17	2597
18	2699
19	2714
20	2569

Tabla 41: Roscado de Tubos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 93.9}{0.05 * 2711} \right)^2 = 3$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se procedió a realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov. La ilustración a continuación muestra los resultados:

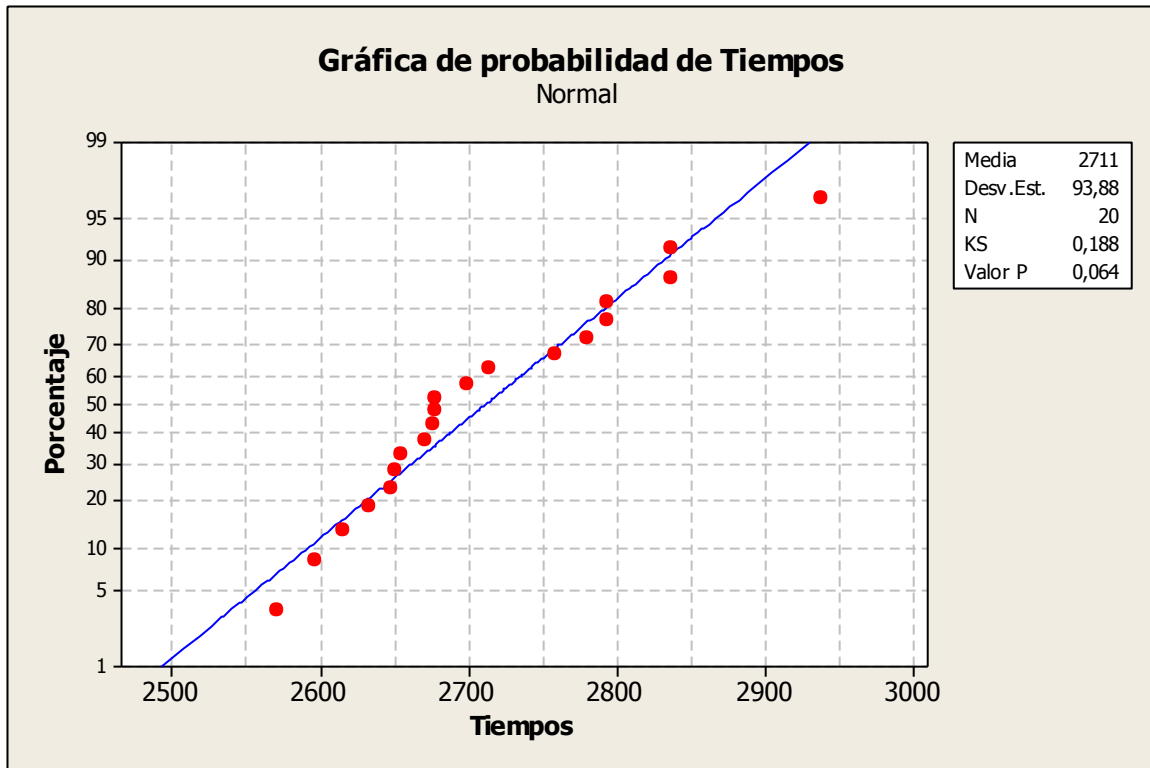


Ilustración 56: Gráfica de Normalidad de Roscado de Tubos

En la ilustración se muestran los resultados verificando que los datos se adaptan a la distribución normal ya que el valor P se encuentra por encima del nivel de significancia 0.05 y el valor KS se encuentra por debajo del valor crítico de 0.294.

5.6.2.3. Empaquetado de tubos

A continuación se presentan los datos obtenidos del análisis de tiempos en este elemento:

#	Tiempos (s)
1	714
2	878
3	864
4	963
5	957
6	754
7	843
8	939
9	857
10	965
11	829
12	965
13	832
14	945
15	739
16	877
17	816
18	916
19	912
20	794

Tabla 42: Tiempos de Empaquetado de Tubos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 78.1}{0.05 * 868} \right)^2 = 15$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con estos datos se procedió a realizar una prueba de bondad de ajuste, se presenta a continuación:

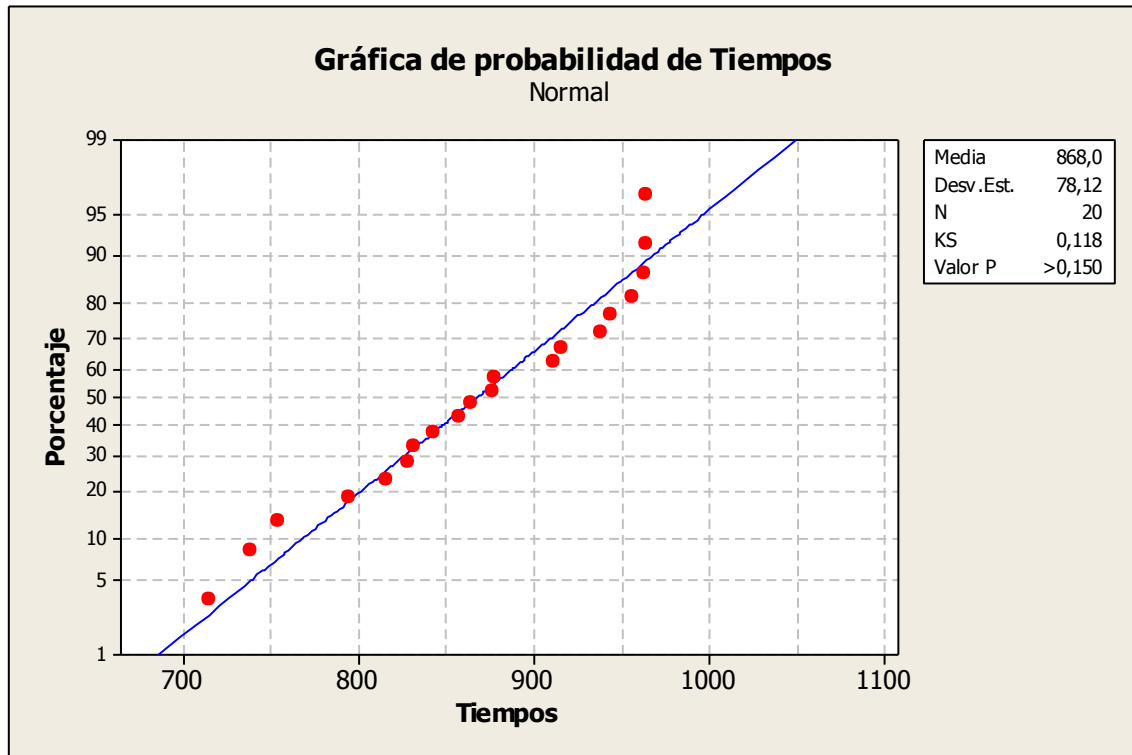


Ilustración 57: Gráfica de Normalidad de Empaquetado de Tubos

En la Ilustración 7 se puede comprobar que los datos medidos se adecúan a la distribución normal ya que el valor P supera al nivel de significancia establecido de 0.05. Además, el valor KS se encuentra por debajo del crítico.

5.6.2.4. Almacenamiento de Tubos

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos:

#	Tiempos (s)
1	243
2	222
3	254
4	207
5	196
6	230
7	240
8	205
9	191
10	241
11	201
12	242
13	206
14	188
15	211
16	238
17	242
18	228
19	203
20	229

Tabla 43: Tiempos Almacenamiento de Tubos

Con los datos, se obtiene la media \bar{x} y la desviación estándar s de tal forma que se pueda confirmar si el número de muestras es el correcto:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{2.093 * 22.7}{0.05 * 220.8} \right)^2 = 19$$

Para garantizar representatividad en las muestras se toman como base 20 muestras.

Con lo que se procede a realizar la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov:

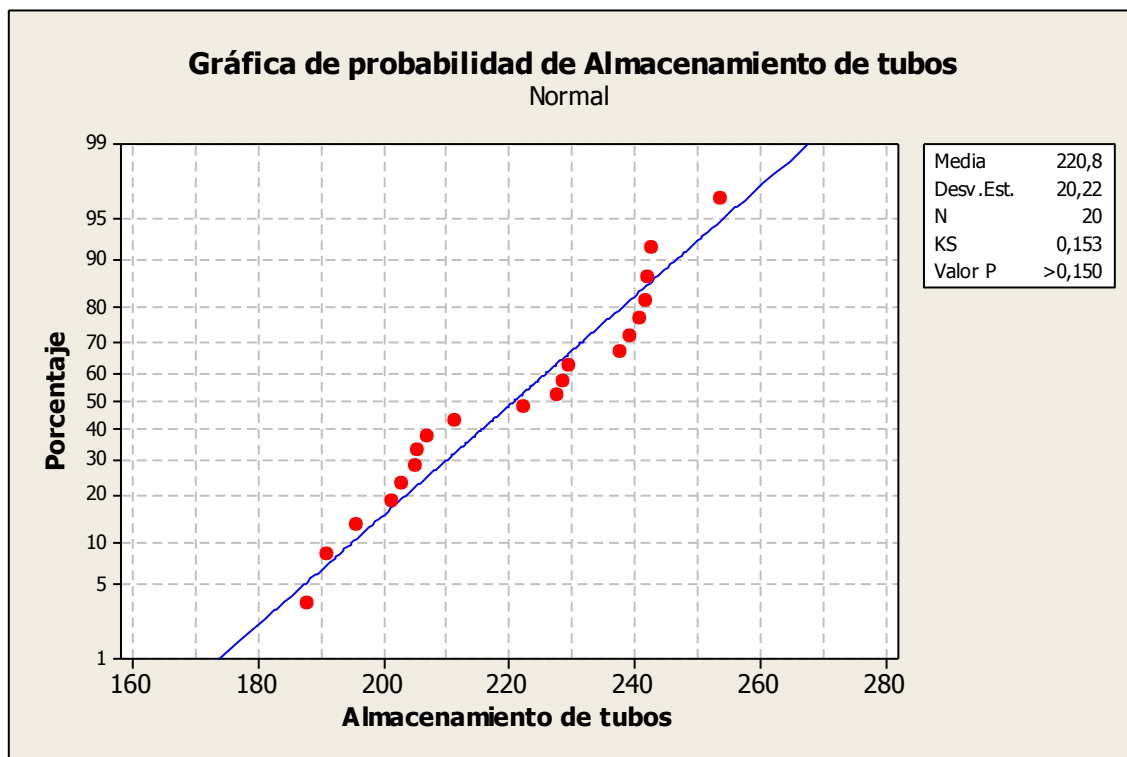


Ilustración 58: Gráfica de Normalidad de Almacenamiento de Tubos

En la ilustración presentada previamente se puede comprobar que los datos se adaptan a la distribución normal ya que los estadísticos P y KS se encuentran dentro de los límites permitidos para no rechazar la hipótesis nula.

CAPÍTULO 6: MODELO DE CAPACIDAD

6.1. Propuesta general

En este capítulo se busca entender si la capacidad de la fábrica es suficiente para atender la demanda requerida por el mercado, de esta forma se podrá comprobar si se puede mejorar la característica de disponibilidad, la cual fue considerada de menor rendimiento en el análisis de la encuesta 2. De la misma manera, se podrá conocer si es posible cumplir con los requerimientos mencionados por el cliente en la característica de presentación de las tuberías.

Para poder determinar la capacidad, utilización y otros indicadores esenciales para la planificación de la producción, se propone a continuación un modelo que tomará en cuenta toda la información obtenida a lo largo de los análisis realizados durante el presente trabajo. A continuación se muestra la lista de factores que serán considerados en el modelo propuesto:

- Demanda
 - Análisis de la Demanda.
 - Nivel de servicio
- Tiempos observados
 - Tiempos de producción
 - Porcentaje de variabilidad considerada de los tiempos de producción
 - Peso de productos seleccionados.
 - Suplementos
- Elementos adicionales
 - Residuos por etapa
 - Ruta de producción de tubos

- Turnos semanales disponibles

6.2. Demanda

6.2.1. Análisis de la demanda

En consecuencia del análisis de la segunda encuesta, se pudo determinar que la disponibilidad era el factor con menor calificación de la empresa con respecto a los 3 evaluados (disponibilidad, precisión de dimensiones y presentación). Por esta razón, se consideró necesario analizar los productos que la empresa se encuentra fabricando y que mayores volúmenes de venta generan.

Es por esto que se solicitaron datos generales de la demanda de la compañía. Al ser un conjunto de valores sensibles desde el punto de vista de la gerencia, no existió la apertura para la entrega de la información histórica con el fin de determinar de manera precisa el comportamiento en el tiempo. La información recibida fue la media y desviación estándar de la demanda semanal de los 166 productos que se encuentran en el catálogo de ventas de la compañía, además se especificó que todas las demandas siguen una distribución normal. Debido a la falta de información para validar los datos que compartió la compañía, se asumió que las características especificadas por la misma (como el tipo de distribución que la demanda sigue) son ciertas. Además, al contar con esta información se procedió a realizar el modelo que aplicará para la planificación semanal de producción.

Es necesario mencionar que el catálogo solamente posee los productos que superan un mínimo de ventas establecido por la gerencia ya que la fábrica puede producir alrededor de 900 productos diferentes. El resto de productos se los considera de baja rotación y se los produce solamente bajo pedidos especiales de compañías con las que existen contratos de ventas a largo plazo. Este set de productos no será considerado para el análisis pero se determinará un

porcentaje del tiempo de producción de la fábrica (determinado por la gerencia) que no se encontrará disponible ya que se asume será dedicado a la fabricación de este conjunto de órdenes especiales.

Para el caso de los 166 productos se procedió a realizar un análisis de su rotación y el volumen de ventas que representan para la compañía. Comprendiendo que la disponibilidad y los tiempos de entrega han sido una de las mayores deficiencias de la compañía, se propuso realizar un análisis de Pareto con el fin de determinar los productos que generan el 80% de las ventas totales de la compañía.

A continuación se presenta el resultado obtenido mediante una gráfica de Pareto:

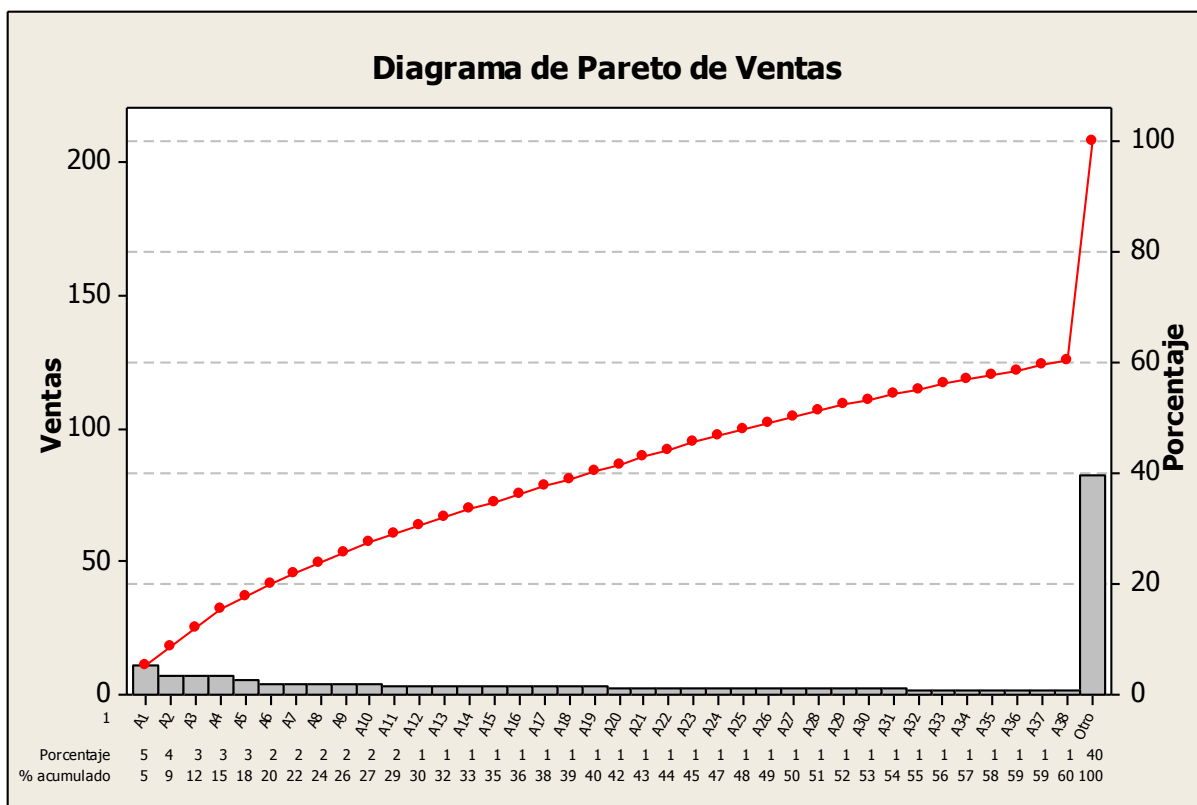


Ilustración 59: Diagrama de las ventas semanales por producto

Es con esto que se procede a determinar una lista de 72 productos que cubren el 80% del promedio de ventas totales. Vale considerar que también se decidió proponer la reducción del número de productos ya que en las encuestas se obtuvo que el factor “Gama de Productos” no es una de las características más importantes para los clientes de la compañía.

Este set de 72 productos seleccionados será considerado para el análisis de la capacidad de la fábrica, ya que la suma de sus medias representan 165,8 toneladas de tubería vendidas al mercado, equivalentes a 79.5 % de las ventas totales semanales.

Dadas las demandas:

$$D_i = \mu_i + \beta\sigma_i$$

Donde:

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

D_i : Demanda semanal del producto i

μ_i : Media semanal de la demanda del producto i

σ_i : Desviación estándar semanal del producto i

β es el valor de nivel de servicio que se desea cubrir con respecto a la variabilidad de la demanda.

6.2.2. Nivel de servicio

La compañía considera como factor clave el cubrir el 80% de la variabilidad de su demanda ya que se considera que el último 20% de esta variabilidad representa mayores gastos en los que

respecta a mantenimiento y utilización de espacio del inventario generado. Por esta razón, se procede a utilizar el valor de $\beta = 80\%$ de nivel de servicio tipo II especificado por la gerencia para el análisis de capacidad.

Se asume que la demanda de todos los productos i sigue una distribución normal. A continuación se muestra la ecuación:

$$\beta = \Phi(z) = 0.8$$

Con lo que se tiene:

$$Z_{\beta} = 0.84$$

Reemplazando se obtiene:

$$D_i = \mu_i + 0.84\sigma_i$$

De esta forma mediante el desarrollo algebraico de la fórmula se obtienen valores fijos D_i que cumplen con el nivel de servicio especificado por la compañía.

6.3. Tiempos observados

6.3.1. Tiempos de producción

Para los tiempos de producción, se decidió utilizar los resultados obtenidos de los análisis de normalidad de los tiempos medidos para cada elemento del proceso. De esta manera, se procederá a generar una ecuación que determinará el tiempo de producción para cada etapa utilizando las propiedades de la suma de la distribución normal. Es necesario recalcar que los tiempos medidos para cada proceso de producción son tiempos independientes, ya que cada uno

de los procesos cuenta con su propio inventario, y no depende del proceso anterior. A continuación se muestran los cálculos de los tiempos de producción en cada fase de la línea:

- Tiempo de Producción de Corte:

Elemento	Ecuación
Preparación de bobina:	$y = \mu + z\sigma = 69.41 + 5.683z$
Preparación previa al corte:	$y = \mu + z\sigma = 92.23 + 7.389z$
Set-up de máquina:	$y = \mu + z\sigma = 91.52 + 3.574z$
Corte de Flejes:	$y = \mu + z\sigma = 621.7 + 9.629z$
Embobinado de Flejes:	$y = \mu + z\sigma = 397.6 + 19.25z$
Almacenamiento de flejes:	$y = \mu + z\sigma = 117.6 + 8.002z$

Tabla 44: Tabla de tiempos de producción de corte

Tiempo Total de Corte:

$$\mu = 69.41 + 92.23 + 91.52 + 621.7 + 397.6 + 117.6 = 1390.06 \frac{s}{ton}$$

$$\sigma = \sqrt{(5.683)^2 + (7.389)^2 + (3.574)^2 + (9.629)^2 + (19.25)^2 + (8.002)^2} = 25.04 \frac{s}{ton}$$

$$\text{Ecuación final: } 1390.06 + 25.04z \left[\frac{s}{ton} \right]$$

- Tiempo de producción de Formado:

Elemento	Ecuación
Preparación para formado:	$y = \mu + z\sigma = 223.5 + 23.76z$
Conformado:	$y = 1101 - 44.8 * (peso)$
Preparación de paquete de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 239.4 + 22.41z$
Almacenamiento de paquetes de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 120.5 + 12.26z$

Tabla 45: Tabla de tiempos de producción de Formado

Tiempo total de Formado:

$$\mu = 223.5 + 1101 + 239.4 + 120.5 - 44.8 * (peso) = 1684.4 - 44.8 * Peso \left[\frac{s}{ton} \right]$$

$$\sigma = \sqrt{(23.76)^2 + (22.41)^2 + (12.26)^2} = 34.886 \left[\frac{s}{ton} \right]$$

$$**Ecuación final:** 1684.4 - 44.8 * peso + 34.886z \left[\frac{s}{ton} \right]$$

- Tiempo de producción de Galvanizado:

Elemento	Ecuación
Preparación para Galvanizado:	$y = \mu + z\sigma = 157 + 5.849z$
Desengrasado:	$y = \mu + z\sigma = 481 + 37.37z$
Aplicación de ácido:	$y = 595 - 4.72 * Concentración$
Enjuagado:	$y = \mu + z\sigma = 53.04 + 7.751z$
Aplicación de Flux:	$y = \mu + z\sigma = 182.7 + 23.58z$
Aplicación de Zinc:	$y = \mu + z\sigma = 331.4 + 25.53z$
Enfriamiento:	$y = \mu + z\sigma = 297.5 + 17.22z$
Realización de Control de Calidad:	$y = \mu + z\sigma = 135.3 + 11.84z$
Preparación final de paquetes:	$y = \mu + z\sigma = 270.2 + 30.96z$

Tabla 46: Tabla de tiempos de producción de Galvanizado

Tiempo Total de Galvanizado:

$$\mu = 157 + 481.2 + 595 + 53.04 + 182.7 + 331.4 + 297.5 + 135.3 + 270.2$$

$$-4.72 * Concentración = 2503.34 - 4.72 * Concentración \left[\frac{s}{ton} \right]$$

$$\sigma = \sqrt{(5.849)^2 + (37.37)^2 + (7.751)^2 + (23.58)^2 + (25.53)^2 + (17.22)^2 + (11.84)^2 + (30.96)^2}$$

$$\sigma = 63.983 \frac{s}{ton}$$

$$**Ecuación final:** 2503.34 - 4.72 * concentración + 63.983z \left[\frac{s}{ton} \right]$$

Al realizar un análisis de esta ecuación con la gerencia se determinó que no sería conveniente mantener la concentración como una variable ya que no se puede anticipar cuál será el valor de este factor en todo momento. Es por esto que se procedió a analizar los registros históricos para

poder determinar el comportamiento de esta variable. A partir de este análisis, se determinó que sería conveniente usar la media de esta variable de tal forma que pueda ser un valor fijo. El valor obtenido fue el siguiente:

$$\bar{x}_{Concentración} = 83\%$$

De esta forma se redujo la ecuación al siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{Ecuación final: } & 2503.34 - 4.72(83) + 63.983z \left[\frac{s}{ton} \right] \\ & = 2111.58 + 63.983z \left[\frac{s}{ton} \right] \end{aligned}$$

Vale la pena considerar que, para el funcionamiento de este modelo se asumirá que el ácido utilizado es el mismo y que su posible modificación o cambio no influirían las duraciones estimadas.

- Tiempo de producción de Enderezado:

Elemento	Ecuación
Preparación para enderezado:	$y = \mu + z\sigma = 122.7 + 10.42z$
Enderezado:	$y = \mu + z\sigma = 2338 + 64.31z$
Empaquetado de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 907.6 + 21.46z$
Almacenamiento de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 236.4 + 18.57z$

Tabla 47: Tabla de tiempos de producción de Enderezado

Tiempo total de Enderezado:

$$\mu = 122.7 + 2338 + 907.6 + 236.4 = 3604.7 \frac{s}{ton}$$

$$\sigma = \sqrt{(10.42)^2 + (64.31)^2 + (21.46)^2 + (18.57)^2} = 71.061 \frac{s}{ton}$$

$$\text{Ecuación final: } 3604.7 + 71.061z \left[\frac{s}{ton} \right]$$

- Tiempo de producción de Roscado:

Elemento	Ecuación
Preparación para roscado:	$y = \mu + z\sigma = 120.2 + 12.22z$
Roscado:	$y = \mu + z\sigma = 2711 + 93.88z$
Empaquetado de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 868 + 78.12z$
Almacenamiento de tubos:	$y = \mu + z\sigma = 220.8 + 20.22z$

Tabla 48: Tabla de tiempos de producción de Roscado

Tiempo total de Roscado:

$$\mu = 120.2 + 2711 + 868 + 220.8 = 3920 \frac{s}{ton}$$

$$\sigma = \sqrt{(12.22)^2 + (93.88)^2 + (78.12)^2 + (20.22)^2} = 124.396 \frac{s}{ton}$$

$$\text{Ecuación final: } 3920 + 124.396z \left[\frac{s}{ton} \right]$$

Donde:

- z es el valor de nivel de servicio que se desea cubrir con respecto a la variabilidad de la demanda.

6.3.2. Porcentaje de variabilidad considerada de los tiempos de producción

En cuanto al porcentaje de variabilidad obtenido en las mediciones de los tiempos, la gerencia solicitó considerar un 90% de la variación de tal forma que la capacidad estimada pudiera cubrir un alto nivel de variabilidad. Además, se consideró importante el contar con una holgura que

garantice el cumplimiento de las metas producción propuestas por lo que en base a esto se propuso cubrir el porcentaje mencionado. A continuación se muestra la ecuación:

$$\Phi(z) = 90\% = 0.9$$

Con lo que se tiene:

$$Z = 1.28$$

Reemplazando este valor en las ecuaciones previas:

Tiempo de corte:

$$Tn_{i,corte} = 1390.06 + 25.04(1.28) = 1422.11 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de Formado:

$$Tn_{i,formado} = 1684.4 - 44.8 * peso + 34.886(1.28) = 1729.05 - 44.8 * peso \left[\frac{s}{ton} \right]$$

Tiempo de Galvanizado:

$$Tn_{i,galvanizado} = 2111.58 + 63.983(1.28) = 2193.48 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de enderezado:

$$Tn_{i,enderezado} = 3604.7 + 71.061(1.28) = 3695.66 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de roscado:

$$Tn_{i,roscado} = 3920 + 124.396(1.28) = 4079.22 \frac{s}{ton}$$

Donde:

$Tn_{i,corte}$: Tiempo normal de Corte del producto i

$Tn_{i,formado}$: Tiempo normal de Formado del producto i

$Tn_{i,galvanizado}$: Tiempo normal de Galvanizado del producto i

$Tn_{i,enderezado}$: Tiempo normal de Enderezado del producto i

$Tn_{i,roscado}$: Tiempo normal de Roscado del producto i

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

6.3.3. Pesos de los productos seleccionados

Para poder tener un modelo con mayor precisión, en base a los resultados obtenidos en el análisis de los tiempos en el capítulo previo, se obtuvo que los pesos de los tubos influyen en los tiempos medidos para el proceso de Formado. Es con esto que se determinó necesario el poseer esta información de tal forma que se pueda estimar el tiempo que tomaría esta fase del proceso de acuerdo al tubo que se fabrica.

El paso siguiente en el modelo fue considerar este valor para poder determinar los tiempos requeridos para la etapa de formado. A continuación las ecuaciones aplicadas:

Considerando la ecuación:

$$Tn_{i,formado} = 1729.05 - 44.8 * Peso_i \left[\frac{S}{ton} \right]$$

Donde:

$Tn_{i,formado}$: Tiempo normal de Formado del producto i

$Peso_i$: Peso del producto i

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

Con lo que se procedió a obtener los tiempos específicos en la etapa de Formado para cada producto seleccionado.

6.3.4. Suplementos

Como es recomendado en la literatura de estudio de tiempos, se requiere aplicar suplementos en los tiempos estimados de producción (Niebel & Freivalds, 2004). De esta forma, se procede a utilizar el suplemento recomendado a nivel general para necesidades personales y otros factores de fatiga básica del 5% adicional a los tiempos normales de producción (Niebel & Freivalds, 2004). De esta forma se tiene la fórmula general:

$$TS = TN * (1 + Suplemento)$$

Reemplazando los valores obtenidos previamente en la ecuación se tiene:

Tiempo de corte:

$$Ts_{i,corte} = 1422.11 * (1 + 0.05) = 1493.22 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de Formado:

$$\begin{aligned} Ts_{i,formado} &= 1729.05 * (1 + 0.05) - 44.8 * peso_i * (1 + 0.05) \\ &= 1815.5 + 47.04 * peso_i \left[\frac{s}{ton} \right] \end{aligned}$$

Tiempo de Galvanizado:

$$TS_{i,galvanizado} = 2193.48 * (1 + 0.05) = 2303.15 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de enderezado:

$$TS_{i,enderezado} = 3695.66 * (1 + 0.05) = 3880.44 \frac{s}{ton}$$

Tiempo de roscado:

$$TS_{i,roscado} = 4079.22 * (1 + 0.05) = 4283.18 \frac{s}{ton}$$

Donde:

$TS_{i,corte}$: Tiempo estándar de Corte del producto i

$TS_{i,formado}$: Tiempo estándar de Formado del producto i

$TS_{i,galvanizado}$: Tiempo estándar de Galvanizado del producto i

$TS_{i,enderezado}$: Tiempo estándar de Enderezado del producto i

$TS_{i,roscado}$: Tiempo estándar de Roscado del producto i

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

6.4. Elementos adicionales**6.4.1. Residuos por etapa**

Para estimar de mejor forma los tiempos de producción la compañía entregó el porcentaje de desperdicios y reprocesos históricos de cada una de las etapas de producción para todos los

productos de su catálogo. Con esta información se procedió a implementar los porcentajes en el modelo propuesto ajustando los tiempos de fabricación con estos tiempos desperdiciados por fallas en el sistema, en la mano de obra ó en la maquinaria.

A continuación se procedió a implementar estos valores en las ecuaciones de tiempo para cada producto:

$$T_{i,corte} = (1 + r_{i,corte})TS_{i,corte}$$

$$T_{i,formado} = (1 + r_{i,formado})TS_{i,formado}$$

$$T_{i,galvanizado} = (1 + r_{i,galvanizado})TS_{i,galvanizado}$$

$$T_{i,enderezado} = (1 + r_{i,enderezado})TS_{i,enderezado}$$

$$T_{i,roscado} = (1 + r_{i,roscado})TS_{i,roscado}$$

Donde:

$T_{i,corte}$: Tiempo total de Corte del producto i

$T_{i,formado}$: Tiempo total de Formado del producto i

$T_{i,galvanizado}$: Tiempo total de Galvanizado del producto i

$T_{i,enderezado}$: Tiempo total de Enderezado del producto i

$T_{i,roscado}$: Tiempo total de Roscado del producto i

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

6.4.2. Ruta de producción de tubos

Es importante considerar que no todos los productos pasan por todas las fases de la línea de producción. Por esta razón, se obtuvo la información de cada tubo para conocer la ruta que se requiere para completar su fabricación; de esta forma se considerarán los tiempos efectivos de producción y la utilización exacta de cada una de las fases.

Con los tiempos por cada etapa definidos para todos los productos, se procedió a determinar las rutas efectivas por las que cada uno de ellos debe pasar para terminar su producción. De esta manera se pudo determinar los tiempos totales que cada etapa utilizaría para fabricar todos los productos. A continuación se muestran las ecuaciones aplicadas:

$$T_i = a_i T_{i,corte} + b_i T_{i,formado} + c_i T_{i,galvanizado} + d_i T_{i,enderezado} + e_i T_{i,roscado}$$

Donde:

T_i : Tiempo total de producción del producto i

$a_i = \{0,1\}$ donde la variable toma el valor de 0 si el producto i no pasa por la etapa de corte y 1 si lo hace.

$b_i = \{0,1\}$ donde la variable toma el valor de 0 si el producto i no pasa por la etapa de formado y 1 si lo hace

$c_i = \{0,1\}$ donde la variable toma el valor de 0 si el producto i no pasa por la etapa de galvanizado y 1 si lo hace

$d_i = \{0,1\}$ donde la variable toma el valor de 0 si el producto i no pasa por la etapa de enderezado y 1 si lo hace

$e_i = \{0,1\}$ donde la variable toma el valor de 0 si el producto i no pasa por la etapa de roscado y 1 si lo hace

$i = \{1,2,3, \dots, 71, 72\}$: Lista de productos seleccionados

De esta manera se pudo determinar los tiempos requeridos de producción por cada etapa, a continuación se muestran la ecuación aplicada:

$$T_{corte} = \sum_{i=1}^{72} a_i T_{i,corte}$$

$$T_{formado} = \sum_{i=1}^{72} a_i T_{i,formado}$$

$$T_{galvanizado} = \sum_{i=1}^{72} a_i T_{i,galvanizado}$$

$$T_{enderezado} = \sum_{i=1}^{72} a_i T_{i,enderezado}$$

$$T_{roscado} = \sum_{i=1}^{72} a_i T_{i,roscado}$$

Donde,

T_{corte} : Tiempo de fabricación requerido para los productos en la etapa de corte.

$T_{formado}$: Tiempo de fabricación requerido para los productos en la etapa de formado.

$T_{galvanizado}$: Tiempo de fabricación requerido para los productos en la etapa de galvanizado.

$T_{enderezado}$: Tiempo de fabricación requerido para los productos en la etapa de enderezado.

$T_{roscado}$: Tiempo de fabricación requerido para los productos en la etapa de roscado.

6.4.3. Turnos semanales disponibles

La dirección de la fábrica ha podido estimar de una forma pragmática los turnos requeridos por cada etapa de producción para el cumplimiento de las metas propuestas. Es con esto, que se utilizó el número máximo de turnos disponibles (cada uno de 8 horas) por cada etapa de producción de tal forma que se pueda estimar el tiempo disponible. A continuación se presenta la tabla de tiempos disponibles semanalmente de producción en la compañía:

Etapa	Número de turnos	Tiempo total (horas)
Corte	18	144
Formado	21	168
Galvanizado	18	144
Enderezado	21	168
Roscado	12	96

Tabla 49: Tiempos disponibles de producción

Como se puede ver en la Tabla 49: Tiempos disponibles de producción, se obtuvo la información del número de turnos máximos disponibles en una semana para cada etapa de producción. Ahora, es importante tomar en cuenta que la gerencia desea además considerar un tiempo que la fábrica no estará disponible para la producción de estas tuberías (a causa de la producción de órdenes especiales) con lo que se utilizó el valor especificado por la gerencia de 10%. Es con esto que se procede a calcular los tiempos efectivos disponibles de producción:

Etapa	Tiempo Efectivo Disponible (horas)
Corte	129,6
Formado	151,2
Galvanizado	129,6
Enderezado	151,2
Roscado	86,4

Tabla 50: Tiempos efectivos disponibles

Con esto se procede a utilizar los tiempos detallados en la Tabla 50 para el modelo propuesto posteriormente.

6.5. Resultados

Los tiempos totales requeridos para la fabricación de los productos seleccionados se presenta a continuación:

$$T_{corte} = 404438.83 \text{ s} = 112.34 \text{ h}$$

$$T_{formado} = 465269.42 \text{ s} = 129.24 \text{ h}$$

$$T_{galvanizado} = 407199.48 \text{ s} = 113.11 \text{ h}$$

$$T_{enderezado} = 566117.26 \text{ s} = 157.25 \text{ h}$$

$$T_{roscado} = 85833.58 \text{ s} = 23.84 \text{ h}$$

Ahora, considerando los tiempos de producción se obtuvo una utilización del sistema con los siguientes porcentajes:

Corte	Formado	Galvanizado	Enderezado	Roscado
87%	85%	87%	104%	28%

Tabla 51: Utilización de los tiempos de producción por etapa

Con lo que se ve que las etapas con mayor utilización son las de corte, galvanizado y enderezado.

De esta forma se puede confirmar que la fábrica no es capaz de suplir el 100% de los productos y era necesario reducir su número en fin de aumentar la disponibilidad para el mercado. Pero con los resultados obtenidos se puede confirmar que el nivel de utilización de la fábrica todavía es alto, ya que se recomienda no sobrepasar el 90% con estos valores. Con el fin de ofrecer opciones a la gerencia para garantizar que el análisis posea resultados eficaces, se presentan a continuación dos propuestas para la satisfacción de la demanda dentro de los parámetros establecidos.

6.5.1. Propuesta 1: Reducción del nivel de servicio al mercado

Con el propósito de disminuir los tiempos de producción requeridos y, por consecuencia, la utilización en cada una de las etapas de producción a un máximo de 90%, se propone disminuir el nivel de servicio a 71%. Es importante mencionar que la empresa se encuentra con una capacidad de operarios al máximo, y que no está en condiciones de contratar más personal para su producción. Mediante la aplicación del modelo propuesto pero implementando este nuevo valor se obtuvieron los resultados a continuación:

Corte	Formado	Galvanizado	Enderezado	Roscado
75%	73%	76%	90%	24%

Tabla 52: Utilización de los tiempos de producción por etapa (propuesta 1)

Con lo que se puede confirmar el cumplimiento de los valores máximos de utilización establecidos. A continuación se presentan las toneladas de producción en cada etapa requeridas para este modelo:

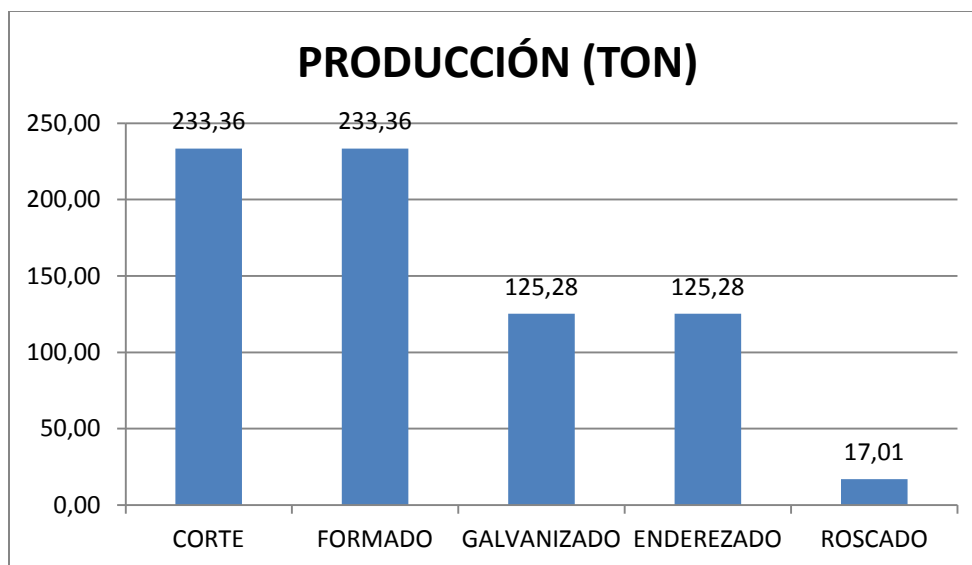


Ilustración 60: Producción requerida por cada etapa de producción (Propuesta 1)

De la misma forma se calcularon las horas requeridas de producción para esta propuesta:

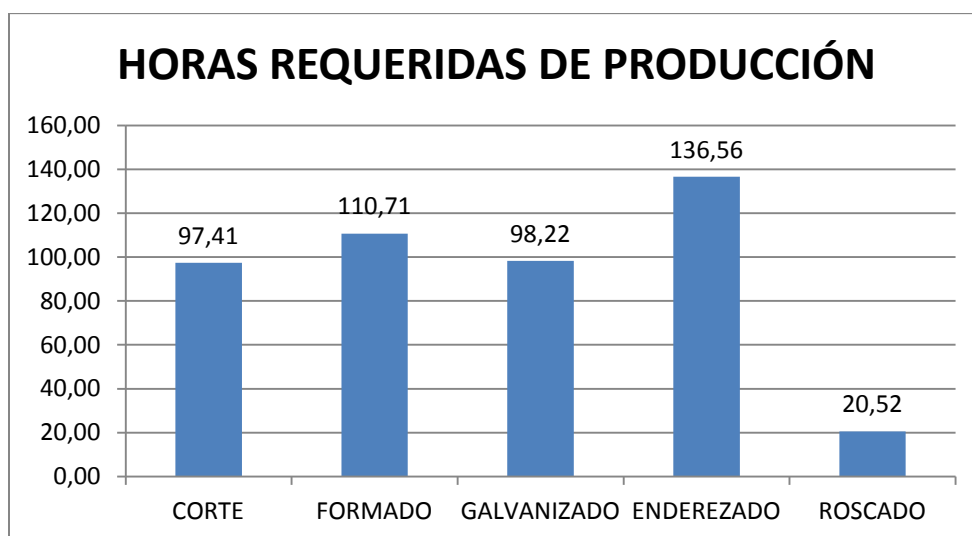


Ilustración 61: Horas requeridas de producción por etapa (Propuesta 1)

Finalmente, los residuos obtenidos por cada etapa de producción para la presenta propuesta:

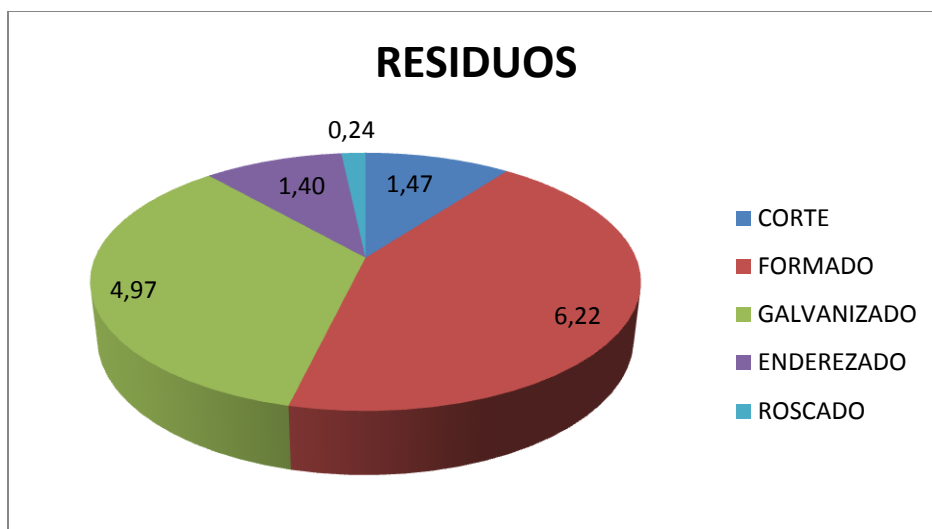


Ilustración 62: Residuos por etapa de producción (Propuesta 2)

Finalmente, se tiene que con la presenta propuesta se fabricarían 233.36 toneladas semanales de producto terminado para ser vendidas al mercado

6.5.2. Propuesta 2: Reducción del número de productos

Con el fin de disminuir la utilización de las etapas de producción, se presenta otra propuesta enfocada en la disminución de los productos ofrecidos al mercado y considerados de alta rotación. Para evitar superar el nivel de utilización máximo de la capacidad del 90% se procede a reducir a 49 el número de productos considerados como de alta rotación.

Con esto, se obtiene la utilización de la capacidad de la fábrica por cada etapa de producción:

Corte	Formado	Galvanizado	Enderezado	Roscado
72%	70%	75%	90%	28%

Tabla 53: Utilización de los tiempos de producción por etapa (Propuesta 2)

De la misma manera, se procede a obtener las toneladas de producción requerida para esta propuesta:

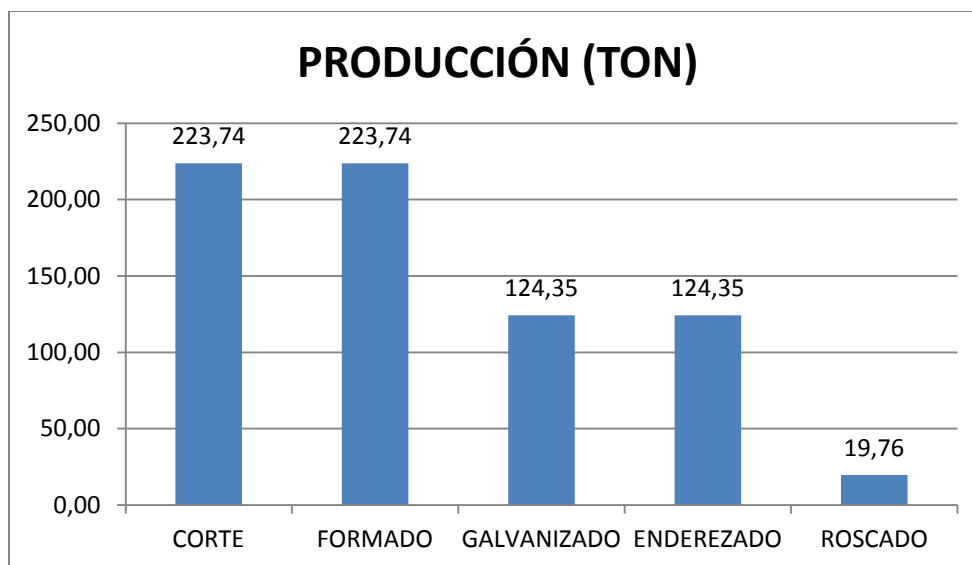


Ilustración 63: Producción requerida por cada etapa de producción (Propuesta 2)

Con esto, se puede determinar las horas de producción para cada etapa del proceso, la gráfica a continuación presenta los resultados calculados:

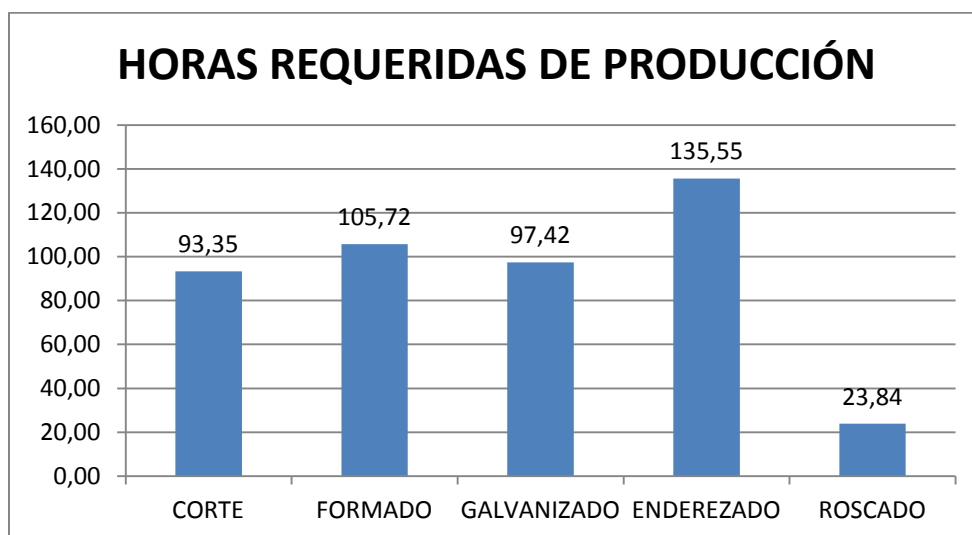


Ilustración 64: Horas requeridas de producción por etapa (Propuesta 2)

Finalmente, se procede a calcular los residuos obtenidos para cada etapa del proceso, a continuación se muestra la gráfica con los resultados:

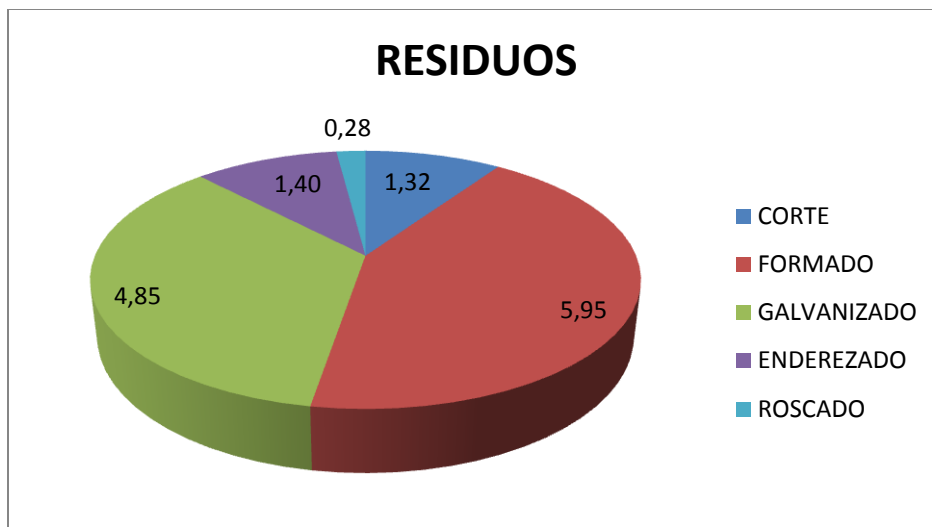


Ilustración 65: Residuos por etapa de producción (Propuesta 2)

Finalmente, se tiene que con la presenta propuesta se fabricarían 269.14 toneladas semanales de producto terminado para ser vendidas al mercado

6.5.3. Análisis de costos de las propuestas

Con el fin de poder determinar cuál de las 2 propuestas presentadas presenta mayores beneficios económicos para la compañía, se procede a analizar los costos que se tendrían que incurrir para cada una de ellas. Por esta razón, es necesario considerar los siguientes factores que van a influenciar en los costos totales de cada uno de los escenarios planteados.

6.5.3.1. Costos de Personal

Para la determinación de los costos generados por salarios se procede a realizar un análisis de los pagos que se realizan a los operadores y supervisores. De esta forma, se considera los valores a continuación (Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador, 2012):

- Salario de Inspector/Supervisor de Planta: 296,38 dólares mensuales.
- Salario de Operador de Máquina: 294,92 dólares mensuales.

Además, es necesario considerar que de acuerdo al Código Laboral de Trabajo (2012), se requiere considerar que:

- “La jornada laboral regular es aquella que corre de lunes a viernes, 8 horas diarias, es decir, 40 semanales, para cuyo pago no debe hacerse ningún recargo” (Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador, 2012).
- “La jornada laboral nocturna es aquella que corre de lunes a viernes, 8 horas diarias, entre las 19h00 y las 06h00 del día siguiente, para cuyo pago debe considerarse la misma remuneración que la jornada ordinaria (diurna o normal), con un 25% de recargo” (Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador, 2012).
- “Las horas extras, también llamadas horas extraordinarias son aquellas en las que el empleado trabaja en sábados, domingos o días feriados. Para el pago de estas horas debe realizarse un recargo del 100%” (Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador, 2012).

Finalmente, mediante la ley se determina que sobre los sueldos el empleador debe pagar los siguientes gastos:

- IESS: 12,15%.
- 30% adicional de gastos administrativos.

Asumiendo que, ningún empleado supera las 40 horas de trabajo regular a la semana se procede a calcular el costo de una hora de trabajo para cada empleado considerando las horas de jornadas laborales nocturnas y las horas extraordinarias aplicadas para fines de semana.

El valor de una hora normal para cada cargo se calcula a continuación:

$$\text{Operador: } \frac{294,92}{240} = 1,22 \frac{\$}{\text{hora}}$$

$$\text{Supervisor: } \frac{296.38}{240} = 1.23 \frac{\$}{\text{hora}}$$

A continuación, aplicando los recargos detallados previamente se calculan los costos de los diferentes tipos de horas de producción:

Cargo	Hora normal	Hora nocturna	Hora extraordinaria	Hora extraordinaria nocturna
Operador	1,22	1,53	2,44	3,05
Supervisor	1,23	1,54	2,46	3,08

Tabla 54: Costos brutos de producción por hora

Finalmente, considerando el costo de los aportes al IESS y un 30% adicional de gastos administrativos se obtiene la tabla a continuación:

Cargo	Hora normal	Hora nocturna	Hora extraordinaria	Hora extraordinaria nocturna
Operador	1,62	2,03	3,25	4,06
Supervisor	1,63	2,04	3,26	4,08

Tabla 55: Costos netos de producción por hora

Se procede a presentar los pagos tomando en cuenta los diferentes rangos de hora dentro de la semana. Para esto se consideró que la cantidad de horas totales en una semana es de 168 horas, con lo que se procedió a utilizarlas desde las horas normales hasta las horas extraordinarias nocturnas, asumiendo que se utilizaron todas las horas del rango previo:

Tipo de pago	Rango de horas semanales	Número de horas máximo
Horas Normales	1-65	65
Horas Nocturnas	66-120	55
Horas extraordinarias	121-146	26
Horas extraordinarias nocturnas	147-168	22

Tabla 56: Rangos de horas semanales

Donde, por ejemplo, si la compañía decide planificar 127 horas de producción se debe pagar 65 horas normales, 55 horas nocturnas y 7 horas extraordinarias.

6.5.3.2. Costos de producción y maquinaria

Ahora, con el objetivo de estimar los costos de cada propuesta, la compañía entregó un valor estimado de los costos por hora de producción en cada etapa del proceso. A pesar que existió apertura con la entrega de esta información, no se detalló que parte de los costos eran fijos y variables con lo que se asume que el 100% de estos costos es variable y dependerá del número de horas laboradas en la semana. Vale la pena mencionar que este es un costo general para cualquier producto que se esté fabricando y que no incluye costos de personal (salarios y rubros adicionales). A continuación se muestra la información:

Etapa	Costo (\$/hora)
Corte	46,62
Formado	74,80
Galvanizado	54,65
Enderezado	13,98
Roscado	11,02

Tabla 57: Costos de producción (no incluido salarios) por hora

6.5.3.3. Costos de residuos y desperdicios

Es necesario considerar que los porcentajes de residuos y reprocesos entregados representan un número consolidado de los desperdicios y de productos que requieren ser reprocesados. Por esta razón, se decidió solicitar una proporción que permita diferenciar entre estos 2 tipos de tal forma que se pueda estimar un costo de material perdido, una vez que se ha considerado un residuo de la producción y ya no puede ser reprocesado. Una vez planteado este punto, la compañía especificó que aproximadamente un 60% corresponde a material residual del proceso y un 40% a

productos que pueden ser reprocesados. Considerando esto, se calculó el costo aproximado de una tonelada de desperdicio siendo este de 910 dólares.

6.5.3.4. Ganancias

Con el fin de permitir el cálculo de las ganancias generadas en cada una de las propuestas, se tiene que de acuerdo a los datos entregados por la empresa, la ganancia entre el costo de la materia y el precio de venta al público de una tonelada de producto es de aproximadamente 170 dólares.

Se presenta a continuación los cálculos realizados para la estimación de los costos de cada propuesta. De inicio se calculó el costo del personal considerando el número de horas, los rangos para los costos de cada hora y finalmente el número de empleados que participa en cada etapa; con esto se obtuvo:

6.5.4. Costos de la propuesta 1

6.5.4.1. Gastos

Se inicia calculando el número de horas requeridas de producción:

Etapa	Número de horas requeridas:
Corte	97,41
Formado	110,71
Galvanizado	98,22
Enderezado	136,56
Roscado	20,52

Tabla 58: Horas requeridas de producción en la propuesta 1

A continuación se presentan los costos obtenidos de personal (operarios):

COSTO TOTAL POR ETAPA DE OPERADORES				
Etapa	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas
Corte	316,66	197,34	0,00	0,00
Formado	316,66	278,38	0,00	0,00
Galvanizado	422,21	269,75	0,00	0,00
Enderezado	211,11	223,29	107,55	0,00
Roscado	66,66	0,00	0,00	0,00
	1333,30	968,76	107,55	0,00

Tabla 59: Costos de salario para operadores en la propuesta 1

En la Tabla 59 se puede obtener que los gastos obtenidos para salarios de operadores serían de 2409.61 dólares. Además, los costos obtenidos por salarios para supervisores:

COSTO TOTAL POR ETAPA DE SUPERVISORES				
Etapa	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas
Corte	106,08	66,11	0,00	0,00
Formado	106,08	93,25	0,00	0,00
Galvanizado	106,08	67,77	0,00	0,00
Enderezado	106,08	112,20	54,04	0,00
Roscado	33,49	0,00	0,00	0,00
	457,80	339,33	54,04	0,00

Tabla 60: Costos de salario para supervisores en la propuesta 1

Los datos de la Tabla 60 permiten calcular que el gasto en pago para salarios de supervisores sería de 851.17 dólares. De la misma forma se obtienen los costos de producción (no incluido los costos de personal):

Etapa	Costo de producción
Corte	4541,06
Formado	8281,39
Galvanizado	5367,88
Enderezado	1909,07
Roscado	226,17
<i>TOTAL</i>	<i>20325,56</i>

Tabla 61: Costo de producción no incluidos salarios por sección en la propuesta 1

Finalmente, los costos incurridos por residuos:

Etapa	Costo de residuos
Corte	801,09
Formado	3394,91
Galvanizado	2716,19
Enderezado	764,23
Roscado	132,28
<i>TOTAL</i>	<i>7808,68</i>

Tabla 62: Costos por residuos por sección en la propuesta 1

Con lo que se tiene un valor de costos totales por:

32 246.19 dólares

6.5.4.2. Ganancias

Calculando las ganancias producidas por las ventas del producto terminado se tiene que se tuvieron ingresos por:

39 671.58 dólares

6.5.4.3. Ganancias netas

Obteniendo la diferencia entre ingresos y gastos se tiene que con la presente propuesta se generan ganancias netas por:

7 425.39 dólares

6.5.5. Costos de la propuesta 2

6.5.5.1. Gastos

Se inicia calculando el número de horas requeridas de producción:

Etapa	Número de horas requeridas:
Corte	93,35
Formado	105,72
Galvanizado	97,42
Enderezado	135,55
Roscado	23,84

Tabla 63: Horas requeridas de producción para la propuesta 2

A continuación se presentan los costos obtenidos de personal (operarios):

COSTO TOTAL POR ETAPA DE OPERADORES				
Etapa	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas
Corte	316,66	172,67	0,00	0,00
Formado	316,66	247,99	0,00	0,00
Galvanizado	422,21	263,25	0,00	0,00
Enderezado	211,11	223,29	100,98	0,00
Roscado	77,44	0,00	0,00	0,00
	1344,08	907,20	100,98	0,00

Tabla 64: Costos de salario para operadores en la propuesta 2

En la Tabla 64 se puede obtener que los gastos obtenidos para salarios de operadores serían de 2352.26 dólares. Además, los costos obtenidos por salarios para supervisores:

COSTO TOTAL POR ETAPA DE SUPERVISORES				
Etapa	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas
Corte	106,08	57,84	0,00	0,00
Formado	106,08	83,07	0,00	0,00
Galvanizado	106,08	66,14	0,00	0,00
Enderezado	106,08	112,20	50,74	0,00
Roscado	38,91	0,00	0,00	0,00
	463,21	319,25	50,74	0,00

Tabla 65: Costos de salario para supervisores en la propuesta 2

Los datos de la Tabla 65 permiten calcular que el gasto en pago para salarios de supervisores sería de 833.20 dólares. De la misma forma se obtienen los costos de producción (no incluido los costos de personal):

Etapa	Costo de producción
Corte	4352,19
Formado	7908,12
Galvanizado	5324,12
Enderezado	1894,93
Roscado	262,75
<u>TOTAL</u>	<u>19742,10</u>

Tabla 66: Costo de producción no incluidos salarios por sección en la propuesta 2

Finalmente, los costos incurridos por residuos:

Etapa	Costo de residuos
Corte	722,50
Formado	3246,41
Galvanizado	2649,31
Enderezado	764,93
Roscado	153,62
<u>TOTAL</u>	<u>7536,77</u>

Tabla 67: Costos por residuos por sección en la propuesta 2

Con lo que se tiene un valor de costos totales por:

31,297.54 dólares

6.5.5.2. Ganancias

Calculando las ganancias producidas por las ventas del producto terminado se tiene que se tuvieron ingresos por:

45,754.42 dólares

6.5.5.3. Ganancias netas

Obteniendo la diferencia entre ingresos y gastos se tiene que con la presente propuesta se generan ganancias netas por:

14,456.88 dólares

Con lo que se comprueba que la propuesta 2 genera mayor beneficios económicos para la compañía.

6.6. Herramienta Propuesta

Como una propuesta para que la fábrica utilice el modelo de capacidad desarrollado, se presenta una herramienta en Microsoft Excel que permitirá calcular la capacidad de la planta y los costos inferidos en términos de las variables consideradas. Este modelo, permite obtener los resultados presentados anteriormente de manera automática de tal forma que el usuario solamente deberá ingresar los valores de las variables utilizadas. Este programa está considerado tanto para la gerencia general, ya que cuenta con indicadores de producción, como también para la gerencia de operaciones ya que permite planificar la producción requerida en cada etapa, y ofrece una estimación adecuada de los tiempos de producción y otros parámetros.

A continuación se presenta el menú principal de la herramienta:

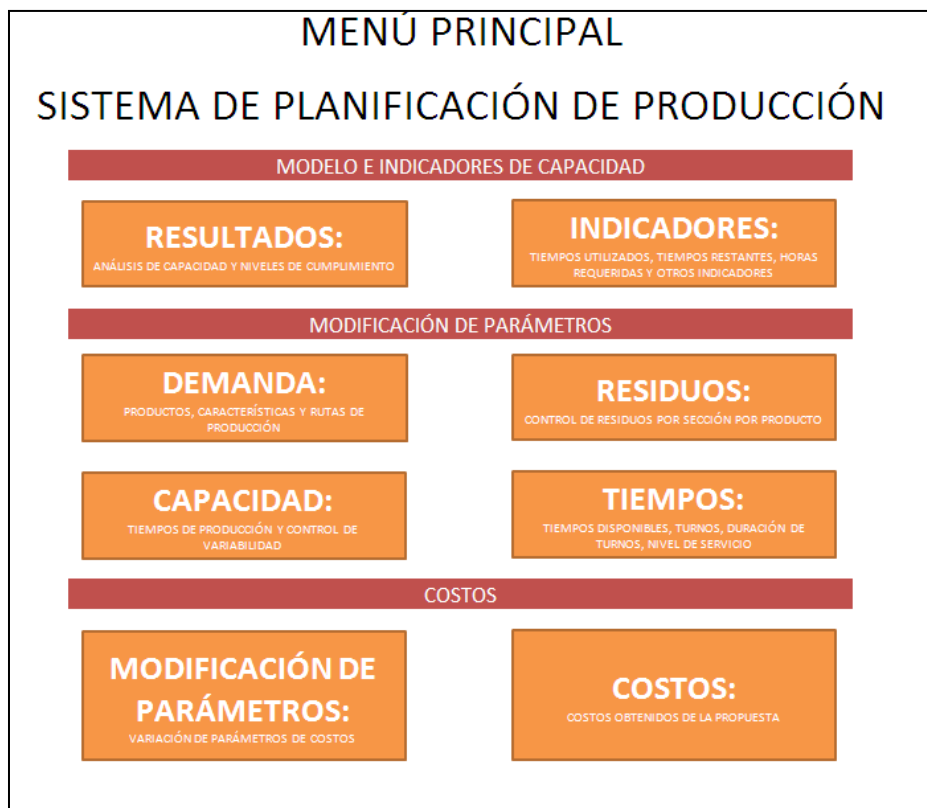


Ilustración 66: Menú principal de la herramienta

En este menú se presentan 3 secciones principales, con sus respectivos apartados:

- Modelo e Indicadores de capacidad
 - Resultados
 - Indicadores
- Modificación de parámetros
 - Demanda
 - Capacidad
 - Residuos
 - Tiempos
- Costos
 - Modificación de parámetros
 - Costos

A continuación se presentan pantallas de cada una de estas subsecciones con una breve explicación de cada una:

Modelo de Indicadores de capacidad:

Resultados:

PRODUCTOS		PRODUCCIÓN REQUERIDA POR ETAPA				
CÓDIGO	PRODUCCIÓN REQUERIDA	CORTE	FORMADO	GALVANIZADO	ENDEREZADO	ROSCADO
A1	15,63	15,63	15,63	0,00	0,00	0,00
A2	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	0,00
A3	10,95	10,95	10,95	10,95	10,95	0,00
A4	9,90	9,90	9,90	0,00	0,00	0,00
A5	8,50	8,50	8,50	0,00	0,00	0,00
A6	6,70	6,70	6,70	0,00	0,00	0,00
A7	6,04	6,04	6,04	0,00	0,00	0,00
A8	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	0,00
A9	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63	0,00
A10	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	0,00
A11	5,58	5,58	5,58	0,00	0,00	0,00
A12	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	0,00
A13	4,74	4,74	4,74	0,00	0,00	0,00
A14	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	0,00
A15	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	0,00
A16	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68
A17	4,51	4,51	4,51	4,51	4,51	0,00
A18	4,02	4,02	4,02	4,02	4,02	0,00
A19	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57	0,00
A20	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
A21	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	0,00
A22	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13	0,00
A23	4,37	4,37	4,37	0,00	0,00	0,00

Ilustración 67: Pantalla de resultados (1)

PRODUCCIÓN POR ETAPA AJUSTADA CON RESIDUOS					TIEMPOS DE PRODUCCIÓN (segundos)				
CORTE	FORMADO	GALVANIZADO	ENDEREZADO	ROSCADO	CORTE	FORMADO	GALVANIZADO	ENDEREZADO	ROSCADO
15,79	15,79	0,00	0,00	0,00	23577,93	28051,75	0,00	0,00	0,00
10,56	10,56	10,77	10,56	0,00	15763,60	18641,08	29224,25	40965,19	0,00
10,95	11,17	11,61	11,17	0,00	16355,70	19702,25	31517,16	43353,98	0,00
9,90	10,29	0,00	0,00	0,00	14776,52	18368,44	0,00	0,00	0,00
8,50	8,67	0,00	0,00	0,00	12692,20	15226,67	0,00	0,00	0,00
6,77	6,77	0,00	0,00	0,00	10106,84	11608,12	0,00	0,00	0,00
6,10	6,16	0,00	0,00	0,00	9103,69	10323,05	0,00	0,00	0,00
6,06	6,30	6,36	6,12	0,00	9043,94	10820,56	17263,11	23737,70	0,00
6,63	6,89	6,76	6,69	0,00	9897,24	11834,62	18352,13	25977,37	0,00
6,30	6,48	6,55	6,36	0,00	9404,11	11259,86	17772,88	24680,63	0,00
5,64	5,69	0,00	0,00	0,00	8415,44	9918,25	0,00	0,00	0,00
4,92	5,11	5,21	4,92	0,00	7341,38	8758,03	14146,72	19078,20	0,00
4,79	4,84	0,00	0,00	0,00	7153,51	8286,90	0,00	0,00	0,00
4,29	4,37	4,37	4,33	0,00	6400,79	7356,58	11868,77	16800,21	0,00
4,41	4,54	4,49	4,45	0,00	6581,66	7915,37	12201,78	17273,23	0,00
4,68	4,77	4,87	4,73	4,77	6985,94	8395,54	13207,78	18336,04	20439,86
4,56	4,69	4,65	4,56	0,00	6807,43	8141,58	12620,34	17690,61	0,00
4,02	4,18	4,26	4,10	0,00	5997,29	6849,61	11556,68	15896,99	0,00
4,62	4,76	4,85	4,66	0,00	6896,36	8179,53	13157,59	18099,15	0,00
4,67	4,81	4,81	4,72	4,76	6973,32	7575,62	13057,17	18302,93	20402,95
4,60	4,65	4,83	4,60	0,00	6868,91	8044,70	13105,22	17850,37	0,00
4,21	4,30	4,30	4,21	0,00	6293,35	7485,64	11665,06	16354,65	0,00
4,42	4,55	0,00	0,00	0,00	6598,17	7603,00	0,00	0,00	0,00

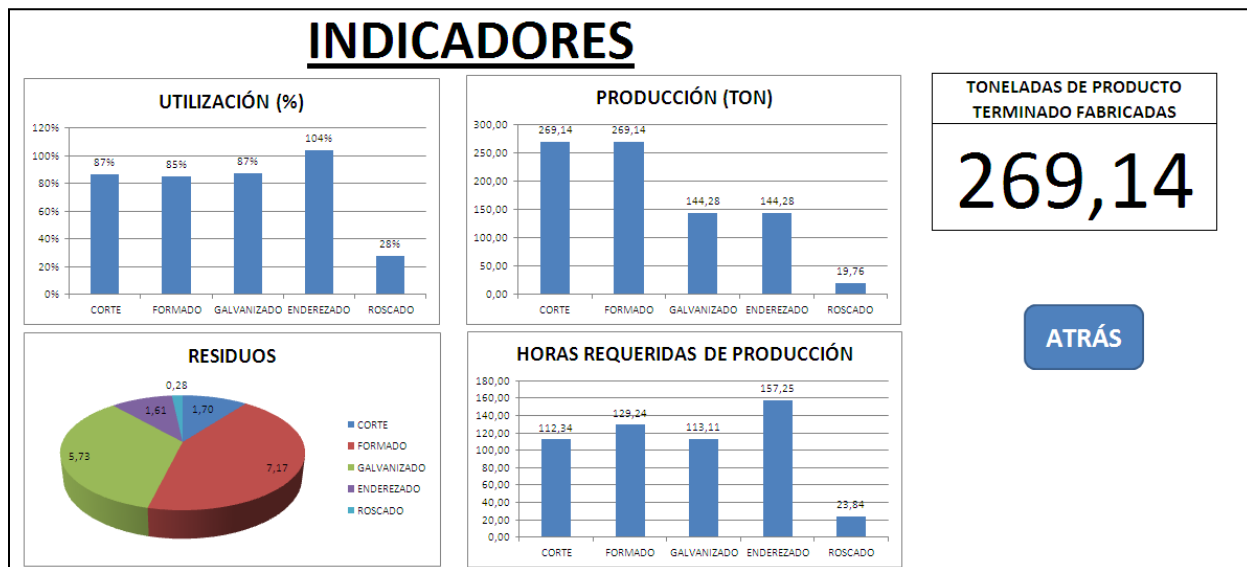
Ilustración 68: Pantalla de resultados (2)

TIEMPOS DE PRODUCCIÓN (Horas)					RESIDUOS (TON)					
CORTE	FORMADC	GALVANIZAD	ENDEREZADI	ROSCADI	CORTE	FORMADI	GALVANIZAD	ENDEREZADI	ROSCADI	
6,55	7,79	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
4,38	5,18	8,12	11,38	0,00	0,10	0,10	0,31	0,10	0,00	0,00
4,54	5,47	8,75	12,04	0,00	0,00	0,22	0,66	0,22	0,00	0,00
4,10	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
3,53	4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
2,81	3,22	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
2,53	2,87	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
2,51	3,01	4,80	6,59	0,00	0,00	0,24	0,30	0,06	0,00	0,00
2,75	3,29	5,10	7,22	0,00	0,00	0,27	0,13	0,07	0,00	0,00
2,61	3,13	4,94	6,86	0,00	0,06	0,25	0,31	0,12	0,00	0,00
2,34	2,76	0,00	0,00	0,00	0,06	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
2,04	2,43	3,93	5,30	0,00	0,00	0,20	0,29	0,00	0,00	0,00
1,99	2,30	0,00	0,00	0,00	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
1,78	2,04	3,30	4,67	0,00	0,00	0,09	0,09	0,04	0,00	0,00
1,83	2,20	3,39	4,80	0,00	0,04	0,17	0,13	0,09	0,00	0,00
1,94	2,33	3,67	5,09	5,68	0,00	0,09	0,19	0,05	0,09	0,00
1,89	2,26	3,51	4,91	0,00	0,05	0,18	0,14	0,05	0,00	0,00
1,67	1,90	3,21	4,42	0,00	0,00	0,16	0,24	0,08	0,00	0,00
1,92	2,27	3,65	5,03	0,00	0,05	0,18	0,27	0,09	0,00	0,00
1,94	2,10	3,63	5,08	5,67	0,00	0,14	0,14	0,05	0,09	0,00
1,91	2,23	3,64	4,96	0,00	0,05	0,09	0,27	0,05	0,00	0,00
1,75	2,08	3,24	4,54	0,00	0,08	0,17	0,17	0,08	0,00	0,00
1,83	2,11	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00

Ilustración 69: Pantalla de Resultados (3)

En las ilustraciones se puede ver que en la sección de “Resultados” se muestran los datos obtenidos de cada parte del modelo propuesto. De esta forma, se puede proceder a analizar lo obtenido en cada paso del modelo de acuerdo a los requerimientos de la gerencia. Aquí se consideran las variables:

- Producción semanal
- Producción requerida por etapa
- Producción etapa ajustada con residuos
- Tiempos de producción en segundos y horas
- Residuos por etapa de producción en toneladas.

Indicadores:**Ilustración 70: Pantalla de Indicadores**

En la pantalla de “Indicadores” se muestran los parámetros de medición del modelo de acuerdo a los datos que hayan sido ingresados.

Modificación de parámetros

Demanda

NOMBRE	CÓDIGO	DEMANDA		PESO	RUTA DE PRODUCCIÓN				
		Venta semanal promedio (Ton)	Desviación estándar de la demanda	Peso (kg/tubo ¹)	CORTE	FORMADO	GALVANIZADO	ENDEREZADO	ROSCADO
#FUNICULAR BANANERO 1 1/4	A1	9,47	7,32	13,08	X	X			
#CONDUIT 1/2 X 3 MT. GALV.	A2	7,33	3,70	11,16	X	X	X	X	
#CONDUIT 3/4 X 3.05 MT. GALV.	A3	6,96	4,74	12,36	X	X	X	X	
#CUAD. HRC 25 x 25 x 1.50 x 6m NEGRO	A4	6,87	3,59	6,72	X	X			
#CUAD. HRC 40 X 40 X 1.50 X 6M NEGRO	A5	5,30	3,80	10,92	X	X			
#CUAD. HRC 40 X 40 X 2.00 X 6M NEGRO	A6	4,20	2,98	14,46	X	X			
#CUAD. HRC 50 X 50 X 2.00 X 6M NEGRO	A7	4,02	2,40	18,18	X	X			
#POSTE EC. 50.80 X 1.80 X 6 MT GALV.	A8	3,95	2,51	13,08	X	X	X	X	
MUEBLE HRC 50.80 X 2.00 X 6 MT GALV.	A9	3,90	3,24	14,46	X	X	X	X	
MUEBLE HRC 50.80 X 1.50 X 6 MT GALV.	A10	3,74	2,96	10,92	X	X	X	X	
#CUAD. HRC 25 X 25 X 2.00 X 6M NEGRO	A11	3,30	2,71	8,82	X	X			
#CUAD. HRC 40 x 40 x 1.50 x 6M GALV.	A12	3,08	2,18	11,16	X	X	X	X	
#RECT. HRC 50 X 25 X 1.50 X 6M NEGRO	A13	3,07	1,99	10,56	X	X			
#POSTE 1 1/2 X 6 MT. GALV.	A14	3,01	1,51	12,36	X	X	X	X	
#CUAD. HRC 25 X 25 X 1.50 X 6M GALV.	A15	3,00	1,61	6,9	X	X	X	X	
#ISO L2 1/2 X 6 MT GALV. ROSC	A16	2,95	2,05	5,7	X	X	X	X	X
#MUEBLE HRC 38.10 X 1.50 X 6MT GALV.	A17	2,95	1,86	8,1	X	X	X	X	
#POSTE 2 X 6 MT. GALV.	A18	2,79	1,45	15,6	X	X	X	X	
#POSTE EC. 38.10 X 1.80 X 6 MT GALV.	A19	2,75	2,16	9,66	X	X	X	X	
#ISO L2 2 X 6 MT GALV. ROSC.	A20	2,73	2,31	24,6	X	X	X	X	X
#CONDUIT 1 X 3 MT. GALV.	A21	2,63	2,28	8,28	X	X	X	X	
#MUEBLE HRC 31.80 X 1.50 X 6MT GALV.	A22	2,63	1,79	6,72	X	X	X	X	
#RECT. HRC 50 X 25 X 2.00 X 6M NEGRO	A23	2,60	2,11	13,98	X	X			

Ilustración 71: Pantalla de demanda

En esta pantalla se puede modificar la demanda semanal (media y desviación estándar), el peso del producto y la ruta de producción, marcando con una “X” las etapas por las que tiene que pasar.

<u>CORTE</u>	Media	Desviación		Media	DS	
Preparación de bobina	69,41	5,683		Corte	1390,06	25,040
Preparación previa a corte	92,23	7,389		Formado	1684,4	34,886
Set-up máquina	91,52	3,574		Galvanizado	2503,34	63,983
Corte de Flejes	621,7	9,629		Enderezado	3604,7	71,061
Embobinado de flejes	397,6	19,25		Roscado	3920	124,396003
Almacenamiento de flejes	117,6	8,002				
TOTAL	1390,06	25,040				
<u>FORMADO</u>	Media	Desviación				
Preparación para formado	223,5	23,76	Pendiente Recta			
Conformado	1101		-44,8			
Preparación de paquete de tubos	239,4	22,41				
Almacenamiento de paquete de tubos	120,5	12,26				
TOTAL	1684,4	34,886				
<u>GALVANIZADO</u>	Media	Desviación				
Preparación para galvanizado	157	5,849				
Desengrasante	481,2	37,37				
Ácido	595					
Enjuague	53,04	7,751				
Flux	182,7	23,58				
Zinc	331,4	25,53				
Enfriamiento	297,5	17,22				
Control de calidad	135,3	11,84				
Preparación final de paquetes	270,2	30,96				
TOTAL	2503,34	63,983				
<u>ENDEREZADO</u>	Media	Desviación				
Preparación para enderezado	122,7	10,42				
Enderezado	2338	64,31				
Empaquetado de tubos	907,6	21,46				
Almacenamiento de tubos	236,4	18,57				
TOTAL	3604,7	71,061				
<u>ROSCADO</u>	Media	Desviación				
Preparación para roscado	120,2	12,22				
Roscado	2711	93,88				
Empaquetado de tubos	868	78,12				
Almacenamiento de tubos	220,8	20,22				
TOTAL	3920	124,396				

Ilustración 72: Pantalla de capacidad

En esta pantalla se puede modificar los tiempos de producción por etapa en cada elemento del proceso y además la variabilidad correspondiente al mismo. Se debe ingresar la media y desviación estándar medidas.

CÓDIGO	Corte	Formado	Galvanizado	Enderezado	Roscado
A1	1	1	3	1	1
A2	1	1	3	1	0
A3	0	2	6	2	1
A4	0	4	3	0	0
A5	0	2	5	1	1
A6	1	1	4	0	0
A7	1	2	2	1	0
A8	0	4	5	1	0
A9	0	4	2	1	1
A10	1	4	5	2	2
A11	1	2	4	2	2
A12	0	4	6	0	0
A13	1	2	4	0	2
A14	0	2	2	1	2
A15	1	4	3	2	1
A16	0	2	4	1	2
A17	1	4	3	1	2
A18	0	4	6	2	2
A19	1	4	6	2	2
A20	0	3	3	1	2
A21	1	2	6	1	2
A22	2	4	4	2	2
A23	1	4	3	0	0
A24	0	2	2	0	2
A25	0	1	3	1	0
A26	0	2	3	1	2
A27	1	4	5	2	1
A28	1	4	3	1	2
A29	1	4	4	0	0
A30	0	3	3	2	1

Ilustración 73: Pantalla de residuos

En esta pantalla se puede modificar los residuos por sección y por producto. De tal forma que posteriormente permitirán calcular los residuos totales producidos en cada etapa.

Porcentaje de tiempo no disponible:		0,1	
	Número de turnos	Tiempo total (minutos)	Tiempo Efectivo
Corte	18	144	129,6
Formado	21	168	151,2
Galvanizado	18	144	129,6
Enderezado	21	168	151,2
Roscado	12	96	86,4
			Valor Z
Nivel de servicio		0,8	0,841621234
Porcentaje de variabilidad considerada		0,9	1,281551566
Holgura recomendadas en la industria		5%	

Ilustración 74: Pantalla de Tiempos

En esta pantalla se pueden ingresar los tiempos disponibles y porcentaje de tiempos no disponibles de producción, el número de turnos y su respectiva duración. Además, se puede establecer el nivel de servicio deseado, el porcentaje de variabilidad de los tiempos considerado, y la holgura recomendada para el cálculo de los tiempos estándar.

Costos

Modificación de parámetros:

Ganancia (\$/ton)	170		% de residuos no reutilizables	60%
			Costo de residuos (\$/ton)	910
Cargo	Operador		Cargo	Supervisor
Salario	294,92		Salario	296,38
Cargo	Hora normal	Hora nocturna	Hora extraordinaria	Hora extraordinaria nocturna
Operador	1,62	2,03	3,25	4,06
Supervisor	1,63	2,04	3,26	4,08
Etapas	Número de Operadores	Número de Supervisores	Costo (\$/hora)	
Corte	3	1	46,62	
Formado	3	1	74,8	
Galvanizado	4	1	54,65	
Enderezado	2	1	13,98	
Roscado	2	1	11,02	
Etapas	Número de horas requeridas:			
Corte	112,34			
Formado	129,24			
Galvanizado	113,11			
Enderezado	157,25			
Roscado	23,84			

Ilustración 75: Pantalla de Modificación de parámetros (Costos)

En esta pantalla se puede modificar los salarios para operador y supervisor, el número de operadores y supervisores por etapa, el costo por hora de producción de cada etapa, el porcentaje de residuos no reutilizables, el costo de estos residuos y la ganancia esperada por tonelada producida.

TOTAL COSTOS												
\$37.569,71												
TOTAL GANANCIAS												
INGRESOS				\$45.754,42				GANANCIA NETA SEMANAL				\$8.184,70
COSTO DE PERSONAL												
Etapa	HORAS REQUERIDAS				COSTO TOTAL POR ETAPA DE OPERADORES				COSTO TOTAL POR ETAPA DE SUPERVISORES			
	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas	Horas normales	Horas nocturnas	Horas extraordinarias	Horas extraordinarias nocturnas
Corte	65,000	47,344	0,000	0,000	316,66	288,31	0,00	0,00	106,08	96,58	0,00	0,00
Formado	65,000	55,000	9,242	0,000	316,66	334,93	90,04	0,00	106,08	112,20	30,16	0,00
Galvanizado	65,000	48,111	0,000	0,000	422,21	390,64	0,00	0,00	106,08	98,14	0,00	0,00
Enderezado	65,000	55,000	26,000	11,255	211,11	223,29	168,89	91,38	106,08	112,20	84,86	45,92
Roscado	23,843	0,000	0,000	0,000	77,44	0,00	0,00	0,00	38,91	0,00	0,00	0,00
					1344,08	1237,16	258,93	91,38	463,21	419,11	115,02	45,92

COSTO DE FÁBRICA		COSTO DE RESIDUOS	
Etapa	Costo de producción	Etapa	Costo de residuos
Corte	5237,48	Corte	928,08
Formado	9667,26	Formado	3917,12
Galvanizado	6181,51	Galvanizado	3126,81
Enderezado	2198,42	Enderezado	878,56
Roscado	262,75	Roscado	153,62
TOTAL	23547,43	TOTAL	9004,19

Ilustración 76: Pantalla de Costos

En la pantalla de costos, se muestran los gastos y ganancias obtenidas con el modelo propuesto.

Aquí, se presentan los siguientes rubros:

- Costos de fábrica
- Costos de personal
- Costos de residuos

Con lo que se obtiene:

- Total de costos
- Ingresos
- Ganancia neta semanal

CAPITULO 7: ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE DIMENSIONES

7.1. Propuesta General

En este apartado se analizará la característica de precisión de las dimensiones utilizando cartas de control.

Con la finalidad de poder entender la característica mencionada en la encuesta 2 sobre la precisión de las dimensiones (factor crítico para la decisión de compra), la cual obtuvo una calificación de “Muy Buena” frente a la competencia por asegurar la exactitud en sus medidas de espesor, largo y diámetro/ancho de las tuberías, se utilizarán cartas de control para comprobar la aseveración de los clientes. Cabe mencionar que pese a que se utilizan estas gráficas, éste estudio se refiere a las cartas no con la finalidad de controlar el proceso, sino que es utilizada como una herramienta de confirmación sobre la buena calidad de los productos reflejada en las encuestas.

Los supuestos para este estudio son:

- Se utilizan las cartas de control en las 3 familias de productos (tubos negros, galvanizados e inoxidable), y dentro de estas solo el producto de mayor rotación (Tubo Funicular Bananero 1 ¼ x 1,8 x 6mts), lo que quiere decir que de la lista de productos proveído por la empresa se obtiene el producto con mayores ventas por semana y se observan sus medidas de largo, diámetro/ancho y espesor, y estas mismas medidas se consideran para los tubos de las otras familias.
- Para la toma de datos se consideraron los productos terminados que se encuentran en la bodega de inventarios de la empresa.

7.2. Materiales

Los materiales usados para este estudio son listados a continuación:

- Calibrador Digital con una precisión de 0,001 mm (Ver Anexo 5)

- Micrómetro Digital con una precisión de 0,001 mm (Ver Anexo 6)
- Flexómetro de 8 metros con precisión de 1 mm (Ver Anexo 7)
- Formato para registro de medidas (Ver Anexo 8)

7.3. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra es calculado para una población infinita, ya que su población es la totalidad de tubos producidos por la fábrica, además de la cantidad que se mantiene en inventario. Los valores de las variables que formarán parte del cálculo del tamaño de la muestra son, nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), corresponde a un valor de $z = 1,96$ sigmas, ya que con este valor se minimizan los errores tipo 1 y tipo 2. Para asegurar una mayor diversidad de respuestas se elige un $p = q = 0,5$, ya que este valor hace que se maximice el tamaño de la muestra. Y un error muestral del 10%, ya que es recomendable un valor bajo, porque así se aumentará la precisión de la muestra:

$$N = \frac{(1,96)^2(0,50)(0,50)}{(0,10)^2} = 96,04 \approx 97$$

Pero se procederá a realizar la toma de datos de 100 muestras.

Este tamaño de 100 muestras será considerado como el número de mediciones para las tres mediciones específicas de largo, ancho y espesor de las tuberías.

7.4. Límites de Especificación

Al hablar con la Gerencia de Operaciones de la compañía, la empresa cuenta con una lista de tolerancias para cada dimensión de las tuberías. Es decir, se mantiene un registro de las tolerancias permitidas para cada espesor, largo y ancho/diámetro. Por lo que se proporcionó las tolerancias para el estudio de las cartas de control, las cuales se muestran en la Tabla 68. Así

como también, se tomó en consideración las especificaciones de tolerancias máximas de los clientes (Tabla 69) obtenidas a través la encuesta 2, como se presenta a continuación:

Característica	Valor Nominal (mm)	Tolerancia (mm) +/-	Límite Inferior (mm)	Límite Superior (mm)
Espesor	1,8	0,085	1,715	1,885
Ancho	42,20	0,1	42,10	42,30
Largo	6000	10	5990	6010

Tabla 68: Tabla de Límites de Especificación de la Empresa

Característica	Valor Nominal (mm)	Tolerancia (mm) +/-	Límite Inferior (mm)	Límite Superior (mm)
Espesor	1,8	0,11	1,69	1,91
Ancho	42,20	1,14	41,06	43,34
Largo	6000	6	5994	6006

Tabla 69: Tabla de Límites de Especificación de la encuesta 2

Para las cartas se utilizarán los límites de control dados por la empresa, pero como se puede ver claramente en las tablas de ambas especificaciones, si los datos se encuentran bajo control para los límites de especificación de la empresa también estarán dentro de los límites dados por los clientes en la encuesta 2, ya que estas especificaciones abarcan o son más “anchas” que las de la empresa.

7.5. Toma de Datos y Cartas de Control

La toma de datos se realizó en un periodo de una semana (5 días), lo que asegura la utilización de subgrupos racionales. Para esta división al conocer que se deben tomar 100 muestras, se procedió a medir 20 muestras diarias y registrarlas en la hoja de control. Para registrar las 3 medidas deseadas (largo, ancho, espesor) se seleccionaba un tubo aleatoriamente de cada familia de productos con características iguales y se realizaba la medición de las dimensiones. Así, al completar las 100 mediciones (20 mediciones diarias por 5 días) se realizaron las cartas de

control como un método de confirmación que las tuberías cuentan con las especificaciones de calidad sobre sus dimensiones.

Las cartas de control utilizadas son las cartas \bar{x} y R porque brindan una perspectiva visual sobre la tendencia central de las muestras, así como también para observar la variabilidad del proceso.

Carta de Control para Espesor:

La Ilustración 77 muestra la carta de control para las mediciones del espesor.

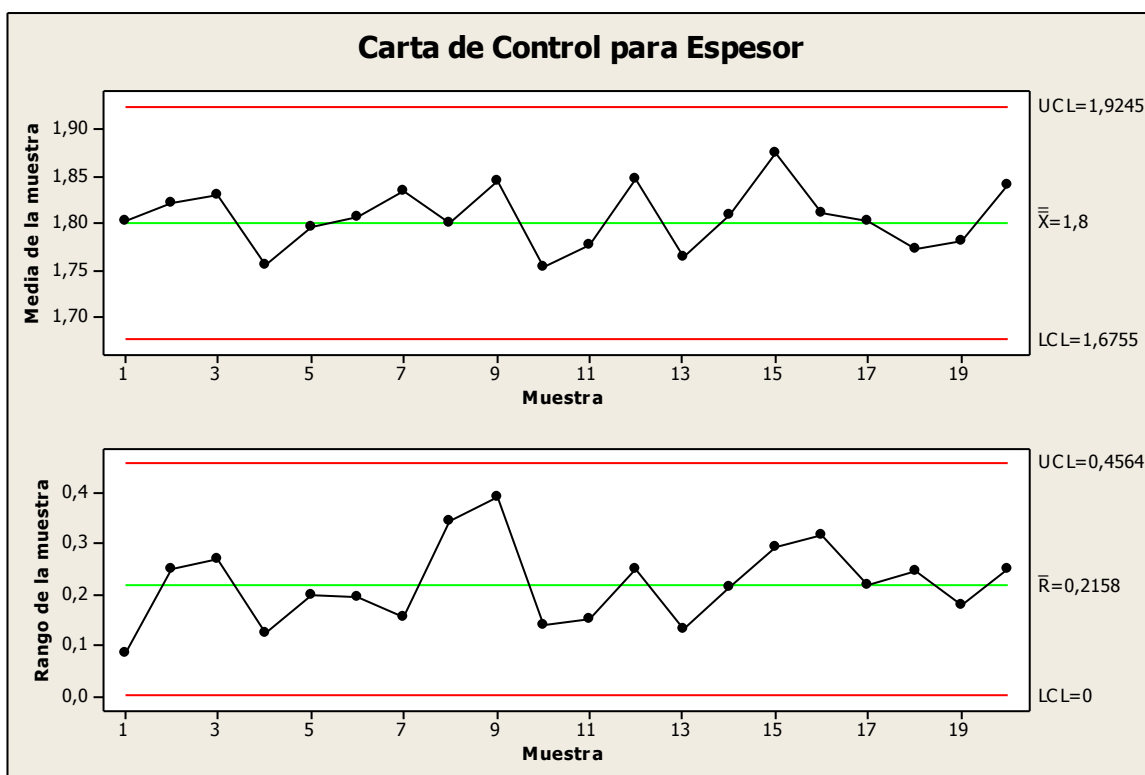


Ilustración 77: Carta de Control \bar{x} y R para el Espesor

Como se puede observar en la Ilustración 77, para la carta \bar{x} las 20 muestras se encuentran bajo control estadístico, ya que todos sus puntos se encuentran dentro de los límites de especificación.

Carta de Control para Ancho:

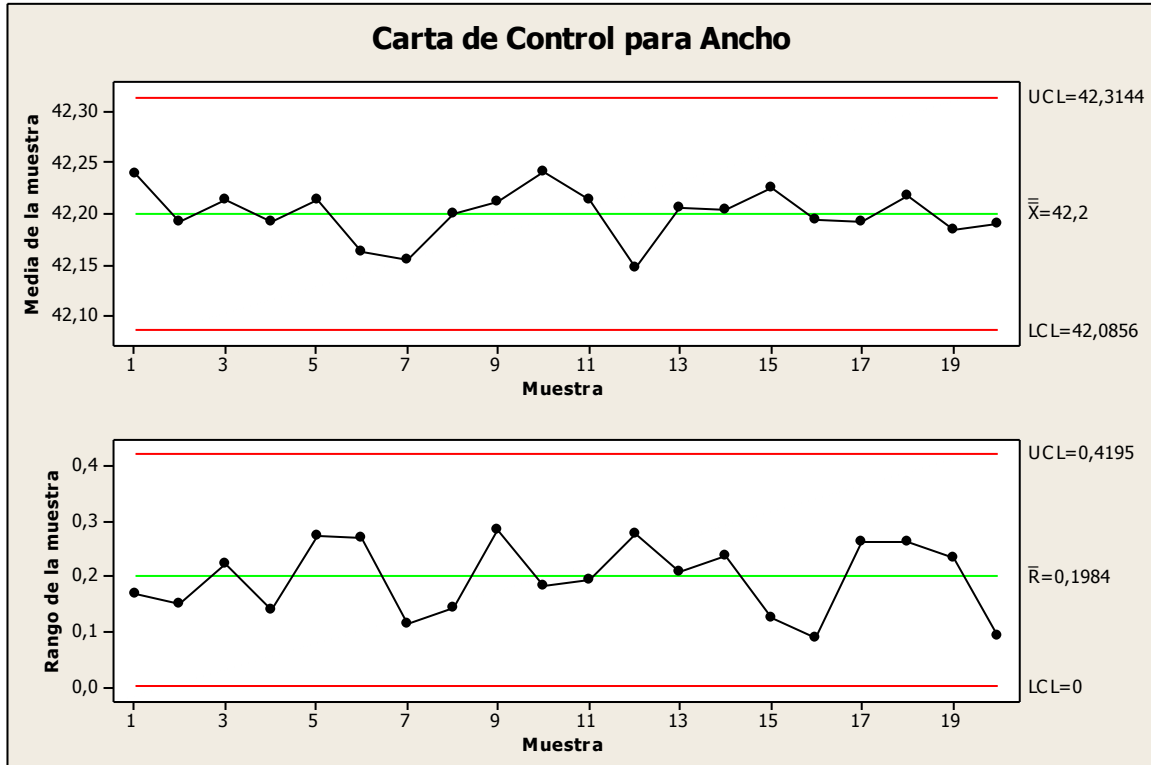


Ilustración 78: Carta de Control \bar{x} y R para el Ancho

En la Ilustración 78, se puede observar que los datos de las muestras para la carta \bar{x} se encuentran bajo control estadístico, ya que todos sus puntos se encuentran dentro de los límites de especificación.

Carta de Control para Largo:

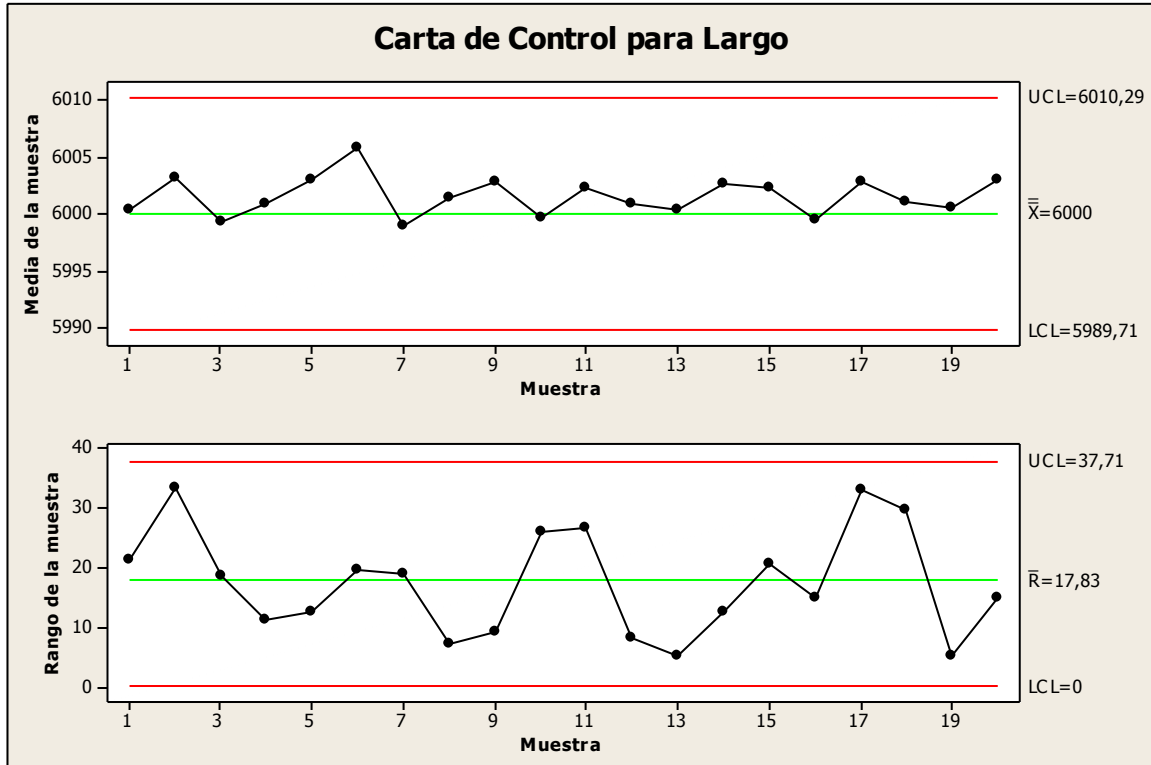


Ilustración 79: Carta de Control \bar{x} y R para el Largo

En la Ilustración 79, se puede observar que los datos de las muestras para la característica de largo en la carta \bar{x} se encuentran bajo control estadístico, porque todos sus datos se encuentran dentro de los límites de especificación.

Cabe recalcar que algunos de los datos sí se encontraban fuera de los límites de especificación al momento de las mediciones. Pero estos puntos individuales fuera de control no se observan en las gráficas porque el método de las cartas \bar{x} saca un promedio de las muestras para cada observación; es por esta razón que no se aprecian puntos fuera de control.

CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

8.1.1. Encuesta 1

- El mercado de la compañía se encuentra dividido de manera equiparada en 3 sectores de la ciudad Norte, Sur y Valle de los Chillos.
- El mercado en donde la compañía tiene mayor participación es el de clientes de tamaño medio ya que el 63% de sus clientes pertenece a esta clasificación. Es importante considerar que este mercado es el que posee mayor competencia ya que participan todos los competidores identificados por los clientes encuestados.
- La compañía posee 4 competidores directos para sus productos siendo estos Ideal, Ipac, Novacero y Tugalt. La mayor competencia para la compañía es Tugalt.
- El mercado con mayor saturación de competidores, analizado en base al número de empresas presentes, es el de compañías de tamaño medio, seguido por el de compañías grandes y finalmente por el de empresas pequeñas.
- La aceptación de la compañía es más alta entre compañías de tamaño grande, seguidas por las de tamaño medio y finalmente por las pequeñas.
- Los factores considerados de mayor importancia por los encuestados fueron 3: disponibilidad, precio y precisión de dimensiones. Pero una vez que se clasificaron las calificaciones por cada tamaño de las empresas encuestas se pudo identificar un factor de interés más, siendo este la presentación.
- A pesar que el precio fue considerado como el factor principal de mayor importancia para las encuestas realizadas a los clientes, en base a conversaciones con la gerencia se decidió no analizar este aspecto ya que en sus políticas se establece el no modificar

los precios de venta al público sino mantenerse al mismo nivel de precios que el mercado establezca. Las políticas internas junto con las estrategias comerciales de la compañía establecen que se debe seguir los precios establecidos en el mercado.

8.1.2. Encuesta 2

- En cuestión de disponibilidad, se obtuvo que el número promedio de días que las empresas están dispuestas a esperar por sus órdenes 7.34 días.
- La calificación más baja de los 3 factores se dio en disponibilidad ya que el mercado considera que los tiempos de entrega no son eficientes y en muchos casos ni siquiera cumplen con los plazos ofrecidos.
- La mayor parte del mercado considera necesario contar con etiquetado en los productos que reciben ya que consideran que es un elemento que permite utilizar eficientemente a la trazabilidad y prevenir fallas de tubos de lotes con errores similares. Por otro lado, un menor porcentaje, 35% aproximadamente, determinó que se requiere tener productos rebarbados.
- La presentación tuvo el segundo lugar en la calificación de los factores con un promedio de calificación de 4.15 sobre 5.
- Para el factor de precisión de dimensiones se obtuvo que la variación promedio esperada para las dimensiones de espesor, largo y ancho/diámetro es de 0.11 mm, 6.01 cm y 1.14 mm, respectivamente.
- Para el factor de precisión de las dimensiones se pudo determinar que es el que mejor calificación presenta en el mercado con respecto a su competencia. Su promedio final de calificación fue de 4.58 sobre 5.

8.1.3. Modelo de Capacidad y Propuestas

- Las etapas de producción con mayor utilización son las de corte, galvanizado y enderezado.
- Se determinó que la sección de enderezado es el cuello de botella del proceso productivo, con lo que si se desea aumentar la capacidad general de la fábrica, es necesario mejorar el rendimiento o aumentar maquinaria y personal en esta etapa de producción.
- Ya que la etapa de producción con mayor utilización fue la de enderezado, y en esta se realizan los procesos de rebarbado y etiquetado se requiere aumentar la capacidad de esta sección para poder cumplir con los requerimientos del mercado.
- La utilización de la capacidad de la propuesta 1 supera a la de la propuesta 2 en las etapas de Corte, Formado y Galvanizado por 3%, 3% y 1%, respectivamente. Las propuestas se mantienen iguales en la utilización de la capacidad de la fase de Enderezado mientras que solamente en la etapa de roscado la propuesta 2 supera a la propuesta 1 por 4%. Es importante considerar que mientras mayor utilización exista a nivel general, esto se refleja en una mejor utilización de los recursos disponibles para la producción.
- Otro indicador que es necesario considerar es el número de toneladas producidas con esta propuesta. La propuesta 1 supera a la propuesta 2 en toneladas de producto fabricadas, se tiene que existe una diferencia de 35,78 toneladas.
- En el indicador de los residuos generados por cada etapa de producción se pudo determinar que la propuesta 1 supera en el número de toneladas de desperdicios y reprocesos generados en la propuesta 2. La Propuesta 2 generaría menos toneladas de desperdicios y reprocesos en las etapas de Corte, Formado, Galvanizado y

Enderezado. Mientras que la etapa de Roscado sería la única etapa en la que la propuesta 1 produciría menor cantidad de residuos. Se debe tomar en cuenta que la menor cantidad de residuos generará ahorros en materia prima y tiempos de producción para la fábrica. La cantidad total de residuos para la primera propuesta es de 14,30 toneladas; en cambio, el tonelaje total de residuos y reprocesos en la propuesta 2 es de 13,8.

- La propuesta 2 presentó mayores beneficios económicos para la compañía, ya que supera en ganancias netas por un valor de 7,031.49 dólares por cada semana de producción.

8.1.4. Análisis de Precisión de las Dimensiones

- Se logró demostrar que las 3 características a ser medidas (espesor, ancho y largo) confirman la buena calidad que mantiene la empresa en la producción de sus tuberías.
- Como Montgomery menciona, “si todos los puntos se localizan dentro de los límites de control y no es evidente ningún comportamiento sistemático, se concluye entonces que el proceso estaba bajo control en el pasado, y los límites de control de prueba son apropiados para controlar la producción actual o futura” (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2007). Por la aseveración anterior se puede afirmar que si la producción de las tuberías para las características del tubo de mayor rotación cumplen con las especificaciones de calidad, entonces estas especificaciones se cumplen para el resto de tuberías producidas por la fábrica.
- Al tratarse de un proceso de producción automatizado, se puede concluir que si la muestra de tubos estudiados cumple con las exigencias de la empresa y la demanda, todos los tubos producidos cumplirán con las especificaciones ya que estas tuberías se

inician en la misma máquina de formado y fluyen de manera similar a través del resto de etapas del proceso.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar la propuesta de mejora 2, reduciendo el número de productos en catálogo a 49 con el fin de aumentar la disponibilidad de producto terminado y cumplir con la demanda y los parámetros establecidos por el modelo.
- Se recomienda vender los residuos del proceso productivo con el fin de reducir las pérdidas en este rubro. De acuerdo a una consulta realizada, estos residuos se pueden vender como chatarra a un precio de 250 dólares por tonelada.
- Se recomienda las utilidades del modelo y la herramienta desarrolladas para una mejor planificación de la producción. Para esto, en las reuniones semanales (día viernes) se deberá planificar en base a la capacidad de la planta y a las demandas semanales esperadas.
- Si se desea cumplir con el requerimiento del mercado en cuanto al factor de presentación, se recomienda la adquisición de una nueva máquina de etiquetado y la contratación de un nuevo operario para la actividad de rebarbado de las tuberías.
- Se recomienda realizar un ajuste anual a la medición de tiempos con la finalidad de mantener actualizado el modelo desarrollado para garantizar que las conclusiones e indicadores del mismo sean más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

- AIU. (2010). *Planeación Agregada*. Obtenido de <http://cursos.aiu.edu/Control%20de%20la%20Produccion/PDF/Tema%202.pdf>
- Alguero, J. M. (2009). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_253.pdf
- Araque, W. (2011). *Pyme y la Ley Orgánica de Regulación y Control de Poder de Mercado (LORCPM)*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2004). *Discrete Event System Simulation*. Prentice Hall.
- Beltrán, H. (2011). *Metales Proyecciones 2011*. Business News Americas.
- Bertolino, S., Cloutier, E., & Lynch, D. (2003). How to scope DMAIC Projects. *Quality Progress*, 37-41.
- Canela, M. (2010). *Medida de la satisfacción del cliente*. Departamento de matemática aplicada y análisis.
- Cisneros, P. (07 de Febrero de 2012). Procesos: Grupos de Procesos.
- Conduit del Ecuador: Fujinox* (2009). [Película].
- Construir. (11 de 11 de 2011). La Construcción. *El Comercio*.
- Fundibeq. (2010). *Diagrama de Pareto*. Obtenido de http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_pareto.pdf
- InfoAcero. (2010). *¿Qué es el acero?* Obtenido de http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm
- Kubiec- *Conduit*. (2012). Obtenido de http://www.kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=5&Itemid=53

- Kubiec-Conduit*. (2012). Obtenido de http://www.kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=5&Itemid=53
- Lokad. (2012). *Nivel de Servicio*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2012, de <http://www.lokad.com/es.nivel-de-servicio-definicion-y-formula.ashx>
- López, J. (23 de Marzo de 2012). *Proyectos en Conduit del Ecuador*. (D. Freire, & I. Ríos, Entrevistadores)
- Luna, L. (16 de 05 de 2012). *Ecuador: La industria metálica y su importancia*. Obtenido de <http://solocquenadacbyllunao.blogspot.com/2012/05/ecuador-la-industria-metalica-y-su.html>
- Maynard, H. (2005). *Industrial Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador. (2012). *Código de Salarios Mínimos Sectoriales*. Quito.
- Minitab Inc. (2007). *Minitab 15: Meet Minitab*.
- Montgomery, D. (2007). *Control Estadístico de la Calidad*. Limusa Wiley.
- Montgomery, D., & Runger, G. (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la Ingeniería*. México: McGraw-Hill.
- Negocios. (05 de 07 de 2011). *La Construcción creció con los hipotecarios*. *El Comercio*.
- Niebel W, B. (1990). *Ingeniería Industrial: Métodos, Tiempos y Movimientos*. México: Alfaomega.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. México: Alfaomega.
- Pavletic, D., Sokovic, M., & Kern, K. (2010). Quality Improvement Methodologies - PDCA Cycle, RADAR, Matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 476-483.

- Petroche, M., & Camino, C. (2004). *Análisis de las capacidades de manufactura de una fábrica de galletas para la redistribución de sus líneas de producción.*
- Ponce, J. (14 de 06 de 2012). La Construcción . *El Comercio* .
- PrintoPac. (2009). *Zuncho*. Obtenido de <http://www.printopac.com/zuncho.php>
- Rodríguez, J. (2012). *Técnicas Cuantitativas: Escala de Likert*. Universidad de Viña del Mar.
- Salazar, B. (2011). *Ingenieros Industriales: Indicadores de los Sistemas de Producción*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2012, de <http://ingenierosindustriales.jimdo.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/indicadores-de-producci%C3%B3n/>
- Sanabria, S. (2009). *Toma de Tiempos: Metodología para Toma de Tiempos*. Bogota.
- Sánchez, J. (2008). *edirectivos: ¿Qué es la capacidad de utilización productiva?* Obtenido de http://www.edirectivos.com/articulos/1000035173-que-es-la-capacidad-de-utilizacion-productiva/no_access
- Scheaffer, R., Mendenhall, W., & Ott, L. (1987). *Elementos de Muestreo*. California: Iberoamérica.
- Sitsa, G. (2010). *Tuberías de Acero*. Obtenido de <http://www.tuberias.mx/tuberiaacero.html>
- Tichy, M., & Bentley, S. (2010). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/A3_Glossary_ES.pdf
- Tong, J., Tsung, F., & Yeng, B. (2004). A DMAIC approach to printed circuit board quality improvement. *Advanced Manufacturing Technology* , 523-531.
- UCLM. (2012). *Pruebas no paramétricas: Pruebas de Normalidad*. Obtenido de http://www.uclm.es/actividades0708/cursos/estadistica/pdf/descargas/SPSS_PruebasNoParametricas.pdf

UTB, U. T. (2010). *6 Sigma: Guía Práctica Fase Definir*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2012, de <http://6sigma.shibumi.ws/files/CARTILLA%20DEFINIR.pdf>

Vallejo, P. M. (2011). *Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?* Recuperado el 05 de Noviembre de 2012, de <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>

Vigo, U. d. (2009). *GESTIÓN DE LA CALIDAD, LA SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE (4º ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL): El Diagrama de Pareto*. Obtenido de <http://gio.uvigo.es/asignaturas/gestioncalidad/GCal0405.DiagramaPareto.pdf>

Vizuet, V. (02 de 12 de 2011). El repunte inmobiliario. *El Comercio* .

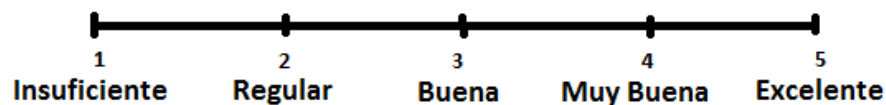
ANEXOS**Anexo 1: Tabla de valores críticos de Kolmogorov-Smirnov**

Table A.8 Kolmogorov-Smirnov Critical Values

Degrees of Freedom (N)	$D_{0.10}$	$D_{0.05}$	$D_{0.01}$
1	0.950	0.975	0.995
2	0.776	0.842	0.929
3	0.642	0.708	0.828
4	0.564	0.624	0.733
5	0.510	0.565	0.669
6	0.470	0.521	0.618
7	0.438	0.486	0.577
8	0.411	0.457	0.543
9	0.388	0.432	0.514
10	0.368	0.410	0.490
11	0.352	0.391	0.468
12	0.338	0.375	0.450
13	0.325	0.361	0.433
14	0.314	0.349	0.418
15	0.304	0.338	0.404
16	0.295	0.328	0.392
17	0.286	0.318	0.381
18	0.278	0.309	0.371
19	0.272	0.301	0.363
20	0.264	0.294	0.356
25	0.24	0.27	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.21	0.23	0.27
Over 35	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Source: F. J. Massey, "The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit," *The Journal of the American Statistical Association*, Vol. 46. © 1951, p. 70. Adapted with permission of the American Statistical Association.

Anexo 1: Tabla de valores críticos para la prueba Kolmogorov-Smirnov

Anexo 2: Formato Encuesta 1**Nombre de la Empresa:****Tamaño:** Pequeña (1-49) Mediana (50-199) Grande (200 o más) **# Sucursales:****Sector:****Principales Proveedores:**
.....
.....**Marque en orden de importancia del 1 al 6 (6 Más Importante – 1 Menos Importante) los siguientes factores que considera al momento de realizar su compra o pedido:**• **Disponibilidad** (tiempo de entrega del producto) • **Precio** (cantidad en USD \$) • **Atención** (relación vendedor-cliente) • **Precisión de Dimensiones** (espesor, longitud, diámetro) • **Presentación** (percepción visual del producto) • **Gama de productos** (diversidad de tipo de tuberías) **Otro:****¿Porque su elección?****¿Calificación en relación a la competencia?**

Anexo 3: Formato Encuesta 2**Nombre de la Empresa:****Defina indicadores para cada uno de los factores presentados a continuación:****DISPONIBILIDAD**Tiempos de entrega Días

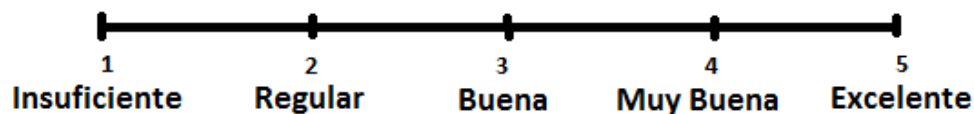
Otro:

Calificación frente a la competencia (escala 1 – 5): **PRESENTACIÓN**Tubos rebarbados Tubos etiquetados

Otro:

Calificación frente a la competencia (escala 1 – 5): **PRECISIÓN EN DIMENSIONES**Tolerancia del error del espesor: mmTolerancia del largo: cmTolerancia del ancho: mm

Otro:

Calificación frente a la competencia (escala 1 – 5): 

Anexo 5: Calibrador Digital**Anexo 5: Calibrador Digital**

Anexo 6: Micrómetro Digital**Anexo 6: Micrómetro Digital**

Anexo 7: Flexómetro**Anexo 7: Flexómetro**

Anexo 8: Formato para la toma de medidas para las cartas de control**FORMATO PARA TOMA DE MEDIDAS**

#	FECHA	TUBO	LARGO	ANCHO	ESPESOR	OBSERVACIONES
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Anexo 8: Formato para la toma de medidas