

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Análisis y Propuesta de Reducción de Desperdicio en el Proceso de
Elaboración de Aglomerado en Novopan del Ecuador S.A.**

**Sebastián Mena
Diego Suárez**

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

Quito, marzo 2011

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería
HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Análisis y Propuesta de Reducción de Desperdicio en el Proceso de
Elaboración de Aglomerado en Novopan del Ecuador S.A.**

Sebastián Mena
Diego Suárez

Daniel Merchán, MSc

Director de Tesis

Alba María Cabezas, MSc

Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, PhD

Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, MSc

Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, marzo 2011

DEDICATORIA

A nuestros padres, profesores y amigos, que gracias a su inmenso esfuerzo, incondicional apoyo, desafiantes exigencias y generosa amistad hemos logrado finalizar esta etapa con mucho éxito y felicidad. Siempre estaremos infinitamente agradecidos.

RESUMEN

En este proyecto se considera el problema de desperdicio en la fábrica de tableros aglomerados de Novopan del Ecuador. Se utiliza un enfoque en la metodología científica para examinar este tema y desarrollar una propuesta de optimización para el proceso productivo. El análisis se fundamenta en el uso de diversas herramientas estadísticas orientadas a determinar parámetros de producción que permitan la reducción de productos de mala calidad y otras formas de desperdicio.

ABSTRACT

The project analyzes the waste problem in Novopan del Ecuador's particleboard factory located in Itulcachi, Pichincha. It is used a scientific methodology approach to study this case and develop an optimization proposal for the production line. The analysis is based on the use of statistical tools focused on obtaining production parameters that will enable the reduction of poor quality products and other types of waste.

INDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Antecedentes	2
1.5. Justificación	3
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Control Estadístico de Procesos	5
2.1.1. Gráficas de Control	6
2.1.1.1. Cartas de Control para Variables	7
2.1.1.2. Cartas de Control para Atributos	8
2.1.1.3. Reglas de Sensibilidad para Cartas de Control	8
2.1.1.4. Cartas de Control para Mediciones Individuales y Rango Móvil	9
2.1.2. Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control	10
2.2. Análisis Causal	10
2.2.1. Pareto	12
2.2.1.1. Principio de Pareto	12
2.2.1.2. Diagrama de Pareto	12
2.2.2. Diagrama de Causa y Efecto	13
2.3. Levantamiento de Procesos	14
2.3.1. Diagramas de Flujo	14
2.3.2. Mapa de Procesos	15
2.3.3. Modelo IDEF0	16
2.3.4. Cadena de Valor	18
2.4. Herramientas Estadísticas	19
2.4.1. Prueba de Hipótesis de Dos Proporciones	19
2.4.2. Prueba de Normalidad de Datos Anderson Darling	19
2.4.3. Diagramas de Dispersión	19
2.4.3.1. Coeficiente de Correlación	20
2.4.4. Prueba ANOVA	20
2.4.5. Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad	21
2.4.6. Capacidad del Proceso	22
2.4.6.1. Índices de Capacidad	22
2.5. Diseño de Experimentos	23
2.5.1. Diseño Factorial	24

2.5.1.1.	Diseño Factorial 2 ^k	24
2.5.2.	Diseño Central Compuesto	25
2.5.2.1.	Puntos Factoriales	26
2.5.2.2.	Puntos Axiales	26
2.5.2.3.	Puntos Centrales	28
3.	CAPÍTULO III: ENTENDIMIENTO DE LA EMPRESA Y EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGLOMERADO	29
3.1.	Breve Descripción de la Empresa	29
3.2.	Productos Ofrecidos	30
3.3.	Participación en el Mercado	32
3.4.	Diagnóstico Actual de la Empresa	32
3.4.1.	Lista Maestra de Procesos.....	32
3.4.2.	Mapa de Procesos de la Empresa	33
3.4.2.1.	Nivel 0 de Procesos.....	33
3.4.2.2.	Nivel 1 de Procesos.....	33
3.4.2.3.	Nivel 2 de Procesos.....	34
3.4.3.	Cadena de Valor.....	35
3.4.4.	Descripción del Proceso de Fabricación de Tableros MDP	36
3.4.4.1.	Recepción y Almacenamiento de Madera.....	36
3.4.4.2.	Molienda	36
3.4.4.3.	Secado y Clasificación de Material	37
3.4.4.4.	Encolado y Formación de Colchón	37
3.4.4.5.	Prensado	37
3.4.4.6.	Corte y Apilamiento	38
3.4.4.7.	Lijado y Laminado.....	38
3.4.5.	Descripción del Sistema de Control de Calidad Actual.....	38
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGLOMERADO	40
4.1.	Medidas de Desempeño Propuestas para el Proceso de Elaboración de Aglomerado 40	
4.1.1.	Proporción de Producción de Tableros Clase R en la Sierra 1	40
4.1.1.1.	Estimación de la Medida de Desempeño	41
4.1.1.2.	Tipos de Defectos de Producción de Tableros Clase R	43
4.1.1.3.	Análisis Causal	45
4.1.1.4.	Validación de Causa Raíz.....	45
4.1.1.5.	Discusión de la Proporción de Producción de Tableros Clase R.....	48
4.1.2.	Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno	48

4.1.2.1.	Estimación de la Medida de Desempeño	49
4.1.2.2.	Prueba de Normalidad de Datos	52
4.1.2.3.	Tipos de Defectos de Desecho de Material.....	53
4.1.2.4.	Análisis Causal	55
4.1.2.5.	Discusión de la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno 55	
4.2.	Conclusiones Generales del Desempeño del Proceso de Elaboración de Aglomerado 57	
5.	CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN DE LA ETAPA DE PREPARACIÓN DE MADERA	58
5.1.	Definición de la Variable de Respuesta.....	58
5.2.	Análisis y Validación del Sistema de Medición.....	58
5.3.	Análisis de Capacidad de la Etapa de Preparación de Madera	64
5.3.1.	Molienda Hombak 1	65
5.3.1.1.	Prueba de Normalidad de Datos.....	65
5.3.1.2.	Análisis de Capacidad del Proceso y Conclusiones	66
5.3.2.	Molienda Hombak 2.....	68
5.3.2.1.	Prueba de Normalidad de Datos.....	68
5.3.2.2.	Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones	69
5.3.3.	Secado de Material.....	71
5.3.3.1.	Prueba de Normalidad de Datos.....	71
5.3.3.2.	Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones	72
5.3.4.	Encolado Material Fino	74
5.3.4.1.	Prueba de Normalidad de Datos.....	74
5.3.4.2.	Análisis de Capacidad del Proceso y Conclusiones.....	75
5.3.5.	Encolado Material Grueso.....	77
5.3.5.1.	Prueba de Normalidad de Datos.....	77
5.3.5.2.	Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones	78
5.4.	Selección de la Oportunidad de Mejora	79
5.5.	Diseño Experimental.....	81
5.5.1.	Diseño Factorial Para Pino Rollizo.....	82
5.5.1.1.	Determinación de Factores y Niveles del Diseño	82
5.5.1.2.	Parámetros del Diseño	83
5.5.1.3.	Análisis de Datos y del Modelo	84
5.5.2.	Diseño Central Compuesto Para Pino Rollizo	86
5.5.3.	Determinación de Parámetros de Optimización para Pino Rollizo.....	89
5.5.4.	Diseño Factorial Para Eucalipto Rollizo	90
5.5.4.1.	Determinación de Factores y Niveles del Diseño	90

5.5.4.2.	Parámetros del Diseño	90
5.5.4.3.	Análisis de Datos y del Modelo	91
5.5.5.	Diseño Central Compuesto Para Eucalipto Rollizo.....	93
5.5.6.	Determinación de Parámetros de Optimización para Eucalipto Rollizo	97
5.5.7.	Consideraciones de la Optimización del Proceso	97
6.	CAPÍTULO VI: SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE LA ETAPA DE PREPARACIÓN DE MADERA.....	99
6.1.	Determinación de Puntos de Control Estadístico de Calidad	99
6.2.	Selección del Modelo de Cartas de Control	100
6.3.	Política de Muestreo	101
6.4.	Construcción de las Cartas y Límites de Control.....	102
6.4.1.	Salida del Molino Hombak 1	103
6.4.2.	Salida del Molino Hombak 2	105
6.4.3.	Salida del Secadero.....	107
6.4.4.	Humedad a la Salida del Silo 5	109
6.4.5.	Humedad a la Salida del Silo 6	112
6.4.6.	Humedad a la Salida de la Encoladora SL.....	115
6.4.7.	Humedad a la Salida de la Encoladora CL.....	117
6.5.	Desarrollo de Formatos de Control	119
6.6.	Desarrollo del Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control	119
6.6.1.	Identificación de Situaciones Fuera de Control	119
6.6.2.	Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control	120
6.7.	Consideraciones para la Implementación del Sistema de Control Estadístico.....	120
6.7.1.	Instrucciones del Sistema de Control Estadístico.....	120
6.7.2.	Políticas Administrativas	121
6.7.2.1.	Liderazgo de la Administración	121
6.7.2.2.	Enfoque en el Trabajo en Equipo.....	121
6.7.2.3.	Capacitación de los Empleados en Todos los Niveles	122
6.7.2.4.	Énfasis en la Reducción de la Variabilidad	122
6.7.2.5.	Medir el Éxito en Términos Cuantitativos	123
6.7.2.6.	Comunicar Resultados Exitosos en Toda la Organización	123
7.	CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
7.1.	Beneficios y Consideraciones de la Implementación del Proyecto	125
7.2.	Conclusiones	125
7.3.	Recomendaciones	126
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	128
ANEXOS.....		132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formato OCAP.....	10
Tabla 2: Simbología de Flujograma.....	15
Tabla 3: Intervalo de Confianza del 99% para Proporción de Tableros Clase R.....	43
Tabla 4: Frecuencia de Tableros Clase R por Tipo de Defectos.....	43
Tabla 5: Datos de Producción de Tableros Clase R de Turnos de Producción Según Humedad de Encolado.....	47
Tabla 6: Resultados de Minitab de Prueba de Hipótesis de Dos Proporciones	47
Tabla 7: Intervalo de Confianza del 99% para Proporción Promedio de Partículas Desechadas por Turno	52
Tabla 8: Material Desechado por Tipo de Defectos.....	53
Tabla 9: Resultados de ANOVA para Mediciones de Humedad en Estudio R&R.....	62
Tabla 10: Resultados de Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad	63
Tabla 11: Índices de Capacidad del Proceso de Molienda de Hombak 1	68
Tabla 12: Índices de Capacidad del Proceso de Molienda de Hombak 2	70
Tabla 13: Índices de Capacidad del Proceso de Secado de Partículas.....	73
Tabla 14: Índices de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Superficial	76
Tabla 15: Índices de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Central	79
Tabla 16: Factores y Niveles Para Diseño Factorial de Pino Rollizo	83
Tabla 17: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Inicial de Pino Rollizo	85
Tabla 18: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Final de Pino Rollizo	86
Tabla 19: Modelo de Ajuste de Datos de Diseño Central Compuesto de Pino Rollizo.....	87
Tabla 20: ANOVA Final para Diseño Central Compuesto de Pino Rollizo.....	88
Tabla 21: Factores y Niveles Para Diseño Factorial de Eucalipto Rollizo	90
Tabla 22: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Inicial de Eucalipto Rollizo.....	91
Tabla 23: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Final de Eucalipto Rollizo	92
Tabla 24: Modelo de Ajuste de Datos de Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo	93
Tabla 25: ANOVA Inicial para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo (Paso 1).....	94
Tabla 26: ANOVA Inicial para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo (Paso 2).....	95
Tabla 27: ANOVA Final para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo.....	96
Tabla 28: Política de Muestreo en los Puntos de Control	102
Tabla 29: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Molino Hombak 1	104
Tabla 30: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Molino Hombak 2	106
Tabla 31: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida del Secadero.....	108
Tabla 32: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Silo 5.....	110
Tabla 33: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Silo 6.....	113
Tabla 34: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de la Encoladora SL.....	116
Tabla 35: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de la Encoladora CL.....	118

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para Coeficiente de Correlación.....	20
Ecuación 2: Índice de Capacidad Cp para Procesos Centrados	22
Ecuación 3: Índice de Capacidad Cpk para Procesos no Centrados	22
Ecuación 4: Sigma Estimado para el Cálculo de Índice de Capacidad.....	23
Ecuación 5: Índice de Desempeño Pp para Procesos Centrados.....	23
Ecuación 6: Índice de Desempeño Ppk para Procesos no Centrados.....	23
Ecuación 7: Sigma para Mediciones Individuales para el Cálculo de Índice de Desempeño	23
Ecuación 8: Valor de alfa para la poción factorial de un DCC	27
Ecuación 9: Valor de alfa para un diseño factorial completo	27
Ecuación 10: Forma de Cálculo de Proporción de Tableros Clase R en la Sierra 1	41
Ecuación 11: Tamaño de Muestra para Inferencia de una Proporción	41
Ecuación 12: Intervalo de Confianza de la Aproximación Poisson	42
Ecuación 13: Fórmula de Cálculo de Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno	49
Ecuación 14: Tamaño de Muestra para Inferencia de la Media de Variables Normales.....	50
Ecuación 15: Intervalo de Confianza para la Media de una Distribución Normal con Varianza Desconocida.....	51
Ecuación 16: Cálculo de Porcentaje de Humedad en Relación al Peso Inicial	58
Ecuación 17: Modelo Final para DCC de Pino Rollizo (Factores Codificados)	88
Ecuación 18: Modelo Final para DCC de Pino Rollizo (Factores No-Codificados).....	89
Ecuación 19: Modelo Final para DCC de Eucalipto Rollizo (Factores Codificados)	96
Ecuación 20: Modelo Final para DCC de Eucalipto Rollizo (Factores No-Codificados)	96
Ecuación 21: Límites de Control para la Carta de Mediciones Individuales de Shewhart	101
Ecuación 22: Límites de Control para la Carta de Rango Móvil de Shewhart.....	101
Ecuación 23: Ecuación de Rango Móvil	101

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Mapa de Procesos Nivel 0	33
Diagrama 2: Mapa de Procesos Nivel 1	33
Diagrama 3: Mapa de Procesos Nivel 2	34
Diagrama 4: Cadena de Valor de Novopan	35
Diagrama 5: Pareto para Defectos de Producción de Tableros Clase R	44
Diagrama 6: Diagrama de Dispersión y Correlación de Humedad Promedio de Encolado vs. Proporción de Producción de Tableros Clase R por Turno.....	46
Diagrama 7: Prueba de Normalidad de Datos de Proporción de Material Desechado por Turno	53
Diagrama 8: Pareto para Defectos de Material Desechado	54
Diagrama 9: Prueba de Normalidad de Datos de Mediciones de Estudio R&R	60
Diagrama 10: Prueba de Igualdad de Varianzas de Subgrupos de Datos de Estudio R&R	61
Diagrama 11: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Hombak 1	66
Diagrama 12: Análisis de Capacidad del Proceso de Molienda Hombak 1	67
Diagrama 13: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Hombak 2	69
Diagrama 14: Análisis de Capacidad del Proceso de Molienda en Hombak 2	70
Diagrama 15: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Secadero	72
Diagrama 16: Análisis de Capacidad del Proceso de Secado de Partículas	73
Diagrama 17: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Encoladora SL	75
Diagrama 18: Análisis de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Superficial	76
Diagrama 19: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Encoladora CL	77
Diagrama 20: Análisis de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Central	78
Diagrama 21: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Hombak 1	103
Diagrama 22: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Hombak 1	104
Diagrama 23: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Hombak 2	105
Diagrama 24: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Hombak 2	106
Diagrama 25: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad de Secadero	107
Diagrama 26: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad de Secadero	108
Diagrama 27: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en el Silo 5	109
Diagrama 28: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en el Silo 5	110
Diagrama 29: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Silo 5	111
Diagrama 30: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en el Silo 6	112
Diagrama 31: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en el Silo 6	113
Diagrama 32: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Silo 6	114
Diagrama 33: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Encoladora SL	115
Diagrama 34: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Encoladora SL	116
Diagrama 35: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Encoladora CL	117
Diagrama 36: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Encoladora CL	118

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Gráfica de Control	7
Ilustración 2: Diagrama de Pareto	13
Ilustración 3: Diagrama de Causa y Efecto	14
Ilustración 4: ICOM	17
Ilustración 5: Cadena de Valor	18
Ilustración 6: Diagrama de Dispersión.....	20
Ilustración 7: Diseño Central Compuesto	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Lista Maestra de Procesos en Novopan.....	132
Anexo 2: Mapa del Proceso de Fabricación de Tableros MDP.....	131
Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad.....	134
Anexo 4: Datos de Producción de Tableros en Sierra 1.....	139
Anexo 5: Diagrama de Causa y Efecto para Tableros Reventados.....	140
Anexo 6: Muestra Piloto para Cálculo de Tamaño de Muestra de Material al Rechazado al Sistema Reject.....	141
Anexo 7: Datos de Proporción de Material Rechazado por Turno.....	142
Anexo 8: Diagrama de Causa y Efecto para Presencia de Metales.....	143
Anexo 9: Diagrama de Causa y Efecto para Pegado de Capa Superior a Banda de Pre-Prensa.....	144
Anexo 10: Mediciones de Humedad para Análisis del Sistema de Medición.....	145
Anexo 11: Análisis Gráfico del Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad.....	146
Anexo 12: Mediciones de Porcentaje de Humedad en Salida del Molino Hombak 1.....	147
Anexo 13: Mediciones de Porcentaje de Humedad en Salida del Molino Hombak 2.....	148
Anexo 14: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Secadero.....	149
Anexo 15: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Silo 5.....	150
Anexo 16: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Silo 6.....	151
Anexo 17: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora SL.....	152
Anexo 18: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora CL.....	153
Anexo 19: Registros de Humedad de Ingreso de Pino Rollizo.....	154
Anexo 20: Tiempo de Almacenamiento de Rumas de Pino Rollizo.....	155
Anexo 21: Porcentaje de Humedad de Diseño Factorial para Pino Rollizo.....	156
Anexo 22: Porcentaje de Humedad de Diseño Central Compuesto para Pino Rollizo.....	157
Anexo 23: Parámetros de Optimización de Tiempo de Almacenamiento para Pino Rollizo.....	158
Anexo 24: Registros de Humedad de Ingreso de Eucalipto Rollizo.....	159
Anexo 25: Tiempo de Almacenamiento de Rumas de Eucalipto Rollizo.....	160
Anexo 26: Porcentaje de Humedad de Diseño Factorial para Eucalipto Rollizo.....	161
Anexo 27: Porcentaje de Humedad de Diseño Central Compuesto para Eucalipto Rollizo.....	162
Anexo 28: Parámetros de Optimización de Tiempo de Almacenamiento para Eucalipto Rollizo.....	163
Anexo 29: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Molino Hombak 1.....	164
Anexo 30: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida del Molino Hombak 1 (Causas Asignables Eliminadas).....	165
Anexo 31: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Molino Hombak 2.....	166
Anexo 32: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida del Molino Hombak 2 (Causas Asignables Eliminadas).....	167
Anexo 33: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Encoladora SL.....	168
Anexo 34: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora SL (Causas Asignables Eliminadas).....	169
Anexo 35: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Encoladora CL.....	170
Anexo 36: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora CL (Causas Asignables Eliminadas).....	171
Anexo 37: Formato de Control para Molienda Hombak 1.....	172
Anexo 38: Formato de Control para Molienda Hombak 2.....	173

Anexo 39: Formato de Control para Encoladora CL	174
Anexo 40: Formato de Control para Encoladora SL	175
Anexo 41: Formato de Control para Silo 5	176
Anexo 42: Formato de Control para Silo 6	177
Anexo 43: Formato de Control para Secadero	178
Anexo 44: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (puntos por encima de los límites de control).....	179
Anexo 45: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (puntos por debajo de los límites de control).....	180
Anexo 46: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (patrones sistemáticos) .	180
Anexo 47: Tabla OCAP Salida del Secadero (puntos por encima de los límites de control)	181
Anexo 48: Tabla OCAP Salida del Secadero (puntos por debajo de los límites de control)	182
Anexo 49: Tabla OCAP Salida del Secadero (patrones sistemáticos).....	183
Anexo 50: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (puntos por encima de los límites de control)	183
Anexo 51: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (puntos por debajo de los límites de control)	184
Anexo 52: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (patrones sistemáticos).....	184
Anexo 53: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (puntos por encima de los límites de control).....	185
Anexo 54: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (puntos por debajo de los límites de control).....	185
Anexo 55: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (patrones sistemáticos).....	186

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Los problemas de mala calidad y desperdicio son un problema importante dentro de la mayoría de las organizaciones, especialmente en las de manufactura. Cuando producto disconforme o desperdicio es producido, la compañía responsable afronta cuantiosos costos relacionados a la inversión de los recursos utilizados en la generación del producto. Por este motivo, es de gran importancia que las empresas modernas cuenten con procesos y mecanismos capaces de elaborar sus productos de manera eficiente, minimizando la cantidad de desperdicio y producto no conforme.

En este proyecto se abarcó el problema de mala calidad en la planta de tableros aglomerados de Novopan del Ecuador. Utilizando un enfoque científico y estadístico para analizar el problema, se pudo desarrollar propuestas de procedimientos cuyo objetivo final se encuentra enfocado en la reducción del desperdicio generado en el proceso de Elaboración de Tableros Aglomerados. El proyecto empezó con un entendimiento de la compañía, y en especial los procesos productivos de fabricación de tableros. Esto entregó un panorama global y detallado de la empresa, de tal manera que los análisis posteriores se ajusten de mejor manera a la realidad de la compañía y sus procesos.

Posteriormente, se analizó el desempeño de la compañía en términos de mala calidad y se cuantificó el impacto que este problema representa para la organización. Esto permitió tener una imagen clara del problema y su repercusión en los objetivos financieros y productivos de Novopan. El siguiente paso fue la identificación de las principales causantes del problema de mala calidad mediante un minucioso análisis causal. Esto permitió conocer las áreas y parámetros en donde una optimización permitiría obtener los mayores beneficios y que fueron el enfoque del esfuerzo del proyecto.

Posteriormente, se realizó una optimización en la etapa de Almacenamiento y Alimentación de de Materia Prima. Se consideró que al ser el primer paso en el proceso productivo, esta etapa podría proveer a Novopan la habilidad de obtener calidad desde la fuente y reducir la variabilidad y desperdicio en todos los procesos

subsiguientes. Finalmente, se desarrolló un sistema de control estadístico que permita monitorear los procesos iniciales de la línea con la capacidad de detectar situaciones no deseadas con la suficiente anticipación para corregir el problema y evitar/minimizar la generación de desperdicio y de producto de mala calidad.

Todo el proceso mencionado anteriormente se basó en el uso de herramientas estadísticas de medición y análisis enfocadas en la obtención de la resolución del problema de desperdicio en el proceso de Elaboración de Aglomerado en Novopan del Ecuador.

1.2. Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de alimentación de materia prima y un sistema eficiente de control en la etapa de preparación de madera que permita a Novopan del Ecuador S.A. reducir la producción de tableros de mala calidad y el desperdicio.

1.3. Objetivos Específicos

- Evaluar el sistema actual de control de calidad en Novopan y el desempeño de su línea de producción.
- Determinar las causas de desperdicio de mayor impacto en la organización.
- Determinar parámetros de mejora que permitan gestionar las causas de desperdicio determinadas.
- Desarrollar una propuesta de optimización para la etapa de Preparación de Madera mediante el uso de Diseño de Experimentos
- Desarrollar un sistema eficiente de control estadístico en la etapa de Preparación de Madera.

1.4. Antecedentes

El proceso de elaboración de tableros MDP es muy complejo ya que incluye varias etapas de transformación del producto. Por este motivo, existen varios puntos en la línea de producción en donde la calidad del producto final puede ser afectada y consecuentemente causar pérdidas económicas para la empresa. En las etapas finales de fabricación, este desperdicio es muy costoso debido a la gran cantidad de recursos y esfuerzo utilizados en los procesos anteriores.

Durante el proceso de fabricación existen muchas formas de desperdicio, sin embargo, la más importante es la producción de tableros de baja calidad. Esto se debe a que esta forma de desperdicio es producto terminado. Novopan clasifica sus tableros en tres categorías dependiendo de su nivel de calidad; Clase A, B y R. Los tableros Clase A son aquellos que no tienen defectos y son comercializados a precio normal. Los tableros Clase B son aquellos que tienen algún defecto leve de calidad y son vendidos a un precio menor. Finalmente, los tableros Clase R tienen fallas graves de calidad por lo que son considerados desecho y normalmente se utilizan para satisfacer requerimientos internos.

La producción de estos tableros representa un costo de oportunidad significativo para Novopan ya que una considerable parte del producto es desechado o vendido a un precio menor. Por este motivo, es importante para la organización gestionar este problema y reducir la producción de tableros de mala calidad (Bustamante, Desperdicio en Novopan).

1.5. Justificación

El enfoque de este proyecto será analizar el proceso de fabricación en Novopan y proponer una mejora que permita reducir el desperdicio debido a mala calidad, especialmente en la producción de tableros Clase R. Este tipo de tableros representa el problema más importante de desperdicio en Novopan ya que su producción involucra inversión de muchos recursos y no pueden ser comercializados. Adicionalmente, la producción de estos tableros es significativamente superior a la de Clase B (Bustamante, Desperdicio en Novopan).

Actualmente, el proceso de Elaboración de Aglomerado tiene una proporción de producción de tableros Clase R de aproximadamente 1.24%. Si bien este valor es aparentemente aceptable, se debe considerar que la producción diaria de Novopan es alrededor de 550 m³ de tableros y que el costo aproximado de un metro cúbico es de \$301.03. En este sentido, los tableros Clase R generan un costo diario aproximado de \$2053.02 para Novopan (Sosa).

Por este motivo, es importante desarrollar un proyecto enfocado en la reducción de desperdicio asociado a la mala calidad a lo largo de la línea de producción de tableros aglomerados. Dicho proyecto deberá gestionar las causas que originan el

problema y deberá asegurar que el proceso funcione adecuadamente mediante un eficiente sistema de control.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Control Estadístico de Procesos

El control estadístico de los procesos es una metodología que incluye el monitoreo y control de los procesos con el objetivo de asegurar la producción de productos y/o servicios que cumplan con todas las conformidades impuestas. Esta metodología es más beneficiosa que otras prácticas de control de calidad (p.e. inspección total o muestreo de aceptación), ya que demanda menos recursos y previene pérdidas asociadas a desperdicio de productos de mala calidad. Muchos expertos aseguran que la implementación de sistemas de control estadístico de procesos conllevará a mejoras significativas en la calidad de los productos terminados (Rungtusanatham).

Las variaciones en los procesos son muchas veces las causantes de problemas relacionados a la calidad de los productos. En este sentido la base de esta metodología es el estudio de las fuentes de variación de los procesos mediante el uso de herramientas estadísticas. El control estadístico de procesos busca poder detectar tempranamente fuentes de variación causantes de problemas con el objetivo de prevenir defectos y desechos en los productos manufacturados (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

El control estadístico de procesos se compone de tres fases principales que son: la comprensión del proceso, comprensión de las fuentes de variación y la eliminación de las fuentes de variación especial. En la primera fase es importante realizar un detallado mapa de procesos para entender de manera minuciosa las actividades, recursos y herramientas utilizadas en el proceso. De igual manera es importante monitorear el proceso mediante el uso de gráficas de control. Esta herramienta permite monitorear el desempeño del proceso mediante mediciones realizadas al output del mismo y de esta manera observar e identificar posibles fuentes de variación (Hansen y Ghare).

En la segunda fase es importante buscar la causa raíz de las fuentes de variación identificadas en la fase anterior. La herramienta comúnmente más utilizada es el diagrama de Ishikawa, que permiten relacionar posibles causas raíz a un determinado problema. Finalmente, es importante establecer un plan de control para

solucionar y eliminar las causas de variación en caso de que se presenten en un futuro.

2.1.1. Gráficas de Control

En 1924, Walter A. Shewhart desarrolló el concepto de carta de control estadístico, lo que se considera como el inicio formal del control estadístico de la calidad (Montgomery, Control estadístico de la Calidad). Las cartas o diagramas de control son las principales herramientas utilizadas dentro del control estadístico de procesos para estudiar el comportamiento de un proceso a través del tiempo y para determinar si éste se encuentra bajo control (Tague). El objetivo de las cartas de control es poder determinar el desempeño futuro de un proceso mediante el análisis de la data actual. De esta manera se podrá evitar desperdicio y producto no conforme tomando acciones preventivas si los diagramas indican situaciones fuera de control.

Esta herramienta estadística se fundamenta en el análisis de la variación del proceso. La variación de todos los procesos productivos se constituye de dos tipos de variación, la inherente del proceso y debido a causas asignables. La variación inherente siempre está presente en un proceso y se debe a numerables variables que no se pueden considerar y controlar. La variación debido a causas asignables se presenta por situaciones en el proceso fuera de lo común (i.e. materia prima de baja calidad o mala calibración de un equipo).

De esta manera, los diagramas de control vigilan que dentro del proceso solamente se presente variabilidad inherente. En caso de que alguna fuente de variación asignable se dé en el proceso, será detectada por los diagramas de control. Un diagrama de control consta de tres elementos presentados a continuación.

1. Puntos que representan una medida estadística de una característica crítica de la calidad del proceso en muestras tomadas en distintos momentos del proceso. Las características críticas de la calidad pueden ser medidas en variables (i.e. diámetro o ancho de un producto) o por atributos del proceso (i.e. porcentaje de artículos no conformes).

2. Una medida de tendencia central dibujada en el gráfico, calculada como la media de la población o su mejor estimador (promedio de las muestras utilizadas).
3. Límites de control superior e inferior dibujadas a normalmente tres desviaciones estándar de la media del proceso.

(Montgomery, Control estadístico de la Calidad)

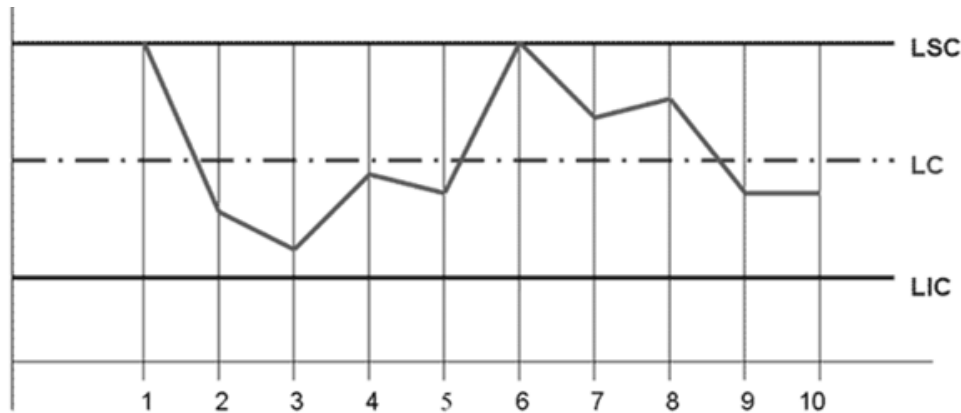


Ilustración 1: Gráfica de Control¹

Ambos límites de control se determinan por medio de data histórica obtenida de dicho proceso y se utilizan para la comparación con la información actual, con el objetivo de determinar si el proceso se encuentra dentro de dichos límites o fuera de control (Tague). Al encontrarse a tres desviaciones estándar, cualquier observación que cae fuera de los límites de control tendrá una gran probabilidad (99.72%) de que se trate de un indicador de que el proceso cuenta con variabilidad de causa asignable y consecuentemente de que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Existen dos tipos de cartas de control: para variables y para atributos.

2.1.1.1. **Cartas de Control para Variables**

Las cartas de control para variables se utilizan en pares, lo que quiere decir que existen dos subtipos de cartas de control dentro de esta categoría. Una carta controla el promedio de la distribución de la data del proceso mientras que el otro cuadro monitorea el rango o variabilidad de dicha distribución (Tague). Este tipo de cartas se utilizan cuando la característica de calidad es

¹ Fuente y Elaboración: Universidad de Antioquía

medible en una escala continua, por ejemplo: temperatura, densidad, diámetro, etc. (Sower).

2.1.1.2. Cartas de Control para Atributos

A diferencia de las cartas de control para variables, las cartas de control para atributos se utilizan de manera individual (Tague). Estas se utilizan cuando la característica de calidad puede ser evaluada con una respuesta discreta, por ejemplo: si/no, pasa/no pasa, defectuosa/no defectuosa, número de defectos, etc. (Sower).

2.1.1.3. Reglas de Sensibilidad para Cartas de Control

Según Montgomery se deben aplicar simultáneamente varios criterios para determinar si un proceso se encuentra fuera de control. Por esta razón se crearon una serie de reglas para la correcta utilización de las cartas de control, las cuales aumentan la sensibilidad de las mismas con el objetivo de facilitar la detección de situaciones fuera de control o condiciones de patrones no aleatorios en los cuadros de control. Las cuatro primeras reglas fueron desarrolladas por la Western Electric, mientras que el resto son tomadas de las Reglas de Nelson, del autor Lloyd S. Nelson. Puntualmente, sugiere que un proceso está fuera de control si:

1. Uno o más puntos se encuentran fuera de los límites de control superior o inferior tres sigma.
2. Dos de tres puntos consecutivos se encuentran fuera de los límites de advertencia dos sigma.
3. Cuatro de cinco puntos consecutivos se encuentran a una distancia de un sigma o más de la línea central.
4. Ocho puntos consecutivos se encuentran en el mismo lado con respecto a la línea central.
5. Seis puntos seguidos que se incrementan o decrementan de manera seguida.
6. Quince puntos seguidos se encuentran a un sigma de la línea central, en la parte superior o inferior.
7. Catorce puntos seguidos alternándose arriba y debajo de la línea central.

8. Ocho puntos seguidos en ambos lados de la línea central a más de un sigma de distancia.
9. Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.
10. Uno o más puntos cerca de un límite de control o de advertencia.

(Montgomery, Control estadístico de la Calidad)

2.1.1.4. Cartas de Control para Mediciones Individuales y Rango Móvil

A este tipo de cuadros de control se los conoce como cuadros de control X-MR o I-MR. Estos son utilizados para monitorear variables de un proceso donde no es viable usar subgrupos racionales. Los cuadros de control I-MR son necesarios en las siguientes situaciones:

- Cuando la automatización de los procesos permite la inspección individual, por lo que los subgrupos racionales no presentan beneficios.
- Cuando la velocidad de producción es lenta, ya que retarda la toma de muestras haciendo que la creación de subgrupos racionales sea inaceptable debido a su demora.
- Cuando se producen lotes homogéneos o existen procesos continuos, donde la variación entre las medidas de la variable deseada se deben principalmente a errores de medición.

(Montgomery, Control estadístico de la Calidad)

Esta herramienta consta de dos tipos de cuadros: el cuadro de control para mediciones individuales, y el que corresponde al rango móvil. El primer tipo de cuadro de control representa una única variable de medida del proceso por caso individual. En las cartas de control de rango móvil, cada punto representa la diferencia entre el valor actual y el anterior (Minitab Inc.).

De igual manera que los otros tipos de gráficas de control, estos cuadros permiten al usuario monitorear y controlar un proceso en caso de que se presenten cambios en el mismo que alteren la media o varianza de la medida estadística (Minitab Inc.).

2.1.1.4.1. Supuesto de Normalidad

Para el cálculo de límites se asume una distribución normal de los datos al igual que en otro tipo de gráficas de control. Esto se lo realiza con la finalidad de evitar falsas alarmas en la detección de puntos fuera de control (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

2.1.2. Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control

Según Montgomery, un OCAP es un diagrama de flujo que describe la secuencia de actividades que deben realizarse después de la ocurrencia de un evento de activación, el cual es una señal de fuera de control en la carta de control.

El autor sugiere que un OCAP es una herramienta muy importante en el proceso de acción correctiva, ya que ayuda a determinar la causa origen fundamental del problema. Montgomery establece que el OCAP es un documento vivo, ya que se modificará continuamente hasta obtener un mejor entendimiento del proceso y se evidencie un mejor comportamiento en el mismo.

Por esta razón es imprescindible el introducir cartas de control seguidas de estos planes de acción para condiciones fuera de control, ya que serían de baja utilidad e incluso obsoletas como herramientas de mejoramiento del proceso (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Tabla 1: Formato OCAP²

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Encima del Límite Superior de Control	---	---	---
Punto(s) por Debajo del Límite Inferior de Control	---	---	---
Patrones Sistemáticos	---	---	---

2.2. Análisis Causal

La base de toda investigación es la comprensión de las relaciones causales, es decir de dónde se origina el problema. Estela plantea una metodología basada en diagnóstico, pronóstico y control de pronóstico; lo que comprende la descripción de la situación actual, identificación de problemas existentes y futuros debido a la situación actual y las diferentes alternativas para mejorar dicha situación. En base a

² Fuente y Elaboración: Propia

esta metodología se procede a formular el problema. En esta última parte el autor divide en lo siguiente:

1. Señalamiento de equivocaciones
2. Localización de los hechos
3. Investigación de posibles causas e identificación del problema real
4. Señalamiento como objetivos de los requisitos necesarios para lograr una solución satisfactoria.
5. Señalamiento de restricciones o límites de una solución satisfactoria

(Estela)

Llorens por su parte plantea la aplicación de modelos causales o modelos de ecuaciones estructurales dentro de las técnicas de investigación. Estos modelos consisten en sistemas de ecuaciones con variables aleatorias, parámetros estructurales y en ocasiones variables no aleatorias. El autor plantea que dichos modelos pueden ser utilizados con el objetivo de establecer y contrastar teorías e incluso modificarlas. La metodología para la elaboración y validación de este tipo de modelos es la siguiente:

1. Especificación del modelo
2. Identificación del modelo
3. Estimación de parámetros
4. Evaluación del modelo

(Lloréns)

Ruiz et al se refieren al Análisis Causal como Análisis Causa Raíz o ACR. Los autores plantean la importancia en la erradicación de las causas raíz y de sus factores contribuyentes por medio de la obtención de un marco estructurado y enfocado en el proceso, el cual se logra mediante un proceso secuencial a base de preguntas que desencadena en un método estructurado de tareas.

Como parte inicial en esta metodología está la realización de un análisis de rigurosidad y credibilidad, para posteriormente dar paso a los puntos relevantes al estudio ACR, que son:

1. Identificar qué incidentes deberían investigarse

2. Recopilar información
3. Elaboración del mapa de los hechos.
4. Análisis de la información
5. Estudio sobre la existencia de barreras que pueden prevenir daños
6. Desarrollo de soluciones y plan de acción
7. Realización del informe final

(Ruiz, González y Alcalde)

2.2.1. Pareto

2.2.1.1. Principio de Pareto

Se originó como parte de una fórmula desarrollada por el economista Vilfredo Pareto para describir la distribución desigual de riqueza en su país. Más adelante fue desarrollada y generalizada por el Dr. Joseph M. Juran, quién la presentó como la Regla 80/20 o el Principio de Pareto (Reh).

Según Pareto, el 20 por ciento de las personas de su país poseían el 80 por ciento de la riqueza del mismo. Esta teoría aplicada a los conceptos de Juran se traducen al 80 por ciento de los problemas causados por el 20 por ciento de los defectos (Reh).

Por lo tanto, el Principio de Pareto establece que el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos. Del mismo modo, esta Regla separa los “pocos vitales” o 20 por ciento de los “muchos triviales” u 80 por ciento (Sales y Pérez).

2.2.1.2. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diferentes grupos o clasificaciones de datos. La gráfica consta de una serie de barras cuyas alturas determinan la frecuencia o impacto del problema (Sales y Pérez).

Esta herramienta permite la detección de los problemas con mayor relevancia basados en el Principio de Pareto, o Regla 80/20. La efectividad e importancia de la gráfica se debe a la facilidad que brinda al usuario en identificar de manera visual los “pocos vitales” o 20 por ciento, a los cuales se debe prestar mayor atención (Sales y Pérez).

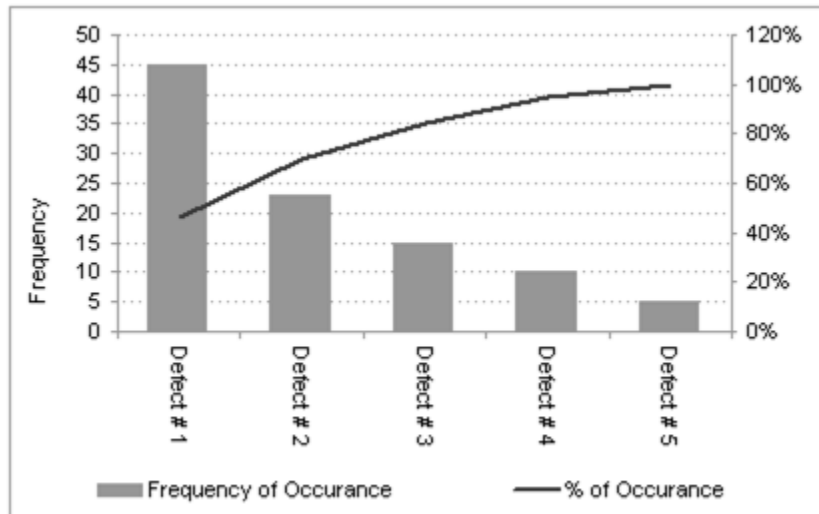


Ilustración 2: Diagrama de Pareto³

2.2.2. Diagrama de Causa y Efecto

El Diagrama de Causa y Efecto es también conocido como el Diagrama de Ishikawa debido a su precursor, el Dr. Kaoru Ishikawa. Este diagrama sirve para identificar y analizar las causas potenciales de un efecto indeseable, por lo que es una herramienta bastante útil y efectiva en la corrección de problemas (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Según Montgomery, los pasos que se deben seguir para construir un Diagrama de Causa y Efecto son:

1. Definir el problema que va a analizarse.
2. Formar un equipo para el análisis.
3. Trazar el rectángulo del efecto y la línea central.
4. Especificar las categorías principales de las causas potenciales y conectarlas a la línea central.
5. Identificar las posibles causas y clasificarlas dentro de las categorías del paso anterior.
6. Clasificar las causas para identificar las más relevantes al problema.
7. Empezar una acción correctiva.

³ Fuente y Elaboración: DataBison

El Diagrama de Espina de Pescado, como también se lo conoce, es sumamente útil para organizar y estructurar una sesión de lluvia de ideas, ya que clasifica ideas en categorías (Tague).

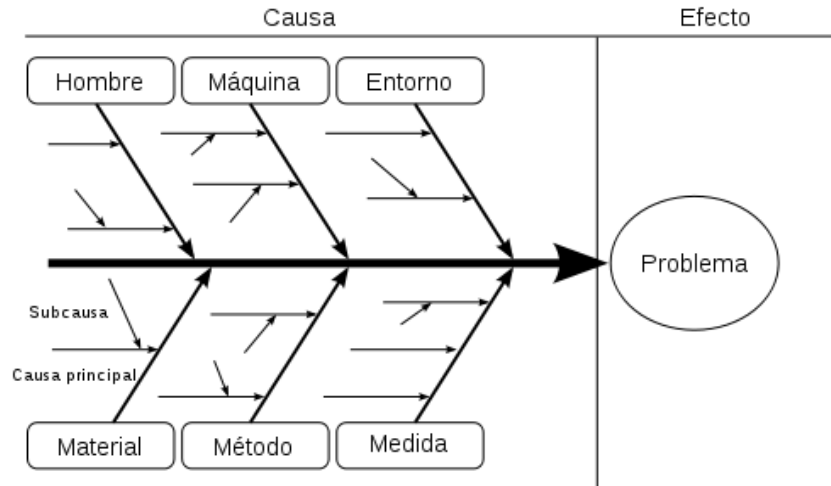


Ilustración 3: Diagrama de Causa y Efecto⁴

2.3. Levantamiento de Procesos

Es un análisis detallado de los procesos de una empresa, en el cual se formaliza la manera de realizar actividades que antes se efectuaban de manera práctica. El levantamiento de procesos difiere del diseño de procesos en el sentido de que este se lo realiza en una empresa ya conformada y en funcionamiento; a diferencia del segundo, el cual se lo realiza cuando una institución ha sido creada recientemente y debe determinar la mejor manera de operar, o también cuando se establecen nuevos departamentos con nuevos procesos en la institución ya existente (Ortega).

2.3.1. Diagramas de Flujo

El Flujograma o Diagrama de Flujo es una representación gráfica de la secuencia de actividades de un proceso y su interacción. Estos diagramas utilizan una serie de símbolos gráficos para representar las etapas de los procesos que se conectan por medio de flechas, las cuales indican el flujo entre las distintas etapas (Vázquez), entre los más importantes se encuentran:

⁴ Fuente y Elaboración: Borrego

Tabla 2: Simbología de Flujograma⁵

INICIO / FIN	
ACTIVIDAD	
PROCESO	
DECISIÓN	
CONECTOR	
ARCHIVO	
COMENTARIO	
BASE DE DATOS	
DOCUMENTO	

Los Flujogramas ayudan en la comprensión de los procesos ya que lo presentan de manera gráfica. Esta herramienta facilita en la identificación de problemas y oportunidades de mejora, muestra las relaciones entre cliente-proveedor y es muy útil para la documentación de sistemas de gestión (Vázquez).

2.3.2. Mapa de Procesos

Un Mapa de Procesos es una herramienta de gran utilidad para la evaluación de los procesos dentro de una organización. El mapeo de procesos es una representación de la situación de la organización, donde se incluyen las relaciones existentes entre los procesos involucrados con la finalidad facilitar la orientación y navegación por cada uno de los procesos. Este mecanismo ayuda en un seguimiento del procedimiento de un modo correcto, ya que presenta de una manera visible el trabajo a realizarse (Tobon).

⁵ Fuente: Vazquez; Elaboración: Propia

Las etapas o actividades del proceso son representadas por cajas y son conectadas de manera secuencial mediante flechas direccionales. Las flechas representan el orden en las que las actividades o sub procesos son realizados.

Este diagrama es una herramienta de análisis y diagnóstico de procesos que permite entender profundamente el funcionamiento y elementos de un proceso para posteriormente identificar oportunidades de mejora, aumentar productividad y reducir costos y tiempos. Entre los mayores beneficios de esta herramienta es que permite tener una visión completa del proceso, permite identificar procedimientos e instrucciones de trabajo y permite simplificar actividades dentro del proceso.

Según Christian Conza existen 10 pasos a seguir para realizar un correcto mapeo de procesos, estos son:

1. Identificar los principales resultados o salidas del proceso.
2. Identificar los clientes inmediatos, tanto internos como externos.
3. Identificar los principales insumos que requiere el proceso para producir los distintos resultados.
4. Identificar los proveedores de los insumos.
5. Identificar todas las etapas o subprocesos.
6. Gestionar las etapas con el enfoque a procesos.
7. Identificar las interacciones de cada etapa.
8. Identificar los procedimientos a documentar por cada etapa del proceso.
9. Establecer objetivos para cada proceso e indicadores que indiquen el grado de cumplimiento de los objetivos del proceso.
10. Definir al dueño y responsables del proceso para asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

Siguiendo estas etapas se podrá obtener un mejor entendimiento del proceso y posteriormente implementar mejoras.

2.3.3. Modelo IDEF0

El IDEF-0 es una descripción gráfica de un sistema, el cual describe las funciones del área de un sistema con gráficos, texto y glosario. Este modelo es una herramienta de gran importancia que sirve para identificar e interrelacionar los procesos con la finalidad de comprenderlos y mejorarlos e incluso controlarlos en

cualquiera de sus etapas de desarrollo. Esta herramienta ayuda a analizar la organización de forma completa, centrándose en los procesos, políticas de control, recursos y resultados (Muzaurieta y Sánchez).

Una característica muy importante del modelo IDEF-0, es que este se divide en niveles, los cuales se van gradualmente introduciendo a mayor detalle a través de la estructura del modelo (Muzaurieta y Sánchez).

El modelo IDEF-0 se lo realiza gráficamente a manera de ICOM, el cual consiste en una serie de diagramas jerárquicos, los cuales se representan mediante cajas y una serie de flechas (Muzaurieta y Sánchez).

ICOM es el acrónimo para: input, control, output, mechanism. En este modelo la descripción de cada proceso es considerado como la combinación de cinco magnitudes básicas, de las que constan las anteriormente nombradas más la de Procesos o actividades (Muzaurieta y Sánchez).

El ICOM se representa gráficamente de la siguiente manera:

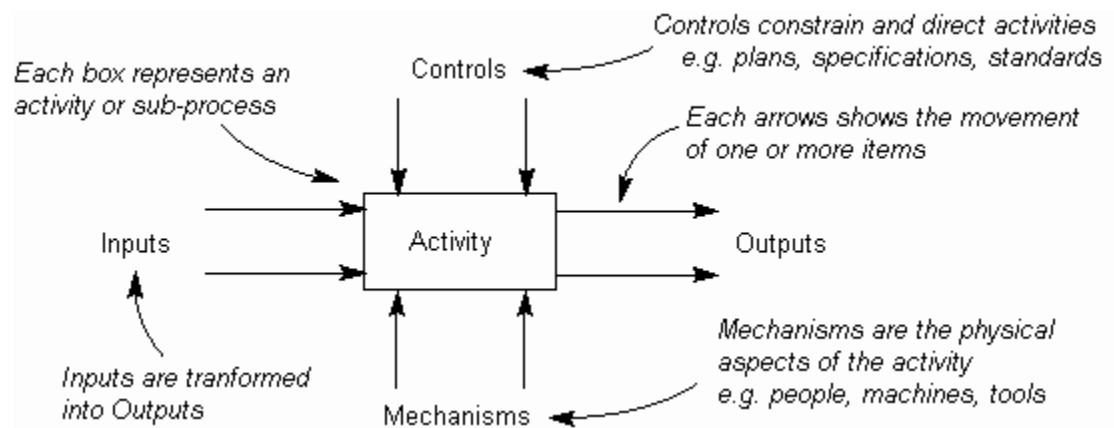


Ilustración 4: ICOM⁶

Según Syque, los diferentes tipos de flechas se describen a continuación:

- Inputs: Material prima que se transforma durante la actividad.
- Controles: Dirige cómo trabaja el proceso.
- Mecanismos: Hacen que el proceso funcione.

⁶ Fuente y Elaboración: Syque

- Outputs: Resultado de la actividad, que se transmiten a otros procesos como inputs.

2.3.4. Cadena de Valor

“La cadena valor es una herramienta de gestión diseñada por Michael Porter que permite realizar un análisis interno de una empresa, a través de su desagregación en sus principales actividades generadoras de valor” (Crece Negocios).

Gracias a este modelo de análisis se pueden estudiar actividades específicas por medio de las cuales se genera valor y ventaja competitiva. Al identificar estas fuentes de ventaja competitiva el usuario deberá aprovechar la oportunidad de desarrollarlas de la mejor manera en relación a su competencia (Ayala y Arias).

Esta herramienta separa dichas actividades en dos grupos: primarias y de soporte. Se adjudica su nombre debido a que considera a las actividades principales de cualquier empresa como eslabones de una cadena. Estos eslabones son actividades que van añadiendo valor al producto o servicio a través de su paso por cada una de estas (Crece Negocios).

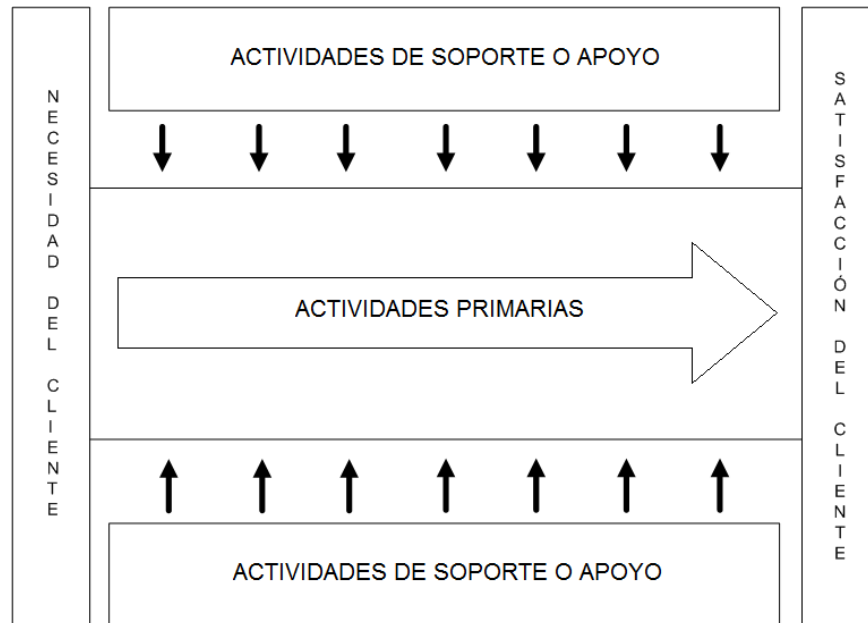


Ilustración 5: Cadena de Valor⁷

⁷ Fuente y Elaboración: Propia

2.4. Herramientas Estadísticas

2.4.1. Prueba de Hipótesis de Dos Proporciones

Se utiliza esta prueba para determinar si la diferencia observada entre dos proporciones muestrales se debe a la casualidad o si en realidad las proporciones de las poblaciones de ambas muestras son diferentes. La prueba de dos proporciones es únicamente aplicable para proporciones binomiales. Se la utiliza para realizar pruebas de hipótesis de la diferencia de dos proporciones o para calcular intervalos de confianza. El planteamiento para pruebas de hipótesis es el siguiente:

$$H_0: p_1 = p_2 \text{ versus } H_1: p_1 \neq p_2$$

2.4.2. Prueba de Normalidad de Datos Anderson Darling

Como todas las pruebas de bondad y ajuste, la prueba Anderson-Darling sirve para determinar si los datos se ajustan a una distribución específica (Salas, Torres y Carleos).

Estadísticamente hablando, la Prueba A-D es una prueba no-paramétrica, cuya fórmula para el estadístico de prueba determina si los datos siguen una distribución con función acumulativa. Esta prueba es una modificación de la prueba de Kolmogorov- Smirnov donde se le da más peso a las colas de la distribución que la prueba de K-S. Si bien, la prueba Anderson-Darling proporciona mayor sensibilidad en comparación a las otras, posee la desventaja en cuanto a que sus valores críticos deben ser calculados para cada distribución (NIST/SEMATECH).

2.4.3. Diagramas de Dispersión

El diagrama de dispersión es una herramienta muy útil que sirve para identificar la posible relación entre dos variables, es por eso también, que se lo conoce con el nombre de Diagrama X-Y (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Este diagrama relaciona dos variables, situándolas en cada eje y graficando sus pares de datos numéricos. El diagrama prueba que existe relación entre las dos variables cuando los puntos siguen una línea o curva; esto se conoce como correlación. Mientras haya mejor correlación, los puntos estarán más cercanos entre sí (Tague).

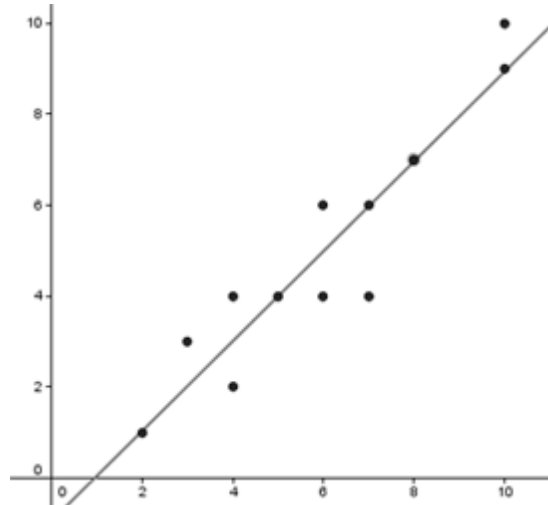


Ilustración 6: Diagrama de Dispersión⁸

2.4.3.1. Coeficiente de Correlación

El coeficiente de correlación es un índice que proporciona información sobre la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Básicamente, esta información se refiere a dos características propias de la relación lineal: la dirección y la cercanía. Se debe enfatizar en que el uso de dicho coeficiente solo tiene sentido al existir una relación lineal, ya que al no serla, el coeficiente confundiría la ausencia de una relación lineal con la ausencia de una relación alguna (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Ecuación 1: Fórmula para Coeficiente de Correlación

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\frac{1}{n} * \sum (x_i - x_m) * (y_i - y_m)}{\sqrt{\left(\frac{1}{n} * \sum (x_i - x_m)^2\right) * \left(\frac{1}{n} * \sum (y_i - y_m)^2\right)}}$$

2.4.4. Prueba ANOVA

El análisis de varianza se utiliza para comparar entre los diferentes niveles de un mismo factor. El objetivo principal del modelo de análisis de varianzas es el de probar las hipótesis apropiadas acerca de las medias de los niveles de un factor y estimarlas. Por esta razón, el ANOVA se utiliza para probar la igualdad de las medias de los niveles de un factor o que los efectos de dichos niveles son cero. Esta prueba exige dos supuestos que deben ser cumplidos para su validez, la normalidad

⁸ Fuente y Elaboración: Propia

de los subconjuntos de datos y la igualdad de varianzas (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

2.4.5. Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

El estudio de Repetitividad y Reproducibilidad, conocido también como R&R es una herramienta que determina cuanta de la variación total observada del proceso se debe a la variación causada por el sistema de medición (Minitab Inc.).

Como repetitividad se entiende a la variación en las diferentes medidas tomadas por un mismo operador o instrumento bajo las mismas condiciones. Por otro lado, reproducibilidad trata acerca de la variabilidad provocada por diferentes operadores o instrumentos al realizar la misma medición (SiliconFarEast).

Esta herramienta evalúa un sistema de medidas, tomando como base los conceptos de exactitud y precisión. Cuando se habla de precisión se refiere qué tan dispersos se encuentran los datos de una medición; mientras la dispersión sea menor, mayor será la precisión. Por otro lado, la exactitud se refiere a qué tan cerca se encuentran los datos del valor real o medido; cuanto más corta sea esta distancia, mayor será la exactitud (López Soto).

Ambas están relacionadas a términos estadísticos. Al hablar de precisión se hace alusión a la desviación estándar de los datos, mientras que la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación (López Soto).

El Estudio de R&R utiliza la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar los factores de repetitividad y reproducibilidad. La evaluación de un sistema de medidas se extiende a todo tipo de instrumentos y métodos de medición (SiliconFarEast).

El Análisis de Varianza mide la cantidad de variabilidad producida por el sistema de medición y la compara con la variabilidad total observada para validar dicho sistema. Algunos de los factores que pueden afectar el sistema de medida son: instrumentos de medida, operadores, métodos, especificaciones, partes que están siendo medidas, entre otros (Minitab Inc.).

2.4.6. Capacidad del Proceso

Se entiende como capacidad del proceso al rango en el cual se mueve un proceso debido a causas comunes o variación natural, una vez que está bajo control estadístico. La capacidad de proceso relaciona los límites de control del proceso con las especificaciones del mismo (The ZDM Group).

2.4.6.1. Índices de Capacidad

Los índices de capacidad del proceso son estimaciones numéricas de la capacidad del proceso. Estos indicadores permiten comparar diferentes procesos ya que no tienen unidades de medida. Existen dos tipos de índices de capacidad de proceso, los que están relacionados con la variación a corto plazo, que son C_p y C_{pk} , y los asociados con la variación a largo plazo, que son P_p y P_{pk} . Estos últimos también se los conoce como índices de desempeño (Universitat Oberta de Catalunya).

La diferencia entre los índices C_p y P_p en relación a los índices C_{pk} y P_{pk} es que estos últimos se utilizan en situaciones donde el proceso no esté centrado en los límites de especificación, pero que esté contenido en ellos, ya que consideran la media del proceso en relación al punto medio de ambos límites de especificación (Universitat Oberta de Catalunya).

A continuación se presentan las fórmulas correspondientes a los índices de capacidad del proceso:

Ecuación 2: Índice de Capacidad C_p para Procesos Centrados

$$C_p = \frac{(LS - LI)}{6\hat{\sigma}_r}$$

Ecuación 3: Índice de Capacidad C_{pk} para Procesos no Centrados

$$C_{pk} = \min\left(\frac{(LS - \bar{X})}{\hat{\sigma}_r}; \frac{(X - LI)}{\hat{\sigma}_r}\right)$$

Para el cálculo de las formulas anteriores respectivas al índice de capacidad del proceso, se utiliza un sigma estimado, el cual es:

Ecuación 4: Sigma Estimado para el Cálculo de Índice de Capacidad

$$\hat{\sigma}_r = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

A continuación se presentan las fórmulas correspondientes a los índices de desempeño del proceso:

Ecuación 5: Índice de Desempeño Pp para Procesos Centrados

$$P_p = \frac{(LS - LI)}{6\sigma_i}$$

Ecuación 6: Índice de Desempeño Ppk para Procesos no Centrados

$$P_{pk} = \min\left(\frac{(LS - \bar{X})}{3\sigma_i}; \frac{(X - LI)}{3\sigma_i}\right)$$

Para el cálculo de las formulas anteriores respectivas al índice de desempeño del proceso, se utiliza un sigma para mediciones individuales, el cual es:

Ecuación 7: Sigma para Mediciones Individuales para el Cálculo de Índice de Desempeño

$$\hat{\sigma}_i = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Para especificaciones bilaterales de procesos existentes que los índices de capacidad índices de capacidad desempeño sean mayores a 1.33, mientras que para especificaciones unilaterales se aconseja que los índices de capacidad se encuentren alrededor 1.25 (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Bajo este contexto, mientras mayor es el valor de Cp, Cpk, Pp y Ppk, mayor será la capacidad de cumplir con la especificación y el desempeño del proceso. (Tecnología Aplicada a la Calidad S.A.)

2.5. Diseño de Experimentos

Según Montgomery, el Diseño de Experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se obtengan datos adecuados que puedan

analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas. Para un correcto Diseño de Experimentos se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificación y exposición del problema.
2. Elección de los factores, niveles y los rangos.
3. Selección de la variable de respuesta.
4. Elección del diseño experimental.
5. Realización del experimento
6. Análisis estadístico de los datos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

(Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos)

2.5.1. Diseño Factorial

Se habla de diseño factorial al involucrar dentro del experimento el efecto de dos o más factores. “Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores” (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

2.5.1.1. *Diseño Factorial 2^k*

Existen casos especiales en el diseño factorial general, los cuales son sumamente importantes debido a su uso generalizado en el trabajo de investigación y a que sirven de base fundamental para otros diseños de gran valor práctico. El más importante de estos caso es el diseño factorial de k factores con dos niveles, conocido como 2^k . Los niveles pueden ser cuantitativos, como por ejemplo valores de temperatura, o cualitativos, como por ejemplo niveles alto y bajo de un factor. Este diseño requiere de un menor número de corridas con las que pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

El primero de los de los diseños factoriales del tipo 2^k es el que consta de dos factores, cada uno con dos niveles. A este se lo conoce como diseño factorial 2^2 (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

2.5.2. Diseño Central Compuesto

El Diseño Central Compuesto o DCC es el método de superficie de respuesta más comúnmente utilizado. Este tipo de diseños consisten de tres grupos de puntos de diseño:

- Puntos de diseño factorial o factorial fraccional de segundo nivel
- Puntos centrales
- Puntos axiales

(Minitab Inc.)

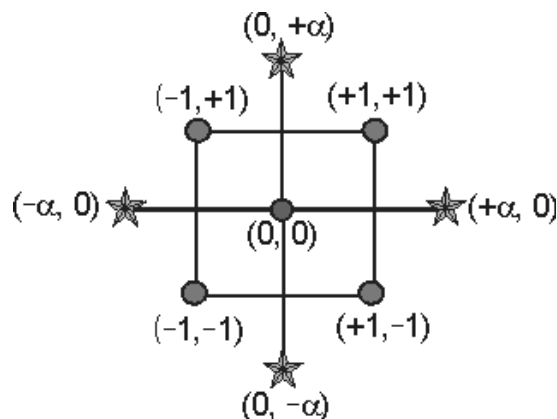


Ilustración 7: Diseño Central Compuesto⁹

El DCC es recomendable cuando los planes de diseño requieren de una experimentación secuencial, debido a que esos diseños pueden incorporar información de un previo experimento factorial apropiadamente planeado. En primera instancia, los puntos factoriales y los puntos centrales pueden funcionar como una etapa preliminar, donde se puede ajustar un modelo de primer orden, o modelo lineal (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

De la misma forma, estos valores proporcionan evidencia acerca de la importancia de una contribución de segundo orden o curvatura. Al ser la curvatura un agente importante en el diseño de dos niveles, se pueden aumentar puntos axiales con el fin de obtener un Diseño Central Compuesto (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

⁹ Fuente y Elaboración: Stat-Ease, Inc.

Por lo tanto, el Diseño Central Compuesto permite una estimación eficiente de los términos lineales y cuadráticos en modelos de primer y segundo orden respectivamente. Adicionalmente, el DCC modela una variable de respuesta incluyendo la curvatura por medio de la adición de puntos centrales y axiales en un diseño factorial anteriormente corrido (Minitab Inc.).

Debido a la existencia de los diferentes grupos de puntos de diseño del Diseño Central Compuesto, éste requiere de cinco niveles para cada factor: $-\alpha$, -1 , 0 , 1 , and $+\alpha$ (Stat-Ease, Inc.).

2.5.2.1. Puntos Factoriales

La parte factorial del diseño consiste en todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores -1 y $+1$. Para un diseño de dos factores se tienen los siguientes puntos de diseño:

$(-1, -1)$ $(+1, -1)$ $(-1, +1)$ $(+1, +1)$

(Stat-Ease, Inc.)

2.5.2.2. Puntos Axiales

Los puntos axiales localizan a todos los factores al punto medio, con valor de cero, a excepción de un factor, al que se le asigna el valor de $-/+$ Alfa. Para un diseño de dos factores se tienen los siguientes puntos axiales:

$(-\alpha, 0)$ $(+\alpha, 0)$ $(0, -\alpha)$ $(0, +\alpha)$

(Stat-Ease, Inc.)

El valor de alfa determina la ubicación de los puntos axiales en un DCC, por lo que es sumamente importante el determinar un valor apropiado para este coeficiente (Stat-Ease, Inc.).

2.5.2.2.1. Calculo del Valor de Alfa

Existen algunas maneras de calcular una correcta α , basado en la propiedad estadística que se quiere optimizar:

- *Esférica*: Esto producirá un diseño donde los puntos axiales se encuentran en una esfera junto con los puntos factoriales.

- *Cuadrática Ortogonal*: Aplica cuando el diseño está bloqueado. Tratará de crear bloques ortogonales a los factores independientes en un modelo de segundo orden, para que éstos no afecten la determinación. Ortogonalidad significa que los términos del modelo y los efectos del modelo pueden ser estimados independientemente sin correlación.
- *Rotativo*: Esto implica que la variación en la respuesta predicha por el modelo será constante en una distancia dada desde el centro del diseño. Se evidenciará un contorno circular en el gráfico de error estándar.
- *Práctica*: Se encuentra entre Rotativo y el Centrado en la Cara. Es simplemente la raíz cuarta del número de factores del experimento.
- *Centrado en la Cara*: Esto ocurre al poner un valor de alfa igual a uno. Esto reduce el modelo a un diseño de tres niveles y asegura que las corridas axiales no tengan valores tan extremos con respecto a porción factorial.

(Stat-Ease, Inc.)

Usualmente estas opciones de alfa no están lo suficientemente separados para ser motivo de preocupación. El valor por defecto es el alfa práctica (Stat-Ease, Inc.).

El valor de alfa depende del número de corridas del experimento en la porción factorial de un Diseño Central Compuesto (NIST/SEMATECH). En este sentido, la fórmula para la obtención de alfa sería la siguiente:

Ecuación 8: Valor de alfa para la porción factorial de un DCC

$$\alpha = [\text{numero de corridas factoriales}]^{1/4}$$

En caso de que se trate de un factorial completo, se representaría de la siguiente manera.

Ecuación 9: Valor de alfa para un diseño factorial completo

$$\alpha = [2^k]^{1/4}$$

En este sentido, el valor de alfa para un diseño factorial 2^2 es igual a $2^{2/4}$, que es un valor igual a 1.414.

2.5.2.3. Puntos Centrales

Los Puntos Centrales son puntos con todos los niveles ubicados en nivel cero, el cual es el punto medio de cada rango de los factores, se representa de la siguiente manera: (0, 0). Generalmente éstos son replicados con la finalidad de obtener una buena estimación del error experimental (Stat-Ease, Inc.).

3. CAPÍTULO III: ENTENDIMIENTO DE LA EMPRESA Y EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGLOMERADO

3.1. Breve Descripción de la Empresa

Novopan del Ecuador S.A. es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de tableros de partículas de mediana densidad (MDP). La compañía es parte del Grupo Pelikano que, junto a Codesa, son las principales empresas de esta sociedad; ambas dedicadas al sector maderero ecuatoriano. Actualmente, Novopan del Ecuador provee más de 200 empleos directos y alrededor de 200 empleos más de manera indirecta. La planta industrial opera en tres turnos diarios con el objetivo de alcanzar las metas de producción planteadas y solamente detiene su operación cada 15 días para realizar mantenimiento general de su maquinaria (Bustamante, Descripción de Novopan).

La empresa inició sus operaciones en 1978 con el objetivo de dedicarse a la fabricación de tableros aglomerados, un mercado que era relativamente nuevo en el país. Desde entonces, Novopan se ha posicionado como la empresa más grande del país en este sector, e inclusive ha logrado una exitosa incursión en mercados internacionales de la región. El gran crecimiento nacional e internacional que ha tenido esta organización en los últimos años, obligó a trasladar su planta industrial al sector de Itulcachi, en la vía Troncal Distrital. Esta planta fue inaugurada el 7 de marzo de 2008, acabando de esta manera con 30 años que la empresa operó en el sector de Guajaló, al Sur de Quito. Los principales motivos de trasladar la planta fueron el incremento en la demanda y el deseo de producir un producto de mayor calidad y competitividad a nivel internacional (Bustamante, Descripción de Novopan).

Según el Gerente General, Ignacio Bustamante, esta planta es la más moderna de toda la costa del Pacífico debido a que cuenta con maquinaria y tecnología europea de punta que es utilizada en las plantas de mayor rendimiento y producción del mundo. La planta actual fue construida sobre 800 hectáreas y tuvo un costo de más de 20 millones de dólares. Para el financiamiento de la planta se usó créditos provenientes del Banco Pichincha, la Corporación Andina de Fomento y por accionistas de la empresa. Esta planta tiene una capacidad de producir 120 mil m³

de tableros aglomerados anuales, y la opción de incrementar esta capacidad en un 50% más si la demanda lo requiere (Bustamante, Descripción de Novopan).

Durante los últimos años, Novopan ha enfocado gran parte de sus esfuerzos a sus modelos de gestión. Para asegurar la mejora continua de sus procesos, la organización ha logrado exitosamente certificar ISO 9001 su modelo de gestión de calidad. Similarmente, Novopan cuenta con la certificación BASC (Business Alliance for Secure Commerce) en reconocimiento a los esfuerzos realizados por la empresa para asegurar que sus importaciones se encuentren libre de cualquier actividad de narcotráfico. Adicionalmente, Novopan cuenta la certificación ISO 14001 como prueba de la excelente gestión ambiental que se maneja. Finalmente, se implementó recientemente un sistema de gestión de seguridad y salud basado en los requisitos normativos de OSHAS 18001 (Novopan del Ecuador).

3.2. Productos Ofrecidos

Dentro del mercado de tableros aglomerados, Novopan cuenta con 7 segmentos de productos, clasificados de acuerdo a sus propiedades y nivel de procesamiento. Dentro de cada clase, la empresa ofrece una amplia variedad de productos que se diferencian por su espesor, color de laminado y dimensiones. A continuación se detalla cada uno de los segmentos de productos.

MDP: MDP es la abreviación de Medium Density Particleboard o Tableros de Partículas de Mediana Densidad. Todos los tableros fabricados por Novopan son considerados MDP una vez que han atravesado los procesos de prensado y lijado. MDP es un producto cuyo uso debe ser limitado a interiores ya que no es resistente a la humedad y a altas temperaturas. Los formatos (dimensiones) que se ofrecen para este producto son: 1.22mx2.44m, 1.53mx2.44m, 1.83mx2.44m, 2.15mx2.44m, 2.44mx2.44m y 2.44mx2.44m. Similarmente, los tableros MDP son producidos en 11 distintos espesores: 4mm, 6mm, 8mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm, 25mm, 30mm, 36mm y 40mm.

MDP KOR: La abreviación KOR se refiere a los tableros aglomerados que han atravesado adicionalmente el proceso de laminación. En este proceso se coloca al tablero aglomerado una lámina decorativa impregnada con resina melamínica mediante termo-fundición. Por este motivo, a este producto se lo conoce comúnmente como tablero melamínico. Esta lámina provee características

adicionales al tablero como resistencia a la humedad, a altas temperaturas, a las manchas, a la abrasión y al rayado. Este producto se ofrece únicamente en el formato de 2.15mx2.44m y en los mismos espesores que el MDP a excepción de 4mm. La lámina decorativa se ofrece en 35 distintos diseños/colores; azul, tomate, negro, champaña, blanco nórdico, blanco nevado, gris, almendra, blanco marquez, aluminio, grafito, gris grafito, nébula, granito gris, moka, pino, fresno, roble, cerezo, haya, sapelli, nogal, cedro, haya catedral, maple, cherry, palo de rosa, cerezo catedral, peral, abedul, wenge, fantasía, lisa, madera y veta.

MDP Tropical: Tropical es el nombre que se da a los tableros MDP que son resistentes a la humedad y al contacto con el agua. El proceso de fabricación es similar al de tableros MDP con la excepción de que se coloca resinas M.U.F. en las partículas, para proveer al producto con las propiedades mencionadas anteriormente. En el proceso también se coloca un colorante verde durante el Encolado para poder diferenciar al MDP Tropical del regular. Los formatos y espesores ofrecidos son los mismos que el MDP.

TROPI KOR: Este producto se refiere al tablero MDP Tropical que adicionalmente fue colocado la lámina decorativa (melamínico). Este producto es el más completo de la empresa ya que tiene las propiedades combinadas del MDP KOR y el MDP Tropical. Los formatos, espesores y diseños de las láminas para este producto son las mismas que se ofrecen en el MDP KOR.

MDF: MDF es la abreviación para Medium Density Fibreboard o Tablero de Fibra de Mediana Densidad. Este tipo de tableros es fabricado con fibra de madera a diferencia del MDP cuyo componente principal son partículas de madera. En el país no existen empresas que fabriquen este producto, por lo que Novopan lo importa para comercializarlo en el Ecuador (Bustamante, Descripción de Novopan). Entre las características que diferencian al MDF del MDP es su peso liviano, una textura más suave y el menor desgaste de las herramientas cuando es procesado. Al igual que el MDP, es un tablero para uso interno ya que no cuenta con propiedades resistentes a la humedad. El único formato de este tablero es 2.14mx2.44m y los espesores disponibles son: 3mm, 4mm, 5.5mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm, 20mm, 25mm y 30mm.

NOVO Herrajes y NOVO Canto: Novopan ofrece estos productos de manera suplementaria para la industria de confección de muebles. Novopan importa herrajes y bisagras de la compañía alemana HAFELE. Similarmente, ofrece bordes melamínicos referidos como “cantos” que se colocan en los bordes de los tableros KOR y TROPIKOR. Este producto se ofrece para la mayoría de espesores y diseños producidos por Novopan.

(Novopan del Ecuador)

3.3. Participación en el Mercado

Novopan es actualmente la empresa líder en la industria de aglomerados; cuenta con el 55% del mercado nacional mientras que sus dos principales competidores, Aglomerados Cotopaxi y Masisa, se llevan el restante 45%. La compañía comercializa tableros en todo el país y adicionalmente tiene presencia en más de diez mercados internacionales. Debido a la gran acogida que ha tenido los productos de Novopan en el extranjero, la mayoría de su producción es destinada para exportación. Perú y Colombia son los principales destinos, juntos representan el 60% de las exportaciones, mientras que el restante 40% es repartido principalmente en México, Venezuela, Panamá y varias naciones europeas (Bustamante, Descripción de Novopan).

3.4. Diagnóstico Actual de la Empresa

En un primer paso se desarrolló un diagnóstico de la situación actual de la empresa. El objetivo fue tener una comprensión detallada de la empresa y especialmente del proceso de elaboración de tableros MDP. Inicialmente se realizó un levantamiento de procesos dentro de la organización. Esto permitió tener el suficiente conocimiento para evaluar correctamente la empresa y que el proyecto se ajuste de manera adecuada a la realidad de la organización y sus procesos. A continuación se detalla el estudio realizado.

3.4.1. Lista Maestra de Procesos

El listado de los procesos realizados dentro de Novopan del Ecuador se encuentra detallado en el Anexo 1.

3.4.2. Mapa de Procesos de la Empresa

A continuación se presenta el mapeo de los procesos de la empresa mediante el uso de los diagramas ICOMs

3.4.2.1. Nivel 0 de Procesos

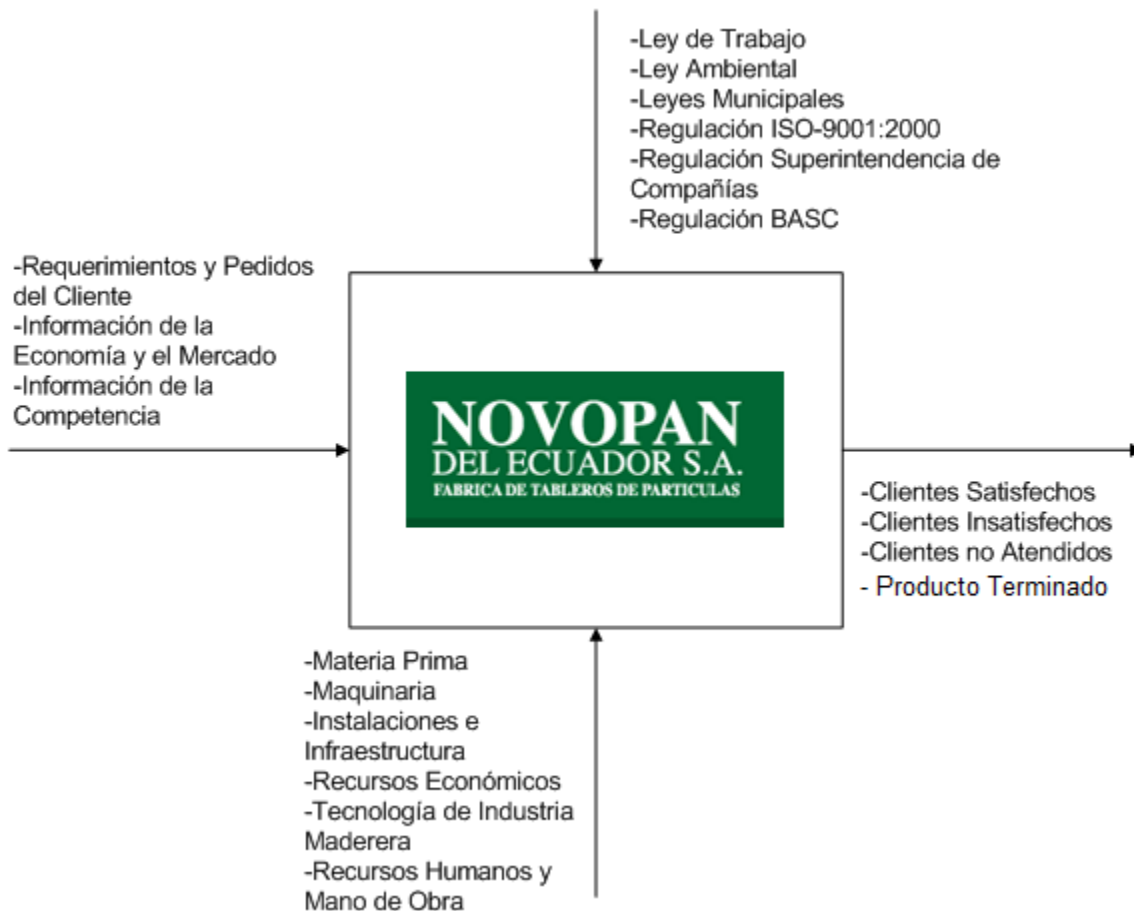


Diagrama 1: Mapa de Procesos Nivel 0

3.4.2.2. Nivel 1 de Procesos

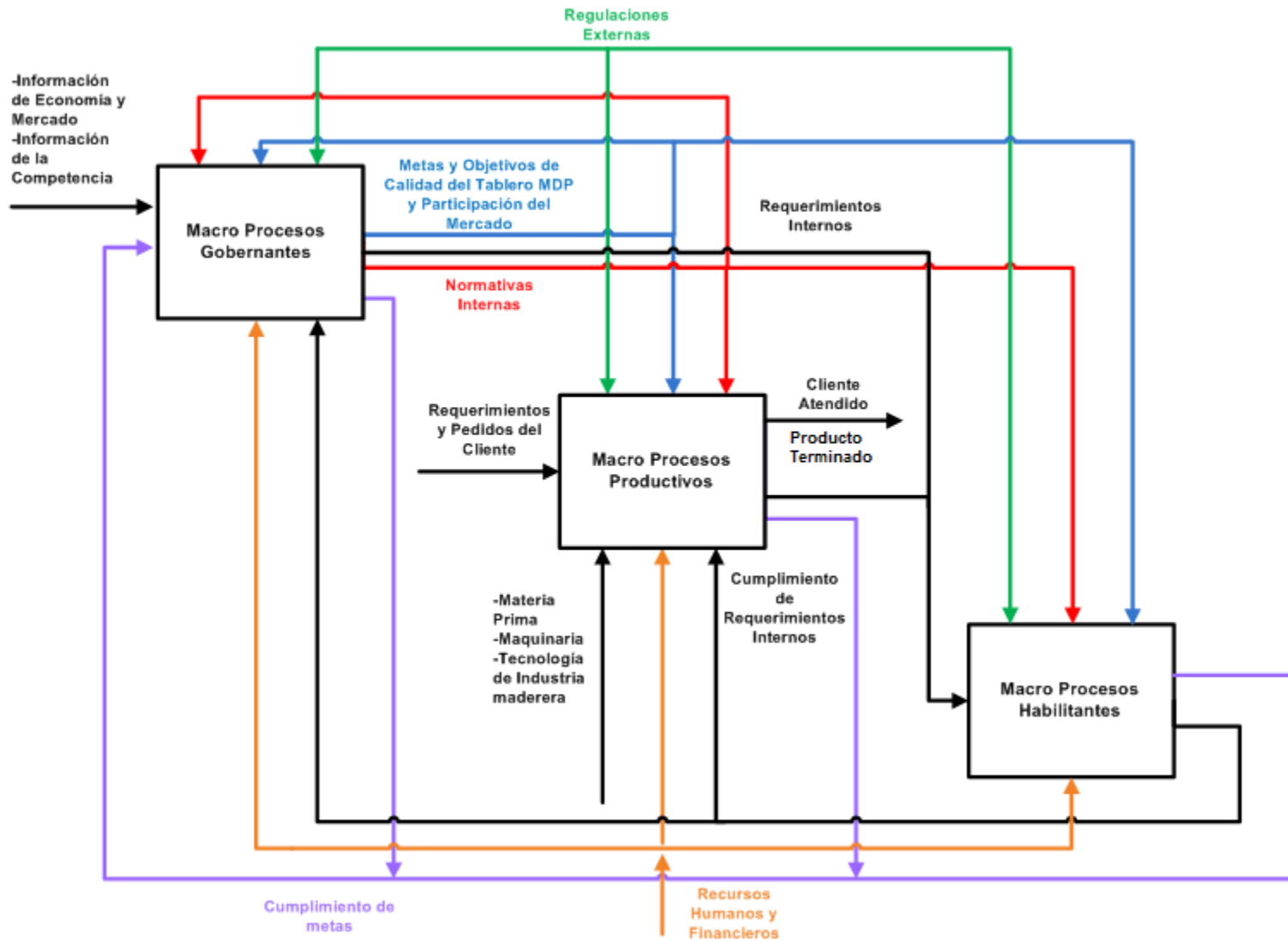


Diagrama 2: Mapa de Procesos Nivel 1

3.4.2.3. Nivel 2 de Procesos

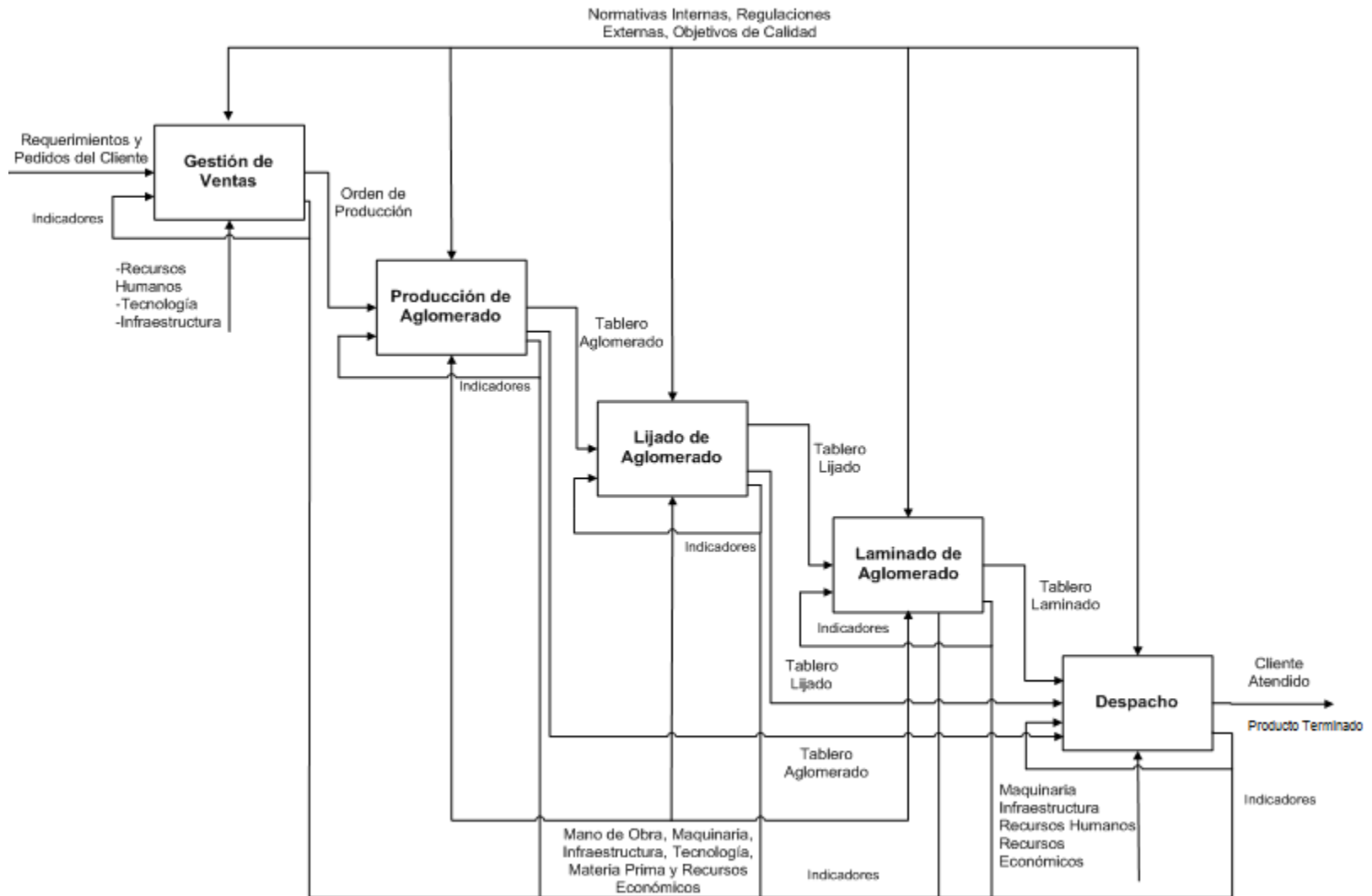


Diagrama 3: Mapa de Procesos Nivel 2

3.4.3. Cadena de Valor

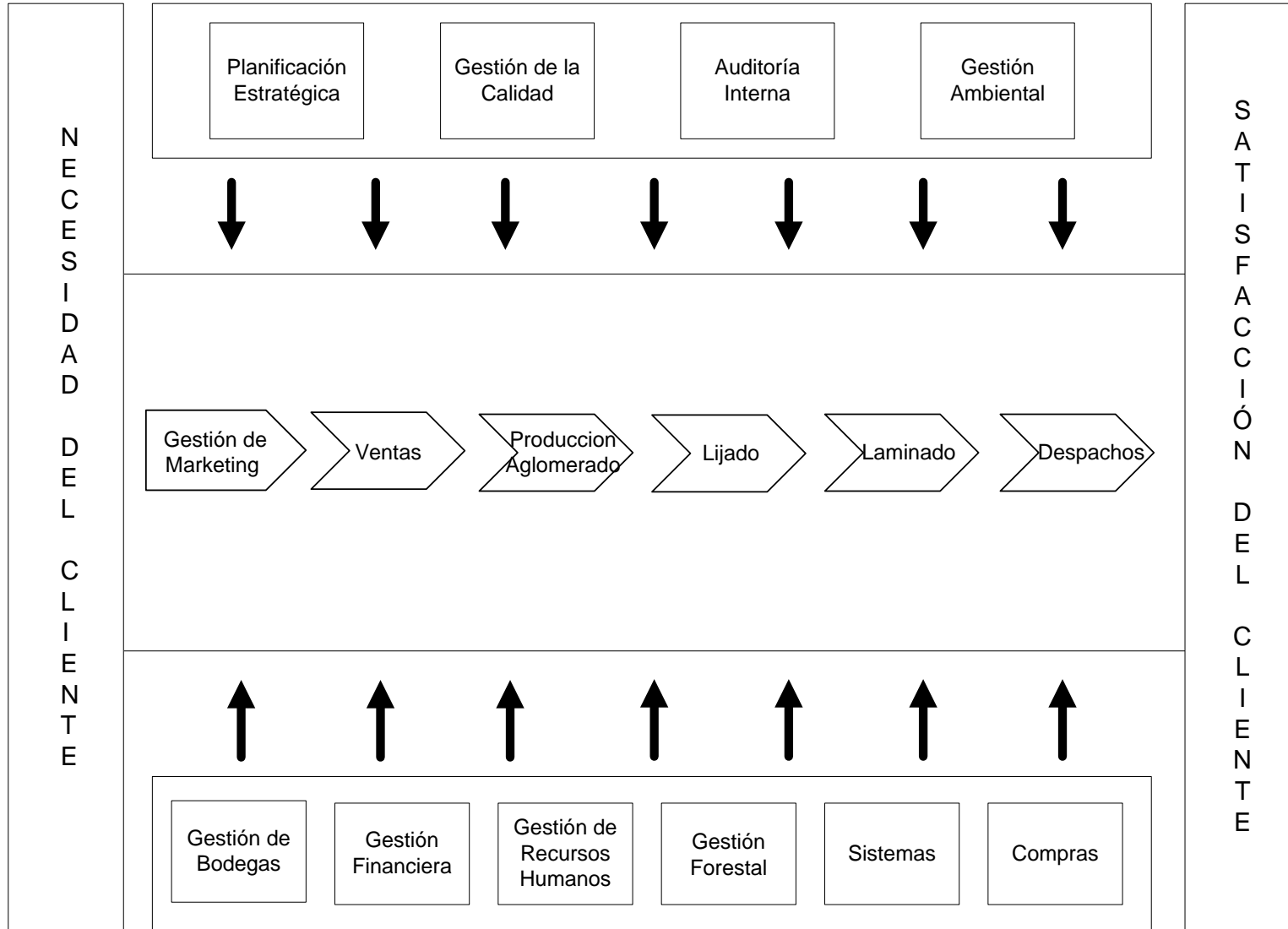


Diagrama 4: Cadena de Valor de Novopan

3.4.4. Descripción del Proceso de Fabricación de Tableros MDP

Para un mejor entendimiento del sistema productivo en Novopan se realizará una breve descripción del proceso de elaboración de tableros aglomerados. En el Anexo 2 se detalla gráficamente todo el proceso productivo.

3.4.4.1. Recepción y Almacenamiento de Madera

El proceso inicia con la recepción de materia prima. Novopan cuenta con plantaciones propias y proveedores externos para satisfacer su demanda de madera. Una de las ventajas de la organización es que tiene la capacidad de recibir madera de distintas especies y presentaciones. La gran mayoría de la madera utilizada durante el proceso de elaboración es eucalipto y pino de tipo rolliza. Sin embargo, Novopan también recibe madera tipo jampa (troncos cortados), láminas (desecho del proceso de fabricación de contrachapados en Codesa), viruta y aserrín. La madera rolliza es normalmente trasladada a los terraplenes de la empresa en donde es almacenada en espera de que pierda humedad. El resto de madera es trasladada al patio de consumo diario.

3.4.4.2. Molienda

En el patio de consumo diario, la materia prima es clasificada dependiendo de su tipo (p.e. madera rolliza, jampa, aserrín) y posteriormente es ingresada al proceso. Como se puede observar en el Anexo 2, existen cuatro puntos de entrada; el molino Hombak 1 donde se alimenta madera de tipo rolliza, el molino Hombak 2 que es alimentado con jampa, la máquina HRL 600 que muele principalmente láminas de madera, y el piso móvil donde el aserrín y la viruta ingresan al proceso de fabricación.

Las partículas obtenidas del proceso de molienda son clasificadas en tres silos dependiendo del punto de ingreso. En el Silo 1 se almacena las partículas más finas provenientes del piso móvil. En el Silo 2 se almacenan partículas de tamaño medio provenientes del Molino de Martillo. Esta máquina transforma material grueso proveniente de los molinos HRL 600, Hombak 2 y viruta media del piso móvil en material de menor tamaño. Finalmente, en el Silo 3 se almacena viruta gruesa proveniente únicamente del molino Hombak 1.

3.4.4.3. *Secado y Clasificación de Material*

Las partículas almacenadas en los Silos 1, 2 y 3 ingresan al proceso de secado en distintas proporciones. En esta etapa, las partículas son expuestas a aire a temperaturas elevadas con el objetivo de reducir la humedad hasta un punto óptimo. Posteriormente, el material seco ingresa a un proceso extenso de clasificación. Inicialmente, el materia atraviesa una serie de zarandas y máquinas refinadoras en donde las partículas de madera son clasificadas por su tamaño en cuatro distintos elementos; polvo fino, polvo medio, material fino y viruta mediana. El polvo fino es almacenado en el Silo 4 el cuál es utilizado posteriormente como combustible en el Quemador, el cual provee de aire caliente al Secadero (Ver Anexo 2). Por otro lado, el polvo medio es almacenado en el Silo 7, el material fino en el Silo 6 y la viruta mediana en el Silo 5.

El objetivo de este complicado proceso de clasificación es poder separar las partículas de madera en material fino y material grueso. El motivo de esta clasificación se debe a que el proceso de fabricación de aglomerado requiere que el tablero sea conformado por tres capas de partículas; las dos capas exteriores son compuestas por material fino (para obtener una mejor textura y uniformidad) y la capa central por partículas gruesas.

3.4.4.4. *Encolado y Formación de Colchón*

El material fino proveniente de los Silos 6 y 7 es transportado a la Encoladora SL (Surface Layer). Por otro lado, el material grueso proveniente del Silo 5 es transportado a la Encoladora CL (Core Layer). En estas máquinas el material es mezclado con distintos químicos (p.e. parafina y resina) que proveen a las partículas las características de compactación y resistencia deseadas.

Posteriormente, el material fino es transportado a las Esparcidoras 1 y 3, mientras que el material grueso a la Esparcidora 2. El colchón de partículas es formado en las esparcidoras colocando, inicialmente una capa de material fino seguido por otra de material grueso y nuevamente una capa de partículas finas (Referirse al Anexo 2).

3.4.4.5. *Prensado*

El colchón de partículas posteriormente ingresa a la etapa de compactación. La máquina de Pre-prensado compacta ligeramente al colchón y lo prepara para

la Prensa Continua. Vale la pena mencionar que posterior a este proceso, existe un sistema automático de rechazo el cuál detecta problemas en la formación del colchón. Material formado incorrectamente, o con presencia de metales, es automáticamente desechado por el sistema. Posteriormente, el colchón ingresa a la máquina de prensado continuo en donde es expuesto a temperaturas y presiones muy altas. El resultado de este proceso es un tablero compactado y continuo.

3.4.4.6. Corte y Apilamiento

A continuación, el tablero continuo ingresa al proceso de corte. Dos sierras longitudinales remueven los bordes irregulares del producto y una sierra transversal corta el colchón, separando los tableros. Vale la pena mencionar que la programación y dirección de la sierra transversal permite que el proceso sea continuo e ininterrumpido. Una vez que los tableros han sido cortados ingresan al Enfriador en donde su temperatura es reducida y posteriormente son apilados. Esto concluye el proceso continuo de fabricación de aglomerado MDP. Algunos tableros son comercializados de esta manera, sin embargo la mayoría de los tableros pasan los procesos de lijado y laminado.

3.4.4.7. Lijado y Laminado

En el proceso de lijado el tablero es sometido a tres lijas sucesivas; gruesa, media y fina. En esta etapa el tablero adquiere una superficie uniforme, con menos irregularidades y muy porosa. Esto permitirá que el papel melamínico pueda ser adherido al tablero con facilidad. Luego, los tableros son llevados al proceso de laminado en donde una lámina de papel decorativo es impregnada al tablero mediante termo-fundición. Finalmente, los tableros laminados son embalados, almacenados y transportados a los distintos clientes y centros de distribución.

(Bolaños)

3.4.5. Descripción del Sistema de Control de Calidad Actual

Dentro de Novopan la responsabilidad del control y monitoreo de la calidad recae principalmente sobre el Laboratorio de Calidad. Sin embargo, existen muchos puntos de control y variables dentro de la línea de producción que son monitoreados

por los encargados de cada proceso. Existen 9 puntos de control que forman parte del Sistema de Aseguramiento de la Calidad en Novopan:

- Recepción de Material
- Salida de los Silos 1, 2 y 3
- Salida del Secadero
- Salida de los Silos 5 y 6
- Salida de las Encoladoras SL y CL
- Salida de la Sierra
- Salida de Laminado

Estos puntos de control junto con sus variables de medición se detallan en la tabla del Anexo 3. Es importante considerar que a lo largo del proceso de fabricación existen variables que son monitoreadas en tiempo real y de manera automática a través del sistema de interface de la maquinaria. Su propósito es principalmente controlar los parámetros y configuraciones de los equipos para asegurar su correcto desempeño. Por este motivo, estas variables no forman parte de los procesos de Control y Aseguramiento de la Calidad en Novopan y no son mencionadas en la tabla.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGLOMERADO

Previo a la elaboración de la propuesta de optimización fue necesario realizar una medición del desperdicio actual en el proceso de Fabricación de Aglomerado. Esto permitirá conocer el desempeño actual de la planta, y posteriormente concluir acerca de la efectividad de las mejoras propuestas (en caso de implementarlas).

4.1. Medidas de Desempeño Propuestas para el Proceso de Elaboración de Aglomerado

Novopan cuenta con varios datos del desperdicio generado durante la elaboración de tableros, sin embargo, no existen indicadores puntuales para medir eficientemente el desempeño de la línea de producción. Por este motivo, se propone el uso de los siguientes índices de desperdicio.

- Proporción de Producción de Tableros Clase R en la Sierra 1
- Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno

Estos indicadores pueden ser fácilmente calculados mediante el uso de la información contenida en los Reportes de Producción que son entregados cada turno por el equipo de Control de Prensa.

Se analizó cada uno de estos indicadores de manera individual con el objetivo de conocer la situación actual de la empresa y el desempeño de su línea de producción. Sin embargo, vale recordar que este estudio tiene como principal enfoque la reducción de la producción de tableros Clase R. A continuación se presenta un análisis detallado del desempeño actual de Novopan con respecto a los índices mencionados.

4.1.1. Proporción de Producción de Tableros Clase R en la Sierra 1

Luego del corte del tablero en la Sierra 1, existe un sistema automático de rechazo que controla la producción de tableros de mala calidad (Ver el Anexo 2). Este sistema es activado por una serie de sensores que detectan problemas en las características de los tableros aglomerados. Cuando esto sucede, la banda transportadora se abre y separa los tableros Clase A de los Clase R. A continuación se presenta la ecuación de cálculo de este indicador.

Ecuación 10: Forma de Cálculo de Proporción de Tableros Clase R en la Sierra 1

$$\text{Proporción Tableros Clase R} = \frac{\# \text{ de Tableros Clase R}}{\# \text{ Tableros Clase R} + \# \text{ Tableros Clase A}}$$

Es evidente que la medida de desempeño propuesta monitorea la proporción de tableros Clase R que son separados del proceso de fabricación en relación a la cantidad total de tableros que atraviesan la Sierra 1. Por este motivo, esta proporción es un buen indicador del desperdicio generado en las etapas finales del proceso de Elaboración de Aglomerado.

4.1.1.1. Estimación de la Medida de Desempeño

El primer paso para evaluar el desempeño de la línea de producción fue estimar el valor actual de este indicador. El tamaño mínimo de tableros necesarios para estimar este indicador fue calculado mediante el uso de la siguiente ecuación.

Ecuación 11: Tamaño de Muestra para Inferencia de una Proporción

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \times p \times q}{d^2}$$

Donde:

n = Tamaño de Muestra

$Z_{1-\alpha/2}$ = Valor de la distribución normal estándar correspondiente a la probabilidad de $1 - \alpha/2$.

α = Nivel de significancia establecido, definido como $1 - \text{Nivel de Confianza}$

p = Proporción esperada del parámetro que se desea estimar. Puede ser obtenido mediante una muestra piloto o una aproximación del parámetro. En caso de que no se tenga información se puede utilizar un valor de $p = 0.50$ ya que este valor maximiza el tamaño de la muestra.

q = Se define como $1 - p$

d = La precisión o radio del intervalo de confianza para el parámetro estimado

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizaron los siguientes parámetros:

$\alpha = 0.01$ (Nivel de Confianza del 99%)

$p = 0.50$ (Ya que no se tiene información acerca del parámetro)
 $q = 0.50$
 $d = 0.005$ (Precisión del 0.5% para la estimación del parámetro)

Ingresando estos valores en la Ecuación 11 se obtiene:

$$n = \frac{2.58^2 \times 0.50 \times 0.50}{0.005^2}$$
$$n = 66,564$$

De esta manera, se determinó que el tamaño de muestra necesario para la estimación de la proporción de tableros Clase R sea de 66,564 tableros. Para la obtención de los datos se utilizaron los Reportes de Sierra 1 de los meses de septiembre y octubre de 2010. En estos documentos se detalla la cantidad de tableros Clase A y Clase R que se generan en cada turno de producción.

Debido a la gran disponibilidad de información se analizó una muestra de 97,869 tableros, divididos en 57 distintos turnos de producción. Los datos analizados se encuentran detallados en el Anexo 4. Se encontró que de un total de 97,869 tableros que atravesaron el proceso de corte, 1,213 fueron rechazados por el sistema (proporción de 1.24%).

Posteriormente, se calculó el intervalo de confianza para este parámetro. Ya que el tamaño de muestra es grande y la proporción pequeña, entonces es adecuado utilizar la aproximación de Poisson para la distribución Binomial en el cálculo de intervalos de confianza (Montgomery, Control estadístico de la Calidad). Por este motivo, se utilizó la ecuación de intervalos de confianza de la aproximación Poisson que se presenta a continuación:

Ecuación 12: Intervalo de Confianza de la Aproximación Poisson a la Binomial para una Proporción de una Población

$$\frac{1}{2n} \chi^2_{(2(\lambda+1), \alpha/2)} \leq p \leq \frac{1}{2n} \chi^2_{(2\lambda, 1-\alpha/2)}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra utilizado

λ = Parámetro de la distribución Poisson aproximado por $\lambda = n\hat{p}$ en la aproximación. Donde \hat{p} es la proporción obtenida de la muestra.

$X^2_{(X,\alpha)}$ = Valor de la distribución inversa de Poisson asociada a un valor X y un nivel de significancia α

p = Proporción que se desea estimar

Para el cálculo del intervalo de confianza para la Proporción de Producción de Tableros Clase R se utilizaron los siguientes parámetros:

n = 97869 Tableros

λ = 1213 Tableros Clase R

p = 1213 / 97869 = 0.012394

α = 0.01 (Nivel de Confianza del 99%)

Ingresando estos parámetros en la Ecuación 12 se obtuvo el intervalo de confianza para la Proporción de Producción de Tableros Clase R que se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 3: Intervalo de Confianza del 99% para Proporción de Tableros Clase R

Límite Inferior	Media	Límite Superior
1.1758%	1.2394%	1.3044%

Se puede ver que la proporción de Producción de Tableros Clase R en Novopan se encuentra entre 1.18% y 1.30% con un valor medio de 1.24%.

4.1.1.2. Tipos de Defectos de Producción de Tableros Clase R

El siguiente paso en el análisis fue determinar los principales tipos de defectos que causan producción de tableros Clase R. En la tabla a continuación se muestran los defectos de producción de tableros Clase R y sus frecuencias obtenidas de la muestra analizada en la sección anterior.

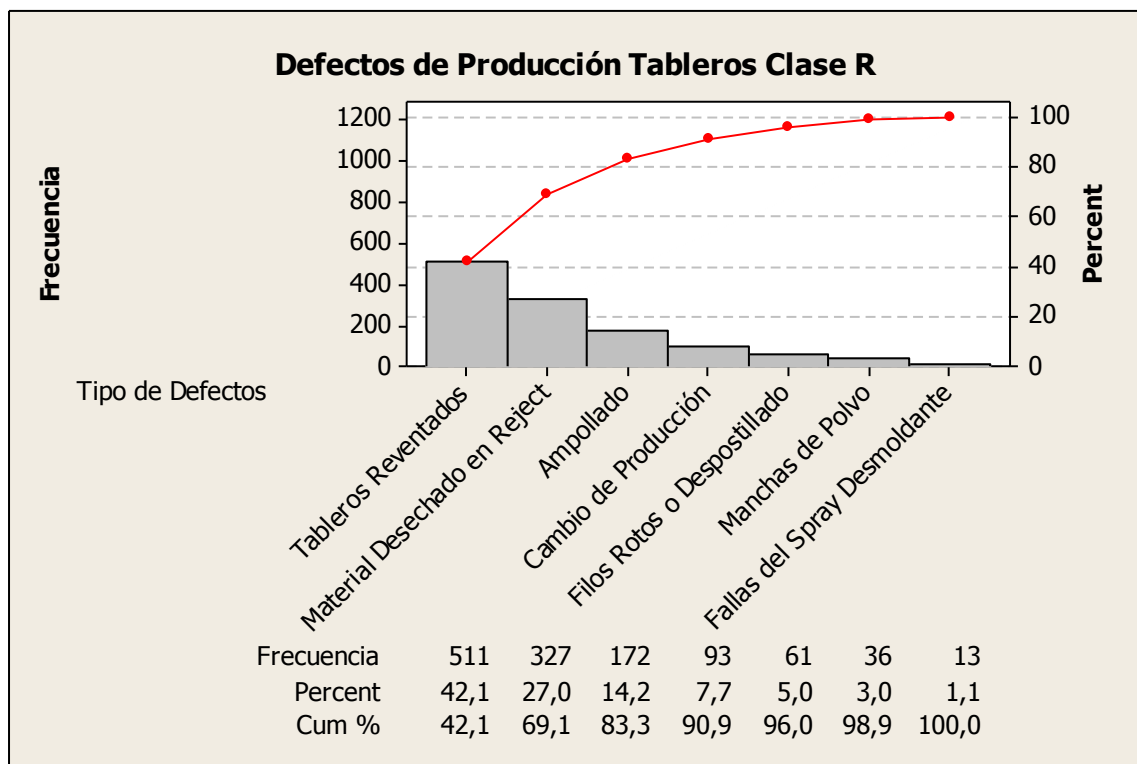
Tabla 4: Frecuencia de Tableros Clase R por Tipo de Defectos

Defecto	Tableros Clase R
Tableros Reventados	511
Interrupción de Producción por Material Desechado al Reject	327
Ampollado	172

Interrupción por Cambio de Producción	93
Filos Rotos o Despostillado	61
Manchas de Polvo	36
Fallas del Spray Desmoldante	13
Total	1213

Con esta información se desarrolló el siguiente diagrama de Pareto para los tipos de defectos de producción de tableros Clase R.

Diagrama 5: Pareto para Defectos de Producción de Tableros Clase R



Analizando el diagrama de Pareto se puede observar que los defectos más comunes son: Tableros Reventados, Interrupción de Producción por Material Desechado al Reject y Ampollado. Estos tres defectos acumulan un 83.26% de los tableros Clase R analizados. Vale la pena mencionar que el motivo de Interrupción de Producción por Material Desechado al Reject es un problema independiente del proceso de prensado y será estudiado posteriormente en el indicador de Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno. Por este motivo el análisis posterior se enfocó en los dos

defectos restantes, los cuales acumulan un 56.31% de los tableros Clase R observados.

4.1.1.3. Análisis Causal

A continuación se realizó un análisis causal de los tipos de defectos de mayor impacto en la producción de tableros Clase R. El objetivo fue determinar las principales causas-raíz del desperdicio para poder gestionarlas posteriormente en el estudio.

Para este análisis se realizó una sesión de pensamiento creativo con integrantes de distintas áreas del proceso productivo. En el diagrama de causa y efecto que se muestra en el Anexo 5 se detallan las posibles causas-raíz mencionadas durante esta sesión para el problema de Tableros Reventados.

Luego de una discusión se llegó a un consenso entre el grupo de pensamiento creativo para seleccionar las verdaderas causas que originan el problema. El equipo seleccionó que la causa raíz más influyente en la generación de tableros reventados es el exceso de humedad, especialmente en la capa de material grueso. Se explicó que excesiva humedad en las partículas del colchón genera vapor de agua cuando ingresan en la Prensa. A su vez, este vapor causa presión adicional en el colchón de partículas lo que causa que el tablero explote.

No se realizó un análisis causal para el defecto de Ampollado ya que se pudo determinar que sus causas son las mismas que las de Tableros Reventados. La diferencia entre estos defectos es la cantidad de presión generada en el proceso de prensado. El tablero reventado sufre una ruptura debido al exceso de presión, mientras que el tablero ampollado únicamente sufre una especie de ampollamiento en su superficie.

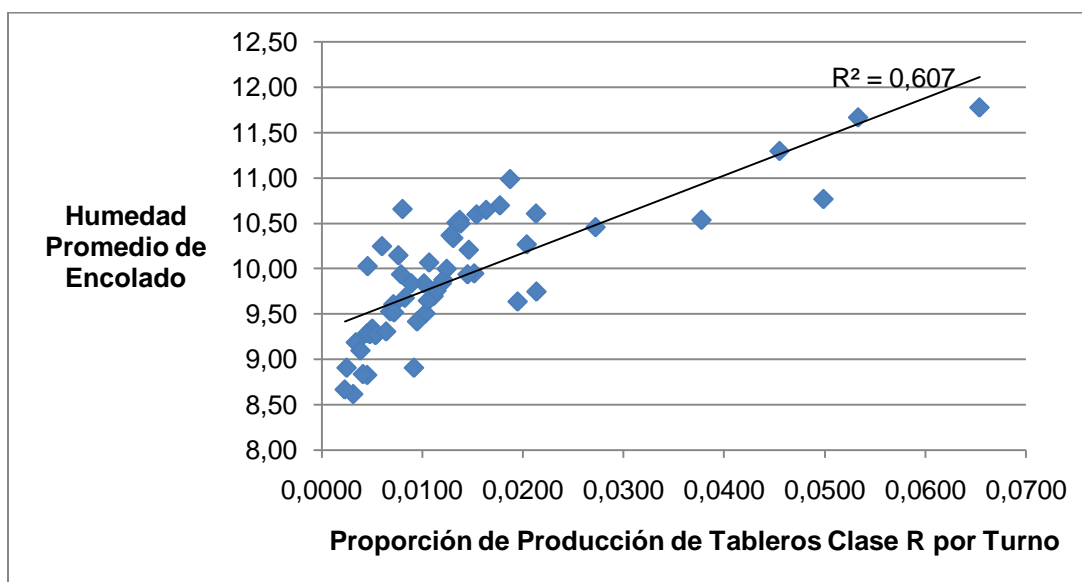
4.1.1.4. Validación de Causa Raíz

En la sección anterior se determinó que la causa raíz a los motivos de producción de tableros Clase R más comunes (Reventado y Ampollado) es la excesiva humedad de las partículas que ingresan al proceso de Prensado. La determinación de esta causa se realizó mediante un análisis cualitativo con empleados de Novopan. Por esta razón se realizó un estudio para validar

estadísticamente la incidencia de la humedad en la producción de tableros Clase R.

Inicialmente, se determinó el factor de correlación entre la Humedad Promedio de Encolado y la Proporción de Producción de Tableros Clase R por Turno de Producción. Se utilizaron los registros de 57 turnos de producción que se detallan en el Anexo 4. Vale la pena mencionar que para cada de estos turnos de producción se realizó un seguimiento de la humedad promedio del encolado en el turno correspondiente. A continuación se presenta el análisis de correlación.

Diagrama 6: Diagrama de Dispersión y Correlación de Humedad Promedio de Encolado vs. Proporción de Producción de Tableros Clase R por Turno



Se observa que existe una relación positiva débil entre las dos variables analizadas. Adicionalmente, se puede observar que el factor de correlación es de 0.607. Esto quiere decir que la relación entre las dos variables existe, sin embargo, no es lo suficientemente fuerte para llegar a una conclusión definitiva.

Para poder concluir con mayor seguridad que la alta humedad de las partículas causa producción de tableros Clase R se realizó una prueba de hipótesis de dos proporciones. Se ordenó los 57 turnos de producción en orden ascendente en la humedad promedio de encolado y se separó la mitad de turnos con la mayor humedad de los de menor humedad. De esta manera se comparó

las proporciones de tableros Clase R de los turnos con alta humedad y los de baja. En la tabla a continuación se muestran los datos utilizados.

Tabla 5: Datos de Producción de Tableros Clase R de Turnos de Producción Según Humedad de Encolado

% de Humedad	Tableros Sierra 1	Tableros Clase R	Proporción
Bajo	49461	373	0,7541%
Alto	48408	840	1,7353%
Total	97869	1213	1,2394%

Con los datos anteriores se planteó la siguiente prueba de hipótesis de dos proporciones.

H₀: Las proporciones de tableros Clase R de los turnos de producción con porcentaje de humedad de encolado alto y bajo son iguales.

H₁: Las proporciones de tableros Clase R de los turnos de producción con porcentaje de humedad de encolado alto y bajo no son iguales.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se realizó esta prueba de hipótesis, a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6: Resultados de Minitab de Prueba de Hipótesis de Dos Proporciones

Test and CI for Two Proportions

```
Sample   X      N  Sample p
1         373 49461  0,007541
2         840 48408  0,017353
```

```
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference:  -0,00981121|
95% CI for difference:  (-0,0112020, -0,00842038)
Test for difference = 0 (vs not = 0):  Z = -13,83  P-Value = 0,000
```

Se puede ver que el valor p de la prueba es 0.000 lo cual es menor al nivel de confianza α seleccionado de 0.05. De esta manera se llega a la conclusión de que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo cual sugiere que sí existe una diferencia entre las dos

proporciones analizadas. De esta manera se concluye con confianza que la humedad de las partículas tiene una incidencia directa en la producción de tableros Clase R.

4.1.1.5. *Discusión de la Proporción de Producción de Tableros Clase R*

El análisis de esta medida de desempeño determinó que la Proporción de Producción de Tableros Clase R en el proceso de elaboración de aglomerados es de aproximadamente 1.24%. Esta proporción es relativamente pequeña y aparentemente aceptable. Sin embargo, el alto volumen de producción de la fábrica hace que los costos asociados a la elaboración de tableros Clase R sean de aproximadamente \$2239 por día.

Se pudo determinar que los defectos más relevantes de la producción de tableros de mala calidad son Reventado y Ampollado de tableros. Estos problemas representan aproximadamente un 42.13% y 14.18% respectivamente de los tableros Clase R generados en esta etapa. Adicionalmente, el análisis causal reveló que el motivo principal de estos problemas es el exceso de humedad en las partículas de madera al momento que ingresan a la máquina de prensado. La corrección de esta causa raíz y su apropiado control tienen la capacidad potencial de reducir en un 56.31% la producción de tableros defectuosos.

4.1.2. Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno

Posterior al proceso de pre-prensado, la línea de producción cuenta con un sistema automático de rechazo de las partículas en el colchón (Ver el Anexo 2). La existencia de este sistema se debe a dos motivos; proteger a la prensa de ingreso de objetos metálicos y evitar que colchón mal formado avance en la línea de producción. Vale la pena mencionar que el material rechazado en este sistema es transportado automáticamente a las etapas iniciales del proceso.

Previo al sistema de rechazo, existe un detector de metales el cuál activa el sistema automáticamente en caso de descubrir la presencia de metales en el colchón de partículas. Si objetos metálicos ingresan a la Prensa, la banda prensadora podrá ser dañada, causando que todos los tableros posteriores salgan de este proceso con un marcado en su superficie..

Adicionalmente, el sistema de rechazo cuenta con una serie de sensores que permite detectar irregularidades en la formación del colchón. En ocasiones, la capa superior de partículas se pega a la banda de pre-prensado, creando un colchón de partículas defectuoso. Cuando esto sucede, los sensores detectan este error y activan el sistema automático de rechazo (Díaz). A continuación se presenta la fórmula de cálculo para medir el indicador de desempeño propuesto.

Ecuación 13: Fórmula de Cálculo de Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{\text{kg de material desechado}_i}{\text{kg de material desechado}_i + \text{kg de material no desechado}_i}$$

Donde:

n = Número de turnos de producción analizados. Para encontrar el valor del parámetro poblacional se debe considerar que $n = \infty$

i = Turno de producción *i*

En este sentido, la medida de desempeño monitorea la proporción de material que es descartado en el sistema de rechazo en relación a todo el material que ingresa al proceso de pre-prensado. La proporción promedio de material desechado es un adecuado indicador del desperdicio generado en la etapa previa al prensado del material.

Se debe considerar que para cada turno, la proporción de material desechado puede variar debido a las distintas características de los tableros producidos (p.e. espesor). Por esta razón, es adecuado considerar que este indicador monitorea el promedio general de desperdicio en esta etapa, en lugar de un desperdicio individual para cada segmento de producto.

4.1.2.1. Estimación de la Medida de Desempeño

El primer paso del análisis fue estimar el valor actual del Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno. Es importante considerar que, si bien el indicador utiliza en su fórmula las proporciones de material rechazado, el índice propuesto no monitorea una proporción, sino la media de las proporciones de desperdicio por turno de producción. Este enfoque se utilizó ya que no es posible estimar una proporción poblacional utilizando datos que no son

discretos. En este sentido, se estimó una media poblacional en lugar de una proporción.

El tamaño mínimo de la muestra para inferir acerca del promedio de la proporción fue calculado mediante el uso de la ecuación a continuación.

Ecuación 14: Tamaño de Muestra para Inferencia de la Media de Variables Normales

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \times S^2}{d^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la Muestra

$Z_{1-\alpha/2}$ = Valor de la distribución normal estándar correspondiente a la probabilidad de $1 - \alpha/2$.

S^2 = Varianza aproximada de la población.

d = La precisión o radio del intervalo de confianza para el parámetro estimado.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizaron los siguientes parámetros:

α = 0.01 (Nivel de Confianza del 99%)

S^2 = 0.00010549 (Obtenido de una muestra piloto que se detalla en el Anexo 6)

d = 0.005 (Precisión del 0.5%)

Ingresando estos valores en la Ecuación 14 se obtiene:

$$n = \frac{2.58^2 \times 0.00010549}{0.005^2}$$

$$n = 28.08$$

De esta manera se determinó que el tamaño de muestra mínimo necesario para estimar la Proporción Promedio de Material Rechazado por Turno sea de 29 muestras. Para la obtención de los datos se utilizaron los Reportes de Prensa de 29 tunos de producción elegidos de manera aleatoria dentro de los meses de septiembre y octubre de 2010. En estos documentos se

detalla la cantidad de material rechazado y la cantidad de material que ingresó al proceso de prensado en cada turno de producción.

Analizando los reporte se pudo encontrar que la proporción promedio de material rechazado por turno de producción es de 1.79% con una desviación estándar de 0.99%. Los datos analizados se muestran en el Anexo 7. Para la obtención del intervalo de confianza para el parámetro estimado se utilizó la fórmula para la media de una distribución normal con varianza desconocida.

Ecuación 15: Intervalo de Confianza para la Media de una Distribución Normal con Varianza Desconocida

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{x} = Promedio muestral

$t_{\alpha/2, n-1}$ = Valor de la Distribución T de Student asociada a la probabilidad de $\alpha/2$ y $n-1$ grados de libertad

α = Nivel de significancia

S = Desviación estándar muestral

n = Número de observaciones

μ = Media Poblacional

Para el cálculo del intervalo de confianza se utilizaron los siguientes parámetros:

$x = 0.01791$

$\alpha = 0.01$ (Nivel de Confianza del 99%)

$S = 0.009888$

$n = 29$

De esta manera se obtuvo el intervalo de confianza para la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno de producción que se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 7: Intervalo de Confianza del 99% para Proporción Promedio de Partículas Desechadas por Turno

Límite Inferior	Promedio	Límite Superior
1.2836%	1.7910%	2.2984%

Se concluye que esta medida de desempeño se encuentra entre 1.28% y 2.29% con un valor medio de 1.79%. Se debe considerar que tanto la ecuación del tamaño de muestra como el del intervalo de confianza son adecuadas únicamente para datos que siguen una distribución normal. Por este motivo, se realizó una prueba de normalidad de los datos a la muestra obtenida para justificar el estudio.

4.1.2.2. Prueba de Normalidad de Datos

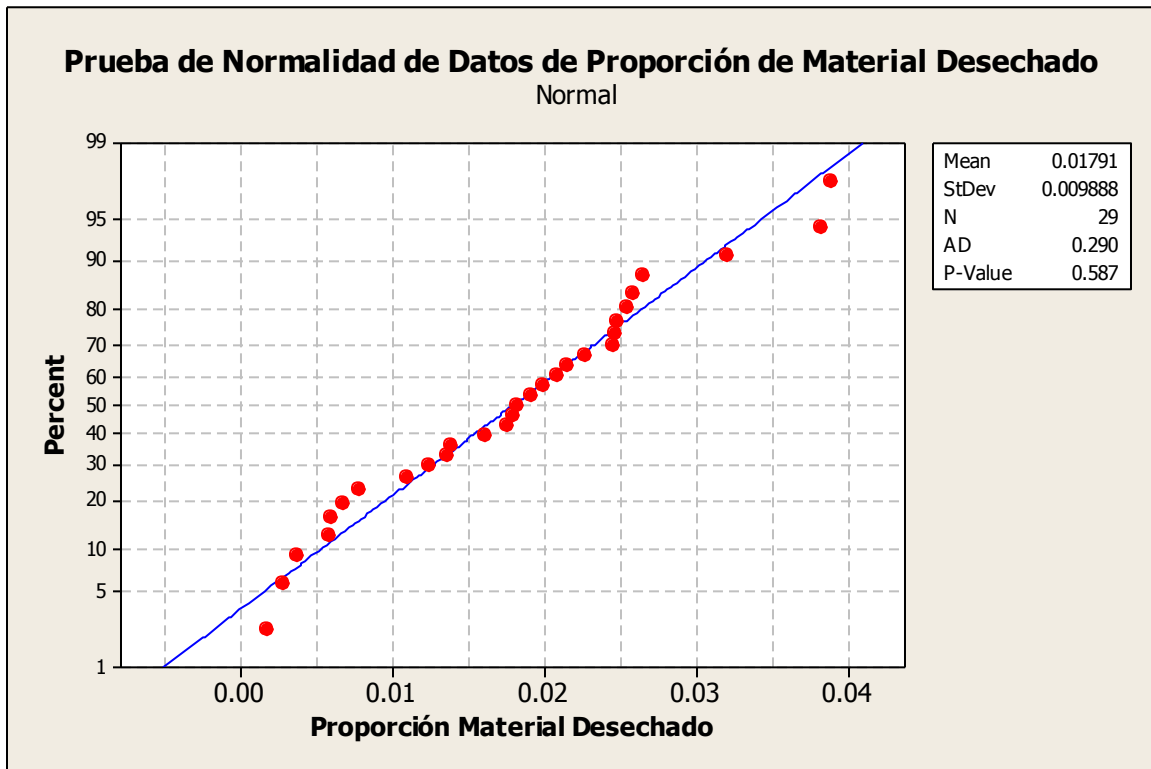
Para comprobar la normalidad de los datos en estudio se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H₀: Los datos de la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno siguen una distribución normal.

H₁: Los datos de la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 7: Prueba de Normalidad de Datos de Proporción de Material Desechado por Turno



Se puede observar que el valor p de la prueba de hipótesis es de 0.587, valor que es ampliamente superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el uso de las ecuaciones en la sección anterior.

4.1.2.3. Tipos de Defectos de Desecho de Material

El siguiente paso en el análisis fue determinar los principales tipos de defectos que causan desecho de material. En la tabla a continuación se muestran los tipos de defectos de producción que generan material a ser desechado y sus frecuencias obtenidas de la muestra analizada en la sección anterior.

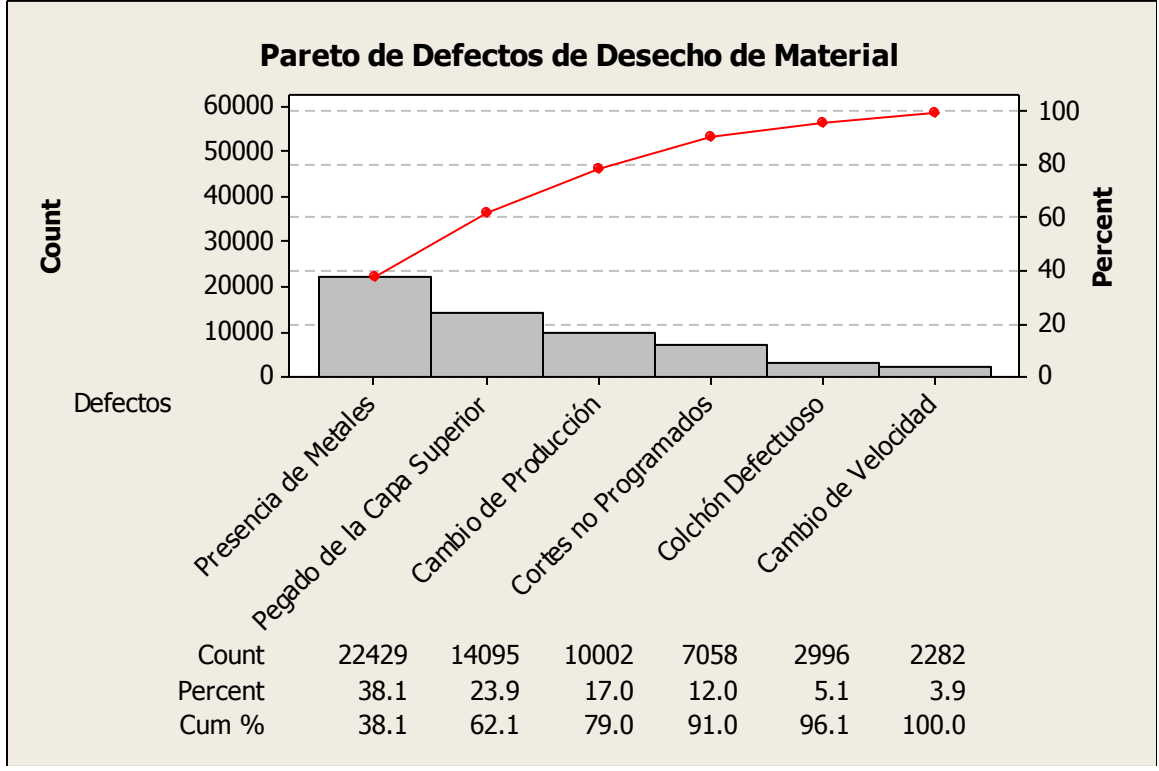
Tabla 8: Material Desechado por Tipo de Defectos

Defecto	Kg de Material Desechado
Presencia de Metales	22429

Pegado de la Capa Superior a la Banda de Pre-Pensado	14095
Interrupción por Cambio de Producción	10002
Interrupción de Producción por Cortes no Programados	7058
Formación Defectuosa de Colchón en Esparcadoras	2996
Cambio de Velocidad en la Línea de Producción	2282
Total	58862

Con esta información se desarrolló el diagrama de Pareto para los defectos de desecho de material que se presenta a continuación.

Diagrama 8: Pareto para Defectos de Material Desechado



Luego de analizar el gráfico se observa que los tres defectos más comunes son: Presencia de Objetos Metálicos, Pegado de la Capa Superior a la Banda de Pre-Prensado y Cambio de Producción. Estos tres motivos acumulan un 79.04% del peso de partículas rechazadas que fueron analizadas en la muestra.

Se conoce que los defectos por Cambio de Producción son inevitables debido a la necesidad de la organización de generar gran variedad de productos y de satisfacer su demanda. Por este motivo, se enfocará el análisis causal en los dos problemas restantes, los cuales representan un 62.05% de los defectos estudiados.

4.1.2.4. Análisis Causal

A continuación se realizó un análisis causal de los tipos de defectos de mayor impacto en el desecho de material determinados en la sección anterior. Para este análisis se utilizó una sesión de pensamiento creativo con integrantes de distintas áreas del proceso productivo. En el diagrama de causa y efecto que se muestra en el Anexo 8 se detallan las posibles causas-raíz mencionadas durante esta sesión para el problema de Presencia de Objetos Metálicos.

Luego de una discusión grupal se llegó a un consenso para seleccionar las causas críticas que originan el problema. El equipo seleccionó las siguientes causas raíz para el problema:

- Recepción de materia prima con contenido de metales, especialmente en aserrín
- Sistemas ineficientes de detección de metales

En la misma sesión de pensamiento creativo se trató el problema de Pegado de la Capa Superior a la Banda de Pre-Prensado. En el diagrama de causa y efecto que se detalla en el Anexo 9 se muestran las potenciales causas-raíz mencionadas durante esta sesión. Luego de una discusión, el grupo seleccionó que las causas más influyentes para este problema son:

- Falta de polvo en la capa superior
- Incorrecta mezcla de encolado, especialmente exceso de resina
- Humedad excesiva de las partículas

4.1.2.5. Discusión de la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno

El análisis realizado determinó que la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno de producción es de aproximadamente 1.79%. Al igual

que los tableros Clase R, este desperdicio es un problema importante de calidad dentro de Novopan debido al alto costo asociado.

Se pudo determinar que los defectos principales que originan desecho en esta etapa son la Presencia de Objetos Metálicos y el Pegado de la Capa Superior a la Banda de Pre-Prensa. Estos defectos representan aproximadamente un 38.10% y 23.95% respectivamente del material desechado por el sistema.

Para el defecto de Presencia de Metales, se encontró que las causas raíz son sistemas iniciales ineficientes de detección y la recepción de aserrín con alto contenido metálico. Desarrollar un sistema de control sobre el aserrín (y en general sobre toda la madera) que ingresa a la organización es complicado debido a la gran cantidad de proveedores y el excesivo esfuerzo de muestreo que representa. Por este motivo, se sugiere a Novopan realizar un estudio de costo-beneficio para determinar la factibilidad de la implementación de un sistema eficiente de detección de metales previo al proceso de encolado, en la salida de los Silos 5 y 6 (Referirse a Anexo 2).

Este sistema tendría la capacidad de desechar material con contenido metálico previo a la formación de colchón de partículas. De esta manera, se podrá desechar material sin necesidad de interrumpir el proceso de elaboración de aglomerado. Adicionalmente, el desecho podría disminuir significativamente ya que el sistema tendría la capacidad de desechar únicamente una cantidad pequeña de partículas, a diferencia de desechar todo el colchón de partículas en la zona afectada.

Para el problema de Pegado de la Capa Superior a la Banda de Pre-Prensado, se identificaron tres causantes principales; Falta de Polvo en la Capa Superior del Colchón, Exceso de Resina en el Encolado y Humedad Excesiva del Material. Similarmente, se recomienda a Novopan desarrollar sistemas estrictos de control en los procesos de encolado y esparcido que aseguren las correctas cantidades de resina y polvo de madera en la formación del colchón de partículas.

4.2. Conclusiones Generales del Desempeño del Proceso de Elaboración de Aglomerado

El análisis del desempeño actual reveló que el desperdicio en el Proceso de Elaboración de Aglomerado es alrededor del 1.50%. La Proporción de Producción de Tableros Clase R es de aproximadamente 1.24%, mientras que la Promedio de la Proporción de Material Desechado por Turno es de aproximadamente 1.79%. Estas proporciones son aparentemente pequeñas, sin embargo, la alta tasa de producción de la fábrica hace que los costos relacionados sean considerables y que la reducción de desperdicio sea un tema crítico para la compañía.

A pesar de que el desecho de material representa un problema importante de calidad para Novopan, la producción de tableros Clase R tiene un mayor impacto financiero en la organización. Esto se debe a que esta forma de desperdicio es producto terminado, el cual tiene un mayor valor agregado que las partículas de madera. Por este motivo, se decidió que el enfoque de este proyecto sea la reducción en la producción de tableros Clase R, enfocado en la gestión de las causas-raíz identificadas. En este sentido, el desarrollo de los sistemas de control y detección mencionados en la sección 4.1.2.5. no formó parte del alcance de este proyecto.

5. CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN DE LA ETAPA DE PREPARACIÓN DE MADERA

En el capítulo anterior se presentó el análisis de del desempeño actual del proceso de elaboración de tableros, donde se concluyó que el principal causante de desperdicio (en forma de tableros Clase R) es el exceso de humedad en las partículas que ingresan a la Prensa. Tomando en cuenta este resultado se decidió utilizar Diseño de Experimentos para gestionar esta causa raíz. El objetivo de utilizar esta herramienta fue determinar los parámetros óptimos dentro del proceso de producción que permitan una mejora en los valores de humedad y de esta manera reducir la producción de tableros Clase R.

5.1. Definición de la Variable de Respuesta

La variable de respuesta analizada en el proyecto fue el porcentaje de humedad en las partículas de madera. Para la medición de esta variable es necesario tomar una muestra de material viruteado y colocarla en una balanza de humedad. Este equipo registra el peso inicial y final de la muestra luego de ser sometida a un tiempo de secado. En Novopan, esta variable es obtenida en relación al peso final de la muestra. A continuación se presenta la fórmula de cálculo del porcentaje de humedad que fue utilizada a lo largo del estudio.

Ecuación 16: Cálculo de Porcentaje de Humedad en Relación al Peso Inicial

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso Inicial Muestra} - \text{Peso Final Muestra}}{\text{Peso Final Muestra}} \times 100$$

5.2. Análisis y Validación del Sistema de Medición

Previo a la realización del diseño experimental se realizó la validación del sistema de medición, que en este caso son las balanzas de humedad. El objetivo es determinar si el sistema de medición es lo suficientemente consistente para asegurar que los valores obtenidos reflejen únicamente la humedad innata del material y no variación debido a un sistema de medición poco confiable. Para validar el sistema de medición se realizó un estudio de reproducibilidad y repetitividad. Este análisis estudió mediciones de humedad de distintas muestras y balanzas para determinar la validez del sistema.

Para la conducir el análisis se utilizaron 4 lotes de muestras de partículas provenientes del Secadero. Se eligió este punto ya que las partículas de madera tienen una humedad muy baja y esto facilita la medición debido al poco tiempo de secado. Ya que el proceso de medición puede ser considerado destructivo y las mediciones no se realizan a una parte sino a muestras provenientes de un mismo lote, es necesario asegurar que el material dentro de cada lote sea idéntico. Por este motivo, se mezcló el material de cada lote de manera exhaustiva para lograr la uniformidad del material dentro de cada lote.

Para la obtención de las mediciones de humedad se utilizaron 3 distintas balanzas de humedad dentro de Novopan y se realizó 3 réplicas a las mediciones para obtener resultados más confiables. En el Anexo 10 se presentan las 36 mediciones de humedad obtenidas para este estudio.

En primer lugar, se analizó los datos mediante una prueba ANOVA. El objetivo fue determinar si las balanzas de medición son un factor significativo en las mediciones de humedad obtenidas. Primero es necesario validar los supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas de los subgrupos de datos para poder utilizar correctamente esta prueba estadística.

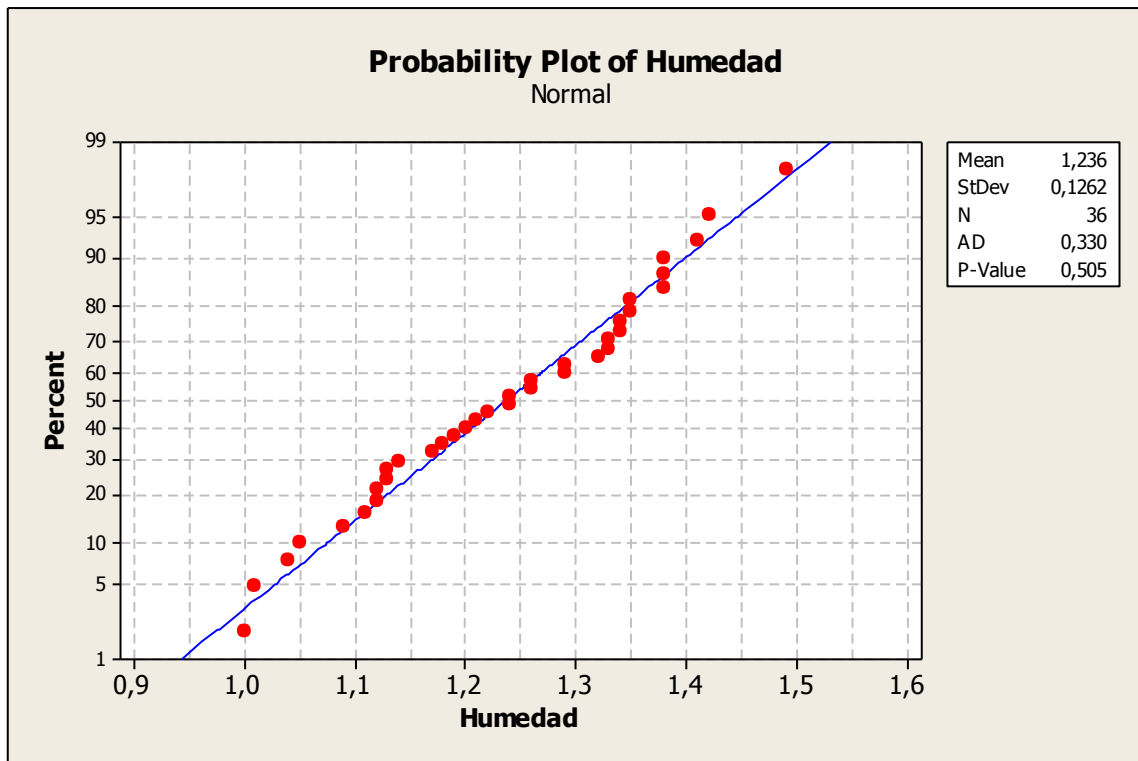
Para comprobar la normalidad de los datos en estudio se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H₀: Los datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R siguen una distribución normal.

H₁: Los datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 9: Prueba de Normalidad de Datos de Mediciones de Estudio R&R



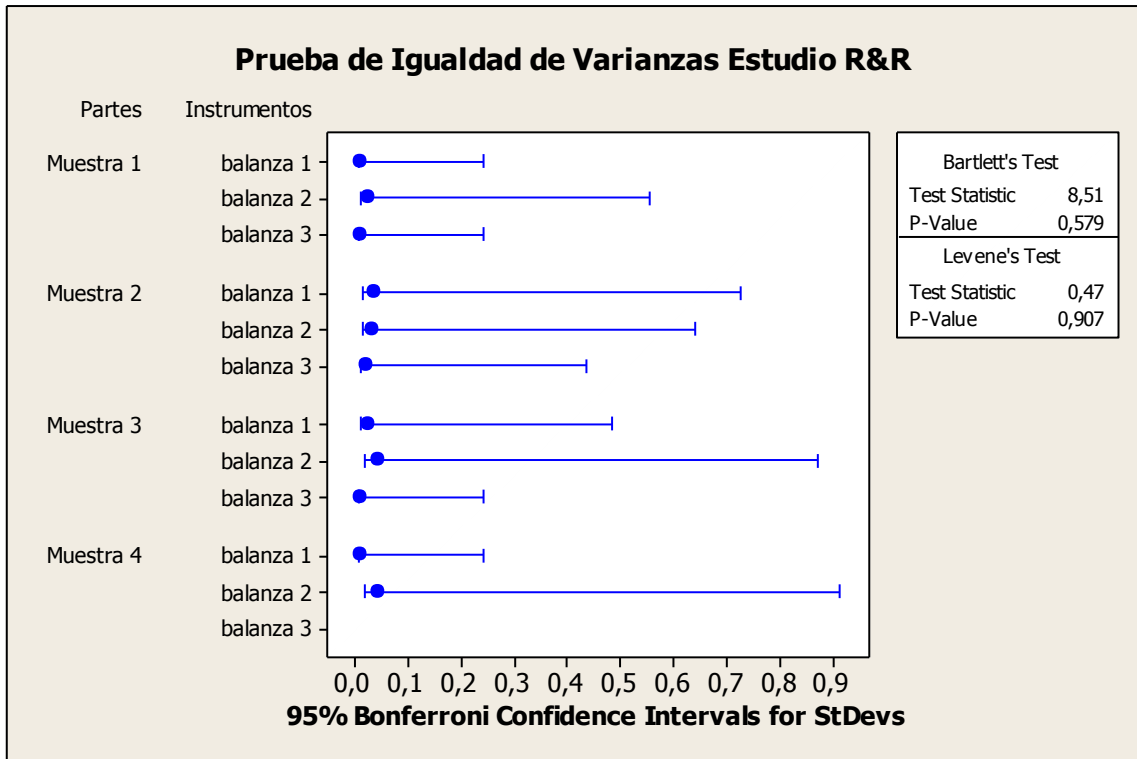
Similarmente se planteó la siguiente prueba de hipótesis para verificar la igualdad de varianza de los datos:

H_0 : Las varianzas de los subgrupos de datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R son iguales.

H_1 : Al menos una varianza de los subgrupos de datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R es distinta.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de igualdad de varianzas, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 10: Prueba de Igualdad de Varianzas de Subgrupos de Datos de Estudio R&R



Como se puede notar, los valores p de las dos pruebas son mayores al nivel de significancia α seleccionado de 0.05, por esta razón, no se puede rechazar las hipótesis nulas. Esto sugiere que los datos siguen una distribución normal y los subgrupos tienen estadísticamente la misma varianza. De esta manera se verificó que los datos cumplen con las dos suposiciones de ANOVA por lo que se procedió a realizar la prueba de hipótesis correspondiente.

H_0 : Las medias de los subgrupos de datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R son iguales.

H_1 : Al menos una media de los subgrupos de datos de las mediciones de humedad en el estudio R&R es distinta.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de ANOVA utilizando el Modelo Lineal General. Vale la pena mencionar que únicamente se analizará los efectos principales ya que la interacción de Muestra y Balanza no es de interés en el estudio. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 9: Resultados de ANOVA para Mediciones de Humedad en Estudio R&R

General Linear Model: Humedad versus Partes; Instrumentos

Analysis of Variance for Humedad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Partes	3	0,449319	0,449319	0,149773	42,31	0,000
Instrumentos	2	0,002106	0,002106	0,001053	0,30	0,745
Error	30	0,106206	0,106206	0,003540		
Total	35	0,557631				

S = 0,0594995 R-Sq = 80,95% R-Sq(adj) = 77,78%

Se puede ver que el valor p para el factor de partes es 0.000, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Esto sugiere que el factor Partes es significativo en las mediciones de humedad. Por otro lado, el factor Instrumentos tiene un valor p de 0.745, por lo que se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Esto sugiere que el factor no tiene ninguna incidencia en las mediciones realizadas. Esta conclusión es positiva ya que se observa que las mediciones varían únicamente debido a la humedad inherente de las muestras y no al instrumento de medición utilizado.

Para comprobar este resultado y obtener mayor información del error de medición, se realizó un estudio de reproducibilidad y repetitividad a los datos de las mediciones aplicando el método de Xbar/ R. Utilizando el programa Minitab® se encontraron los resultados que se presentan a continuación.

Tabla 10: Resultados de Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0006148	3,29
Repeatability	0,0005702	3,05
Reproducibility	0,0000446	0,24
Part-To-Part	0,0180700	96,71
Total Variation	0,0186848	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,024796	0,148774	18,14
Repeatability	0,023879	0,143275	17,47
Reproducibility	0,006679	0,040077	4,89
Part-To-Part	0,134425	0,806548	98,34
Total Variation	0,136692	0,820154	100,00

Number of Distinct Categories = 7

Se observa que de la variación total de los datos, un 96.71% se debe a las partes y el restante 3.29% al error del sistema de medición. Dicho error se divide en 3.05% debido a repetitividad y 0.24% debido a reproducibilidad.

En el Anexo 11 se muestra el análisis gráfico del estudio. Estos diagramas permiten observar que las medias de los valores de humedad de las muestras difieren considerablemente entre ellas; se puede notar que la muestra 2 tiene el valor promedio más bajo y la muestra 4 el mayor. En este sentido se evidencia una diferencia de humedad debido a las partes/muestras utilizadas. Adicionalmente, se puede observar en los gráficos de caja que no existe mayor diferencia entre las tres balanzas. Esto confirma el resultado obtenido de la prueba ANOVA, que sugiere que las balanzas no son un factor significativo en las mediciones del porcentaje de humedad.

En el cuadro de control Xbar del gráfico en el Anexo 11, se evidencia un patrón en los datos similar al observado en la gráfica de las medias de las muestras. Adicionalmente, se puede notar que la mayoría de los puntos de las gráficas se

encuentran por fuera de los límites de control. Este tipo de comportamiento se observa cuando el sistema de medición analizado no cuenta con un significativo error de medición. Esto se debe a que los límites de control son calculados a partir de la variación debido a la repetitividad. Por esta razón, en un estudio de un sistema de medición adecuado, esta variación deberá ser significativamente menor a la variación debido a las partes o muestras (Montgomery y Runger, Gage Capability and Designed Experiments. Part I: Basic methods.).

El cuadro de control \bar{R} del gráfico se utiliza para observar la variación debido a la reproducibilidad. Puntos fuera de los límites de control indican que las balanzas no midieron de manera consistente alguna de las muestras en el estudio (Montgomery y Runger, Gage Capability and Designed Experiments. Part I: Basic methods.). Como se puede evidenciar en este gráfico, ningún punto se encuentra por encima de los límites, lo cual indica que todas las balanzas midieron las muestras consistentemente.

De esta manera, se pudo confirmar la validez del sistema medición. Este resultado permite tener confianza en las mediciones de porcentaje de humedad obtenidas a lo largo de este proyecto.

5.3. Análisis de Capacidad de la Etapa de Preparación de Madera

Previo a la selección de la oportunidad de mejora se realizó un análisis de capacidad a varios procesos dentro de la etapa de Preparación de Madera. El objetivo fue determinar los índices de capacidad y desempeño de los procesos en cuanto al porcentaje de humedad de las partículas. Esto permitió definir si los procesos pueden producir material que se encuentre consistentemente dentro de las especificaciones de humedad establecidas. En este sentido, se pudo determinar los procesos que representan una mejor oportunidad de mejora.

El análisis fue realizado en los procesos de la etapa de Preparación de Madera en los cuáles la humedad de las partículas puede ser alterada o modificada. De esta manera, se identificó tres procesos relevantes; Molienda, Secado y Encolado. Tanto el proceso de molienda y de encolado involucran dos distintos procesos dependiendo del material y maquinaria utilizada. En molienda existen dos maquinarias; el molino Hombak 1 y el Hombak 2 cuyo desempeño difiere debido a la naturaleza de la maquinaria y el tipo de materia prima utilizada. Similarmente, el

proceso de encolado cuenta con dos equipos en los que se procesa separadamente el material grueso (Encoladora CL) y el material fino (Encoladora SL). De esta manera los procesos en los que se realizó el análisis de capacidad fueron:

- Molienda Hombak 1
- Molienda Hombak 2
- Secado de Material
- Encolado Material Fino (Encoladora SL)
- Encolado Material Grueso (Encoladora CL)

A continuación se presenta los análisis de capacidad realizados a estos cinco procesos de la etapa de Preparación de Madera.

5.3.1. Molienda Hombak 1

Para realizar el análisis de capacidad se utilizaron 90 mediciones de porcentaje de humedad de material a la salida del molino Hombak 1. La política y frecuencia de muestreo se detalla en la sección 6.3. Los datos de humedad utilizados se encuentran en la tabla del Anexo 12.

5.3.1.1. Prueba de Normalidad de Datos

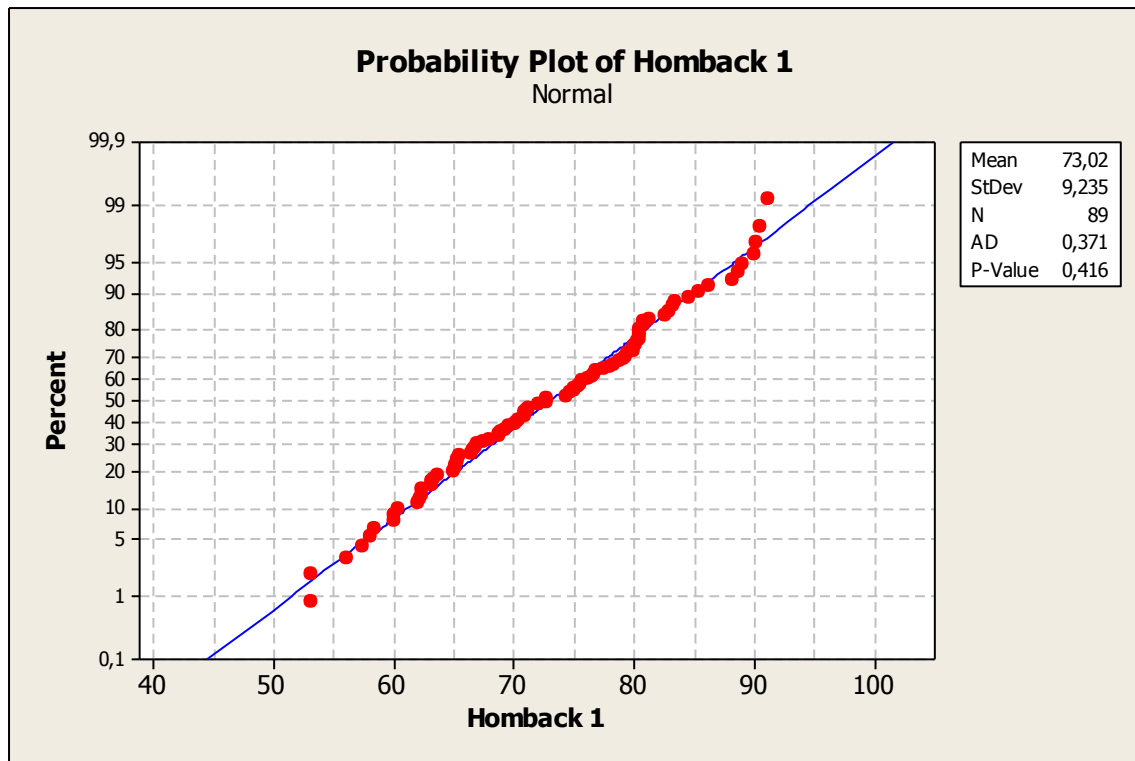
Los análisis de capacidad realizados en esta sección son aplicables únicamente para datos que siguen una distribución normal. Para comprobar este supuesto se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Molino Hombak 1 siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Molino Hombak 1 no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 11: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Hombak 1



Se puede observar un valor p de la prueba de hipótesis de 0.416, el cual es ampliamente superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el análisis de capacidad realizado posteriormente.

5.3.1.2. **Análisis de Capacidad del Proceso y Conclusiones**

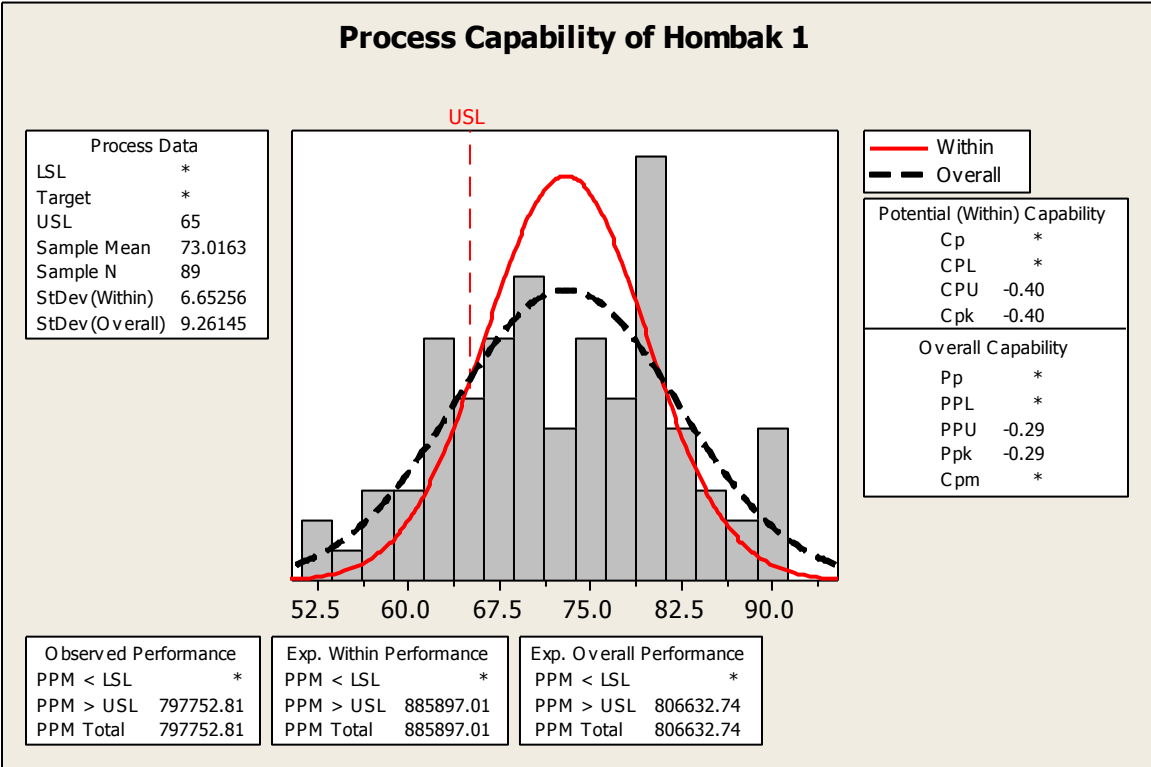
Para realizar el análisis de capacidad de los procesos es necesario, en primer lugar, establecer las especificaciones para la variable de medición. Todos los puntos de control incluidos en este proyecto contaron únicamente con la especificación superior. Esto se debe a que la variable de interés es la humedad de las partículas y en el proceso de elaboración de aglomerado se busca minimizar el valor de esta variable.

Para determinar la especificación de la humedad de las partículas en el proceso de molienda del Hombak 1 se realizó una breve consulta a Víctor Hugo Sosa, Jefe de Patios en Novopan del Ecuador. Se pudo determinar que la

humedad deseada para la madera que ingresa al proceso a través del molino Hombak 1 es de aproximadamente 60%. Sosa explicó que la planta está bajo un proceso de expansión y que es necesario que la madera rolliza que ingresa al proceso de elaboración tenga un porcentaje de humedad cercano a este valor para evitar que el secadero se convierta en cuello de botella. De esta manera se decidió que un valor de humedad de 65% es adecuado para el límite de especificación superior de la madera rolliza (Hombak 1).

Utilizando el programa estadístico Minitab® se analizaron los datos de humedad del Molino Hombak 1. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

Diagrama 12: Análisis de Capacidad del Proceso de Molienda Hombak 1



En la tabla a continuación se resumen los resultados del análisis de capacidad.

Tabla 11: Índices de Capacidad del Proceso de Molienda de Hombak 1

Indice	Valor	Interpretación
Cpk	-0.40	Capacidad a Largo Plazo del Proceso no Adecuada
Ppk	-0.29	Desempeño a Corto Plazo del Proceso no Adecuado
PPM	806632.74	80.66% de Producción no Conforme

Para especificaciones unilaterales de procesos existentes se recomienda que los índices de capacidad se encuentren alrededor 1.25 (Montgomery, Control estadístico de la Calidad). Se observa que en este caso los índices Cpk y Ppk tienen un valor negativo. Esto sucede ya que la media del proceso se encuentra por encima de la especificación superior. Por este motivo, se concluye que actualmente el proceso de molienda en Hombak 1 es completamente incapaz.

5.3.2. Molienda Hombak 2

Para realizar el análisis de capacidad se utilizaron 90 mediciones de porcentaje de humedad de material a la salida del molino Hombak 2. La política y frecuencia de muestreo se detalla en la sección 6.3. Los datos de humedad utilizados se encuentran en la tabla del Anexo 13.

5.3.2.1. Prueba de Normalidad de Datos

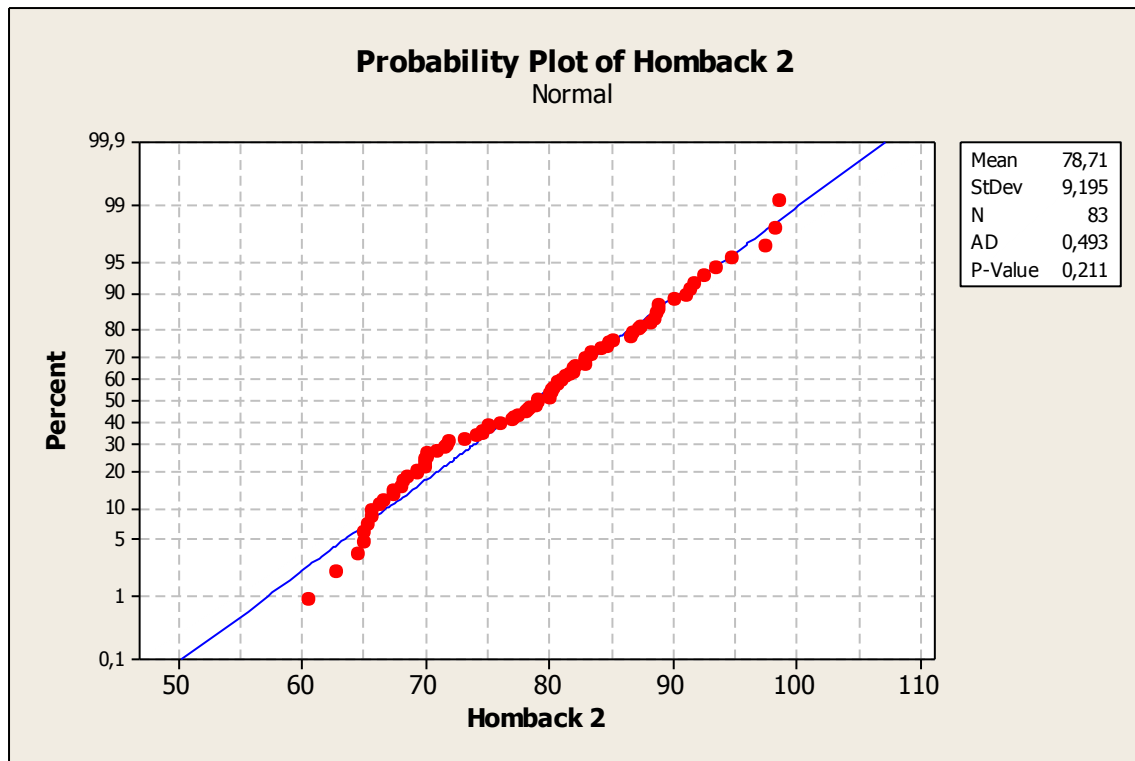
Como se mencionó anteriormente, es necesario comprobar el supuesto de normalidad de los datos. Por este motivo, se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H₀: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Molino Hombak 2 siguen una distribución normal.

H₁: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Molino Hombak 2 no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 13: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Hombak 2



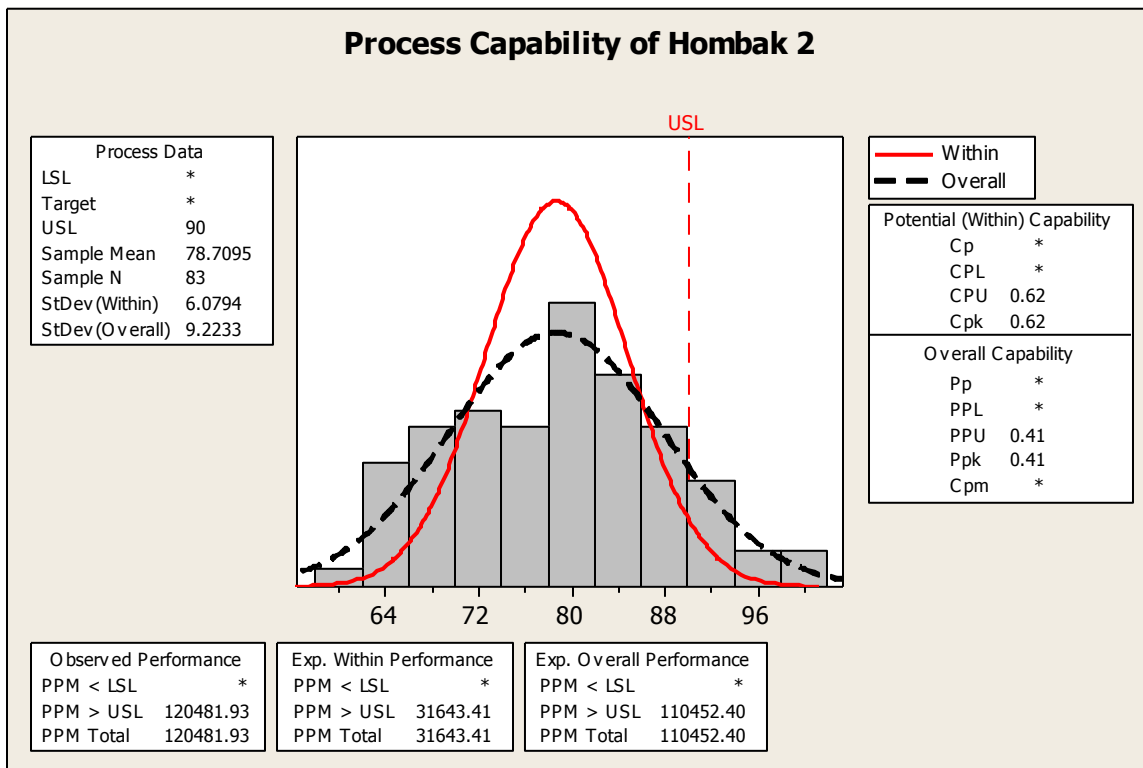
Se observa un valor p de la prueba de hipótesis de 0.211, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el análisis de capacidad posterior.

5.3.2.2. *Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones*

Igual que en el Molino Hombak 1, se realizó una breve consulta a Víctor Hugo Sosa para determinar un valor adecuado para la especificación superior de la humedad de las partículas provenientes del Molino Hombak 2. Se estableció que una humedad del 90% sería una especificación superior acertada para este proceso de molienda. Sosa explicó que la madera procesada en este molino es principalmente jampa y que este tipo de madera es normalmente consumida inmediatamente después de haber sido recibida o es almacenada por períodos cortos de tiempo. En este sentido, se tiene un control limitado sobre la humedad de la madera que es utilizada en el Molino Hombak 2.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se analizaron los datos de humedad del Molino Hombak 2. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

Diagrama 14: Análisis de Capacidad del Proceso de Molienda en Hombak 2



En la tabla a continuación se resumen los resultados del análisis de capacidad.

Tabla 12: Índices de Capacidad del Proceso de Molienda de Hombak 2

Índice	Valor	Interpretación
Cpk	0.62	Capacidad a Largo Plazo del Proceso no Adecuada
Ppk	0.41	Desempeño a Corto Plazo del Proceso no Adecuado
PPM	110452.40	11.05% de Producción no Conforme

A pesar de que los índices de capacidad son significativamente mayores a los del Molino Hombak 1, se puede ver que aún son bastante menores que el valor recomendado de 1.25. Por esta razón se concluyó que tanto la capacidad a

largo plazo como el desempeño del proceso de molienda en el Hombak 2 no son adecuados.

5.3.3. Secado de Material

Para el análisis de este proceso se utilizó 112 mediciones de porcentaje de humedad de material a la salida del Secadero. La política y frecuencia de muestreo se detalla en la sección 6.3. Los datos de humedad utilizados se encuentran en la tabla del Anexo 14.

5.3.3.1. Prueba de Normalidad de Datos

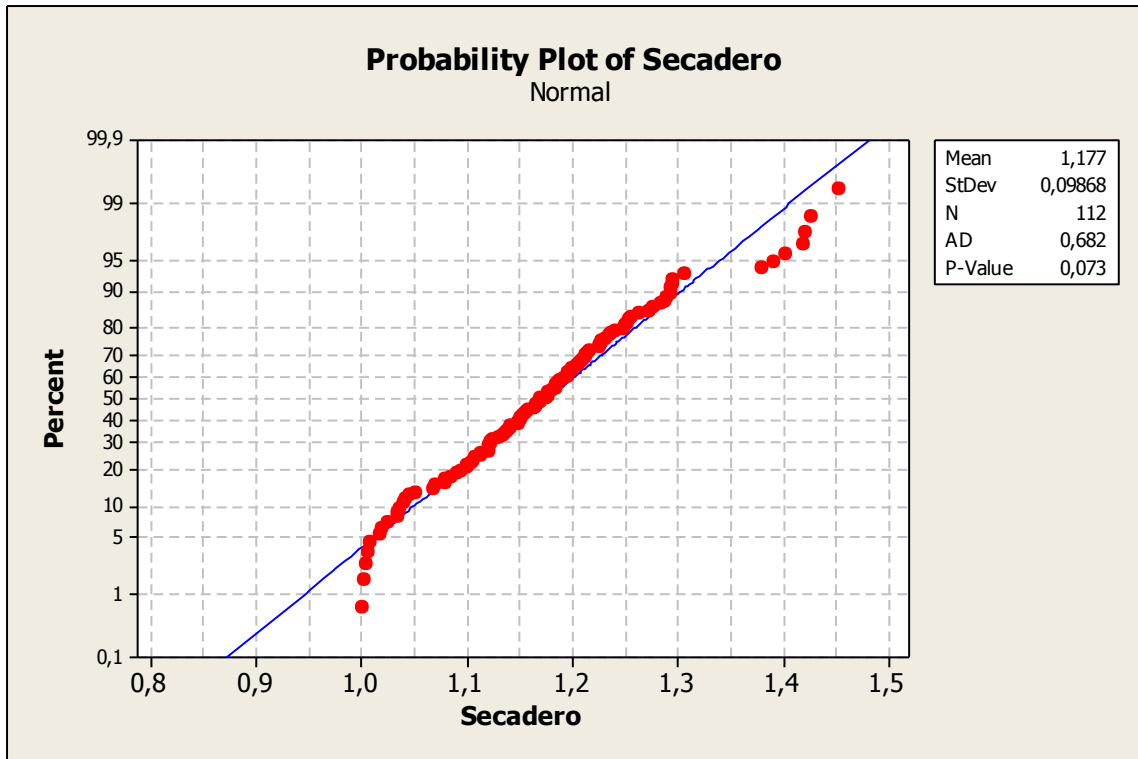
Para comprobar el supuesto de normalidad de los datos se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H₀: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Secadero siguen una distribución normal.

H₁: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Secadero no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 15: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Secadero



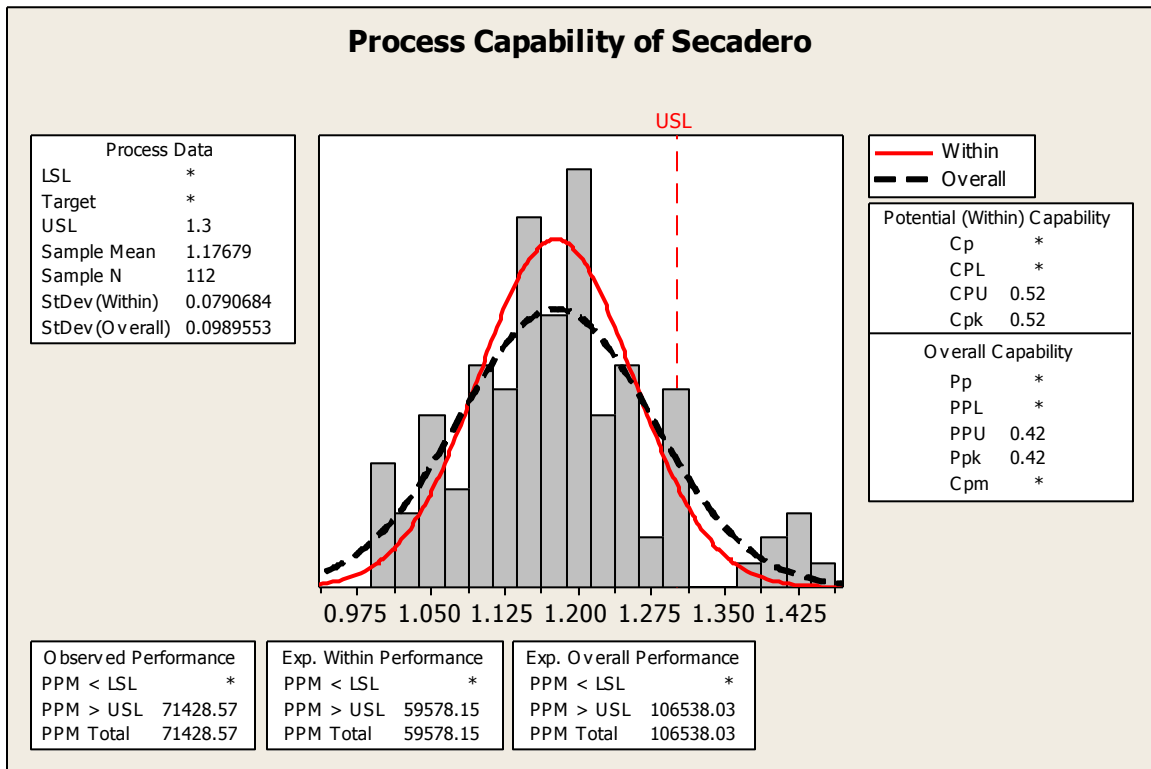
Se observa que el valor p de la prueba de hipótesis es 0.073, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el análisis de capacidad realizado a continuación.

5.3.3.2. **Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones**

Patricio Páez, Jefe de Producción en Novopan, sugirió que una correcta especificación superior para el porcentaje de humedad de las partículas en la salida del secadero es de 1.30%. Páez comentó que si la humedad de las partículas no supera este valor entonces se disminuirá significativamente los problemas de calidad relacionados.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se realizó un estudio de capacidad a los datos de humedad obtenidos del Secadero. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

Diagrama 16: Análisis de Capacidad del Proceso de Secado de Partículas



En la tabla a continuación se resumen los resultados del análisis de capacidad.

Tabla 13: Índices de Capacidad del Proceso de Secado de Partículas

Índice	Valor	Interpretación
Cpk	0.52	Capacidad a Largo Plazo del Proceso no Adecuada
Ppk	0.42	Desempeño a Corto Plazo del Proceso no Adecuado
PPM	71,428.57	7.14% de Producción no Conforme

Se observa que tanto el índice de capacidad como el índice de desempeño del proceso son significativamente menores al valor recomendado por Douglas Montgomery de 1.25. Esto quiere decir que tanto la capacidad a largo plazo como el desempeño del Secadero revelan un proceso no adecuado e incapaz de procesar material consistentemente dentro de especificaciones establecidas de humedad.

5.3.4. Encolado Material Fino

Se utilizaron 65 mediciones de porcentaje de humedad de material a la salida de la Encoladora SL para realizar el análisis. La política y frecuencia de muestreo se detalla en la sección 6.3. Los datos de humedad utilizados se encuentran en la tabla del Anexo 17.

5.3.4.1. Prueba de Normalidad de Datos

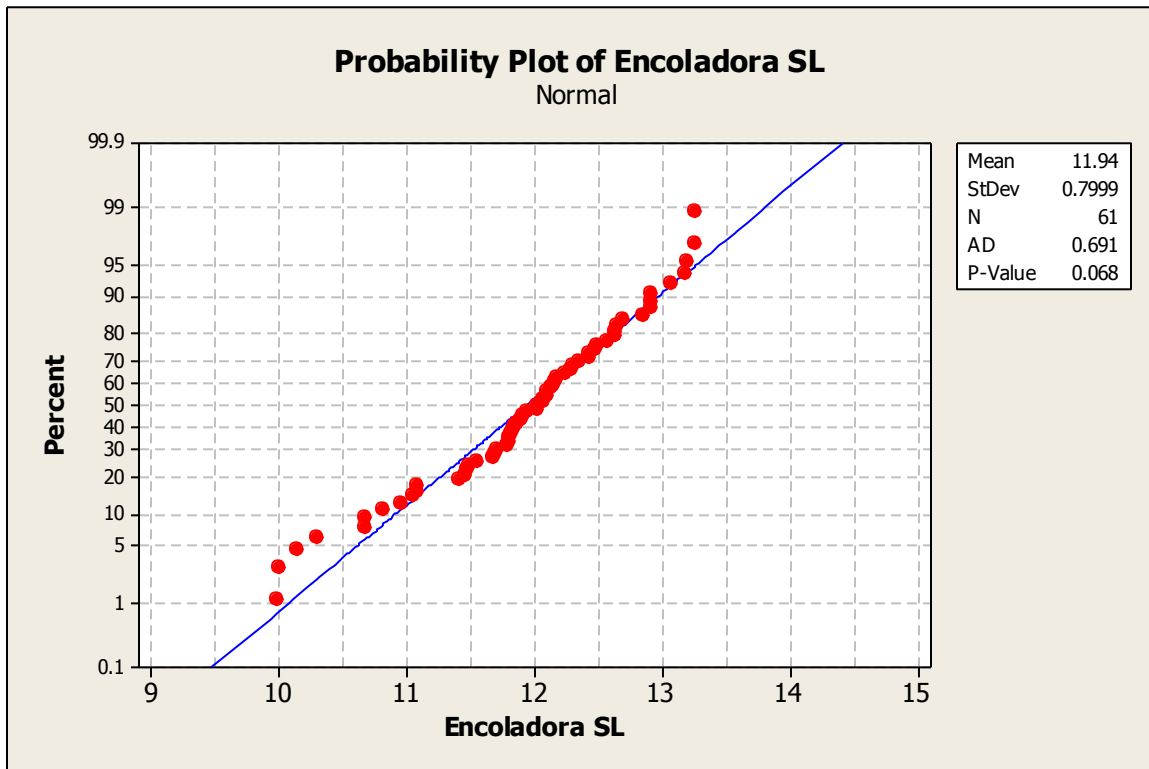
Para comprobar la normalidad de los datos en estudio se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H₀: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida de la Encoladora SL siguen una distribución normal.

H₁: Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida de la Encoladora SL no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 17: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Encoladora SL



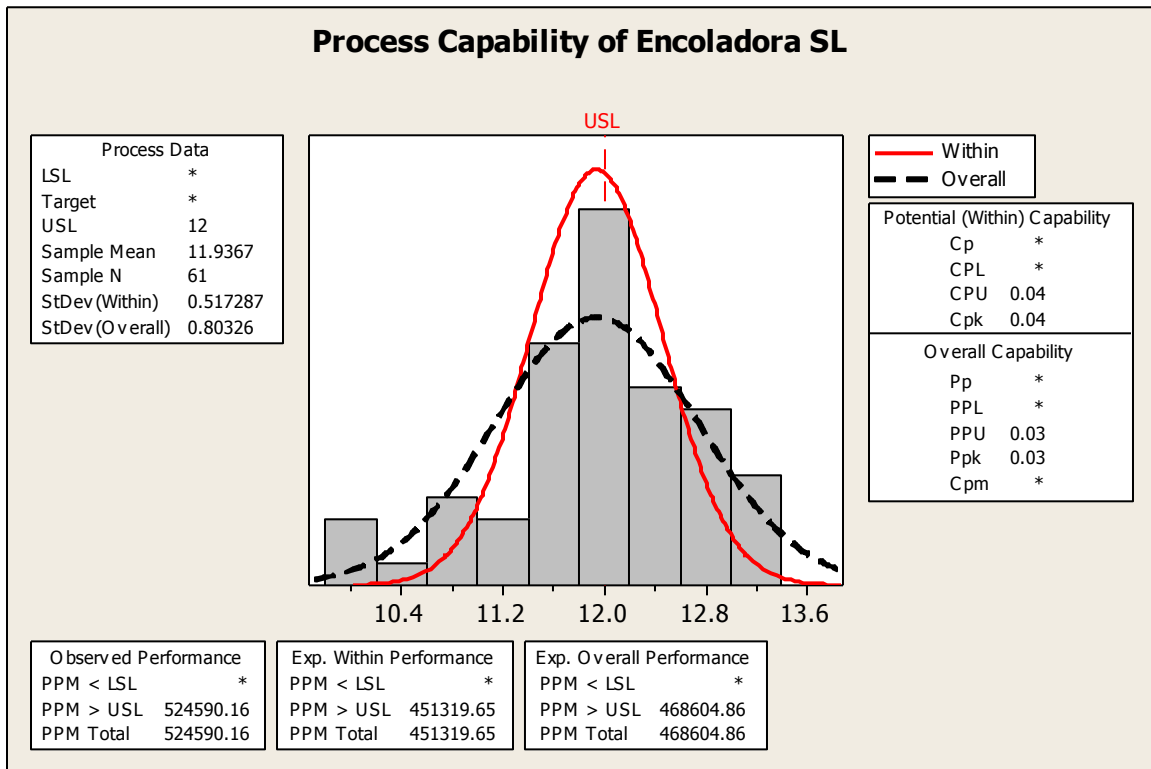
Se puede observar que el valor p de la prueba de hipótesis es 0.068, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el análisis de capacidad realizado a continuación.

5.3.4.2. **Análisis de Capacidad del Proceso y Conclusiones**

En el proceso de Encolado se agrega sustancias como parafina, resina y agua a las partículas que hace que el porcentaje de humedad real y de la medición aumenten. Mediante una consulta con Patricio Páez se pudo determinar que 11% de humedad es una adecuada especificación superior para la humedad en el proceso de encolado de la capa superficial (Encoladora SL).

Utilizando el programa estadístico Minitab® se realizó un estudio de capacidad a los datos de humedad obtenidos de la Encoladora SL. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

Diagrama 18: Análisis de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Superficial



En la tabla a continuación se resumen los resultados del análisis de capacidad.

Tabla 14: Índices de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Superficial

Índice	Valor	Interpretación
Cpk	0.04	Capacidad a Largo Plazo del Proceso no Adecuada
Ppk	0.03	Desempeño a Corto Plazo del Proceso no Adecuado
PPM	524,590.16	52.46% de Producción no Conforme

Se observa que tanto el índice de capacidad como el índice de desempeño del proceso se encuentran en un valor cercano a 0. Esto quiere decir que el proceso es completamente incapaz y que el Encolado de Material Fino crea material disconforme regularmente, aproximadamente la mitad de las veces.

5.3.5. Encolado Material Grueso

Se utilizaron 65 mediciones de porcentaje de humedad de material a la salida de la Encoladora CL para realizar el análisis. La política y frecuencia de muestreo se detalla en la sección 6.3. Los datos de humedad utilizados se encuentran en la tabla del Anexo 18.

5.3.5.1. Prueba de Normalidad de Datos

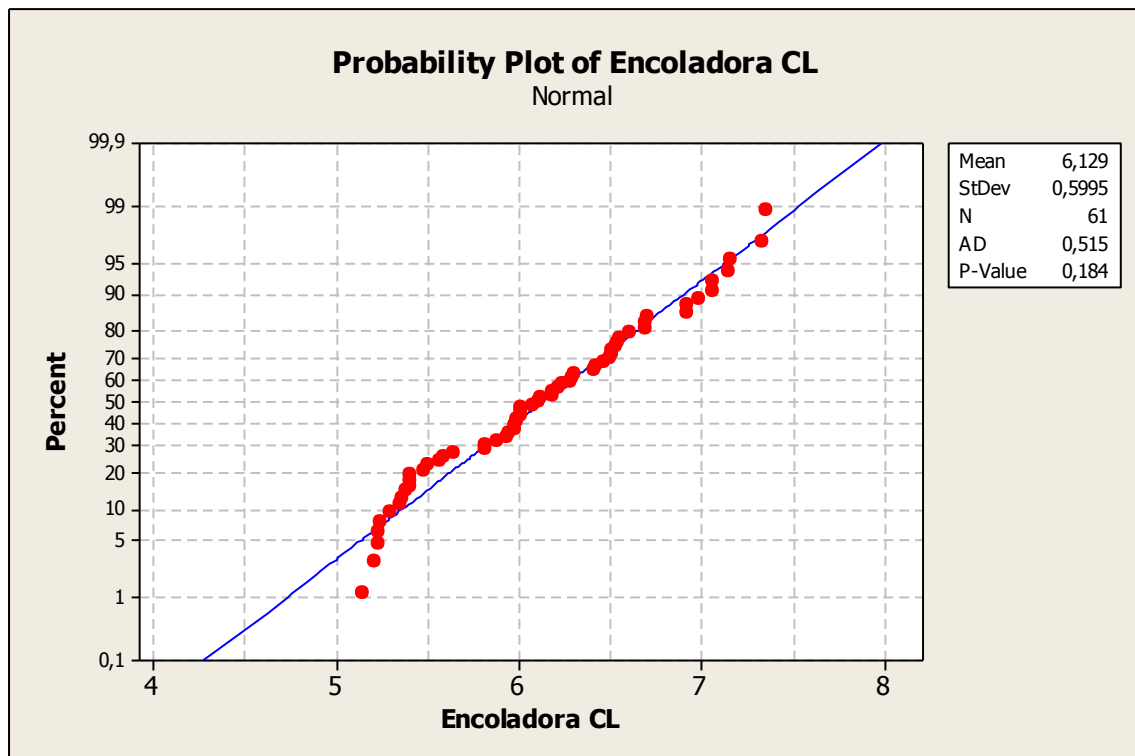
Para comprobar la normalidad de los datos en estudio se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida de la Encoladora CL siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida de la Encoladora CL no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 19: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en Encoladora CL

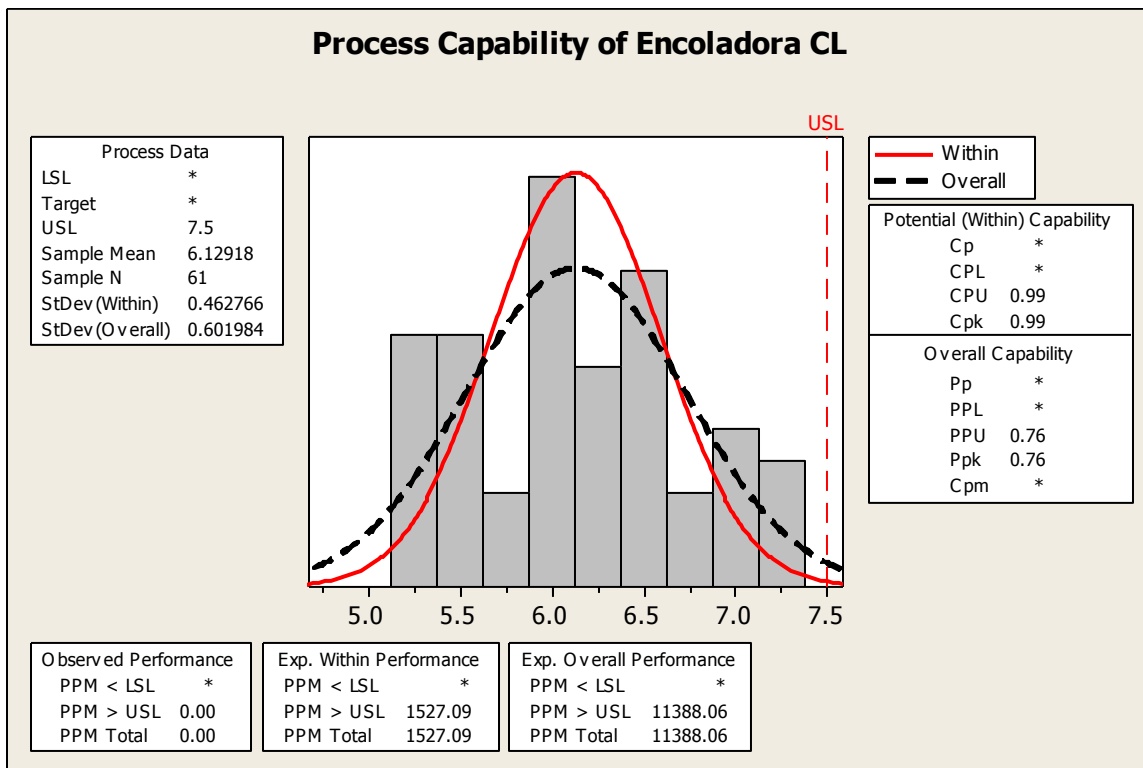


Se observa un valor p de la prueba de hipótesis de 0.184, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal.

5.3.5.2. Análisis de la Capacidad del Proceso y Conclusiones

Se estableció que la especificación superior para el porcentaje de humedad en la Encoladora CL es 7.5%. Utilizando el programa estadístico Minitab® se realizó un estudio de capacidad a los datos de humedad obtenidos en este proceso. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

Diagrama 20: Análisis de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Central



En la tabla a continuación se resumen los resultados del análisis de capacidad.

Tabla 15: Índices de Capacidad del Proceso de Encolado de la Capa Central

Índice	Valor	Interpretación
Cpk	0.99	Capacidad a Largo Plazo del Proceso no Adecuada
Ppk	0.76	Desempeño a Corto Plazo del Proceso no Adecuado
PPM	1527.09	1.52% de Producción no Conforme

Aquí se observa que los índices de capacidad y desempeño son los mayores de todos los puntos de control analizados. Sin embargo, todavía hay una diferencia importante para alcanzar el valor recomendado de 1.25. En este sentido, se pudo concluir que tanto la capacidad como el desempeño del proceso no son adecuados y es necesario realizar una mejora al proceso de Encolado de Material Grueso.

5.4. Selección de la Oportunidad de Mejora

En el Capítulo IV se determinó que la humedad de las partículas de madera es una variable crítica de calidad dentro del proceso de fabricación de tablero aglomerado. En este sentido, es necesario mejorar la etapa de Preparación de Madera de una manera que permita optimizar la humedad de las partículas previo a la formación del colchón. Dentro de esta etapa existen tres oportunidades en las cuales la humedad puede ser controlada; en el proceso de Alimentación de Madera, en el proceso de Secado y en el proceso de Encolado.

En el proceso de Alimentación de Madera, Novopan puede controlar esta variable mediante la utilización de materia prima con bajo contenido de humedad. Por otro lado, en el Secadero se puede reducir la humedad de las partículas a través de la modificación de parámetros del equipo como: tiempo de secado, temperatura y consumo de combustibles (potencia). Finalmente, la humedad de las partículas puede ser controlada en las encoladoras mediante modificación de la mezcla utilizada.

La selección de la oportunidad de mejora se realizó considerando los factores que se presentan a continuación.

- En primer lugar se utilizaron los resultados del análisis de capacidad de la sección anterior.
- Luego, se consideró el concepto de Calidad Total, el cual establece que la calidad del producto debe venir desde el origen. Es preferible evitar el problema desde el inicio en lugar de corregirlo en procesos posteriores (Navarrete).
- Finalmente, se tomó en cuenta los beneficios adicionales de corregir la humedad en cada una de las oportunidades consideradas.

Luego de realizar un análisis, se decidió realizar una mejora al proceso de Alimentación de Madera. Los motivos para esta decisión se enlistan a continuación.

- Los índices de capacidad de los molinos Hombak 1 y Hombak 2 evidencian procesos totalmente incapaces.
- El molino Hombak 1, el cuál es el principal punto de ingreso de material, tiene los menores índices de desempeño y capacidad de la etapa.
- El proceso de Alimentación de Madera es el primer paso en el proceso productivo. En este sentido, se puede obtener calidad del material desde su ingreso, en lugar de corregir la humedad posteriormente.
- Una reducción del porcentaje de humedad previo al ingreso del Secadero permitirá disminuir costos asociados al consumo de combustible.
- El proceso de Encolado no tiene la capacidad de reducir la humedad de las partículas, solamente se puede controlar la cantidad de agua que se coloca en la mezcla. Por este motivo, no se puede corregir material cuya humedad haya ingresado a este proceso con valores inadecuados.
- Novopan se encuentra en un proceso de expansión en la planta con el fin de aumentar su capacidad y su producción a 600m³ de tablero diarios. Por lograr este objetivo, es necesario disminuir la humedad con la que las partículas ingresan al Secadero y de esta manera reducir el tiempo de secado (Sosa). La única opción para reducir la humedad del material previo al Secadero es en el proceso de Alimentación de Material.

- Una reducción de la humedad y su variabilidad en la primera etapa de producción, permitirá a los procesos posteriores mejorar sus índices de capacidad y desempeño (ya que los valores de la media y varianza de humedad se reducirán).

Es importante considerar que el control de la humedad que ingresa al proceso de Alimentación está restringido por la capacidad de almacenamiento del material. En este sentido, es necesario optimizar el proceso de Almacenamiento de Madera si se desea mejorar los valores de humedad en la Alimentación. Ya que la madera rolliza es la única clase de materia prima que es almacenada en Novopan, el estudio se enfocará en la optimización del almacenamiento de este tipo de madera. Vale la pena mencionar que la madera rolliza representa aproximadamente un 70% del material que ingresa al proceso de elaboración (Bolaños).

En un inicio se consideró la idea de reducir únicamente la media de la humedad del material que ingresa al proceso. Este enfoque es limitado ya que se obtienen mayores beneficios si se logra reducir la variabilidad de la humedad junto a una disminución en su promedio.

El Secadero tiene la capacidad de modificar sus parámetros de operación para reducir la humedad de partículas a un valor aceptable sin importar el porcentaje de humedad de entrada del material (Sosa). El mayor problema en esta etapa es que la alta variabilidad en la humedad del material que ingresa al Secadero crea que el control de esta variable sea complejo e inconsistente. En otras palabras, la alta variabilidad de la humedad de entrada causa que la humedad de las partículas a la salida del proceso de Secado no se encuentre dentro de las especificaciones establecidas de manera regular (problema que se evidencia en los valores bajos en el análisis de capacidad realizado).

Por este motivo, la mejora del proceso se enfocó en la reducción de la variabilidad de la humedad de las partículas que ingresan al proceso juntamente a una reducción en su valor medio.

5.5. Diseño Experimental

Para la optimización del proceso de Almacenamiento de Madera se utilizó diseño experimental con el objetivo de determinar los parámetros óptimos que

permitan una mejora en la variable de respuesta, que en este caso es el porcentaje de humedad de las partículas en el ingreso del proceso.

Como se especificó anteriormente, este estudio se enfocó en la madera rolliza, ya que es el único material cuya humedad puede ser controlada mediante decisiones de almacenamiento. La madera rolliza es aquella que se presenta en bruto o en estado natural (troncos) y dentro de Novopan se utiliza mayoritariamente dos tipos; pino y eucalipto.

En la primera etapa del proceso de optimización se desarrolló un diseño factorial para la humedad de ingreso al proceso. Este tipo de diseño es adecuado en etapas iniciales de experimentación en donde se tiene poco conocimiento de la variable de respuesta y su relación con los posibles factores significantes. El diseño factorial permite determinar los factores significativos y tener una mejor idea del modelo, utilizando la menor cantidad de mediciones. Los resultados del diseño factorial determinarán la necesidad de conducir un diseño de mayor complejidad que permita obtener mejores conclusiones del modelo. (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos).

Es importante considerar que tanto el pino como el eucalipto son utilizados en distintas proporciones para otorgar a las partículas las características de producción necesarias. En este sentido, no fue conveniente utilizar el tipo de madera (pino y eucalipto) como un factor categórico dentro del estudio. Por este motivo, se realizó dos análisis independientes para cada tipo de madera rolliza.

5.5.1. Diseño Factorial Para Pino Rollizo

5.5.1.1. *Determinación de Factores y Niveles del Diseño*

Entre los criterios utilizados para seleccionar los factores relevantes en el diseño se considero factibilidad (que sean factores que realmente afecten a la respuesta), practicidad (que sus niveles puedan ser modificados con facilidad), medibles e independencia de los factores. Tomando en cuenta estos criterios y mediante una consulta a los supervisores de los procesos de Almacenamiento y Alimentación de Madera, se determinó que la Humedad Inicial a Novopan y Tiempo de Almacenamiento son los factores adecuados para el diseño experimental.

Vale la pena mencionar que existen otros elementos que fueron considerados como posibles factores en el modelo, sin embargo fueron descartados por no cumplir con algunos de los criterios mencionados anteriormente. Algunos factores no considerados en el estudio fueron el nivel de precipitación de los últimos 15 días y la ubicación en el apilamiento (si la madera se encuentra en la superficie del apilamiento o en el centro).

Para la determinación de los niveles de humedad inicial se analizó los Registros de Recepción de Materia Prima de los meses de octubre y noviembre de 2010. En total se analizaron 68 registros de ingreso para pino que se detallan en el Anexo 19. Los valores bajo y alto de los niveles del factor fueron asignados en base al cálculo del Percentil 20 y el Percentil 80 de los datos analizados. Los valores para el P20 y P80 encontrados fueron de 165.70 y 184.34 respectivamente. Para facilitar el estudio se decidió redondear estos valores y asignar un valor de 165 para el nivel bajo y 185 para el nivel alto.

Similarmente, se analizaron todas las rumas (apilamientos de madera) de pino existentes en el área de almacenamiento para determinar los niveles del factor Tiempo de Almacenamiento. En total se analizaron 44 rumas que se encuentran detalladas en el Anexo 20. Los valores calculados del P20 y P80 fueron de 34.80 y 136.20 respectivamente. Igualmente, se redondeó estos valores a 35 días y 135 días para facilitar el estudio. De esta manera se determinaron los factores y niveles que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 16: Factores y Niveles Para Diseño Factorial de Pino Rollizo

Nivel	Humedad Inicial (%)	Tiempo de Almacenamiento (días)
Bajo	165	35
Alto	185	135

5.5.1.2. Parámetros del Diseño

Vale la pena recordar que el proceso de medición del porcentaje de humedad puede tomar varios minutos por muestra dependiendo de la humedad inicial de la misma. Por este motivo, para la selección del número de réplicas y puntos centrales en el diseño se consideró la menor cantidad de observaciones

que permita obtener un modelo completo capaz de detectar curvatura y el efecto de la interacción de los dos factores en la variable de respuesta.

Para detectar correctamente la curvatura en un modelo factorial de dos factores es necesario contar con mínimo 4 puntos centrales. Similarmente, si se desea obtener información de la interacción es necesario realizar al menos 3 réplicas al modelo (Stat-Ease). En este sentido, se decidió que el experimento contaría con 3 réplicas de los puntos factoriales y 4 puntos centrales (en total 16 observaciones). Los datos de porcentaje de humedad de pino para el Diseño Factorial realizado se encuentran detallados en el Anexo 21.

5.5.1.3. *Análisis de Datos y del Modelo*

El estudio estadístico del diseño factorial se realizó utilizando el programa estadístico Design Expert®. Luego de un proceso de análisis se determinó que el modelo adecuado sería mediante la transformación de la variable de respuesta al elevarla a la potencia de 0.78. Posteriormente se analizó los datos en el programa, los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 17: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Inicial de Pino Rollizo

ANOVA Summary

	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Model	1.067E+005	< 0.0001	49.44	< 0.0001
Curvature	25890.86	< 0.0001		
Lack of Fit	-1.#IO	1.0000	25890.86	< 0.0001

Model Summary

Factor	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	Coefficient		Coefficient	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Intercept	26.91		25.18	
A	-9.74	< 0.0001	-9.74	< 0.0001
B	7.29	< 0.0001	7.29	< 0.0001
AB	-0.11	0.0004	-0.11	0.9166
Center Point	-6.92	< 0.0001		

El valor p del modelo es considerablemente pequeño por lo que se concluyó que al menos uno de los factores seleccionados tiene una incidencia sobre la variable de respuesta. Posteriormente, en esta etapa se buscó determinar los factores significativos en el modelo. Analizando el Modelo No Ajustado se observa que tanto el factor A (Tiempo de Almacenamiento) como el factor B (Humedad inicial) tienen un valor p menor al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. Por otro lado el valor p de la interacción de los dos factores es significativamente mayor a α . De esta manera, se concluyó que los efectos principales son significativos mientras su interacción no lo es.

A continuación, se analizó nuevamente el modelo sin considerar la interacción de los factores. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 18: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Final de Pino Rollizo

ANOVA Summary

	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Model	53821.29	< 0.0001	80.25	< 0.0001
Curvature	8706.22	< 0.0001		
Lack of Fit	24.69	0.0004	12957.77	< 0.0001

Model Summary

Factor	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	Coefficient		Coefficient	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Intercept	26.91		25.18	
A	-9.74	< 0.0001	-9.74	< 0.0001
B	7.29	< 0.0001	7.29	< 0.0001
Center Point	-6.92	< 0.0001		

Se puede ver que ambos factores son significativos en el modelo. Adicionalmente, se puede notar en el Modelo Ajustado que la curvatura es significativa. Vale la pena mencionar que el Modelo Ajustado no puede ser utilizado para predicción ya que los coeficientes cuadráticos necesarios para modelar la curvatura se encuentran confundidos con otros efectos en este modelo. Por otro lado, se puede observar que en el modelo No Ajustado, la falta de ajuste es significativa, lo cual hace que el modelo sea inapropiado para predicción y optimización. Este resultado se debe justamente a que este modelo es incapaz de modelar curvatura y no la considera (Stat-Ease).

Por este motivo, es necesario desarrollar un diseño de superficie de respuesta el cual permita modelar adecuadamente la curvatura que fue detectada en el diseño factorial.

5.5.2. Diseño Central Compuesto Para Pino Rollizo

Se decidió utilizar un Diseño Central Compuesto (DCC) ya que es el diseño recomendado cuando se parte de un Diseño Factorial y se desea analizar un

modelo cuadrático (Stat-Ease, Inc.). Este modelo es muy similar al factorial con la excepción de que cuenta con puntos axiales adicionales para poder modelar la curvatura. En este sentido, se puede re-utilizar las mediciones obtenidas en el Diseño Factorial.

De manera más específica, se seleccionó un DCC de Cara Centrada, es decir un valor de α de 1.0. Esto se debe a que el modelo esférico con un valor de $\alpha = 1.41421$ (el modelo utilizado más comúnmente), requería mediciones donde el factor Tiempo de Almacenamiento tomaba valores negativos. Adicionalmente, el modelo de Cara Centrada facilita el experimento debido a que únicamente utiliza tres niveles para cada factor (-1, 0, 1) a diferencia de otros diseños en donde es necesario contar con 5 niveles ($-\alpha, -1, 0, 1, \alpha$) (Stat-Ease).

Vale la pena mencionar que el experimento fue realizado con 3 réplicas tanto de los puntos axiales como factoriales y 4 puntos centrales, en total 28 observaciones (12 mediciones adicionales al Diseño Factorial). Los datos de porcentaje de humedad de pino para el Diseño Central Compuesto se encuentran detallados en el Anexo 22.

Utilizando el programa Design Expert® se analizó el diseño y se encontraron los resultados que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 19: Modelo de Ajuste de Datos de Diseño Central Compuesto de Pino Rollizo

Summary (detailed tables shown below)

	Sequential	Lack of Fit	Adjusted	Predicted	
Source	p-value	p-value	R-Squared	R-Squared	
Linear	< 0.0001	< 0.0001	0.9116	0.8998	
2FI	0.3238	< 0.0001	0.9116	0.8949	
<u>Quadratic</u>	<u>< 0.0001</u>	<u>0.7010</u>	<u>1.0000</u>	<u>0.9999</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0.4827	0.9890	1.0000	0.9999	Aliased

Se puede ver que el modelo sugerido para este experimento es cuadrático. Esto se debe a que este modelo se ajusta de mejor manera a los datos, logrando que el diseño sea significativo, la falta de ajuste sea no significativa y que el factor de regresión sea alto. Con esta información se procedió a analizar los datos utilizando

un modelo cuadrático, en la tabla a continuación se presentan los resultados obtenidos por el programa Design Expert®.

Tabla 20: ANOVA Final para Diseño Central Compuesto de Pino Rollizo

Response	Humedad Final					
1	ANOVA for Response Surface Quadratic Model					
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	29768.11	5	5953.62	1.326E+005	< 0.0001	significant
<i>A-Tiempo Alr</i>	<i>17590.00</i>	<i>1</i>	<i>17590.00</i>	<i>3.918E+005</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B-Humedad l</i>	<i>9742.22</i>	<i>1</i>	<i>9742.22</i>	<i>2.170E+005</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>AB</i>	<i>98.84</i>	<i>1</i>	<i>98.84</i>	<i>2201.38</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>A²</i>	<i>1923.05</i>	<i>1</i>	<i>1923.05</i>	<i>42829.39</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B²</i>	<i>302.00</i>	<i>1</i>	<i>302.00</i>	<i>6725.92</i>	<i>< 0.0001</i>	
Residual	0.99	22	0.045			
<i>Lack of Fit</i>	<i>0.069</i>	<i>3</i>	<i>0.023</i>	<i>0.48</i>	<i>0.7010</i>	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>0.92</i>	<i>19</i>	<i>0.048</i>			
Cor Total	29769.10	27				

Se puede observar que todos los términos en el modelo son significativos ya que sus valores-p son menores al nivel de significancia α de 0.05. De la misma manera se puede confirmar que no existe una falta de ajuste, lo cual es positivo ya que el modelo obtenido del análisis se ajusta correctamente a los datos lo cual permite su utilización para optimización y predicción. A continuación se presenta el modelo final obtenido para este diseño, tanto en unidades codificadas como no codificadas.

Ecuación 17: Modelo Final para DCC de Pino Rollizo (Factores Codificados)

$$\begin{aligned} \text{Humedad Final} = & \\ & +46.52 \\ & -31.26 * A \\ & +23.26 * B \\ & -2.87 * A * B \\ & +17.33 * A^2 \\ & +6.87 * B^2 \end{aligned}$$

Ecuación 18: Modelo Final para DCC de Pino Rollizo (Factores No-Codificados)

$$\begin{aligned} \text{Humedad Final} = & \\ & +1760.96634 \\ & -0.79944 * \text{Tiempo Almacenamiento} \\ & -21.22810 * \text{Humedad Ingreso} \\ & -5.74000\text{E-}003 * \text{Tiempo Almacenamiento} * \text{Humedad Ingreso} \\ & +6.93371\text{E-}003 * \text{Tiempo Almacenamiento}^2 \\ & +0.068693 * \text{Humedad Ingreso}^2 \end{aligned}$$

Este modelo fue utilizado para determinar los parámetros de optimización para el proceso de Almacenamiento de Pino Rollizo.

5.5.3. Determinación de Parámetros de Optimización para Pino Rollizo

Es evidente que la humedad inicial no es un factor el cual Novopan tiene control. Por esta razón, la mejora se basará en determinar un tiempo de almacenamiento óptimo para los posibles valores de Humedad Inicial. Mediante una conversación con el equipo de la etapa de Preparación de Madera se pudo determinar que una humedad final de la madera rolliza del 60% sería adecuada. Víctor Hugo Sosa, Jefe de Patios, explicó que valores menores al mencionado requerirían de tiempos de almacenamiento excesivos, y no consistentes con las necesidades de consumo de la planta. Adicionalmente, este valor de humedad permitirá reducir el tiempo de secado de las partículas de manera que se ajuste al cambio de la tasa de producción pronosticada debido a la ampliación de la planta.

De esta manera, se utilizó el modelo obtenido en la sección previa para determinar el tiempo de almacenamiento óptimo para cada Humedad Inicial de pino rollizo, de tal manera que la humedad final de la madera que ingresa al proceso de Alimentación sea consistentemente del 60%. En el Anexo 23 se detalla el tiempo de almacenamiento óptimo para Humedades de Ingreso de pino rollizo que se encuentran entre 156% y 190%. Estos valores fueron obtenidos de las observaciones mínima y máxima de los Registros de Recepción de Materia Prima de Novopan, que se detallan en el Anexo 19. Esta tabla permitirá a Novopan decidir el tiempo de almacenamiento que cada carga de pino rollizo debe permanecer en base al porcentaje de humedad de recepción

Para realizar este cálculo se despejó la variable Tiempo de Almacenamiento del modelo encontrado, se fijó la Humedad Final con un valor del 60% y para cada uno de los posibles valores de Humedad Inicial se encontró el Tiempo de Almacenamiento óptimo mediante la solución de una ecuación cuadrática.

Vale la pena mencionar que para algunos valores de Humedad Inicial, la Humedad Final no se encuentra definida para un porcentaje del 60% en el modelo. En estos casos se utilizó el valor más cercano a 60% que se encuentre definido en la ecuación del modelo encontrado.

5.5.4. Diseño Factorial Para Eucalipto Rollizo

5.5.4.1. Determinación de Factores y Niveles del Diseño

Para la realización del diseño experimental de eucalipto, se utilizaron los mismos factores que en el caso del pino, los cuales son Humedad Inicial y Tiempo de Almacenamiento. Para la selección de los niveles de los factores se utilizó el mismo criterio que en el caso del pino rollizo. Para la humedad inicial se analizaron en total 56 registros de ingreso que se detallan en el Anexo 24. Los valores para P20 y P80 encontrados fueron de 90.15 y 110.59 respectivamente. Estos valores se redondearon a 90 y 110 para los niveles bajo y alto respectivamente, con el objetivo de facilitar el estudio.

Similarmente para el factor Tiempo de Almacenamiento se analizaron 35 ramas de eucalipto, que se detallan en el Anexo 25. Los valores calculados del P20 y P80 fueron de 11.6 y 99.8 respectivamente. Igualmente, se redondeó estos valores a 10 días y 100 días para facilitar el estudio. De esta manera se determinaron los factores y niveles que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 21: Factores y Niveles Para Diseño Factorial de Eucalipto Rollizo

Nivel	Humedad Inicial (%)	Tiempo de Almacenamiento (días)
Bajo	90	10
Alto	110	100

5.5.4.2. Parámetros del Diseño

Los parámetros del diseño para el eucalipto son los mismos que fueron utilizados para el pino; 3 réplicas de los puntos factoriales y 4 puntos centrales,

(16 observaciones en total 16). Los datos de porcentaje de humedad de pino para el Diseño Factorial realizado se encuentran detallados en el Anexo 26.

5.5.4.3. *Análisis de Datos y del Modelo*

El estudio estadístico del diseño factorial se realizó utilizando el programa estadístico Design Expert®. Luego de un proceso de análisis se determinó que el modelo no necesita de transformación alguna. Posteriormente se analizó los datos en este programa, los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 22: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Inicial de Eucalipto Rollizo

ANOVA Summary

	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Model	16308.12	< 0.0001	85.20	< 0.0001
Curvature	2285.84	< 0.0001		
Lack of Fit	-1.#10	1.0000	2285.84	< 0.0001

Model Summary

Factor	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	Coefficient		Coefficient	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Intercept	56.76		53.84	
A	-18.27	< 0.0001	-18.27	< 0.0001
B	19.90	< 0.0001	19.90	< 0.0001
AB	0.040	0.7494	0.040	0.9815
Center Point	-11.68	< 0.0001		

Se encontró que el valor p del modelo es considerablemente pequeño en relación al valor alpha de 0.05, por lo que se concluyó que al menos uno de los valores seleccionados afecta a la variable de respuesta. De igual manera, se analizaron los resultados de la tabla con el fin de determinar los factores significativos del modelo, en donde se pudo evidenciar que tanto el factor A (Tiempo de Almacenamiento) como el factor B (Humedad Inicial) tienen un valor p menor al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. Por otro lado, se pudo

observar que el valor p de la interacción de los dos factores es significativamente mayor a α . De esta manera, se concluyó que los efectos principales son significativos mientras que su interacción no.

A continuación, se analizó nuevamente el modelo sin considerar la interacción de los factores. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 23: Tabla ANOVA para Modelo Factorial Final de Eucalipto Rollizo

ANOVA Summary

	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Model	26428.27	< 0.0001	138.45	< 0.0001
Curvature	2469.57	< 0.0001		
Lack of Fit	0.11	0.7494	1142.97	< 0.0001

Model Summary

Factor	Adjusted Model		Unadjusted Model	
	Coefficient		Coefficient	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Intercept	56.76		53.84	
A	-18.27	< 0.0001	-18.27	< 0.0001
B	19.90	< 0.0001	19.90	< 0.0001
Center Point	-11.68	< 0.0001		

En esta nueva tabla se puede ver que ambos factores son significativos en el modelo. Adicionalmente, se evidencia en el Modelo Ajustado que la curvatura es significativa. Sin embargo, los coeficientes cuadráticos necesarios para modelar dicha curvatura se confunden con otros efectos del mismo modelo, razón por la cual no se puede realizar predicciones a partir del Modelo Ajustado. Por otro lado, se observa que la falta de ajuste presentada en el Modelo No-Ajustado es significativa, lo que impide la utilización de dicho modelo para predicción u optimización.

Al igual que en el análisis del Modelo Factorial Final de Pino Rollizo este modelo no considera la curvatura, por esta razón se debe generar un diseño de superficie de respuesta.

5.5.5. Diseño Central Compuesto Para Eucalipto Rollizo

Se utilizó un Diseño Central Compuesto como modelo de superficie de respuesta, utilizando nuevamente los datos del diseño factorial anterior más los puntos axiales adicionales. Se seleccionó un DCC de Cara Centrada por los mismos motivos mencionados en el caso del pino rollizo.

Para robustecer el experimento se utilizaron 3 réplicas tanto de puntos axiales como factoriales y 4 puntos centrales (28 observaciones en total). Los datos de porcentaje de humedad de eucalipto para el Diseño Central Compuesto se encuentran detallados en el Anexo 27.

Utilizando Design Expert® se analizó el diseño y se encontraron los resultados que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 24: Modelo de Ajuste de Datos de Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo

Summary (detailed tables shown below)

	Sequential	Lack of Fit	Adjusted	Predicted	
Source	p-value	p-value	R-Squared	R-Squared	
Linear	< 0.0001	< 0.0001	0.9366	0.9286	
2FI	0.9813	< 0.0001	0.9339	0.9238	
<u>Quadratic</u>	<u>< 0.0001</u>	<u>0.8648</u>	<u>0.9991</u>	<u>0.9989</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0.7256	0.7460	0.9990	0.9986	Aliased

Se puede ver que el modelo sugerido para este experimento es cuadrático. Esto se debe a que este modelo se ajusta de mejor manera a los datos, logrando que el diseño sea significativo, la falta de ajuste sea no significativa y que el factor de regresión sea alto.

Con esta información se procedió a analizar los datos utilizando un modelo cuadrático, en la tabla a continuación se presentan los resultados obtenidos por el programa Design Expert®.

Tabla 25: ANOVA Inicial para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo (Paso 1)

Response	Humedad Final					
1						
ANOVA for Response Surface Quadratic Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	13974.92	5	2794.98	5952.67	< 0.0001	significant
<i>A-Tiempo de</i>	<i>6065.78</i>	<i>1</i>	<i>6065.78</i>	<i>12918.69</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B-Humedad l</i>	<i>7098.36</i>	<i>1</i>	<i>7098.36</i>	<i>15117.85</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>AB</i>	<i>0.019</i>	<i>1</i>	<i>0.019</i>	<i>0.041</i>	<i>0.8416</i>	
<i>A²</i>	<i>800.03</i>	<i>1</i>	<i>800.03</i>	<i>1703.87</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B²</i>	<i>1.92</i>	<i>1</i>	<i>1.92</i>	<i>4.08</i>	<i>0.0557</i>	
Residual	10.33	22	0.47			
<i>Lack of Fit</i>	<i>0.38</i>	<i>3</i>	<i>0.13</i>	<i>0.24</i>	<i>0.8648</i>	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>9.95</i>	<i>19</i>	<i>0.52</i>			
Cor Total	13985.25	27				

Con esta tabla ANOVA se pudo evidenciar claramente que el valor p del modelo es significativo, lo que quiere decir que al menos uno de los datos seleccionados afecta al modelo. También se pudo notar que la falta de ajuste no es significativa, lo que nos dice que el modelo obtenido del análisis se ajusta correctamente a los datos. Sin embargo, al buscar los factores significativos en el modelo se encontró que los valores p de la interacción y del factor cuadrático B² no son significativos.

A continuación, se analizó nuevamente el modelo sin considerar la interacción AB. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 26: ANOVA Inicial para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo (Paso 2)

Response 1		Humedad Final				
ANOVA for Response Surface Reduced Quadratic Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	13974.90	4	3493.73	7764.61	< 0.0001	significant
<i>A-Tiempo de</i>	<i>6065.78</i>	<i>1</i>	<i>6065.78</i>	<i>13480.85</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B-Humedad I</i>	<i>7098.36</i>	<i>1</i>	<i>7098.36</i>	<i>15775.71</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>A²</i>	<i>800.03</i>	<i>1</i>	<i>800.03</i>	<i>1778.01</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B²</i>	<i>1.92</i>	<i>1</i>	<i>1.92</i>	<i>4.26</i>	<i>0.0505</i>	
Residual	10.35	23	0.45			
<i>Lack of Fit</i>	<i>0.40</i>	<i>4</i>	<i>0.10</i>	<i>0.19</i>	<i>0.9397</i>	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>9.95</i>	<i>19</i>	<i>0.52</i>			
Cor Total	13985.25	27				

Como se puede observar, el factor cuadrático B² posee nuevamente un valor p mayor al valor de significancia de 0.05, por lo que se realizará un nuevo análisis omitiendo dicho factor. A continuación se muestran una nueva tabla ANOVA con los resultados obtenidos.

Tabla 27: ANOVA Final para Diseño Central Compuesto de Eucalipto Rollizo

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	13972.99	3	4657.66	9113.89	< 0.0001	significant
<i>A-Tiempo de</i>	<i>6065.78</i>	<i>1</i>	<i>6065.78</i>	<i>11869.22</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>B-Humedad I</i>	<i>7098.36</i>	<i>1</i>	<i>7098.36</i>	<i>13889.73</i>	<i>< 0.0001</i>	
<i>A²</i>	<i>808.85</i>	<i>1</i>	<i>808.85</i>	<i>1582.72</i>	<i>< 0.0001</i>	
Residual	12.27	24	0.51			
<i>Lack of Fit</i>	<i>2.32</i>	<i>5</i>	<i>0.46</i>	<i>0.89</i>	<i>0.5099</i>	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>9.95</i>	<i>19</i>	<i>0.52</i>			
Cor Total	13985.25	27				

Se puede observar que todos los términos en el modelo son significativos ya que sus valores-p son menores al nivel de significancia α de 0.05. De la misma manera se puede confirmar que no existe una falta de ajuste, lo cual es positivo ya que el modelo obtenido del análisis se ajusta correctamente a los datos y es adecuado utilizarlo para optimización y predicción. A continuación se presenta el modelo final obtenido para este diseño, tanto en unidades codificadas como no codificadas.

Ecuación 19: Modelo Final para DCC de Eucalipto Rollizo (Factores Codificados)

$$\begin{aligned} \text{Humedad Final} = & \\ & +45.34 \\ & -18.36 * A \\ & +19.86 * B \\ & +11.22 * A^2 \end{aligned}$$

Ecuación 20: Modelo Final para DCC de Eucalipto Rollizo (Factores No-Codificados)

$$\begin{aligned} \text{Humedad Final} = & \\ & -114.05247 \\ & -1.01726 * \text{Tiempo de Almacenamiento} \\ & +1.98583 * \text{Humedad Inicial} \\ & +5.53926\text{E-}003 * \text{Tiempo de Almacenamiento}^2 \end{aligned}$$

Este modelo fue utilizado para determinar los parámetros de optimización para el proceso de Almacenamiento de Pino Rollizo.

5.5.6. Determinación de Parámetros de Optimización para Eucalipto Rollizo

Para la determinación de los parámetros de optimización se manejó el mismo criterio utilizado en el análisis del pino, en el que se determinó el Tiempo de Almacenamiento óptimo para los posibles valores de Humedad Inicial, fijando un valor del 60% de Humedad Final.

De esta manera, se utilizó el modelo obtenido en la sección previa para determinar el tiempo de almacenamiento óptimo para cada posible humedad inicial de eucalipto rollizo, de tal manera que la humedad final de la madera que ingresa al proceso sea consistentemente del 60%. En el Anexo 28 se detalla el tiempo de almacenamiento óptimo para las humedades iniciales entre 88% y 114% (obtenidos del valor mínimo y máximo de los Registros de Recepción de Materia Prima de Novopan para eucalipto rollizo, que se detallan en el Anexo 24). Esta tabla permitirá a Novopan decidir el tiempo de almacenamiento que cada carga de eucalipto rollizo debe permanecer en base al porcentaje de humedad de recepción

Vale la pena mencionar que para algunos valores de Humedad Inicial, la Humedad Final no se encuentra definida para un porcentaje del 60% en el modelo utilizado. En estos casos se utilizó el valor más cercano a 60% que se encuentre definido en la ecuación del modelo.

5.5.7. Consideraciones de la Optimización del Proceso

Es importante considerar que para la optimización del proceso de Almacenamiento de Madera se utilizó únicamente el tiempo de almacenamiento y la humedad de ingreso como factores del diseño. Factores ambientales (p.e. nivel de precipitación, temperatura e intensidad del sol) no fueron considerados al realizar la experimentación debido a su complejidad de medición y la falta de control que se tiene sobre estos factores. En este sentido, es importante tomar en cuenta que se pudo haber incurrido en un cierto error adicional en la determinación del modelo de optimización.

Por este motivo, se recomienda a Novopan almacenar una pequeña porción de su materia prima en un lugar cerrado (aislado de las condiciones ambientales) para

que sea posible realizar una nueva experimentación en donde el efecto de los factores ambientales sea minimizado y obtener un modelo para la variable de respuesta más confiable.

6. CAPÍTULO VI: SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE LA ETAPA DE PREPARACIÓN DE MADERA

Una vez optimizado el proceso de Almacenamiento de Madera se procedió a desarrollar un sistema de control estadístico en la etapa de Preparación de Madera. El objetivo fue desarrollar herramientas que permitan a Novopan monitorear la humedad del material en distintos puntos de esta etapa para de esta manera asegurar un correcto desempeño del proceso de fabricación enfocado en la disminución de la producción de tableros de mala calidad. El primer paso fue establecer los puntos y las cartas de control apropiadas para monitorear la humedad en las partículas.

6.1. Determinación de Puntos de Control Estadístico de Calidad

Se puede definir como un punto de control al proceso o etapa en la cual es posible aplicar un monitoreo de cierta variable que permita prevenir problemas relacionados a la mala calidad del producto. Para la determinación de los puntos de control dentro del proceso de Preparación de Madera se consideraron los aspectos que se presenta a continuación.

- El control debe monitorear las variables de calidad críticas para el proceso y que tienen un efecto directo en la calidad del producto final. En este caso, los puntos de control deberán monitorear la humedad de las partículas a lo largo del Proceso.
- El control debe ser reactivo, es decir debe proporcionar la capacidad de realizar correcciones en caso de detectar situaciones fuera de control.
- El control debe ser realizado en puntos en los cuáles el material sufra alguna transformación en relación a la variable de calidad de interés.

Vale la pena mencionar que el sistema de control únicamente incluyó las etapas previas a la formación del colchón ya que la humedad de las partículas no es modificada posterior a este punto.

Mediante un análisis de la etapa de Preparación de Madera se determinó que los puntos que deberán formar parte del sistema de control estadístico son los que se presentan a continuación (Referirse al Anexo 2 para mayor información de la ubicación de cada uno de estos puntos en el proceso de Elaboración de Aglomerado).

- Salida del Molino Homback 1
- Salida del Molino Homback 2
- Salida del Secadero
- Salida Silo 5
- Salida Silo 6
- Salida Encoladora CL
- Salida Encoladora SL

A diferencia de los molinos, el secadero y las encoladoras, los puntos de control en el Silo 5 y Silo 6 no involucran un proceso en donde la humedad del material es alterada o controlada de alguna manera. Sin embargo, es útil contar con un monitoreo en estos puntos ya que la humedad de las partículas puede sufrir variaciones por anomalías durante el traslado y acumulación del material desde el Secadero hasta los Silos. En las siguientes secciones se desarrollará herramientas de control estadístico en estos puntos del proceso de Elaboración de Aglomerado.

6.2. Selección del Modelo de Cartas de Control

La característica de calidad que será monitoreada por las cartas de control es la humedad de las partículas a lo largo de la etapa de Preparación de Madera. En este sentido, será necesario establecer cartas de control para variables y no para atributos.

Luego de considerar las alternativas de gráficas de control para variables, se decidió que el modelo apropiado para el sistema de control es el de cartas de control para observaciones individuales. El motivo de la selección de estas gráficas se debe a que el tiempo de obtención de una muestra de humedad toma alrededor de 30 minutos (dependiendo de la humedad del material). En este sentido, no es conveniente utilizar cartas de control que utilizan subgrupos de datos ya que el tiempo para tomar una sola muestra sería excesivo y afectaría a la capacidad del sistema de detección y corrección temprana de fallas

El modelo de control para mediciones individuales consta de dos gráficas; uno para el monitoreo de los valores de las observaciones individuales y otro para su rango móvil (Montgomery, Control estadístico de la Calidad). A continuación se presentan las fórmulas de Shewhart para la obtención de los límites de control de estas gráficas.

Ecuación 21: Límites de Control para la Carta de Mediciones Individuales de Shewhart

$$\text{Límite Superior de Control} = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$\text{Línea Central} = \bar{x}$$

$$\text{Límite Inferior de Control} = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Donde:

\bar{x} = Promedio de las observaciones individuales

d_2 = Factor de ajuste de desviación estándar. Es igual a 1.128 en el caso de mediciones individuales ($n = 2$)

Ecuación 22: Límites de Control para la Carta de Rango Móvil de Shewhart

$$\text{Límite Superior de Control} = D_4 \overline{MR}$$

$$\text{Línea Central} = \overline{MR}$$

$$\text{Límite Inferior de Control} = D_3 \overline{MR}$$

Donde:

D_3 = Factor de ajuste en construcción de carta de rangos. Es igual a 0 en el caso de mediciones individuales ($n = 2$)

D_4 = Factor de ajuste en construcción de carta de rangos. Es igual a 3.267 en el caso de mediciones individuales ($n = 2$)

\overline{MR} = Rango móvil promedio.

A continuación se presenta la ecuación del rango móvil (MR por sus siglas en inglés).

Ecuación 23: Ecuación de Rango Móvil

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

6.3. Política de Muestreo

Durante la fase de construcción de las gráficas de control es adecuado utilizar al menos 25 muestras para que la suposición de normalidad de los datos sea adecuada (Montgomery, Control estadístico de la Calidad). En este proyecto se utilizará un número mayor de muestras en algunos puntos de control debido a la

disponibilidad de datos en registros. Estas muestras fueron tomadas en orden de acuerdo a las fechas de ingreso al registro.

La frecuencia de muestreo fue establecida para cada uno de los puntos de control cada 4 horas, es decir dos veces por turno. Esta frecuencia fue seleccionada para aprovechar los datos de humedad registrados por el Laboratorio de Calidad en algunos de los puntos de control seleccionados (Referirse al Anexo 3). La tabla a continuación muestra la política de muestreo para cada punto de control.

Tabla 28: Política de Muestreo en los Puntos de Control

Punto de Control	Variable	Frecuencia	Número de Observaciones
Salida Molino Hombak 1	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	90
Salida Molino Hombak 2	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	90
Salida de Secadero	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	112
Salida de Silo 5	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	100
Salida de Silo 6	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	100
Encoladora SL	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	65
Encoladora CL	Porcentaje de Humedad	Cada 4 horas	65

6.4. Construcción de las Cartas y Límites de Control

Como se mencionó anteriormente, el monitoreo de mediciones individuales incluye el desarrollo de dos gráficas de control; la carta de rango móvil y la de observaciones individuales. El proceso de construcción de gráficas de control implica un proceso iterativo en donde observaciones que aportan variabilidad a los cálculos de los límites debido a condiciones irregulares del proceso son eliminadas. A continuación se presenta la construcción de las cartas de control para cada uno de los puntos de monitoreo establecidos.

6.4.1. Salida del Molino Hombak 1

Para la obtención de datos del Molino Hombak 1 se utilizaron los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo el del Hombak 1. En el Anexo 12 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto. Los gráficos iniciales de la fase de construcción se encuentran en el Anexo 29.

Luego de realizar el proceso iterativo en el que se eliminaron observaciones fuera de control con causas asignables, se obtuvo los datos que se detallan en el Anexo 30. Analizando los datos finales mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 21: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Hombak 1

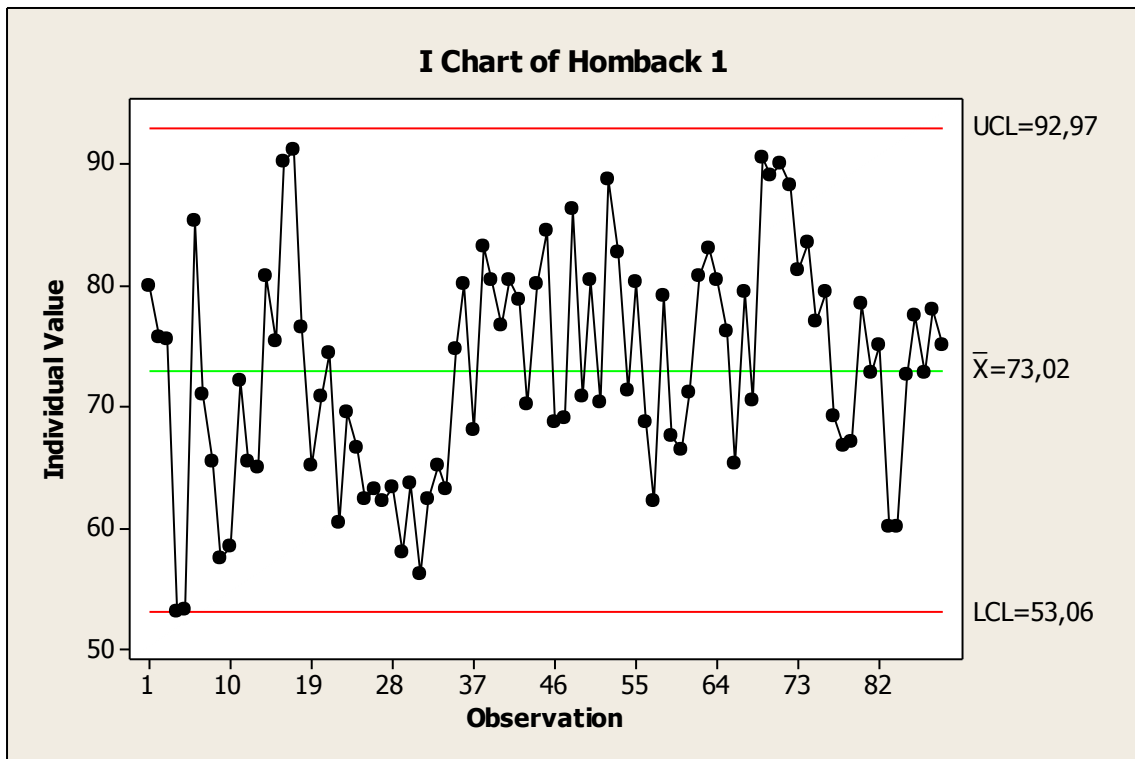
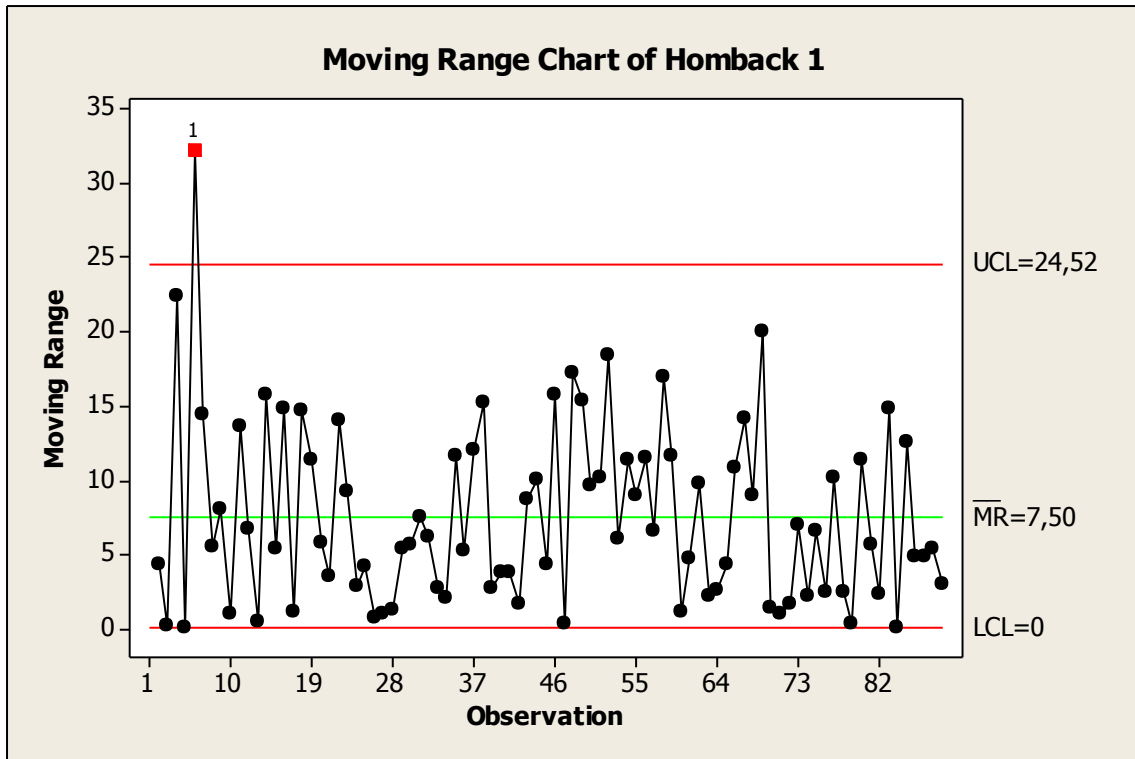


Diagrama 22: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Hombak 1



Se observa que en el gráfico de rango móvil aún hay un punto fuera de control, sin embargo no se pudo encontrar causas asignables a esta observación. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad a la salida del molino Hombak 1 que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 29: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Molino Hombak 1

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	24.52	92.97
Central	7.50	73.02
Inferior	0.00	53.06

Las ecuaciones utilizadas para la obtención de los límites de control requieren que los datos utilizados para los cálculos sigan una distribución normal. La prueba de normalidad de los datos se encuentra en la sección 5.3.1.1.

6.4.2. Salida del Molino Hombak 2

Para la obtención de datos del Molino Hombak 2 se utilizaron igualmente los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo en el Hombak 2. En el Anexo 13 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto. Los gráficos iniciales de la fase de construcción se encuentran en el Anexo 31.

Luego de realizar el proceso iterativo en el que se eliminaron observaciones fuera de control con causas asignables se obtuvo los datos que se detallan en el Anexo 32. Analizando los datos finales mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 23: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Hombak 2

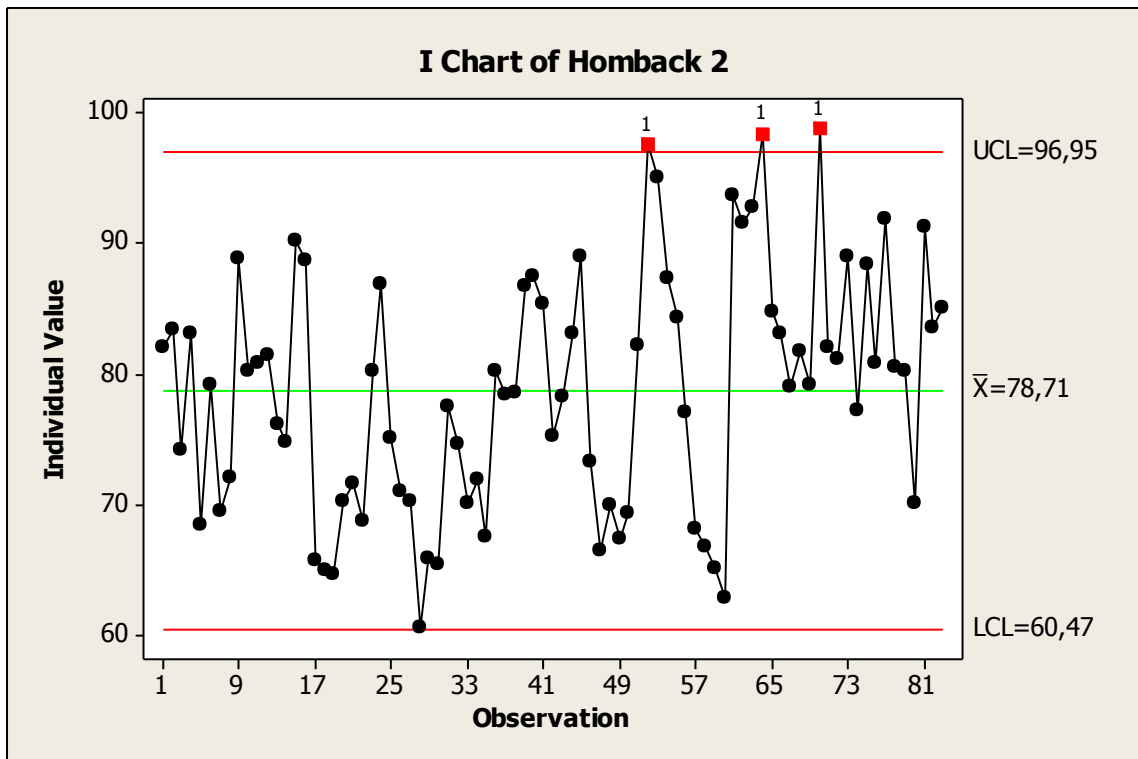
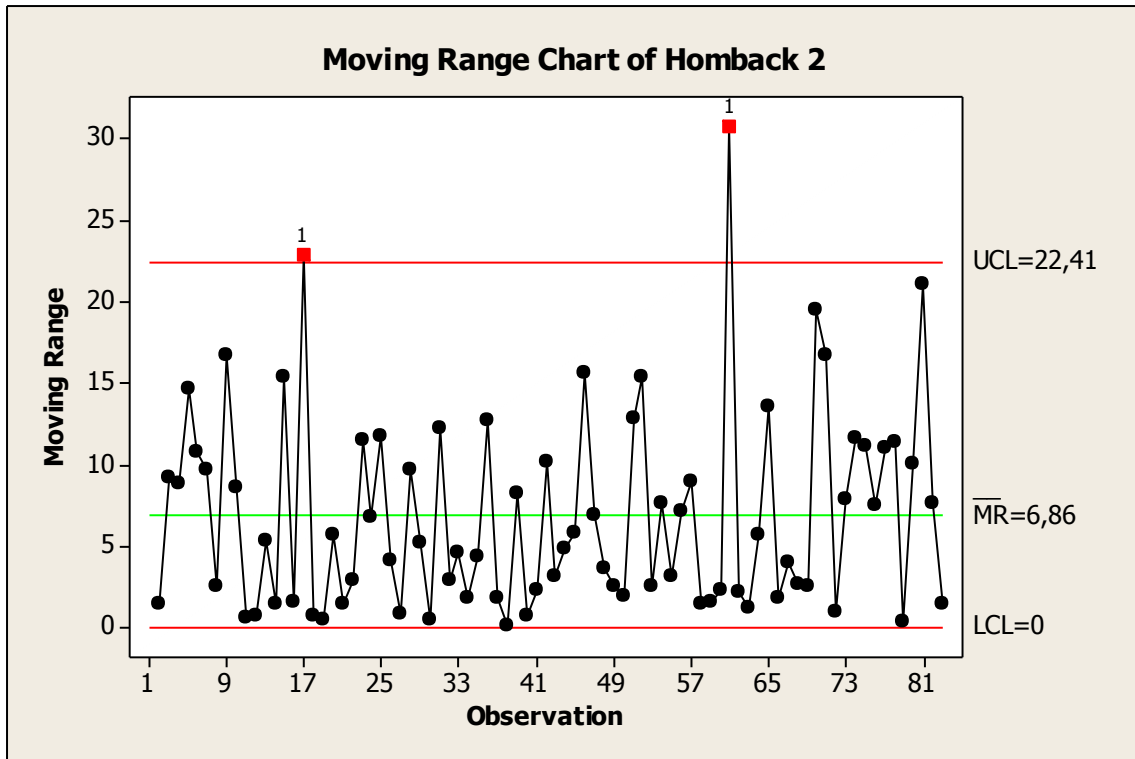


Diagrama 24: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Hombak 2



Se puede observar que en tanto en la carta de mediciones individuales como la de de rango móvil existen varios puntos fuera de control. Sin embargo, no se pudo encontrar causas asignables a estas observaciones por lo que no pudieron ser eliminadas. Así también, se puede observar un número significativo de puntos seguidos que se encuentran por encima de la línea central en la carta de mediciones individuales, lo que representa un patrón inusual; sin embargo, no se pudo justificar dicho comportamiento con causas asignables. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad a la salida del molino Hombak 2 que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 30: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Molino Hombak 2

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	22.41	96.95
Central	6.86	78.71
Inferior	0	60.47

Vale la pena mencionar que la prueba de normalidad de los datos utilizados se encuentra en la sección 5.3.2.1.

6.4.3. Salida del Secadero

Para la obtención de datos del Secadero se utilizaron Registros del Cuarto de Control del Secadero de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se detalla mediciones de la humedad de las partículas a la salida del Secadero obtenidas por los operarios del Cuarto de Control del Secadero en varias instancias cada turno. En el Anexo 14 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto.

Durante la fase de construcción no se pudo encontrar causas asignables para los puntos fuera de control en las cartas de mediciones individuales y rango móvil. Por este motivo, no se eliminaron observaciones para el cálculo de los límites. Analizando los datos mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 25: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad de Secadero

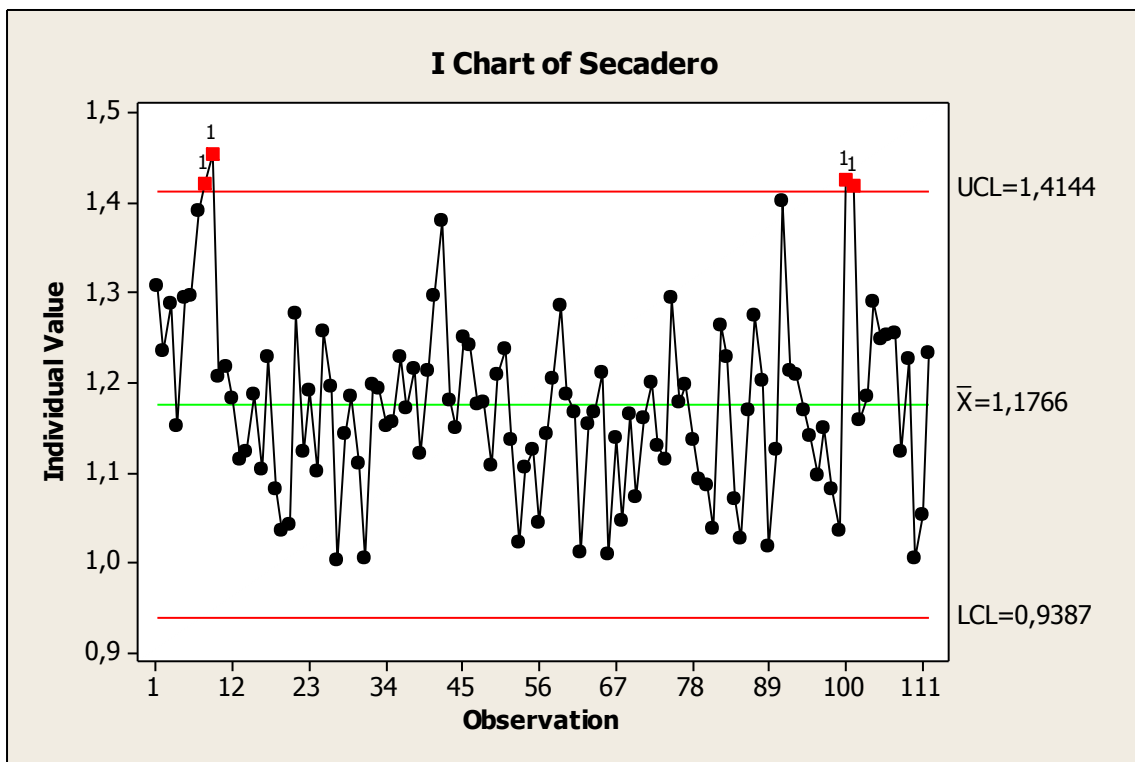
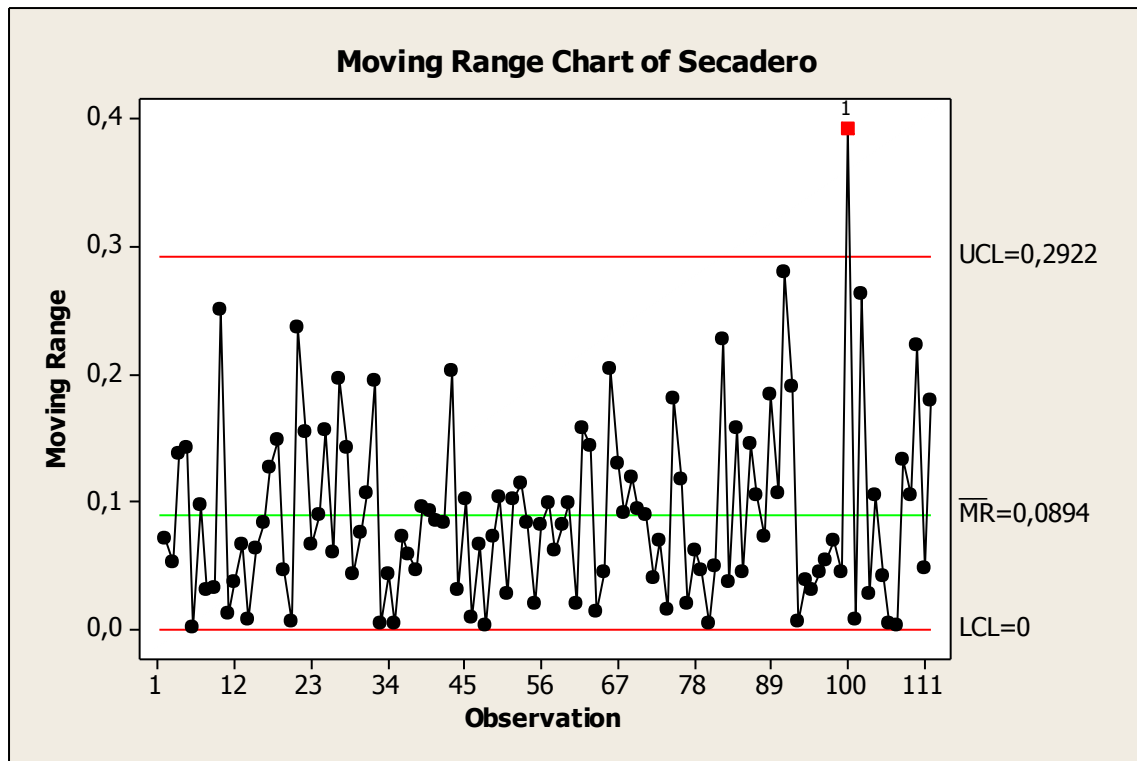


Diagrama 26: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad de Secadero



Se observa que en tanto en la carta de mediciones individuales como la de de rango móvil existen varios puntos fuera de control. Como se mencionó anteriormente, no se pudo encontrar causas asignables a estas observaciones por lo que no pudieron ser eliminadas. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad a la salida del Secadero que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 31: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida del Secadero

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	0.2922	1.4144
Central	0.0894	1.1766
Inferior	0.0000	0.9387

Vale la pena mencionar que la prueba de normalidad de los datos utilizados se encuentra en la sección 5.3.3.1.

6.4.4. Humedad a la Salida del Silo 5

Para la obtención de datos de la humedad de las partículas en el Silo 5 se utilizaron los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo el del Silo 5. En el Anexo 15 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto.

Durante la fase de construcción no se pudo encontrar causas asignables para los puntos fuera de control en las cartas de mediciones individuales y rango móvil. Por este motivo, no se eliminó ninguna observación para el cálculo de los límites. Analizando los datos mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 27: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en el Silo 5

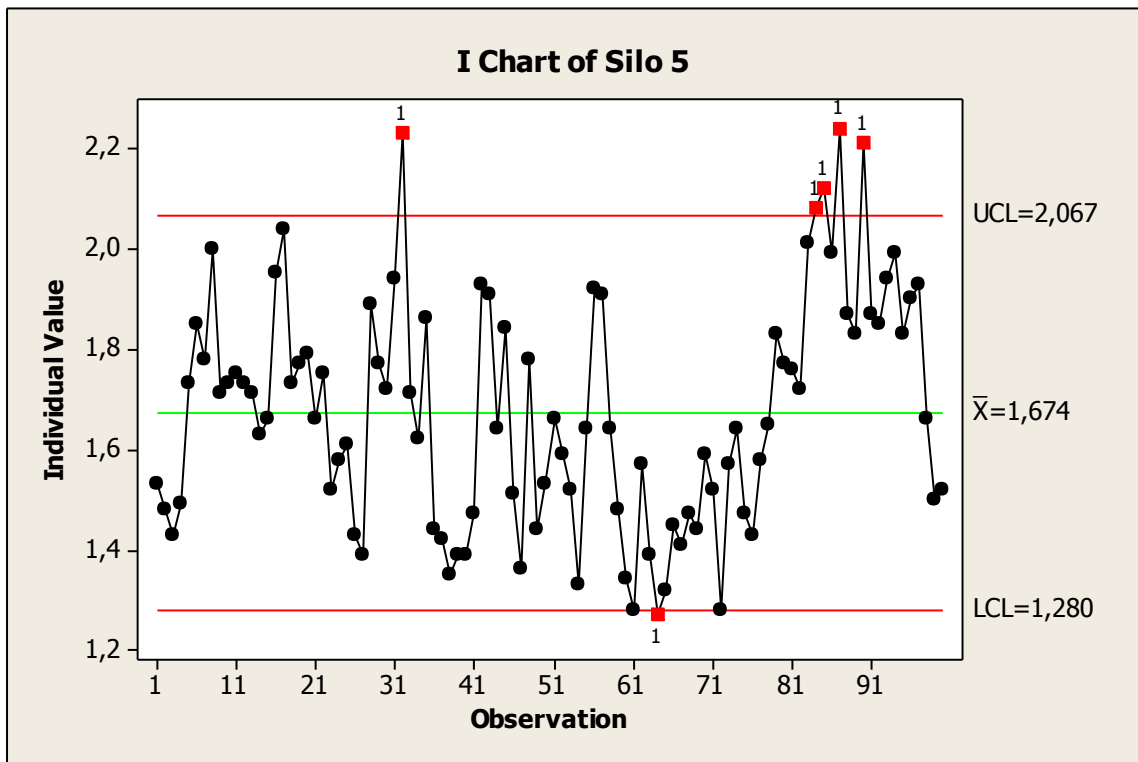
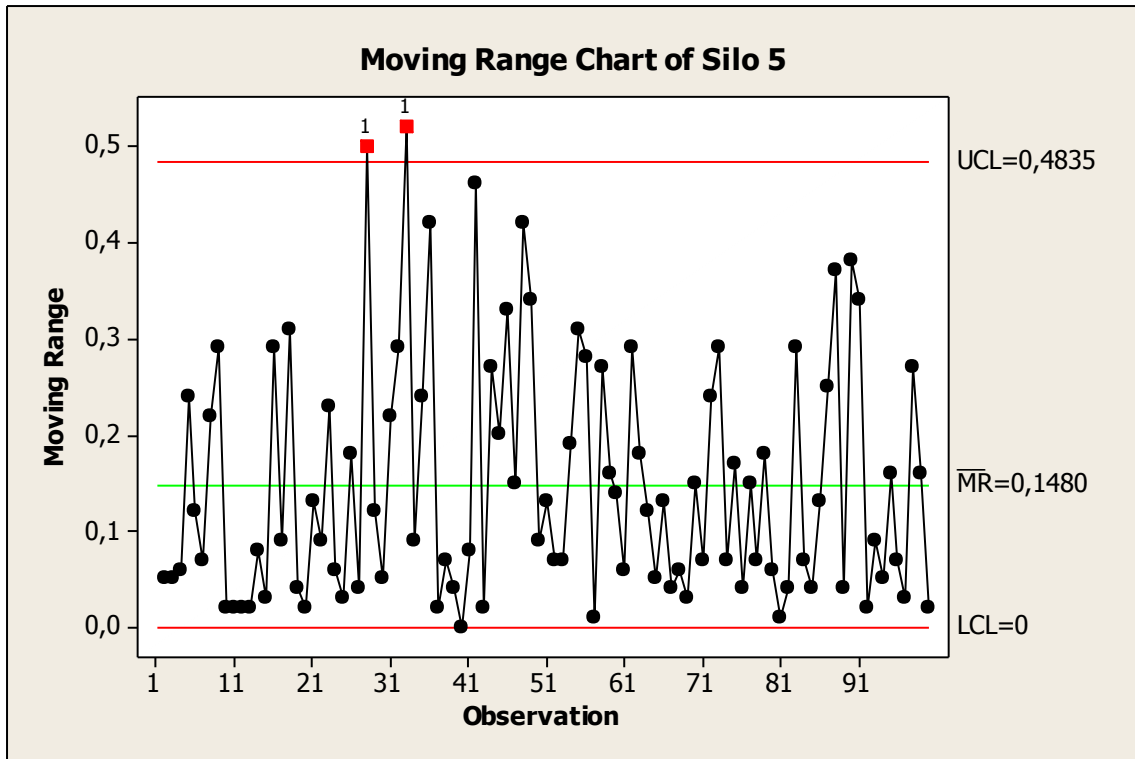


Diagrama 28: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en el Silo 5



Se puede observar que en tanto en la carta de mediciones individuales como la de de rango móvil existen varios puntos fuera de control. Como se mencionó anteriormente no se pudo encontrar causas asignables a estas observaciones por lo que no pudieron ser eliminadas. Así también, se puede observar un número significativo de puntos seguidos que se encuentran por encima de la línea central en la gráfica de mediciones individuales, lo que representa un patrón inusual; sin embargo, no se pudo justificar dicho comportamiento con causas asignables. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad en el Silo 5 que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 32: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Silo 5

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	0.484	2.067
Central	0.148	1.674
Inferior	0.000	0.939

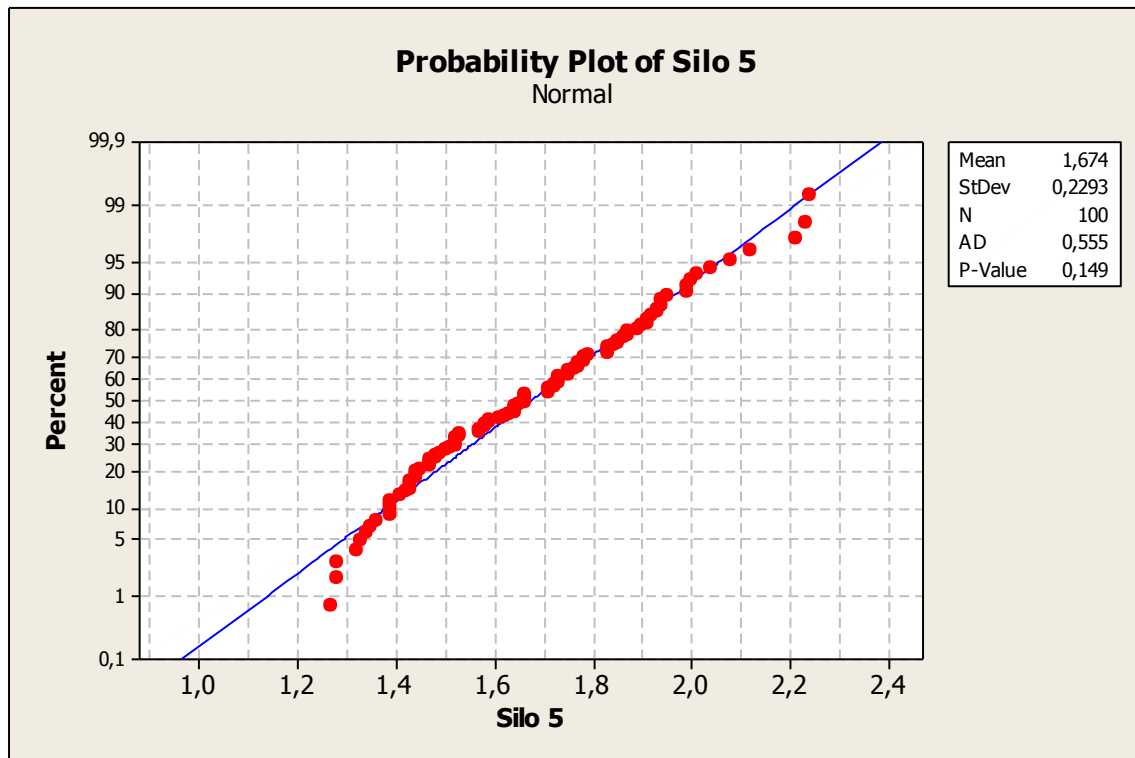
Para comprobar el supuesto de normalidad de los datos se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Silo 5 siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Silo 5 no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 29: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Silo 5



Se observa que el valor p de la prueba de hipótesis es 0.149, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el uso de las cartas de control seleccionadas.

6.4.5. Humedad a la Salida del Silo 6

Para la obtención de datos de la humedad de las partículas en el Silo 6 se utilizaron de igual manera los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo el del Silo 6. En el Anexo 16 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto.

Durante la fase de construcción no se pudo encontrar causas asignables para los puntos fuera de control en las cartas de mediciones individuales y rango móvil. Por este motivo no se eliminó ninguna observación para el cálculo de los límites. Analizando los datos mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 30: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en el Silo 6

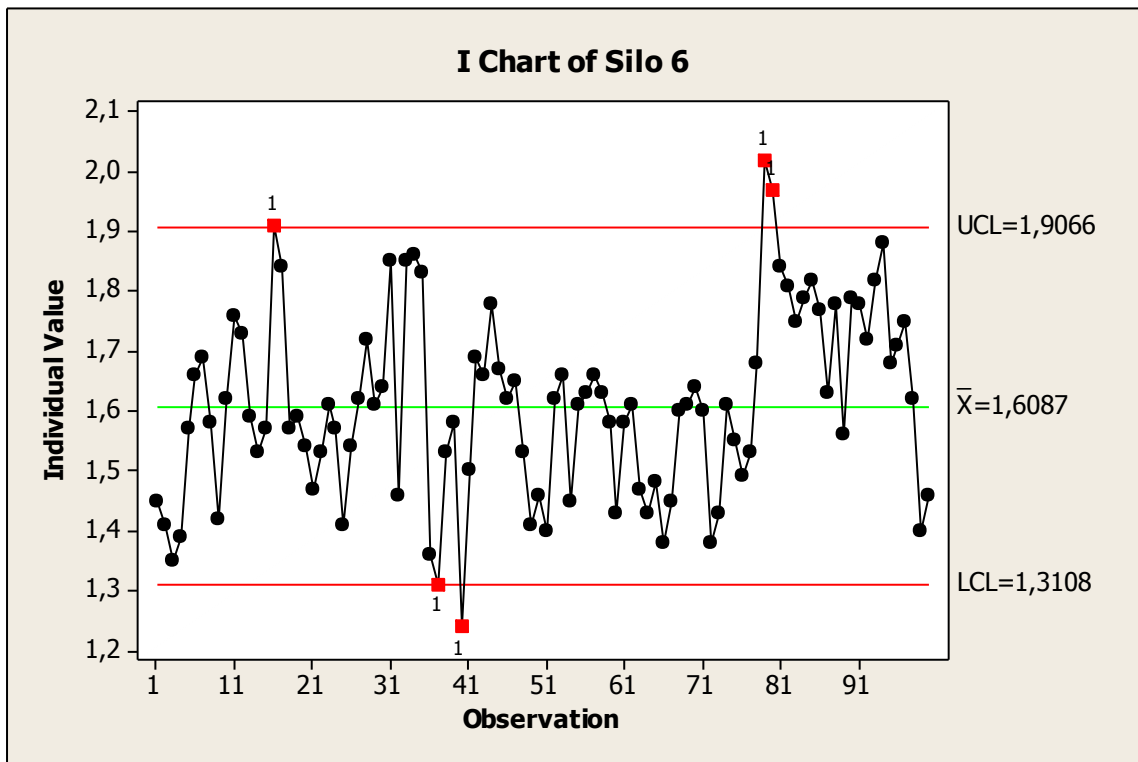
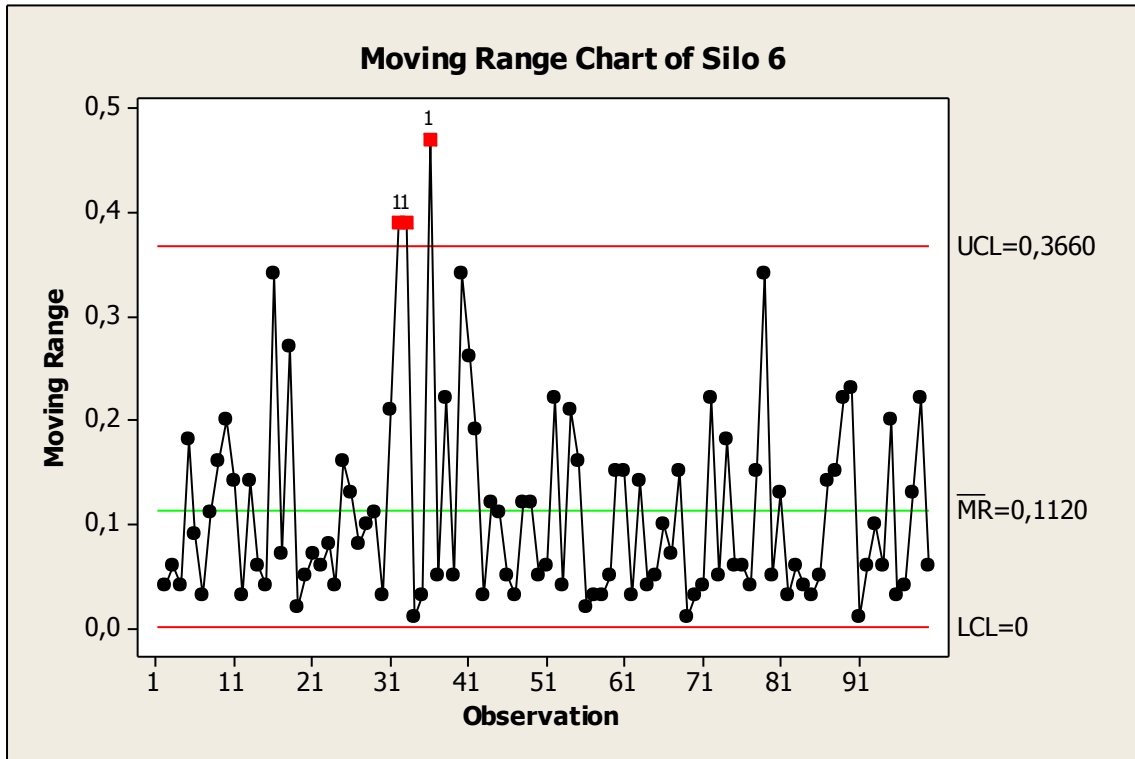


Diagrama 31: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en el Silo 6



Se puede observar que en tanto en la carta de mediciones individuales como la de de rango móvil existen varios puntos fuera de control. Como se mencionó anteriormente no se pudo encontrar causas asignables a estas observaciones por lo que no pudieron ser eliminadas. Así también, se puede observar un número significativo de puntos seguidos que se encuentran por encima de la línea central en la gráfica de mediciones individuales, lo que representa un patrón inusual; sin embargo, no se pudo justificar dicho comportamiento con causas asignables. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad en el Silo 6 que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 33: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de Silo 6

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	0.366	1.907
Central	0.112	1.609
Inferior	0.000	1.311

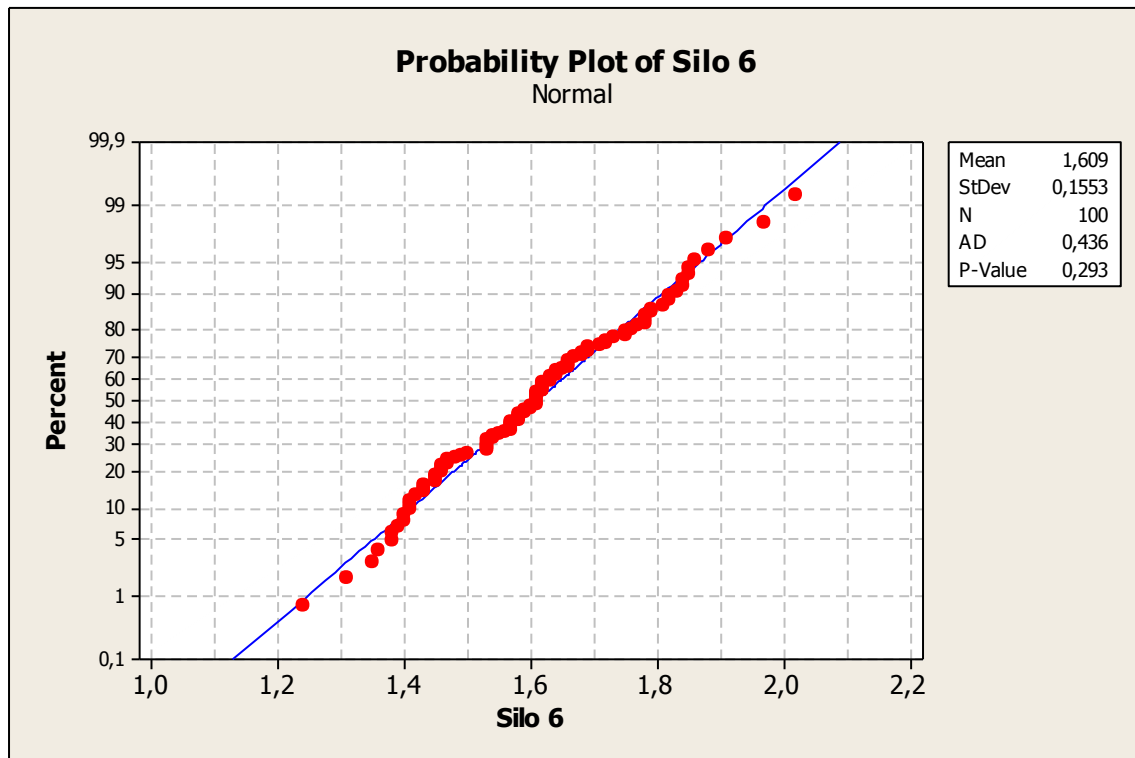
Para comprobar el supuesto de normalidad de los datos se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Silo 6 siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de las mediciones individuales de la humedad a la salida del Silo 6 no siguen una distribución normal.

Utilizando el programa estadístico Minitab® se sometió los datos a la prueba de normalidad de Anderson Darling, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Diagrama 32: Gráfico de Probabilidad Normal para Datos Finales de Humedad en el Silo 6



Se observa que el valor p de la prueba de hipótesis es 0.293, el cual es superior al nivel de significancia α seleccionado de 0.05. De esta manera se concluye que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), lo cual sugiere que los datos siguen una distribución normal y se justifica el uso de las cartas de control seleccionadas.

6.4.6. Humedad a la Salida de la Encoladora SL

Para la obtención de datos de humedad en la Encoladora SL se utilizaron los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo el de la Encoladora SL. En el Anexo 17 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto.

Luego de realizar el proceso iterativo en el que se eliminaron observaciones fuera de control con causas asignables se obtuvo los datos que se detallan en el Anexo 34. Los gráficos iniciales de la fase de construcción se encuentran en el Anexo 33. Analizando los datos finales mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 33: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Encoladora SL

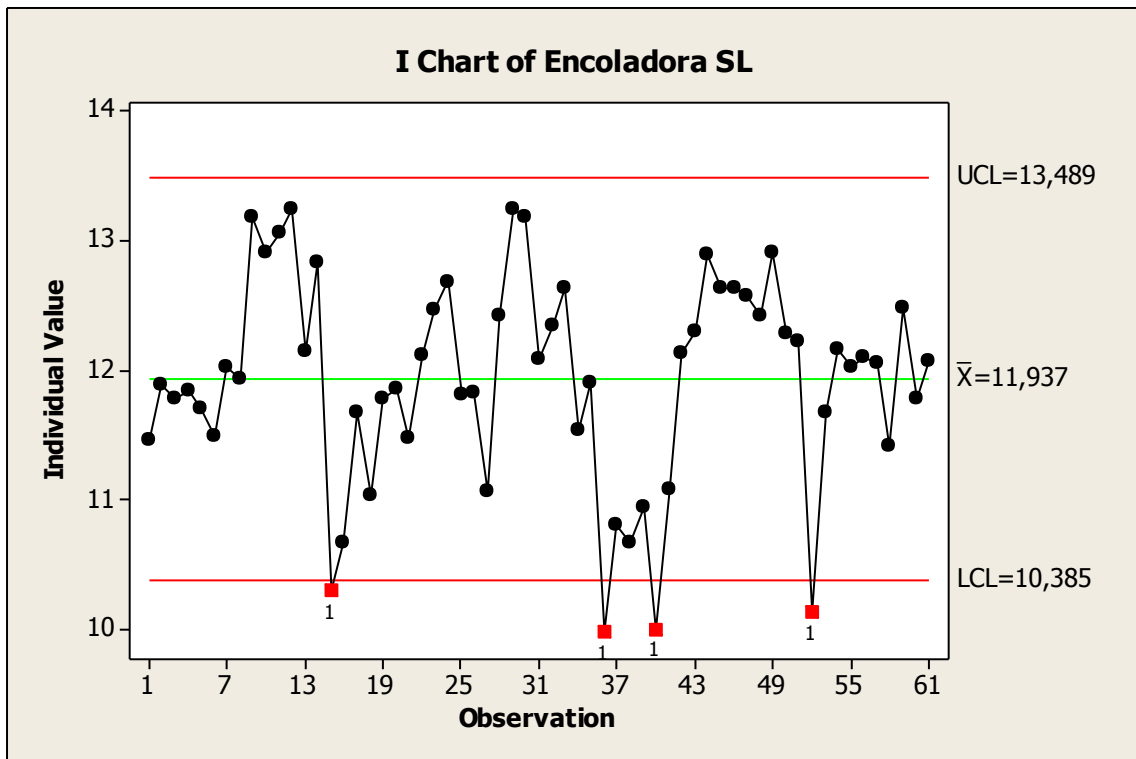
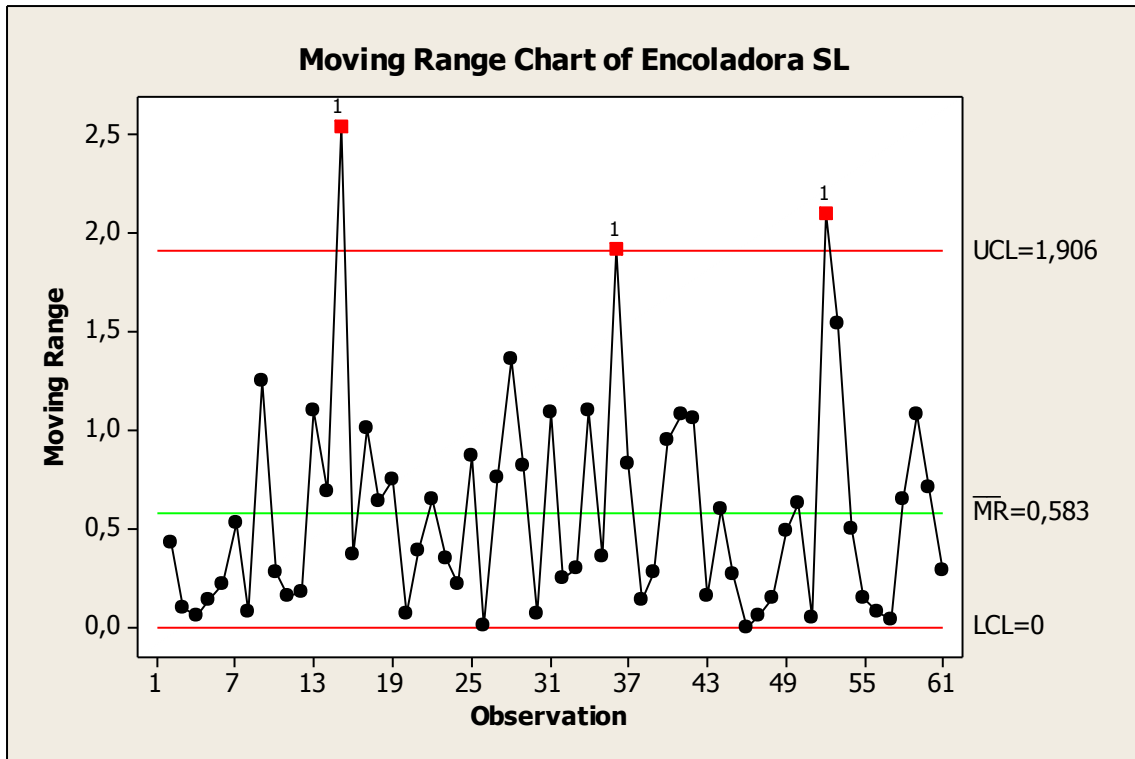


Diagrama 34: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Encoladora SL



Se puede observar que en tanto en la carta de mediciones individuales como en la de rango móvil aún existen observaciones fuera de control. Sin embargo, no se pudo encontrar causas asignables para estas observaciones por lo que no pudieron ser eliminadas. Así también, se puede observar un número significativo de puntos seguidos que se encuentran por encima de la línea central en la gráfica de mediciones individuales, lo que representa un patrón inusual; sin embargo, no se pudo justificar dicho comportamiento con causas asignables. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad a la salida de la Encoladora SL que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 34: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de la Encoladora SL

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	1.906	13.489
Central	0.583	11.937
Inferior	0.000	10.385

Vale la pena mencionar que la prueba de normalidad de los datos utilizados se encuentra en la sección 5.3.4.1.

6.4.7. Humedad a la Salida de la Encoladora CL

Para la obtención de datos de humedad en la Encoladora CL se utilizaron igualmente los Registros del Laboratorio de Calidad de los meses de octubre y noviembre de 2010. En estos documentos se registra la humedad de las partículas provenientes de varios puntos de control, incluyendo el de la Encoladora CL. En el Anexo 18 se encuentran los datos iniciales de humedad para este punto.

Luego de realizar el proceso iterativo en el que se eliminaron observaciones fuera de control con causas asignables se obtuvo los datos que se detallan en el Anexo 36. Los gráficos iniciales de la fase de construcción se encuentran en el Anexo 35. Analizando los datos finales mediante el uso del programa estadístico Minitab® se obtuvo las siguientes cartas de control para rango móvil y mediciones individuales.

Diagrama 35: Carta de Control Final de Mediciones Individuales para Humedad en Encoladora CL

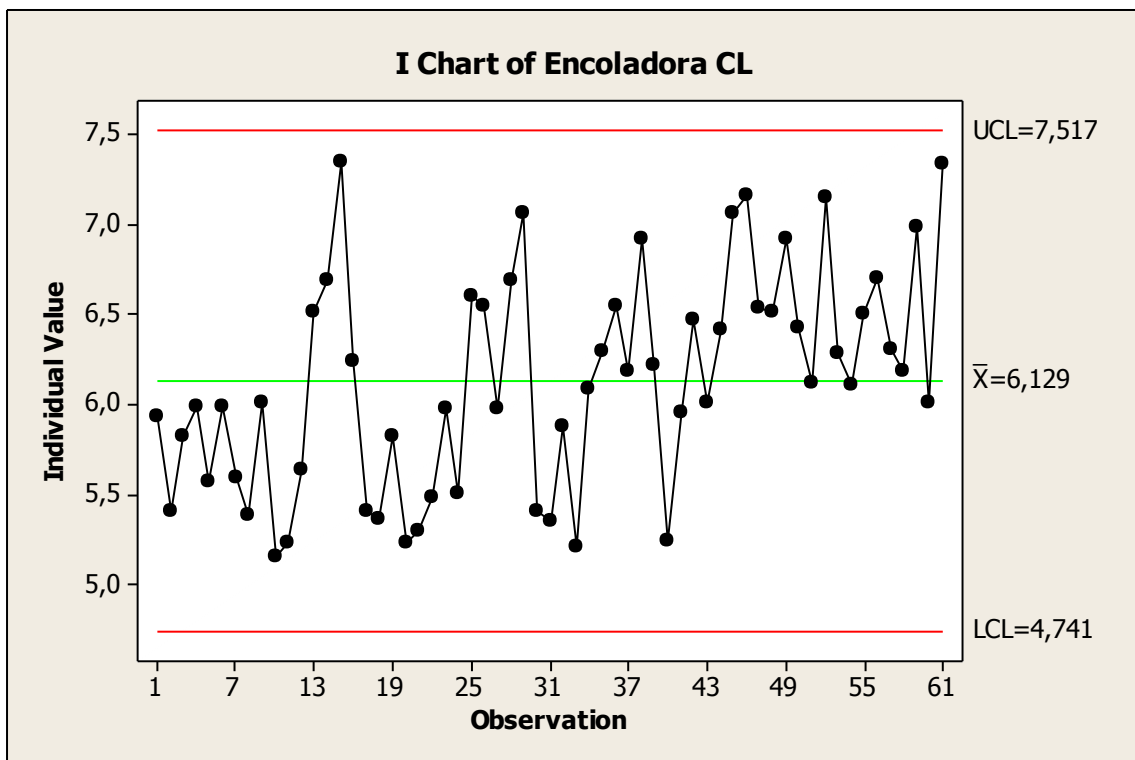
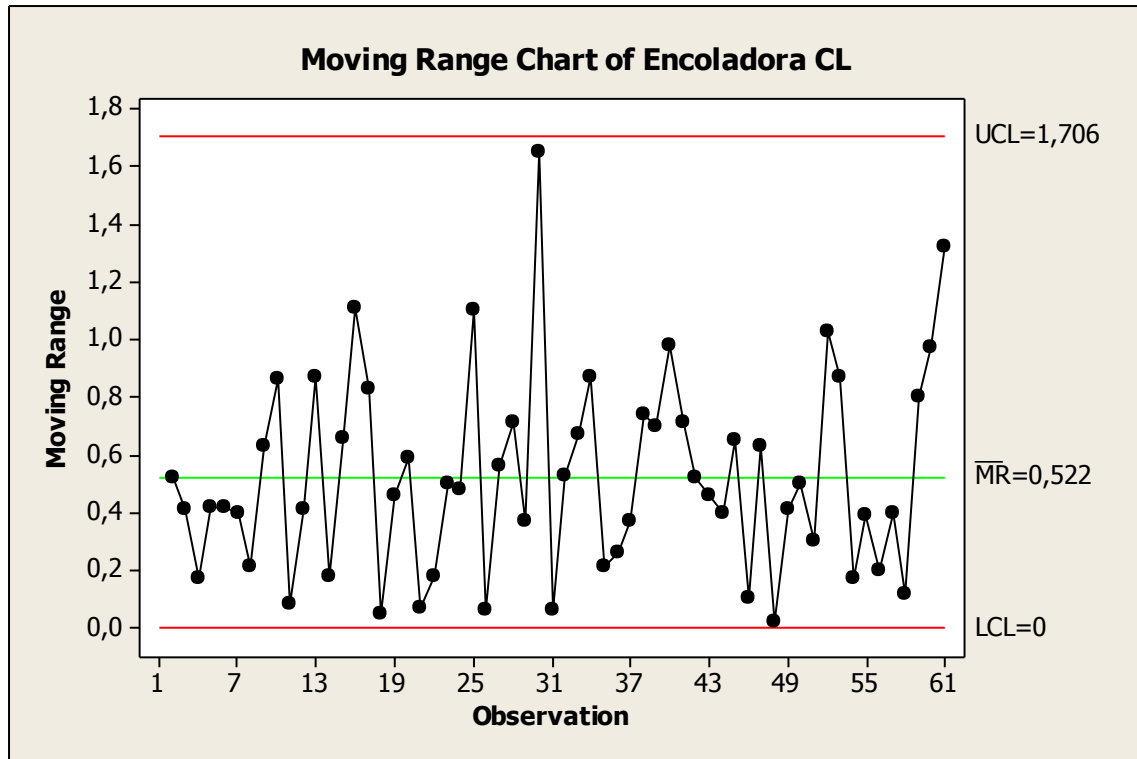


Diagrama 36: Carta de Control Final de Rango Móvil para Humedad en Encoladora CL



Se observa que en tanto en la carta de mediciones individuales como en la de rango móvil no existen observaciones fuera de control. Sin embargo, se puede observar un número significativo de puntos seguidos que se encuentran por encima de la línea central en la gráfica de mediciones individuales, lo que representa un patrón inusual; este comportamiento no se pudo justificar con causas asignables por lo que el proceso de construcción de las cartas concluyó. De esta manera se encontraron los límites finales para las cartas de control de humedad a la salida de la Encoladora CL que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 35: Límites de Control Finales para Cartas de Control de Humedad en Salida de la Encoladora CL

Límite de Control	Rango Móvil	Mediciones Individuales
Superior	1.706	7.517
Central	0.522	6.129
Inferior	0.000	4.741

Vale la pena mencionar que la prueba de normalidad de los datos utilizados se encuentra en la sección 5.3.5.1.

6.5. Desarrollo de Formatos de Control

Posterior al cálculo de los límites y construcción de las cartas de control se desarrollaron formatos para que la empresa pueda eficientemente realizar el control de la humedad a lo largo de la etapa de Preparación de Madera. El objetivo fue desarrollar documentos que serán colocados en los puntos de control seleccionados para que los responsables de las mediciones puedan anotar de manera conveniente cada valor obtenido. En los Anexos 37 al 43 se encuentran los formatos desarrollados para realizar el control en cada punto.

6.6. Desarrollo del Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control

En esta sección se desarrollará el Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control con el objetivo de que la empresa cuente con las herramientas e instrucciones adecuadas en caso de que el sistema de control estadístico propuesto sea implementado en la etapa de Preparación de Madera. Esto permitirá a las personas responsables conocer la manera correcta de actuar en caso de que el sistema detecte una situación fuera de control. El uso de esta herramienta permitirá a Novopan una pronta corrección de problemas en la humedad de las partículas y de esta manera evitar costos relacionados a la producción de tableros de mala calidad.

6.6.1. Identificación de Situaciones Fuera de Control

Según Montgomery, se considera una indicación de que el proceso ha salido de control estadístico cuando se presentan cualquiera de las siguientes situaciones dentro del diagrama de control.

- Uno o más puntos fuera de los límites de control.
- Una corrida de ocho puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.
- Seis puntos seguidos que se incrementan o se decrementan de manera sostenida.
- Catorce puntos seguidos alternándose arriba y abajo.
- Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.

- Uno o más puntos cerca de un límite de control.

6.6.2. Plan de Acción para Condiciones Fuera de Control

En el caso de que se encuentre muestras que sugieran que el proceso está fuera de control es necesario activar el Plan de Acción Para Condiciones Fuera de Control (OCAP). En este documento se especifica las acciones correctivas que se deben realizar en caso de que los gráficos de control indiquen que el proceso se encuentra fuera de control. El plan de acción especifica las posibles causas para cada situación fuera de control, y la acción correctiva correspondiente. Para cada uno de los puntos de control existe un diferente OCAP. Las tablas que detallan el plan de acción para cada punto se encuentran en los Anexos 44 al 55.

6.7. Consideraciones para la Implementación del Sistema de Control Estadístico

6.7.1. Instrucciones del Sistema de Control Estadístico

A continuación se presentan algunas consideraciones e instrucciones del sistema de control estadístico propuesto para la etapa de Preparación de Madera.

- Los límites de las cartas de control deben ser revisadas periódicamente ya que los procesos pueden haber sufrido un cambio en su desempeño. Para realizar la reconstrucción de los límites es necesario tomar al menos 30 mediciones de humedad en cada uno de los puntos de control establecidos. La política de muestreo y el procedimiento para la obtención de los límites de control se detalla en la sección 6.3 y 6.4 respectivamente.
- Es necesario realizar una reconstrucción de los límites cada vez que se realice una modificación al proceso (p.e. uso de nueva maquinaria, cambio en los proveedores de materia prima, cambio en los métodos y procedimientos de trabajo, etc). En caso de implementar la mejora propuesta en capítulo 5, es necesario establecer nuevos límites de control.
- Es importante que los operadores y personas que realicen mediciones o estén encargados de realizar el seguimiento de la variable de control estén debidamente capacitada en el uso de las herramientas y del sistema de control estadístico propuesto en este proyecto.

- Es importante saber que el hecho de que haya puntos fuera de control no necesariamente implican una situación fuera de control. Es necesario realizar un análisis minucioso basándose principalmente en el OCAP (pero no solo en este documento) para determinar si se trata de una situación fuera de control o una falsa alarma. En el caso de ser una situación fuera de control es necesario activar el OCAP y corregir las causas del error.

6.7.2. Políticas Administrativas

Las políticas administrativas son el fruto de las estrategias y metas de la empresa. Estas se encargarán de guiar y encaminar al personal a realizar su trabajo de una determinada manera durante un tiempo establecido. Según Montgomery, existen seis elementos fundamentales que aseguran un exitoso programa de Control Estadístico de Procesos.

6.7.2.1. Liderazgo de la Administración

La administración de Novopan debe instruir al personal por medio de una capacitación cruzada, buscando que cada operario tenga una idea general del funcionamiento de todo el proceso de elaboración de tableros. El objetivo de esta capacitación es que cada individuo sepa resolver los problemas por sí mismos para evitar pérdidas de tiempo que generen costos y a su vez interrumpen el flujo natural del proceso.

En el caso específico del proceso de alimentación de madera, un operario no debe limitar su conocimiento al funcionamiento del proceso o la maquinaria involucrada en el mismo, sino que también debe conocer acerca de la materia prima (madera). De esta manera, el responsable podrá identificar la madera que se encuentre en condiciones óptimas para utilizarla en la elaboración de los tableros. Se debe tomar en cuenta que el estado de la materia prima depende enteramente de su porcentaje de humedad previo a su ingreso al proceso de alimentación de madera, y que a su vez el porcentaje de humedad depende del tiempo que la madera estuvo almacenada.

6.7.2.2. Enfoque en el Trabajo en Equipo

Novopan debe implantar un enfoque de equipo en la planta, lo que significa que si un operario requiere de algún tipo de ayuda, algún compañero pueda asistirlo. Para lograr esto, la gerencia debe concientizar a los trabajadores

que con una actitud individualista no se puede elaborar el producto final. Es decir, la gerencia debe transmitir a los operarios que la colaboración e interacción entre ellos permitirá a la empresa alcanzar un objetivo común (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Es importante agregar que Novopan debe considerar la posible creación de un equipo especializado que mantenga el control del proceso de producción. Este equipo estará a cargo de: brindar apoyo técnico a los compañeros, supervisar si el trabajo se realiza de la manera correcta, realizar un seguimiento de la calidad y variabilidad de los productos (tomar datos), desarrollar métodos y nuevas alternativas para mejorar el proceso (mejoramiento continuo), y por último realizar una retroalimentación a los operarios para evitar errores anteriores (realizar las gestiones correspondientes que conlleven a optimizar el proceso). Lo recomendable es que el equipo esté conformado por un jefe de planta, un recolector de datos y un analista con conocimiento estadístico.

6.7.2.3. *Capacitación de los Empleados en Todos los Niveles*

En Novopan se mantiene una producción cambiante en el sentido que cada día se producen diferentes tipos de tableros. Por esta razón, la administración debe brindar una capacitación correspondiente para evitar que los operarios cometan errores en las órdenes de producción. Por lo tanto, los operarios deben contar con una capacitación periódica (semanal) acerca de las diferentes clases de tableros, espesores, tamaños y acabados de cada orden planificada durante ese lapso de tiempo.

Adicionalmente, es importante que la gerencia enseñe al personal a utilizar e interpretar los documentos de control estadístico con el propósito de evaluar el desempeño del proceso. Finalmente, se debe enfatizar en la importancia de utilizar recursos de la mejor manera, para de esta forma evitar desperdicios que signifiquen pérdidas económicas para la empresa.

6.7.2.4. *Énfasis en la Reducción de la Variabilidad*

La reducción de la variabilidad es esencial para garantizar un producto de calidad. El primer paso a seguir por Novopan sería evaluar el proceso de producción. Para esto se debe recurrir a herramientas como el control estadístico de la calidad y el diseño y análisis de experimentos.

A través del control estadístico de la calidad, es posible crear diagramas de control para establecer límites que servirán como referencia para calificar al proceso como bajo control o fuera de control. Tener un proceso bajo control significa que los puntos en el diagrama se encuentran dentro de los límites respectivos. De igual forma, indica que el proceso tiene tan solo variabilidad inherente dada por causas fortuitas. Por otro lado, un proceso fuera de control significa que el diagrama contiene puntos fuera de los límites respectivos, lo cual representa que existe variabilidad debido a causas asignables y/o fortuitas (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

Por otro lado, el diseño y análisis de experimentos nos da indicio de qué factores afectan directamente en el sistema y consecuentemente aumentan la variabilidad. Al identificar estos factores se deben tomar medidas para eliminarlos o en su defecto reducirlos (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos). Asimismo, si el proceso es significativo para la creación del producto final, como en el caso del proceso del corte del cuero, se sugiere a Novopan la implementación de la metodología 6 sigma para garantizar una reducción considerable de la variabilidad

6.7.2.5. *Medir el Éxito en Términos Cuantitativos*

Novopan deberá realizar un estudio de factibilidad y rentabilidad antes de implementar cualquier cambio tanto en sus procesos productivos como en sus procesos administrativos. Una vez implementados dichos cambios la empresa podrá calificar según sus resultados económicos. Para esto, se necesitaría la creación de ciertos indicadores que permitan realizar una comparación entre la situación actual y la situación previa a las modificaciones. Estos indicadores se encargarán de medir especialmente los costos de desperdicio y los costos de re-trabajo; así como el impacto de la calidad en las ventas (Montgomery, Control estadístico de la Calidad).

6.7.2.6. *Comunicar Resultados Exitosos en Toda la Organización*

Se sugiere a Novopan la implementación de gráficos o diagramas que representen ciertos indicadores claves de gestión como un mecanismo de comunicación. Los indicadores que deben representarse son: la cantidad de desperdicio, re-trabajo y ventas. A través de estos gráficos los integrantes de la

organización podrán visualizar el desempeño de la empresa y a su vez compararlos con resultados obtenidos en periodos previos. Es importante recalcar que el equipo propuesto en el punto dos debe ser el responsable de realizar dichos gráficos y la capacitación establecida en el punto tres debe incluir una explicación acerca de cómo interpretar dichas imágenes. Por lo tanto, el personal de la organización podrá hacer un seguimiento de su desempeño que a su vez servirá como una motivación para mejorar constantemente.

7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Beneficios y Consideraciones de la Implementación del Proyecto

Como se pudo determinar, el desperdicio es un problema de gran importancia, el cual representa costos significativos para la empresa. Las propuestas y procedimientos presentados en este proyecto pueden ser de gran beneficio para la rentabilidad de la empresa ya que están enfocados en reducir las medidas de desperdicio en la planta, especialmente la generación de tableros de mala calidad que representa la forma de desperdicio de mayor impacto para Novopan.

Para cuantificar el potencial beneficio financiero de este proyecto, se utilizó los datos encontrados en el proyecto e información financiera de la empresa. El enfoque y alcance del proyecto fue la reducción de la producción de tableros Clase R. En la sección 4.1.1.1. se encontró que la proporción de tableros Clase R en Novopan es de aproximadamente 1.24%. Es importante considerar que el estudio se enfocó en gestionar los tipos de defectos de tableros Clase R más importantes; tableros reventados y ampollado que representan un 56.31% de los tableros clase R analizados (Referirse a la sección 4.1.1.2.). Finalmente, se pudo conocer que la producción diaria promedio en Novopan es de aproximadamente 550m³ de tableros y que el valor promedio de comercialización por metro cúbico de tablero es de \$301.03 (Sosa). Asumiendo que las mejoras propuestas en el estudio permitirán una reducción del 50% en la producción de tableros reventados y ampollados se obtuvo que el ahorro potencial de la implementación del proyecto es de aproximadamente \$578.03 diarios.

7.2. Conclusiones

- El desperdicio generado en el proceso de Elaboración de Aglomerado es un tema crítico para Novopan del Ecuador. Durante esta etapa, el desperdicio puede presentarse en dos formas; material defectuoso desechado previo al proceso de Prensado y tableros Clase R generados posterior al Proceso de Prensado. El último es de mayor impacto para la organización ya que el desperdicio es en forma de producto terminado el cuál involucró gran cantidad de inversión de recursos.

- Para la medición de las formas de desperdicio antes mencionada se propuso la creación de dos indicadores de desempeño; Promedio de Proporción de Material Desechado por Turno y Proporción de Tableros Clase R. Actualmente, los valores para estos indicadores son de aproximadamente 1.79% y 1.24% respectivamente.
- El proyecto se enfocó en realizar una propuesta de mejora que permita disminuir el desperdicio en el proceso productivo, especialmente en la producción de tableros Clase R. Se realizó un análisis causal que permitió determinar que el principal causante de tableros de mala calidad es el exceso de humedad en las partículas de madera que ingresan al proceso de Prensado.
- Se consideró que la mejor etapa para realizar una propuesta de mejora y un sistema de control de la humedad de las partículas es en la etapa de Preparación de Madera. De manera más específica, se aplicó Diseño Experimental en el Almacenamiento de Madera para encontrar los parámetros de optimización del proceso. El resultado de este estudio fue determinar el tiempo óptimo que la madera rolliza debe permanecer en almacenamiento para reducir la humedad y su variabilidad de la madera que se alimenta al proceso de Elaboración de Aglomerado. Todo esto enfocado a lograr un proceso más consistente y estable que produzca menor cantidad de tableros de mala calidad.
- Finalmente, se desarrolló un sistema de control estadístico de calidad que monitoree la humedad de las partículas a lo largo de toda la etapa de Preparación de Madera. Este sistema dará a Novopan un control reactivo de la humedad de las partículas a lo largo de la línea de producción que permitirá la detección temprana de situaciones defectuosas para su rápido correjimiento y así evitar o minimizar el desperdicio generado.

7.3. Recomendaciones

- La principal recomendación para Novopan es implementar un sistema de gestión y control en el proceso de Recepción de Materia Prima el cual permita a la empresa trabajar conjuntamente a sus proveedores con el objetivo de que la madera que ingresa sea de mayor calidad y más acorde a las necesidades de producción de la planta. Este sistema deberá tener la

capacidad de reducir los tiempos de almacenamiento de la madera, el contenido metálico en el material y en general reducir la variabilidad y el desperdicio a lo largo de la línea de producción.

- Se recomienda a Novopan considerar el problema de desperdicio como una prioridad dentro de la organización. Igualmente sería de gran beneficio para la compañía incluir los índices de desempeño de desperdicio propuestos en este proyecto en el listado de indicadores oficiales para de esta manera realizar un seguimiento más formal y comprometido del desempeño de la compañía en cuanto a este tema.
- Un correcto uso e implementación de las mejoras y herramientas desarrolladas en este proyecto permitirá a Novopan reducir el desperdicio relacionado a mala calidad de sus productos en el proceso de elaboración de aglomerado. El potencial beneficio financiero de desarrollar este proyecto es considerable y podrá mejorar de manera significativa la rentabilidad de la empresa.
- Se recomienda utilizar las metodologías y herramientas presentadas en este proyecto para otros proyectos que demanden de un análisis técnico y detallado para encontrar la solución al problema. De manera paralela, la compañía debería entregar entrenamiento y capacitación en el uso de las herramientas para asegurar que estos proyectos se difundan exitosamente a lo largo de la compañía.
- Para complementar este proyecto se recomienda realizar un estudio más profundo del desperdicio en forma de material desechado. Este tema fue analizado superficialmente en este estudio, sin embargo los beneficios de generar un nuevo proyecto a partir de este análisis son considerables. Adicionalmente, sería adecuado realizar este estudio para eliminar totalmente el desperdicio en el proceso de Elaboración de Aglomerado.

8. BIBLIOGRAFÍA

Ayala, Luis Eduardo y Ramiro Arias. «Gerencia de Mercadeo.» 2009. El Analisis de la Cadena de Valor. 2010 de Septiembre de 27

<<http://www.3w3search.com/Edu/Merc/Es/GMerc081.htm>>.

Bolaños, Gabriel. Proceso de Producción de Novopan Sebastián Mena y Diego Suárez. 7 de Septiembre de 2010.

Borrego, Daniel. «Herramientas para PYMES.» 23 de Febrero de 2009. ¿Cómo elaborar un diagrama de causa-efecto? 08 de Febrero de 2011

<<http://www.herramientasparapymes.com/%C2%BFcomo-elaborar-un-diagrama-de-causa-efecto>>.

Bustamante, Ignacio. Descripción de Novopan Diego Suárez y Sebastián Mena. 29 de Septiembre de 2010.

Bustamante, Ignacio. Desperdicio en Novopan Diego Suárez y Sebastián Mena. 27 de Septiembre de 2010.

Conza, Christian. «SlideShare.» 2008. Mapeo de Procesos. 12 de 05 de 2010

<<http://www.slideshare.net/cconza/mapeo-de-procesos-1043684>>.

Correa, Juan C. y Esperanza Sierra. «Intervalos de Confianza Para el Parámetro de la Distribución Binomial.» Revista Colombiana de Estadística (2001): 50-72.

Crece Negocios. «CreceNegocios.com.» 14 de Septiembre de 2009. Cadena de valor. 27 de Septiembre de 2010 <<http://www.crecenegocios.com/cadena-de-valor/>>.

DataBison . Agosto de 2008. How to Create a Pareto Chart in Excel. 08 de Febrero de 2011

<<http://www.databison.com/index.php/how-to-create-a-pareto-chart-in-excel/>>.

Derman, Cyrus y Sheldon M. Ross. Statistical Aspects of Quality Control. San Diego: Ed. Academic Press, 1996.

Díaz, Rafael. Sistema de Control de Calidad en Novopan Diego Suárez y Sebastián Mena. 5 de Octubre de 2010.

Duncan, Acheson J. Quality Control and Industrial Statistics. 5ta edición. Homewood: Ed. R. D. Irwin, 1974.

Estela, Adán H. El análisis Causal como herramienta para el planteamiento del problema en la investigación. Monografía. Lima: Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, 2010.

GraphPad Prism. «Analyzing Data with GraphPad Prism.» 1999. The Prism Guide to Interpreting Statistical Results. 28 de Septiembre de 2010

<http://graphpad.com/articles/interpret/Analyzing_two_groups/choos_anal_comp_two.htm>.

Hansen, Bertrand L. y Prabhakar M. Ghare. Control de Calidad. Teoría y Aplicaciones. Madrid: Ed. Diaz de Santos, 1990.

Lloréns, Francisco J. I. «Una reflexión sobre la aplicación del análisis causal en el avance de la investigación del entorno organizacional.» Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales de Málaga (1996): 133-141.

López Soto, María T. Estudios R ̄ R – Repetitividad y Reproducibilidad. Paper. Mayagüez: UPRM, 2008.

Minitab Inc. Central composite design. State College, 2010.

—. Gage R&R Study. State College, 2010.

—. Individuals-Moving Range Chart. State College, 2010.

Montgomery, Douglas C. Control estadístico de la Calidad. 3era edición. México DF: Limusa Wiley, 2007.

—. Diseño y Análisis de Experimentos. 2da edición. México DF: Limusa Wiley, 2007.

Montgomery, Douglas C. y George C. Runger. «Gage Capability and Designed Experiments. Part I: Basic methods.» Quality Engineering (1993-1994): 115 –135.

Muzaurieta, Denise y Ramón Sánchez. «GestioPolis.» Octubre de 2004. Producción, Procesos y Operaciones. 01 de Octubre de 2010
<<http://www.gestipolis.com/recursos3/docs/ger/procymodela.htm>>.

Navarrete, Danny. Clase de Calidad Total. Universidad San Francisco de Quito Diego Suarez y Sebastián Mena. Enero - Mayo de 2009.

Niebel, Benjamin W. y Andris Freivalds. «Ingeniería Industrial.» Métodos, estándares y diseño de trabajo. Onceava edición. México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2004. 536-540.

NIST/SEMATECH. «e-Handbook of Statistical Methods.» 23 de Junio de 2010. Central Composite Designs (CCD). 02 de Febrero de 2011
<<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3361.htm>>.

—. «e-Handbook of Statistical Methods.» 23 de Junio de 2010. Anderson-Darling Test. 28 de Septiembre de 2010 <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>>.

Novopan del Ecuador. Novopan del Ecuador S.A. 13 de Diciembre de 2009. 27 de Septiembre de 2010 <<http://www.novopan.com.ec/index.htm>>.

Ortega, Jorge. «MidePlan.» Junio de 2009. Guía para el Levantamiento de Procesos. 29 de Septiembre de 2010
<http://www.mideplan.go.cr/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,314/>.

Reh, F. John. «About.com: Management.» 2010. Pareto's Principle - The 80-20 Rule. 27 de Septiembre de 2010
<<http://management.about.com/cs/generalmanagement/a/Pareto081202.htm>>.

Ruiz, Pedro, Carmen González y Juan Alcalde. «Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores.» Revista Calidad Asistencial de Madrid (2005): 71-78.

Rungtusanatham, Manus. The Quality and Motivational Effects of Statistical Process Control. Monografía. Arizona: Arizona State University, Tempe, 1998.

Salas, Antonia, Emilio Torres y Carlos Carleos. «Bellman, Universidad de Oviedo.» 2004. Depto de Estadística e I. O. y D. M. 28 de Septiembre de 2010
<http://bellman.ciencias.uniovi.es/estadistica2/estadistica2_archivos/ajuste.pdf>.

Sales, Matias y Marcelo Pérez. «GestiPolis.com.» Julio de 2007. Diagrama de Pareto. 27 de Septiembre de 2010 <www.uch.edu.ar/rrhh>.

SiliconFarEast. Gauge Repeatability and Reproducibility (GR&R). 2005. 15 de Noviembre de 2010 <<http://www.siliconfareast.com/grr.htm>>.

Solís Reyna, Norma Irene, y otros. «GestiPolis.com.» 19 de Marzo de 2008. Estadística aplicada a los negocios. Diseño de experimentos. 15 de Noviembre de 2010 <<http://www.gestipolis.com/finanzas-contaduria/expirimentos-estadistica-aplicada-a-los-negocios.htm>>.

Sosa, Víctor Hugo. Capacidad de Producción Novopan Sebastián Mena y Suárez Diego. 11 de Octubre de 2010.

Sower, Victor E. «Sam Houston State University.» 2005. Quality Assurance Management. 2010 de Septiembre de 2010 <http://www.shsu.edu/~mgt_ves/>.

Stat-Ease, Inc. Central Composite Design. Minneapolis, 20 de Enero de 2010.

—. Replicates in Two Level Factorial Design. Minneapolis, 20 de 01 de 2010.

—. Selecting the Value of Alpha for a CCD. Minneapolis, 20 de Enero de 2010.

Syque. «SyqueQuality.» 2002. ICOM. 01 de Octubre de 2010 <<http://syque.com/improvement/ICOM.htm>>.

Tague, Nancy R. «The Quality Toolbox.» Segunda edición. ASQ Quality Press, 2004. 155-158, 247-249, 471-474 .

Tecnología Aplicada a la Calidad S.A. . Estudios de Capacidad y Habilidad del Proceso (Cp y Cpk). 2010. 17 de Noviembre de 2010 <<http://www.calidad.com.mx/articulos/58.htm>>.

The ZDM Group. Manual Seis Sigma: Green Belt. Certificación Black Belt. Portland: Fundación Cicerón, 2010.

Thompson, James y Jacek Koronacki. Statistical Process Control: The Deming Paradigm and Beyond. 2da edición. Boca Ratón: Ed. Chapman & Hall/CRC, 2002.

Tobon, Carlos Hernando. «Gerencia de Procesos.» 10 de Abril de 2008. Mapeo de Procesos. 30 de Septiembre de 2010 <<http://gerenciaprocesos.comunidadcoomeva.com/blog/index.php?/categories/4-4-Mapeo-de-Procesos>>.

UNAM. «Psicología Para Estudiantes.» 1999. Prueba T de Student para datos relacionados (muestras dependientes). 28 de Septiembre de 2010 <http://www.ray-design.com.mx/psicoparaest/index.php?option=com_content&view=section&id=8&Itemid=55>.

Universidad de Antioquía. «Control de Calidad.» 2004. Herramientas: Cartas de Control. 08 de Febrero de 2011 <http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/control_calidad/herramientas.html>.

Universitat Oberta de Catalunya. Capacidad de Procesos. 15 de Junio de 2003. 19 de Noviembre de 2010 <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_6.pdf>.

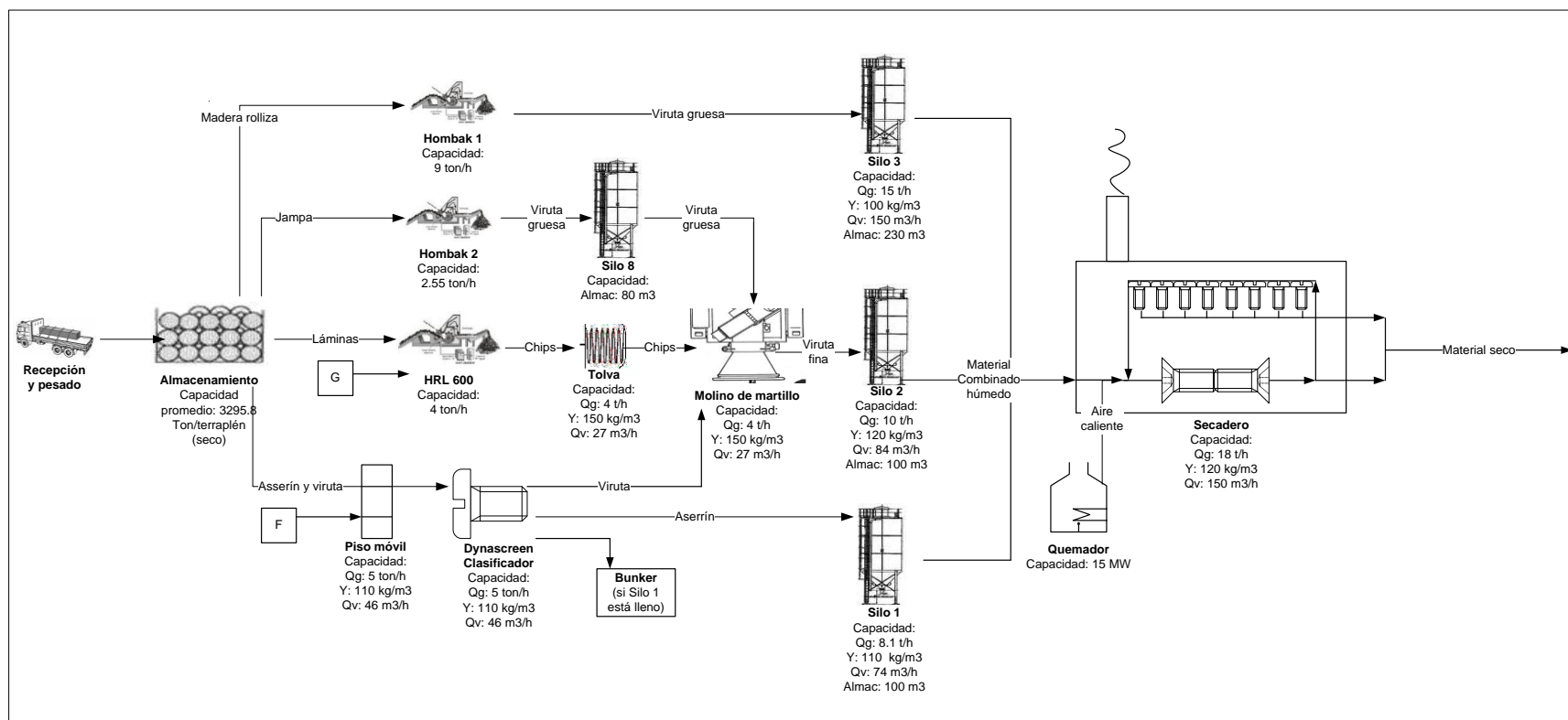
Vázquez, Ana María. «El Prisma.» 2004. Diagramas de Flujo. 29 de Septiembre de 2010
<http://www.elprisma.com/apuntes/administracion_de_empresas/quesonlosdiagramasdeflujo/>.

ANEXOS

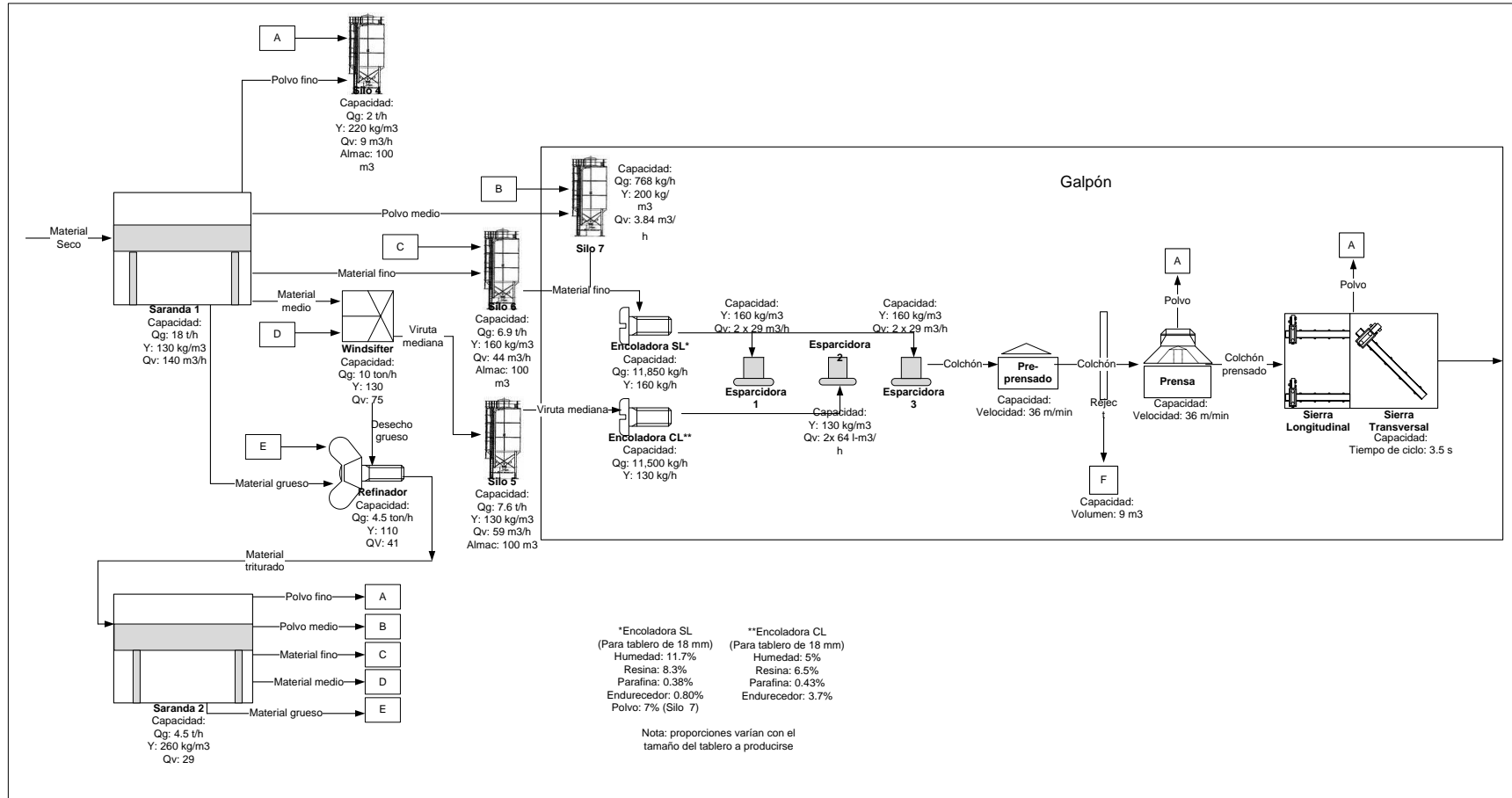
Anexo 1: Lista Maestra de Procesos en Novopan

Macro Procesos	Procesos	Subprocesos	Código
Macro Procesos Gobernante	Aseguramiento de la Calidad	Planificación y Mejoramiento de la Calidad	G3AC-1
		Control de Calidad	G3AC-2
	Auditoría Interna		G2AI-0
	Planificación Estratégica		G2PE-0
	Gestión Ambiental		G2GA-0
Macro Procesos Productivos	Ventas y Distribución	Exportaciones	P3VD-1
		Ventas Locales	P3VD-2
	Producción Aglomerado	Molienda	P3PA-1
		Secado	P3PA-2
		Separación de Material por Densidad	P3PA-3
		Encolado	P3PA-4
		Formación de Colchón	P3PA-5
		Prensado	P3PA-6
		Corte y Apilado	P3PA-7
	Laminado de Aglomerado		P2LM-0
	Gestión de Marketing		P2GM-0
	Lijado de Aglomerado		P2LJ-0
	Despachos	Embalaje	P3DP-1
Envío de Producto		P3DP-2	
Macro Procesos Habilitantes	Gestión de Bodegas	Recepción de Material	H3GB-1
		Gestión de Patios	H3GB-2
		Bodega de Repuestos y Materia Prima	H3GB-3
		Bodega de Productos Comerciales	H3GB-4
		Bodega de Producto Terminado	H3GB-5
	Gestión Financiera	Dirección Financiera	H3GF-1
		Contabilidad	H3GF-2
		Gestión de Caja	H3GF-3
	Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo	H3MT-1
		Mantenimiento Correctivo	H3MT-2
		Mantenimiento Predictivo	H3MT-3
	Gestión de Recursos Humanos	Capacitación de Personal y Asistencia Técnica	H3RH-1
		Evaluación de Personal	H3RH-2
		Contratación de Personal	H3RH-3
		Manejo de Entorno Laboral	H3RH-4
		Organización de Eventos	H3RH-5
	Sistemas		H2ST-0
	Gestión Forestal	Plantaciones	H3GF-1
		Manejo y Explotación Forestal	H3GF-2
	Compras	Importaciones	H3CP-1
Partes y Repuestos		H3CP-2	
Material para Consumo Interno		H3CP-3	
Seguridad Industrial		H2SI-0	

Anexo 2: Mapa del Proceso de Fabricación de Tableros MDP



Anexo 2: Mapa del Proceso de Fabricación de Tableros MDP (Parte II)

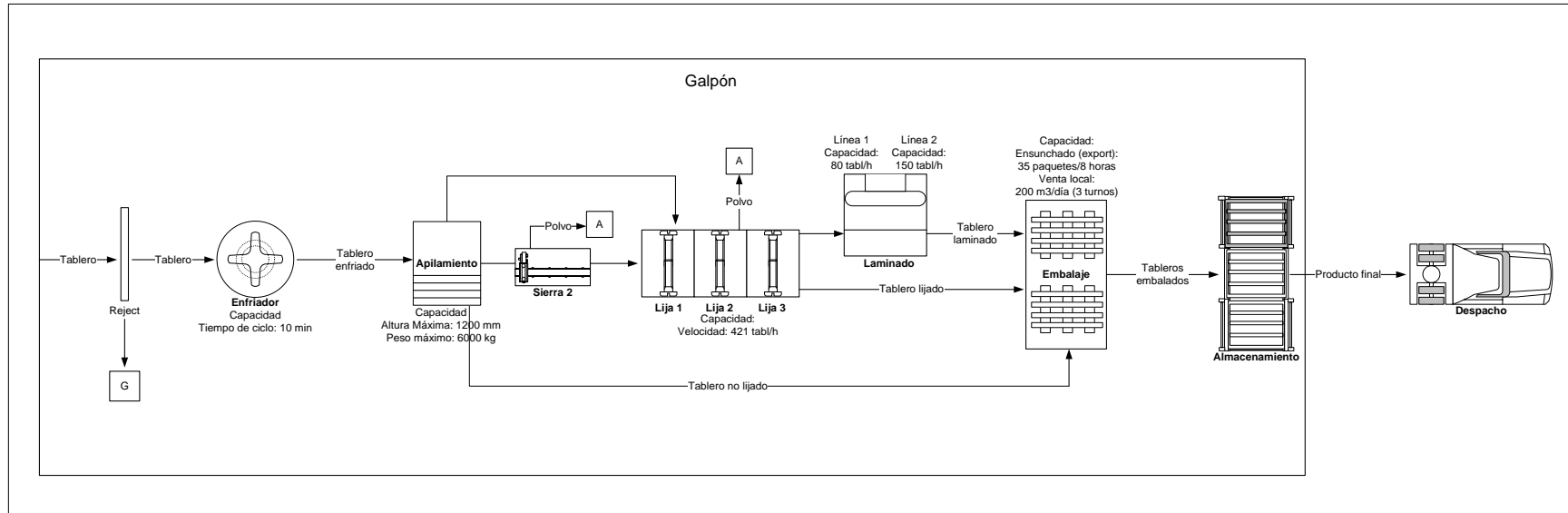


*Encoladora SL (Para tablero de 18 mm)
 Humedad: 11.7%
 Resina: 8.3%
 Parafina: 0.38%
 Endurecedor: 0.80%
 Polvo: 7% (Silo 7)

**Encoladora CL (Para tablero de 18 mm)
 Humedad: 5%
 Resina: 6.5%
 Parafina: 0.43%
 Endurecedor: 3.7%

Nota: proporciones varían con el tamaño del tablero a producirse

Anexo 2: Mapa del Proceso de Fabricación de Tableros MDP (Parte III)



Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad

Punto de Control	Variables de Control	Justificación	Método	Frecuencia	Responsable
Recepción de Material	Porcentaje de Humedad (%)	Es necesario obtener la humedad de la materia prima que ingresa a Novopan ya que la política de la empresa es pagar a sus proveedores en base al peso de material seco. En este sentido, se obtiene el peso húmedo de la madera y se substraen el porcentaje de humedad medido.	Si el material que ingresa es aserrín o viruta, el operador de la Balanza de Pesaje tiene que obtener una muestra representativa de la carga (de distintos lugares). Por otro lado, si el material es madera sólida, el operador debe tomar una muestra de viruta mediante el uso de un taladro. La muestra es posteriormente ingresada a una balanza de humedad para obtener la humedad de la materia prima.	Cada Ingreso	Operador Balanza de Pesaje
Salida de Silo 1, 2 y 3	Porcentaje de Humedad (%)	Es necesario conocer la humedad del material que ingresa al Secadero por dos razones importantes. La primera se debe a que estas dos variables determinan los parámetros de potencia y temperatura del secadero. La otra razón es determinar la proporción de materia prima y tipos de madera que deberán ser ingresados al sistema de producción.	En la salida de cada silo se toma una muestra de material, a la cual se la pone en una balanza de humedad, donde se determina su porcentaje.	Una vez cada turno por parte del Laboratorio y cada vez que considere necesario en CR del Secadero	Laboratorio y Cuarto de Control Secadero
	Densidad (kg/m ³)	La densidad es importante ya que ayuda a determinar la calidad del proceso de Molienda.	Se toma la muestra del material en un recipiente de 3001ml y se lo pesa en una balanza, obteniendo de esta manera su densidad en kg/m ³ .		

Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad (Parte II)

Punto de Control	Variables de Control	Justificación	Método	Frecuencia	Responsable
Salida de Secadero	Porcentaje de Humedad (%)	Esto permite verificar la eficiencia del proceso de secado.	En la salida de cada silo se toma una muestra de material, a la cual se la pone en una balanza de humedad, donde se determina su porcentaje.	Cada vez que considere necesario en CR del Secadero	Cuarto de Control Secadero
Salida de Silo 5 y 6	Porcentaje acumulado de peso en tamizado (%)	Es necesario conocer esta variable en la salida de estos silos para comprobar la calidad del proceso de clasificación de partículas.	Se toma una muestra en cada silo y se la somete a una prueba de tamizado, la cual consiste en pasar el material a través de cinco mallas, cada una con diferente medida. Esta prueba determina el porcentaje de material en cada malla, lo que da una medida de la calidad del proceso de clasificación de partículas.	Cada 4 horas	Laboratorio
	Porcentaje de Humedad (%)	Es necesario conocer la humedad del material en este punto ya que en base a ese dato se determina la mezcla correcta para el encolado. También sirve para controlar que las propiedades del material no afecten el proceso de prensado.	En la salida de cada silo se toma una muestra de material, a la cual se la pone en una balanza de humedad, donde se determina su porcentaje.	Cada 4 horas	Laboratorio
Salida de las Encoladoras	Porcentaje de Humedad (%)	Esto permite conocer el aumento de humedad en el proceso de encolado y saber si dicho aumento se encuentra dentro de especificaciones.	En la salida de cada silo se toma una muestra de material, a la cual se la pone en una balanza de humedad, donde se determina su porcentaje.	Cada 4 horas	Laboratorio

Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad (Parte III)

Punto de Control	Variables de Control	Justificación	Método	Frecuencia	Responsable
Salida de la Sierra (Tablero Aglomerado)	Tracción Interna (Kgf/cm ²)	Sirve para comprobar la calidad de pegado de la capa interna realizada en el proceso de prensado.	Se pegan dos placas en ambas caras de la muestra con PET, y se somete fuerza opuesta a cada una de las placas hasta el rompimiento. Con esto se determina la fuerza máxima que aguanta el tablero previo al rompimiento.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Tracción Externa (Kgf/cm ²)	Sirve para comprobar la calidad de pegado de la capa interna en relación a las capas externas realizada en el proceso de prensado.	Se pegan una placa en la cara superior de la muestra con PET, y se tira de ella hasta el rompimiento. Con esto se determina la fuerza máxima que aguanta el tablero previo al desprendimiento de la capa superior.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Coefficiente de Elasticidad (cm)	Esta variable determina la deformación a la que puede ser sometido el tablero previo a la ruptura.	Mediante la prueba de flexión, se coloca a la muestra sobre dos placas y se somete presión en el centro de la misma hasta el quiebre. Con esta prueba se determina la desviación máxima del tablero previo a la ruptura.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Módulo de Ruptura (Kg/cm ³)	Mide la fuerza máxima que puede soportar el tablero por unidad de área.	Mediante la prueba de flexión, se coloca a la muestra sobre dos placas y se somete presión en el centro de la misma hasta el quiebre. Con esta prueba se determina la presión máxima que soporta el tablero.	Una vez cada turno	Laboratorio

Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad (Parte IV)

Punto de Control	Variables de Control	Justificación	Método	Frecuencia	Responsable
Salida de la Sierra (Tablero Aglomerado)	Porcentaje de Hinchamiento del Espesor (%)	Es necesario para comprobar la resistencia a la humedad del tablero.	Se somete a la muestra a la prueba de hinchamiento, la cual consiste en comparar espesores inicial y final de una muestra al ser sumergida en agua por un tiempo determinado. En el caso de MDP se realiza una medición a las 2 horas, mientras que para Tropical se realizan dos mediciones a las 2 horas y a las 24 horas.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Agarre al Tornillo Cara	Determina la fuerza máxima de agarre de tornillo en la superficie del tablero.	Se fija un tornillo en la superficie del tablero y se tira de él hasta desprenderlo de la muestra. Con esto se obtiene la fuerza máxima de resistencia.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Agarre al Tornillo Canto	Determina la fuerza máxima de agarre de tornillo en el borde del tablero.	Se fija un tornillo en el borde del tablero y se tira de él hasta desprenderlo de la muestra. Con esto se obtiene la fuerza máxima de resistencia.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Densidad (kg/m ³)	Esta variable determina la calidad de compactación de tablero.	Se mide el largo, el ancho y el espesor de la muestra para obtener el volumen. Luego se obtiene el peso de la muestra con una balanza y se saca la densidad.	Una vez cada turno	Laboratorio
	Desviación de Peso en Repartido (kg)	Es necesario ya que determina el nivel de uniformidad del tablero, en este sentido se mide la calidad del proceso de esparcido.	Se corta una sección del tablero a lo ancho en 23 partes de iguales dimensiones y se las pesa. Se obtiene la desviación estándar de las medidas.	Una vez cada turno	Laboratorio

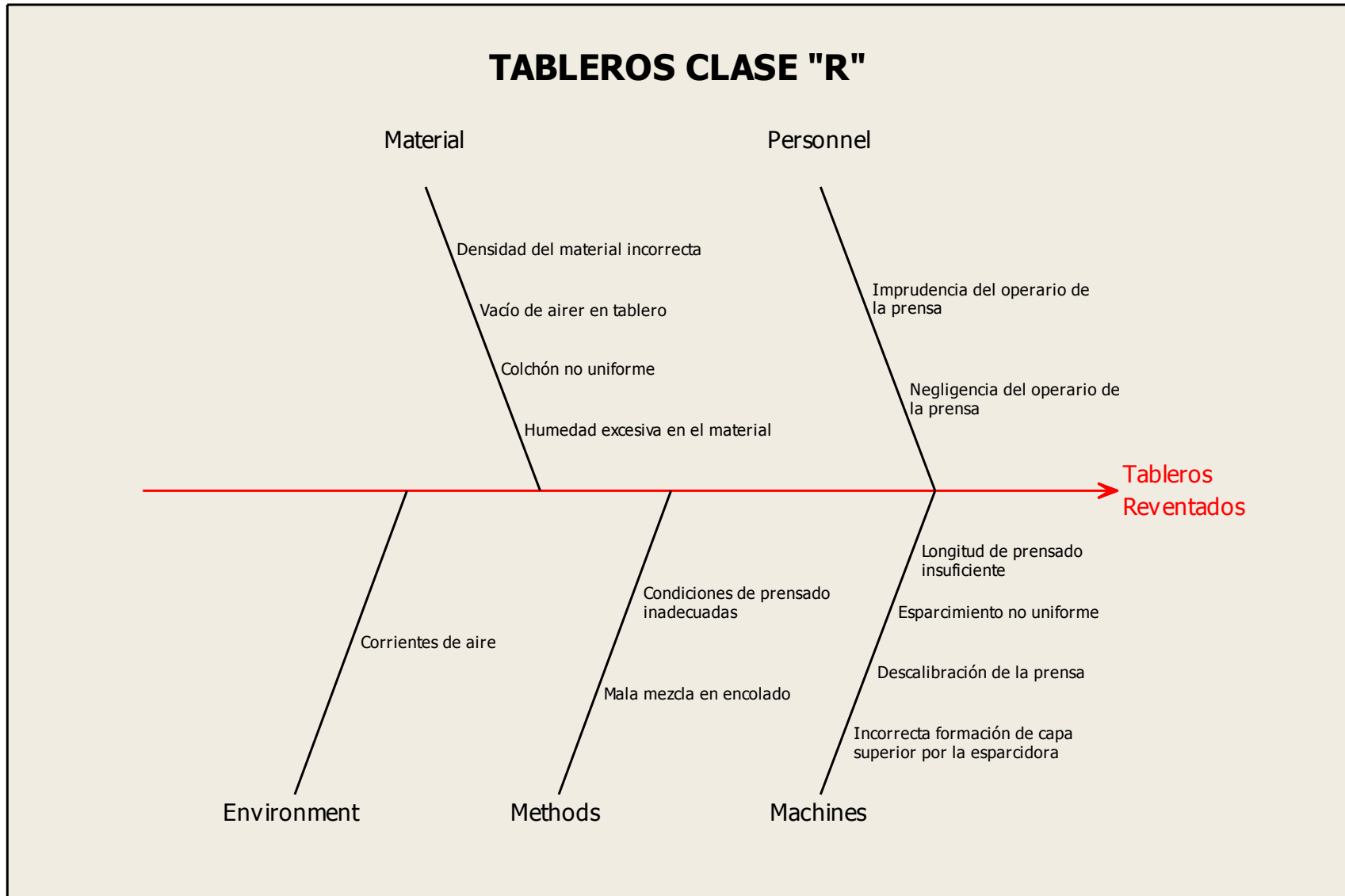
Anexo 3: Puntos y Variables de Control Actuales en el Sistema de Control de Calidad (Parte V)

Punto de Control	Variables de Control	Justificación	Método	Frecuencia	Responsable
Salida de la Sierra (Tablero Aglomerado)	Longitud de Desviación en Pandeo (cm)	Determina si la deformación del tablero es aceptable dentro de los parámetros de calidad establecidos. Es un parámetro de control para el proceso de Prensado.	Se corta una sección a lo ancho del tablero y se realiza un agujero en la parte superior. Posteriormente se cuelga la muestra en un gancho y se atraviesa una cuerda por el mismo agujero, la cual se amarra en la parte inferior del tablero con un peso. Se mide la desviación del tablero de la cuerda luego de estar colgado por 24 horas.	Dos veces por turno	Laboratorio
Salida de Laminado	Longitud de Desviación en Pandeo (cm)	Determina si la deformación del tablero es aceptable dentro de los parámetros de calidad establecidos. Es un parámetro de control para el proceso de Laminado.	Es el mismo procedimiento especificado en la prueba anterior, pero con tablero laminado.	Una vez cada seis turnos	Laboratorio
	Curado	Sirve para poner a prueba las características que da el proceso de laminado, las cuales son la resistencia a la humedad, a disolventes y a manchas.	Mediante la prueba de curado se somete a la muestra a solventes. Se mide la resistencia de laminado a dichos químicos.	Una vez cada seis turnos	Laboratorio

Anexo 4: Datos de Producción de Tableros en Sierra 1

Turno	Tableros Sierra 1	Tipo R	Prop.	Humedad	Turno	Tableros Sierra 1	Tipo R	Prop.	Humedad
1	2044	14	0,0068	9,53	30	2353	17	0,0072	9,52
2	2173	26	0,0120	9,84	31	1691	30	0,0177	10,70
3	2041	31	0,0152	9,95	32	389	5	0,0129	10,37
4	1992	12	0,0060	10,25	33	2147	23	0,0107	10,07
5	2019	10	0,0050	9,33	34	2133	40	0,0188	10,99
6	1372	14	0,0102	9,84	35	2047	11	0,0054	9,27
7	1116	9	0,0081	10,66	36	49	1	0,0204	10,27
8	290	3	0,0103	9,51	37	1649	27	0,0164	10,65
9	2235	16	0,0072	9,61	38	225	12	0,0533	11,67
10	2474	34	0,0137	10,54	39	889	19	0,0214	9,75
11	1973	22	0,0112	9,70	40	562	7	0,0125	10,00
12	2535	21	0,0083	9,68	41	1644	9	0,0055	9,28
13	2611	12	0,0046	10,03	42	292	1	0,0034	9,19
14	2212	29	0,0131	10,34	43	2057	8	0,0039	9,10
15	1254	82	0,0654	11,78	44	1911	28	0,0147	10,21
16	1579	5	0,0032	8,62	45	1641	13	0,0079	9,94
17	149	2	0,0134	10,51	46	1901	17	0,0089	9,84
18	431	1	0,0023	8,67	47	1383	69	0,0499	10,77
19	797	2	0,0025	8,91	48	1846	36	0,0195	9,64
20	413	6	0,0145	9,94	49	1794	19	0,0106	9,65
21	2530	35	0,0138	10,50	50	1615	61	0,0378	10,54
22	4021	62	0,0154	10,60	51	659	30	0,0455	11,30
23	439	2	0,0046	9,29	52	2297	49	0,0213	10,61
24	2386	65	0,0272	10,46	53	2420	10	0,0041	8,84
25	3351	17	0,0051	9,34	54	2483	19	0,0077	10,15
26	3295	15	0,0046	8,83	55	2314	22	0,0095	9,42
27	2693	13	0,0048	9,28	56	2330	15	0,0064	9,31
28	326	3	0,0092	8,91	57	1923	22	0,0114	9,76
29	2474	30	0,0121	9,88	Total	97869	1213	0,0124	

Anexo 5: Diagrama de Causa y Efecto para Tableros Reventados



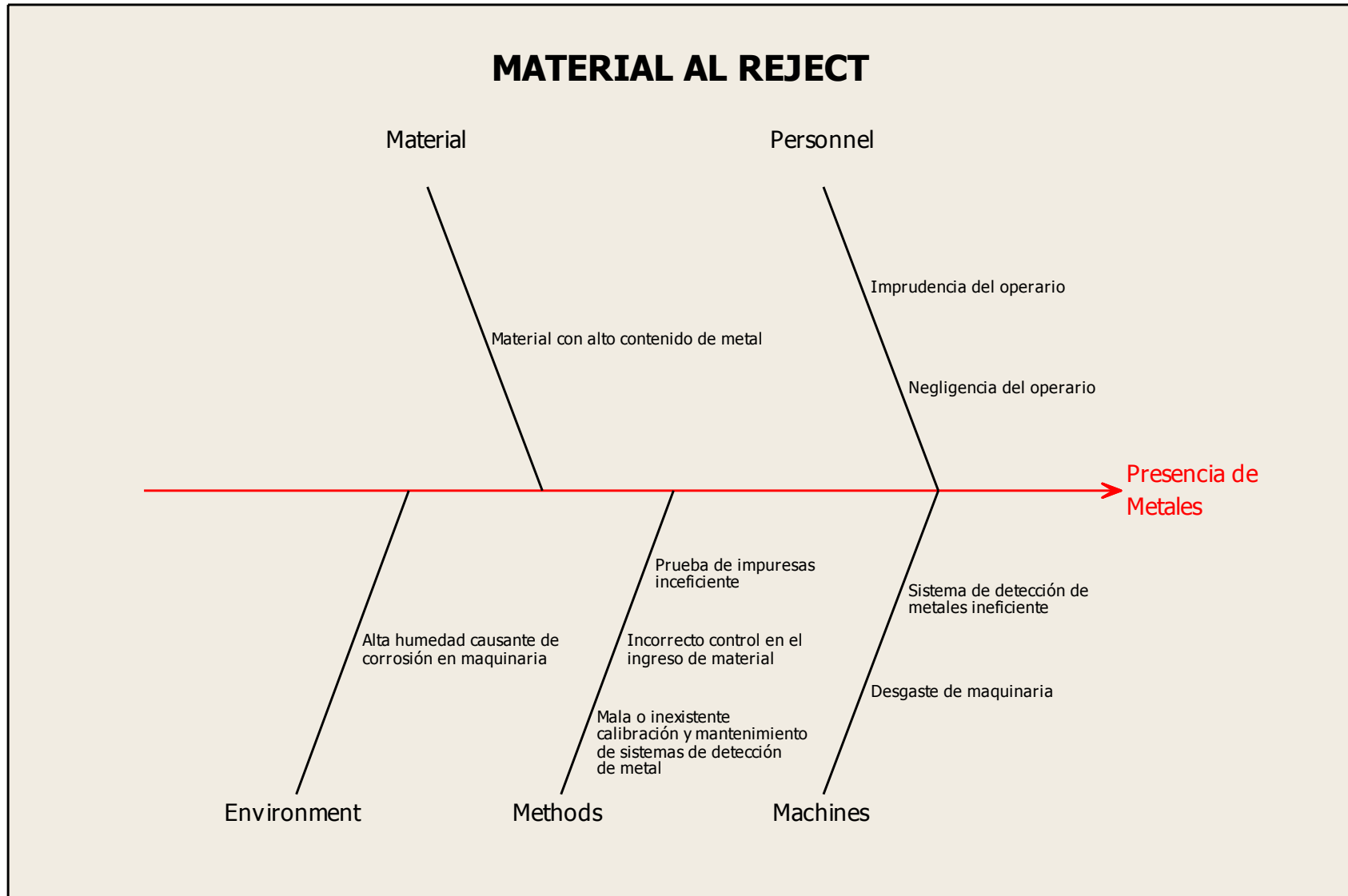
Anexo 6: Muestra Piloto para Cálculo de Tamaño de Muestra de Material al Rechazado al Sistema Reject

Muestra / Turno	Total Material	Hojuelas Prensa	Hojuelas Reject	Proporción
1	116005	113891	2114	0.018223
2	127953	127589	364	0.002845
3	127901	125848	2053	0.016051
4	104568	103426	1142	0.010921
5	120169	119465	704	0.005858
6	127632	126043	1589	0.012450
7	133023	132122	901	0.006773
8	115018	112188	2830	0.024605
9	117548	115949	1599	0.013603
10	115606	112986	2620	0.022663
11	120272	117328	2944	0.024478
12	115702	113225	2477	0.021408
13	121579	118575	3004	0.024708
14	119840	117746	2094	0.017473
15	108929	106051	2878	0.026421
16	121747	119215	2532	0.020797
17	115668	112684	2984	0.025798
18	98061	94323	3738	0.038119
19	109411	105908	3503	0.032017
20	110136	108159	1977	0.017951
21	102456	98485	3971	0.038758
22	129233	127446	1787	0.013828
23	127628	127398	230	0.001802
24	119429	118503	926	0.007754
25	135548	135044	504	0.003718
Promedio				0.017961
Varianza				0.000105

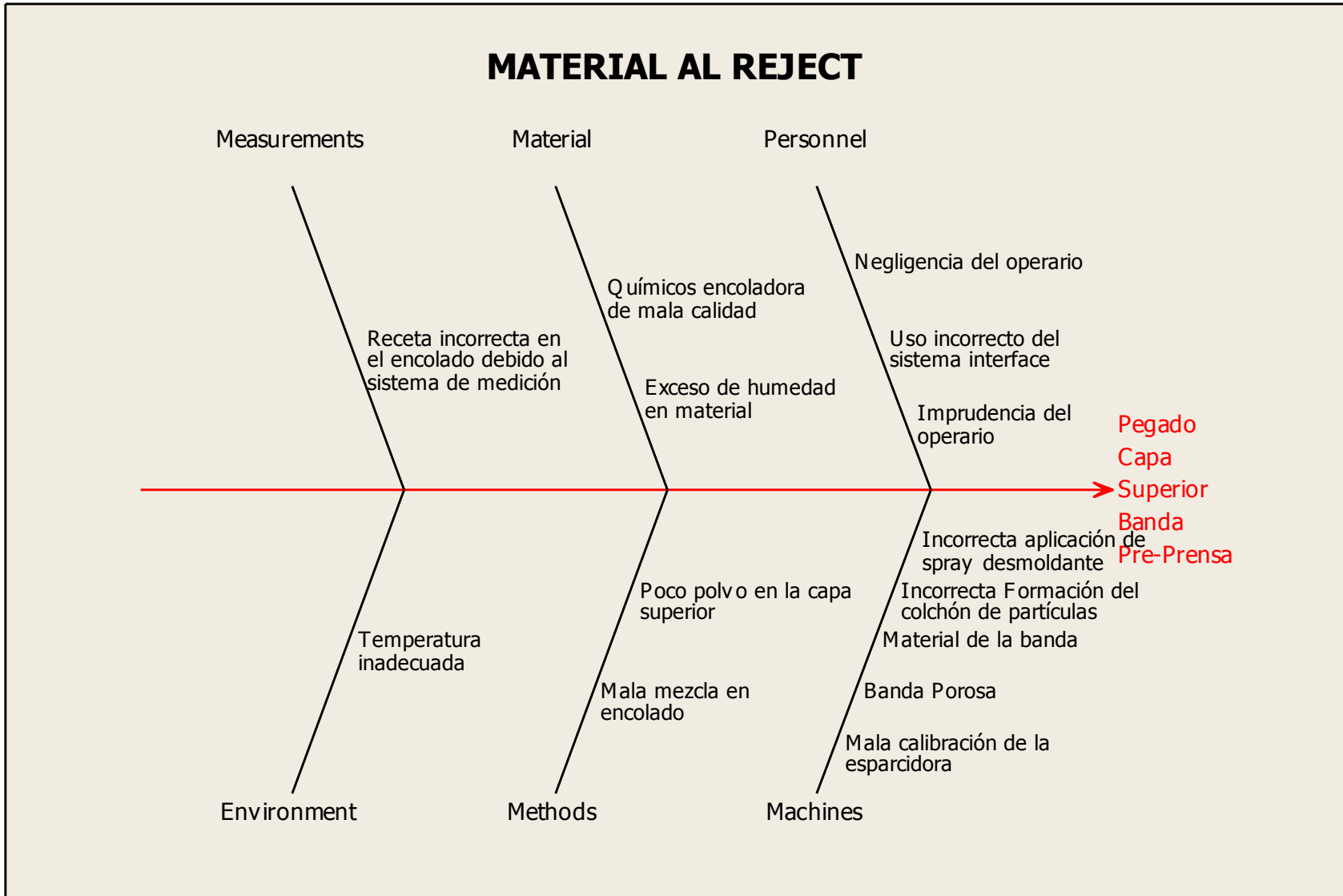
Anexo 7: Datos de Proporción de Material Rechazado por Turno

Muestra / Turno	Total Material	Hojuelas Prensa	Hojuelas Reject	Proporción
1	116005	113891	2114	0.0182234
2	127953	127589	364	0.0028448
3	127901	125848	2053	0.0160515
4	104568	103426	1142	0.0109211
5	120169	119465	704	0.0058584
6	127632	126043	1589	0.0124499
7	133023	132122	901	0.0067733
8	115018	112188	2830	0.0246048
9	117548	115949	1599	0.0136030
10	115606	112986	2620	0.0226632
11	120272	117328	2944	0.0244779
12	115702	113225	2477	0.0214084
13	121579	118575	3004	0.0247082
14	119840	117746	2094	0.0174733
15	108929	106051	2878	0.0264209
16	121747	119215	2532	0.0207972
17	115668	112684	2984	0.0257980
18	98061	94323	3738	0.0381191
19	109411	105908	3503	0.0320169
20	110136	108159	1977	0.0179505
21	102456	98485	3971	0.0387581
22	129233	127446	1787	0.0138277
23	127628	127398	230	0.0018021
24	119429	118503	926	0.0077536
25	135548	135044	504	0.0037182
26	128598	127835	763	0.0059332
27	99238	97345	1893	0.0190754
28	106170	103467	2703	0.0254592
29	102373	100335	2038	0.0199076
			Promedio	0.0179103
			Varianza	0.0000978

Anexo 8: Diagrama de Causa y Efecto para Presencia de Metales



Anexo 9: Diagrama de Causa y Efecto para Pegado de Capa Superior a Banda de Pre-Prensa



Anexo 10: Mediciones de Humedad para Análisis del Sistema de Medición

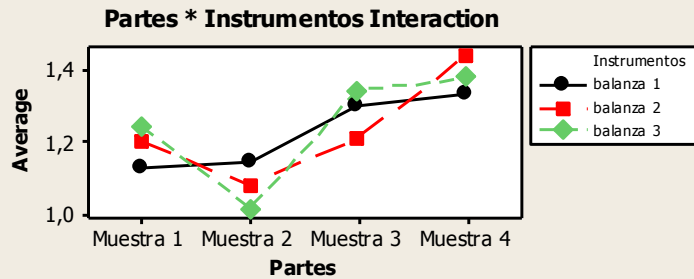
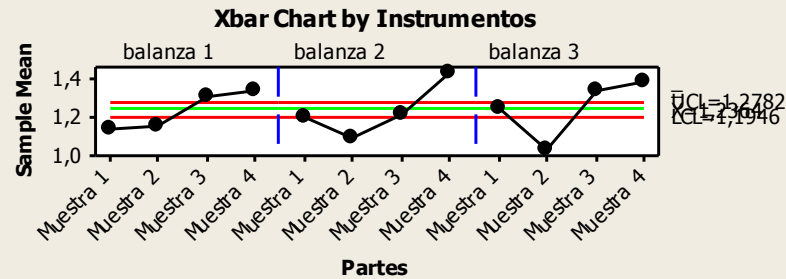
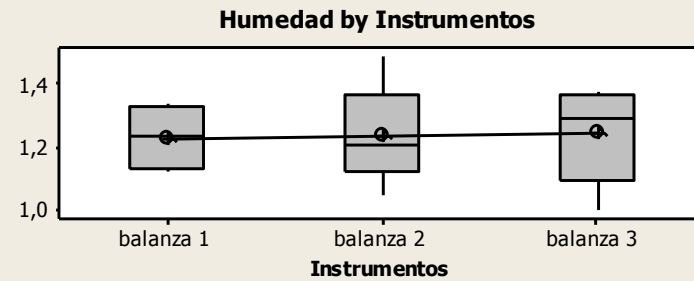
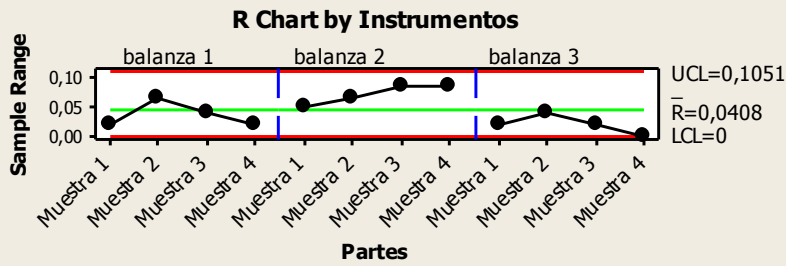
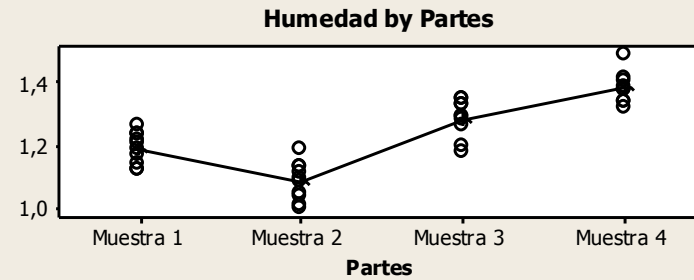
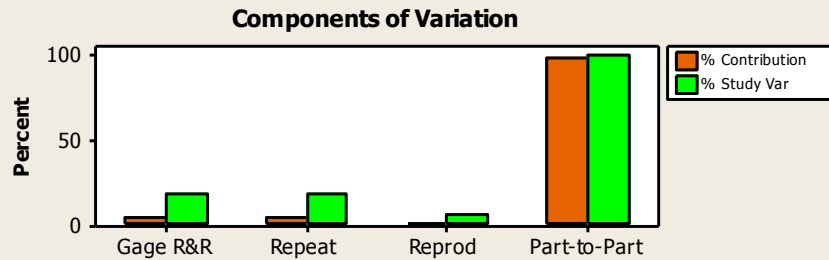
Observación	Lote	Balanza	Humedad (%)
1	1	1	1.12
2	1	2	1.22
3	1	3	1.24
4	2	1	1.13
5	2	2	1.09
6	2	3	1.01
7	3	1	1.29
8	3	2	1.20
9	3	3	1.35
10	4	1	1.32
11	4	2	1.42
12	4	3	1.38
13	1	1	1.14
14	1	2	1.21
15	1	3	1.24
16	2	1	1.19
17	2	2	1.11
18	2	3	1.04
19	3	1	1.29
20	3	2	1.18
21	3	3	1.35
22	4	1	1.34
23	4	2	1.41
24	4	3	1.38
25	1	1	1.12
26	1	2	1.17
27	1	3	1.26
28	2	1	1.13
29	2	2	1.05
30	2	3	1.00
31	3	1	1.33
32	3	2	1.26
33	3	3	1.33
34	4	1	1.34
35	4	2	1.49
36	4	3	1.38

Anexo 11: Análisis Gráfico del Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

Gage R&R (Xbar/R) for Humedad

Gage name: Validación del Sistema de Medición de Humedad
 Date of study: 22/11/2010

Reported by: Diego Suárez, Sebastián Mena
 Tolerance: 1
 Misc: ---



Anexo 12: Mediciones de Porcentaje de Humedad en Salida del Molino Hombak 1

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	80.00	31	63.66	61	66.41
2	75.68	32	56.17	62	71.07
3	75.47	33	62.39	63	80.79
4	95.97	34	65.14	64	82.95
5	53.15	35	63.15	65	80.43
6	53.20	36	74.76	66	76.15
7	85.36	37	80.01	67	65.36
8	71.01	38	68.01	68	79.44
9	65.45	39	83.22	69	70.47
10	57.43	40	80.47	70	90.43
11	58.48	41	76.71	71	89.00
12	72.05	42	80.44	72	89.97
13	65.39	43	78.75	73	88.28
14	64.98	44	70.11	74	81.28
15	80.76	45	80.15	75	83.44
16	75.36	46	84.51	76	76.93
17	90.11	47	68.73	77	79.36
18	91.19	48	69.00	78	69.23
19	76.50	49	86.22	79	66.79
20	65.14	50	70.87	80	67.06
21	70.86	51	80.44	81	78.40
22	74.34	52	70.27	82	72.70
23	60.38	53	88.71	83	75.00
24	69.55	54	82.64	84	60.15
25	66.64	55	71.34	85	60.10
26	62.43	56	80.25	86	72.68
27	63.15	57	68.72	87	77.49
28	62.13	58	62.15	88	72.71
29	63.42	59	79.11	89	78.02
30	58.06	60	67.53	90	75.06

Anexo 13: Mediciones de Porcentaje de Humedad en Salida del Molino Hombak 2

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	82.00	31	77.54	61	93.63
2	83.42	32	74.65	62	91.48
3	74.19	33	70.02	63	92.64
4	83.02	34	71.86	64	98.36
5	68.36	35	67.53	65	84.77
6	79.12	36	80.25	66	83.03
7	69.49	37	78.44	67	79.02
8	72.03	38	78.52	68	81.70
9	88.76	39	86.74	69	79.18
10	80.24	40	87.50	70	98.71
11	80.76	41	85.27	71	82.00
12	81.44	42	75.17	72	81.04
13	76.17	43	78.27	73	88.88
14	74.73	44	83.07	74	77.22
15	90.14	45	88.90	75	88.30
16	88.59	46	73.28	76	80.81
17	65.73	47	66.44	77	91.80
18	65.03	48	70.00	78	80.44
19	64.61	49	67.43	79	80.13
20	70.25	50	69.40	80	70.06
21	71.63	51	82.16	81	91.15
22	68.70	52	97.48	82	83.54
23	80.17	53	94.91	83	85.00
24	86.87	54	87.32	84	106.09
25	75.10	55	84.22	85	84.25
26	71.04	56	77.08	86	100.83
27	70.24	57	68.17	87	95.66
28	60.61	58	66.70	88	95.07
29	65.80	59	65.15	89	102.37
30	65.38	60	62.91	90	102.22

Anexo 14: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Secadero

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	1.31	39	1.12	77	1.20
2	1.24	40	1.21	78	1.14
3	1.29	41	1.30	79	1.09
4	1.15	42	1.38	80	1.09
5	1.29	43	1.18	81	1.04
6	1.30	44	1.15	82	1.26
7	1.39	45	1.25	83	1.23
8	1.42	46	1.24	84	1.07
9	1.46	47	1.18	85	1.03
10	1.21	48	1.18	86	1.17
11	1.22	49	1.11	87	1.27
12	1.18	50	1.21	88	1.20
13	1.12	51	1.24	89	1.02
14	1.12	52	1.14	90	1.12
15	1.19	53	1.02	91	1.40
16	1.10	54	1.10	92	1.21
17	1.23	55	1.12	93	1.21
18	1.08	56	1.04	94	1.17
19	1.04	57	1.14	95	1.14
20	1.04	58	1.20	96	1.10
21	1.28	59	1.29	97	1.15
22	1.12	60	1.19	98	1.08
23	1.19	61	1.17	99	1.04
24	1.10	62	1.01	100	1.43
25	1.26	63	1.15	101	1.42
26	1.20	64	1.17	102	1.16
27	1.00	65	1.21	103	1.19
28	1.14	66	1.01	104	1.29
29	1.18	67	1.14	105	1.25
30	1.11	68	1.05	106	1.25
31	1.00	69	1.16	107	1.26
32	1.20	70	1.07	108	1.12
33	1.19	71	1.16	109	1.23
34	1.15	72	1.20	110	1.01
35	1.16	73	1.13	111	1.05
36	1.23	74	1.11	112	1.23
37	1.17	75	1.29		
38	1.22	76	1.18		

Anexo 15: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Silo 5

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	1.53	35	1.86	69	1.44
2	1.48	36	1.44	70	1.59
3	1.43	37	1.42	71	1.52
4	1.49	38	1.35	72	1.28
5	1.73	39	1.39	73	1.57
6	1.85	40	1.39	74	1.64
7	1.78	41	1.47	75	1.47
8	2.00	42	1.93	76	1.43
9	1.71	43	1.91	77	1.58
10	1.73	44	1.64	78	1.65
11	1.75	45	1.84	79	1.83
12	1.73	46	1.51	80	1.77
13	1.71	47	1.36	81	1.76
14	1.63	48	1.78	82	1.72
15	1.66	49	1.44	83	2.01
16	1.95	50	1.53	84	2.08
17	2.04	51	1.66	85	2.12
18	1.73	52	1.59	86	1.99
19	1.77	53	1.52	87	2.24
20	1.79	54	1.33	88	1.87
21	1.66	55	1.64	89	1.83
22	1.75	56	1.92	90	2.21
23	1.52	57	1.91	91	1.87
24	1.58	58	1.64	92	1.85
25	1.61	59	1.48	93	1.94
26	1.43	60	1.34	94	1.99
27	1.39	61	1.28	95	1.83
28	1.89	62	1.57	96	1.90
29	1.77	63	1.39	97	1.93
30	1.72	64	1.27	98	1.66
31	1.94	65	1.32	99	1.50
32	2.23	66	1.45	100	1.52
33	1.71	67	1.41		
34	1.62	68	1.47		

Anexo 16: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida del Silo 6

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	1.45	35	1.83	69	1.61
2	1.41	36	1.36	70	1.64
3	1.35	37	1.31	71	1.60
4	1.39	38	1.53	72	1.38
5	1.57	39	1.58	73	1.43
6	1.66	40	1.24	74	1.61
7	1.69	41	1.50	75	1.55
8	1.58	42	1.69	76	1.49
9	1.42	43	1.66	77	1.53
10	1.62	44	1.78	78	1.68
11	1.76	45	1.67	79	2.02
12	1.73	46	1.62	80	1.97
13	1.59	47	1.65	81	1.84
14	1.53	48	1.53	82	1.81
15	1.57	49	1.41	83	1.75
16	1.91	50	1.46	84	1.79
17	1.84	51	1.40	85	1.82
18	1.57	52	1.62	86	1.77
19	1.59	53	1.66	87	1.63
20	1.54	54	1.45	88	1.78
21	1.47	55	1.61	89	1.56
22	1.53	56	1.63	90	1.79
23	1.61	57	1.66	91	1.78
24	1.57	58	1.63	92	1.72
25	1.41	59	1.58	93	1.82
26	1.54	60	1.43	94	1.88
27	1.62	61	1.58	95	1.68
28	1.72	62	1.61	96	1.71
29	1.61	63	1.47	97	1.75
30	1.64	64	1.43	98	1.62
31	1.85	65	1.48	99	1.40
32	1.46	66	1.38	100	1.46
33	1.85	67	1.45		
34	1.86	68	1.60		

Anexo 17: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora SL

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	11.46	25	11.86	49	12.90
2	11.89	26	11.47	50	11.68
3	11.79	27	12.12	51	11.76
4	11.85	28	12.47	52	11.74
5	11.71	29	12.69	53	12.19
6	11.49	30	11.82	54	12.56
7	12.02	31	11.83	55	12.23
8	11.94	32	11.07	56	12.63
9	13.19	33	12.43	57	12.63
10	12.91	34	13.25	58	12.57
11	13.07	35	13.18	59	12.42
12	13.25	36	12.09	60	12.91
13	12.15	37	12.34	61	12.28
14	12.84	38	12.64	62	12.23
15	10.30	39	11.54	63	10.13
16	10.67	40	11.90	64	11.67
17	10.23	41	9.98	65	12.17
18	12.83	42	10.81	66	12.02
19	12.21	43	10.67	67	12.10
20	12.56	44	10.95	68	12.06
21	12.69	45	10.00	69	11.41
22	11.68	46	11.08	70	12.49
23	11.04	47	12.14	71	11.78
24	11.79	48	12.30	72	12.07

Anexo 18: Mediciones de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora CL

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	5.93	25	5.23	49	6.41
2	5.41	26	5.30	50	8.13
3	5.82	27	5.48	51	8.43
4	5.99	28	5.98	52	7.90
5	5.57	29	5.50	53	6.11
6	5.99	30	6.60	54	8.47
7	5.59	31	6.54	55	5.42
8	5.38	32	5.98	56	7.06
9	6.01	33	6.69	57	7.16
10	5.15	34	7.06	58	6.53
11	5.23	35	5.41	59	6.51
12	5.64	36	5.35	60	6.92
13	6.51	37	5.88	61	6.42
14	6.69	38	5.21	62	6.12
15	7.35	39	6.08	63	7.15
16	6.24	40	6.29	64	6.28
17	7.89	41	6.55	65	6.11
18	7.27	42	6.18	66	6.50
19	7.40	43	6.92	67	6.70
20	5.76	44	6.22	68	6.30
21	5.65	45	5.24	69	6.18
22	5.41	46	5.95	70	6.98
23	5.36	47	6.47	71	6.01
24	5.82	48	6.01	72	7.33

Anexo 19: Registros de Humedad de Ingreso de Pino Rollizo

Registro Ingreso	Humedad	Registro Ingreso	Humedad
1	162,73	37	179,24
2	162,67	38	174,18
3	161,3	39	174
4	159,74	40	180,71
5	161,91	41	187,2
6	157,23	42	168,88
7	163,31	43	184,49
8	156,08	44	179,84
9	155,65	45	179,37
10	167,1	46	183,26
11	156,71	47	186,61
12	159,49	48	184,94
13	159,39	49	183,07
14	173,79	50	178,29
15	172,28	51	181,41
16	166,67	52	185,33
17	171,73	53	180,24
18	170,04	54	177,29
19	172,94	55	186,9
20	169,12	56	184,35
21	168,38	57	186,37
22	168,99	58	187,41
23	169,45	59	185,63
24	174,78	60	188,54
25	169,61	61	187,37
26	163,58	62	183,48
27	166,24	63	183,98
28	165,34	64	177,21
29	175,97	65	188,72
30	176,16	66	189,67
31	171,35	67	183,37
32	177,49	68	184,12
33	170,95	Mínimo	155,65
34	175,38	Máximo	189,67
35	172,31	Percentil 20	165,70
36	173,9	Percentil 80	184,258

Anexo 20: Tiempo de Almacenamiento de Rumas de Pino Rollizo

Ruma	Almacenamiento (días)	Ruma	Almacenamiento (días)
1	28	24	87
2	27	25	81
3	31	26	118
4	26	27	92
5	27	28	44
6	32	29	64
7	33	30	106
8	29	31	93
9	25	32	100
10	41	33	105
11	108	34	59
12	60	35	135
13	87	36	142
14	70	37	143
15	36	38	141
16	68	39	139
17	63	40	138
18	60	41	144
19	133	42	143
20	88	43	141
21	68	44	142
22	67	Percentil 20	34.80
23	103	Percentil 80	136.20

Anexo 21: Porcentaje de Humedad de Diseño Factorial para Pino Rollizo

Orden Estándar	Orden Aleatorio	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Ingreso	Humedad Final
1	14	35	165	75,56
2	16	35	165	75,79
3	7	35	165	76,08
4	9	135	165	18,96
5	10	135	165	19,15
6	13	135	165	19,24
7	1	35	185	128,23
8	3	35	185	127,86
9	4	35	185	128,14
10	12	135	185	59,84
11	15	135	185	60,21
12	11	135	185	59,66
13	2	85	175	46,32
14	6	85	175	46,58
15	5	85	175	46,85
16	8	85	175	46,34

Anexo 22: Porcentaje de Humedad de Diseño Central Compuesto para Pino Rollizo

Orden Estándar	Orden Aleatorio	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Ingreso	Humedad Final
1	14	35	165	75,56
2	13	35	165	75,79
3	19	35	165	76,08
4	1	135	165	18,96
5	9	135	165	19,15
6	15	135	165	19,24
7	21	35	185	128,23
8	10	35	185	127,86
9	2	35	185	128,14
10	23	135	185	59,84
11	17	135	185	60,21
12	27	135	185	59,66
13	28	35	175	95,18
14	8	35	175	95,32
15	20	35	175	95,12
16	18	135	175	32,14
17	24	135	175	32,62
18	12	135	175	32,77
19	25	85	165	30,15
20	5	85	165	30,24
21	16	85	165	29,99
22	26	85	185	76,54
23	6	85	185	76,85
24	22	85	185	76,59
25	11	85	175	46,32
26	7	85	175	46,58
27	4	85	175	46,85
28	3	85	175	46,34

Anexo 23: Parámetros de Optimización de Tiempo de Almacenamiento para Pino Rollizo

Humedad de Ingreso	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Final	Tiempo de Almacenamiento en días (redondeado)
156	43,94	60,00	44
157	43,96	60,00	44
158	44,10	60,00	44
159	44,37	60,00	44
160	44,76	60,00	45
161	45,28	60,00	45
162	45,92	60,00	46
163	46,68	60,00	47
164	47,57	60,00	48
165	48,58	60,00	49
166	49,73	60,00	50
167	51,02	60,00	51
168	52,44	60,00	52
169	54,01	60,00	54
170	55,74	60,00	56
171	57,62	60,00	58
172	59,68	60,00	60
173	61,92	60,00	62
174	64,37	60,00	64
175	67,03	60,00	67
176	69,93	60,00	70
177	73,11	60,00	73
178	76,61	60,00	77
179	80,48	60,00	80
180	84,81	60,00	85
181	89,71	60,00	90
182	95,41	60,00	95
183	102,29	60,00	102
184	111,36	60,00	111
185	129,68	60,00	130
186	134,61	63,34	135
187	134,94	66,96	135
188	135,45	70,72	135
189	135,90	74,61	136
190	136,34	78,63	136

Anexo 24: Registros de Humedad de Ingreso de Eucalipto Rollizo

Registro Ingreso	Humedad	Registro Ingreso	Humedad
1	88,09	31	89,14
2	87,66	32	90,48
3	89,7	33	91,31
4	92,89	34	107,87
5	87,65	35	104,01
6	87,78	36	106,3
7	89,21	37	108,29
8	91,12	38	110,59
9	92,56	39	109,98
10	90,15	40	107,95
11	94,3	41	106,43
12	88,73	42	104,79
13	89,82	43	106,66
14	98,34	44	111,73
15	92,65	45	106,55
16	95,68	46	114,4
17	97,76	47	111,96
18	87,87	48	111,66
19	92,29	49	108,31
20	94,59	50	111,13
21	90,86	51	112,93
22	93,67	52	112,33
23	97,17	53	112,57
24	98,96	54	111,28
25	88,06	55	111,5
26	95,12	56	114,33
27	96,61	Mínimo	87,65
28	92,76	Máximo	114,4
29	92,81	Percentil 20	90,15
30	92,19	Percentil 80	110,59

Anexo 25: Tiempo de Almacenamiento de Rumas de Eucalipto Rollizo

Ruma	Almacenamiento (días)	Ruma	Almacenamiento (días)
1	7	19	12
2	8	20	93
3	10	21	20
4	3	22	30
5	5	23	86
6	3	24	16
7	8	25	82
8	87	26	99
9	56	27	53
10	56	28	75
11	33	29	113
12	93	30	124
13	38	31	123
14	23	32	122
15	97	33	103
16	92	34	125
17	37	35	104
18	75	Percentil 20	11,6
		Percentil 80	99,8

Anexo 26: Porcentaje de Humedad de Diseño Factorial para Eucalipto Rollizo

Orden Estándar	Orden Aleatorio	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Inicial	Humedad Final
1	16	10	90	55,12
2	11	10	90	55,65
3	5	10	90	54,75
4	7	100	90	19,05
5	2	100	90	18,37
6	3	100	90	18,23
7	13	10	110	95,21
8	1	10	110	94,85
9	6	10	110	94,62
10	9	100	110	58,48
11	14	100	110	58,95
12	12	100	110	57,86
13	4	55	100	44,88
14	10	55	100	44,72
15	15	55	100	45,18
16	8	55	100	45,55

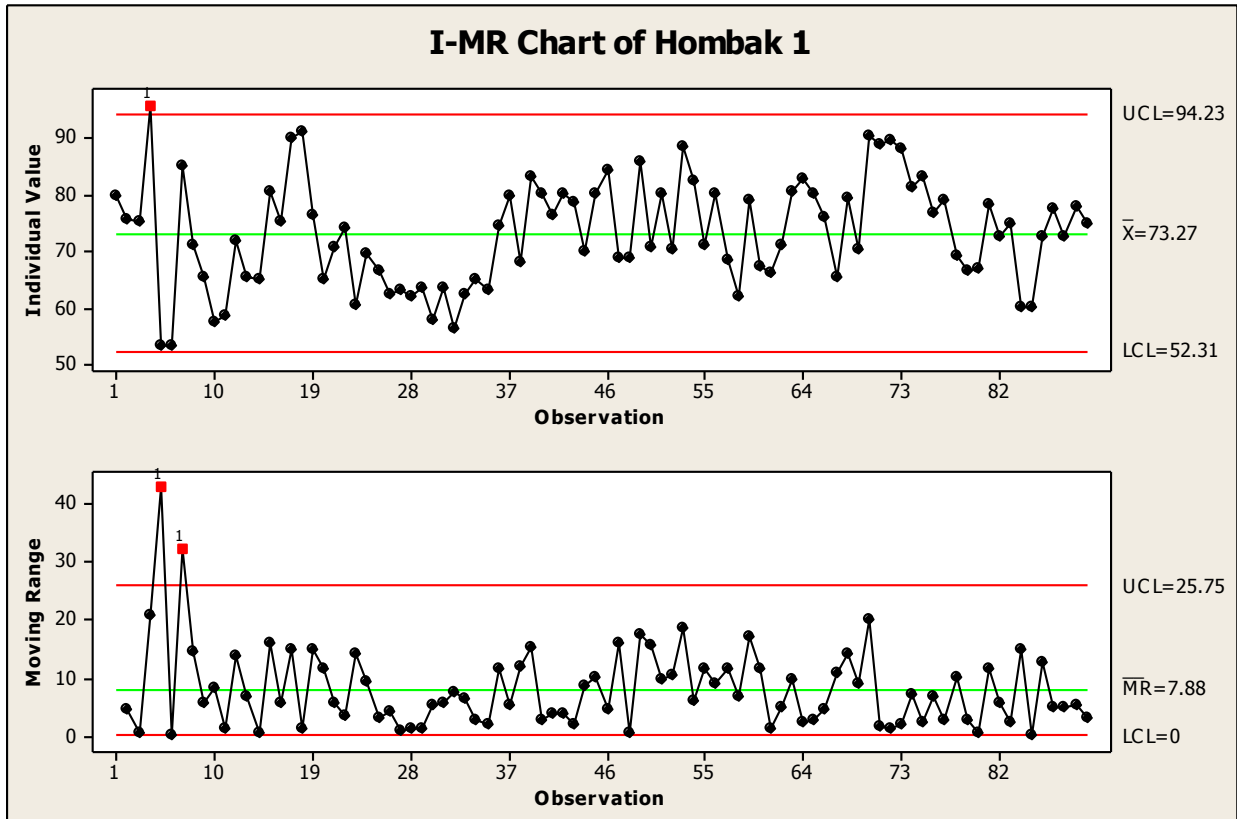
Anexo 27: Porcentaje de Humedad de Diseño Central Compuesto para Eucalipto Rollizo

Orden Estándar	Orden Aleatorio	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Inicial	Humedad Final
1	19	10	90	55,12
2	11	10	90	55,65
3	10	10	90	54,75
4	16	100	90	19,05
5	20	100	90	18,37
6	5	100	90	18,23
7	18	10	110	95,21
8	4	10	110	94,85
9	7	10	110	94,62
10	15	100	110	58,48
11	3	100	110	58,95
12	13	100	110	57,86
13	22	10	100	74,51
14	23	10	100	74,29
15	14	10	100	75,21
16	8	100	100	35,59
17	17	100	100	38,21
18	24	100	100	39,04
19	26	55	90	25,86
20	2	55	90	25,16
21	28	55	90	26,18
22	1	55	110	65,35
23	25	55	110	65,74
24	12	55	110	64,76
25	27	55	100	44,88
26	6	55	100	44,72
27	21	55	100	45,18
28	9	55	100	45,55

Anexo 28: Parámetros de Optimización de Tiempo de Almacenamiento para Eucalipto Rollizo

Humedad Ingreso	Tiempo de Almacenamiento (días)	Humedad Final	Tiempo de Almacenamiento en días (redondeado)
88,00	0,69	60,00	1
89,00	2,68	60,00	3
90,00	4,71	60,00	5
91,00	6,80	60,00	7
92,00	8,93	60,00	9
93,00	11,12	60,00	11
94,00	13,38	60,00	13
95,00	15,69	60,00	16
96,00	18,09	60,00	18
97,00	20,56	60,00	21
98,00	23,12	60,00	23
99,00	25,78	60,00	26
100,00	28,55	60,00	29
101,00	31,45	60,00	31
102,00	34,50	60,00	35
103,00	37,72	60,00	38
104,00	41,14	60,00	41
105,00	44,81	60,00	45
106,00	48,79	60,00	49
107,00	53,18	60,00	53
108,00	58,13	60,00	58
109,00	63,96	60,00	64
110,00	71,38	60,00	71
111,00	84,11	60,00	84
112,00	91,82	61,66	92
113,00	91,83	63,64	92
114,00	91,83	65,63	92

Anexo 29: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Molino Hombak 1

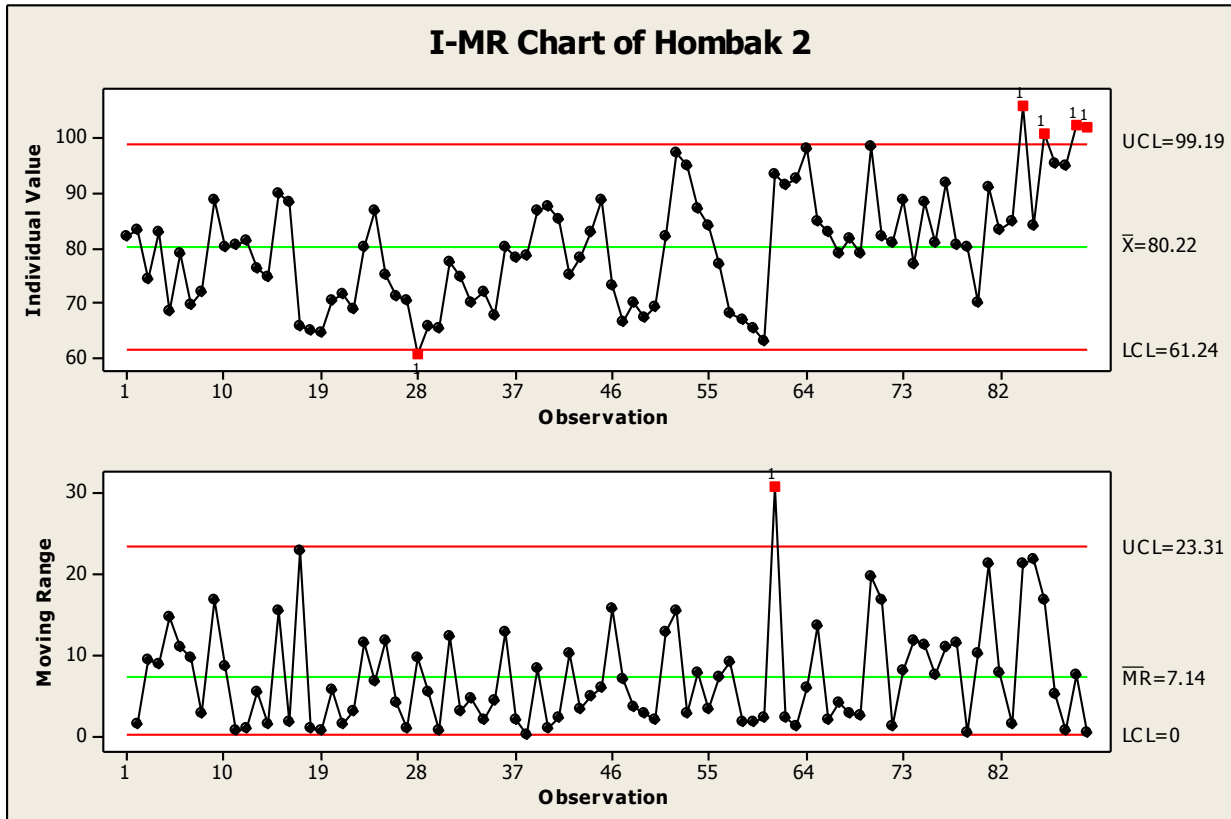


Nota: Se puede apreciar en la gráfica de valores individuales que la observación 4 se encuentra por encima del límite superior. De la misma manera, los puntos 5 y 7 correspondientes a la gráfica de rango móvil están por encima del límite superior. Al analizar dichos puntos no se pudo asignar una causa asignable válida para el punto 7 de la gráfica de rango móvil, sin embargo sí se pudo asociar una causa asignable para ambos puntos restantes, el punto 5 de la gráfica de rango móvil y el punto 4 correspondiente a la gráfica de valores individuales. Estos puntos de ambas gráficas se deben a material húmedo ocasionado por un menor tiempo de almacenamiento debido a exigencias en el proceso de fabricación en ese momento. Por esta razón se retiró la muestra 4 y se calcularon los límites de control nuevamente.

**Anexo 30: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida del Molino
Hombak 1 (Causas Asignables Eliminadas)**

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	80.00	31	56.17	61	71.07
2	75.68	32	62.39	62	80.79
3	75.47	33	65.14	63	82.95
4	53.15	34	63.15	64	80.43
5	53.20	35	74.76	65	76.15
6	85.36	36	80.01	66	65.36
7	71.01	37	68.01	67	79.44
8	65.45	38	83.22	68	70.47
9	57.43	39	80.47	69	90.43
10	58.48	40	76.71	70	89.00
11	72.05	41	80.44	71	89.97
12	65.39	42	78.75	72	88.28
13	64.98	43	70.11	73	81.28
14	80.76	44	80.15	74	83.44
15	75.36	45	84.51	75	76.93
16	90.11	46	68.73	76	79.36
17	91.19	47	69.00	77	69.23
18	76.50	48	86.22	78	66.79
19	65.14	49	70.87	79	67.06
20	70.86	50	80.44	80	78.40
21	74.34	51	70.27	81	72.70
22	60.38	52	88.71	82	75.00
23	69.55	53	82.64	83	60.15
24	66.64	54	71.34	84	60.10
25	62.43	55	80.25	85	72.68
26	63.15	56	68.72	86	77.49
27	62.13	57	62.15	87	72.71
28	63.42	58	79.11	88	78.02
29	58.06	59	67.53	89	75.06
30	63.66	60	66.41		

Anexo 31: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Molino Hombak 2

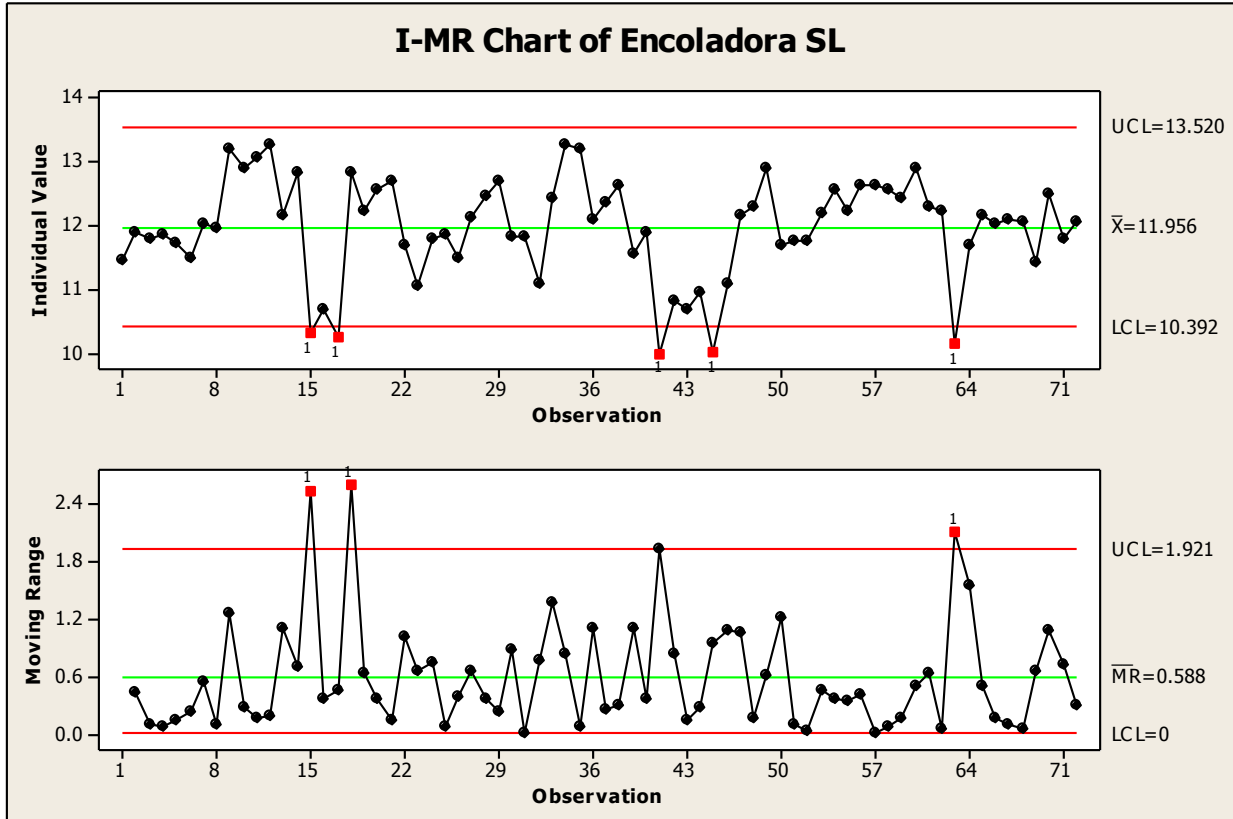


Nota: Podemos ver en el gráfico correspondiente a valores individuales que existen varias observaciones que se encuentran fuera de los límites de control. Notamos que la observación 28 se encuentra por debajo del límite inferior, mientras que las observaciones 84, 86, 89, 90 se encuentran por encima del límite de control superior. Así también se puede claramente observar que el punto 61 se encuentra por encima del límite de control superior en la gráfica de rango móvil. Procedemos a verificar si existen causas asignables para las observaciones encontradas. Se examinó potenciales causas asignables para estas muestras, sin embargo no se pudo encontrar ninguna que justifique el comportamiento del punto fuera de control en la gráfica del rango móvil. Por esta razón se continuó con el análisis de la gráfica de valores individuales, donde se descartó la presencia de causas asignables para el punto 28, sin embargo se reconoció que en los últimos turnos, donde constan las muestras desde la 84 hasta la 90, se trabajó con material mojado por causa de lluvia. Por este motivo se retiró estas muestras y se calculó los límites de control nuevamente.

**Anexo 32: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida del Molino
Hombak 2 (Causas Asignables Eliminadas)**

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	82.00	29	65.80	57	68.17
2	83.42	30	65.38	58	66.70
3	74.19	31	77.54	59	65.15
4	83.02	32	74.65	60	62.91
5	68.36	33	70.02	61	93.63
6	79.12	34	71.86	62	91.48
7	69.49	35	67.53	63	92.64
8	72.03	36	80.25	64	98.36
9	88.76	37	78.44	65	84.77
10	80.24	38	78.52	66	83.03
11	80.76	39	86.74	67	79.02
12	81.44	40	87.50	68	81.70
13	76.17	41	85.27	69	79.18
14	74.73	42	75.17	70	98.71
15	90.14	43	78.27	71	82.00
16	88.59	44	83.07	72	81.04
17	65.73	45	88.90	73	88.88
18	65.03	46	73.28	74	77.22
19	64.61	47	66.44	75	88.30
20	70.25	48	70.00	76	80.81
21	71.63	49	67.43	77	91.80
22	68.70	50	69.40	78	80.44
23	80.17	51	82.16	79	80.13
24	86.87	52	97.48	80	70.06
25	75.10	53	94.91	81	91.15
26	71.04	54	87.32	82	83.54
27	70.24	55	84.22	83	85.00
28	60.61	56	77.08		

Anexo 33: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Encoladora SL

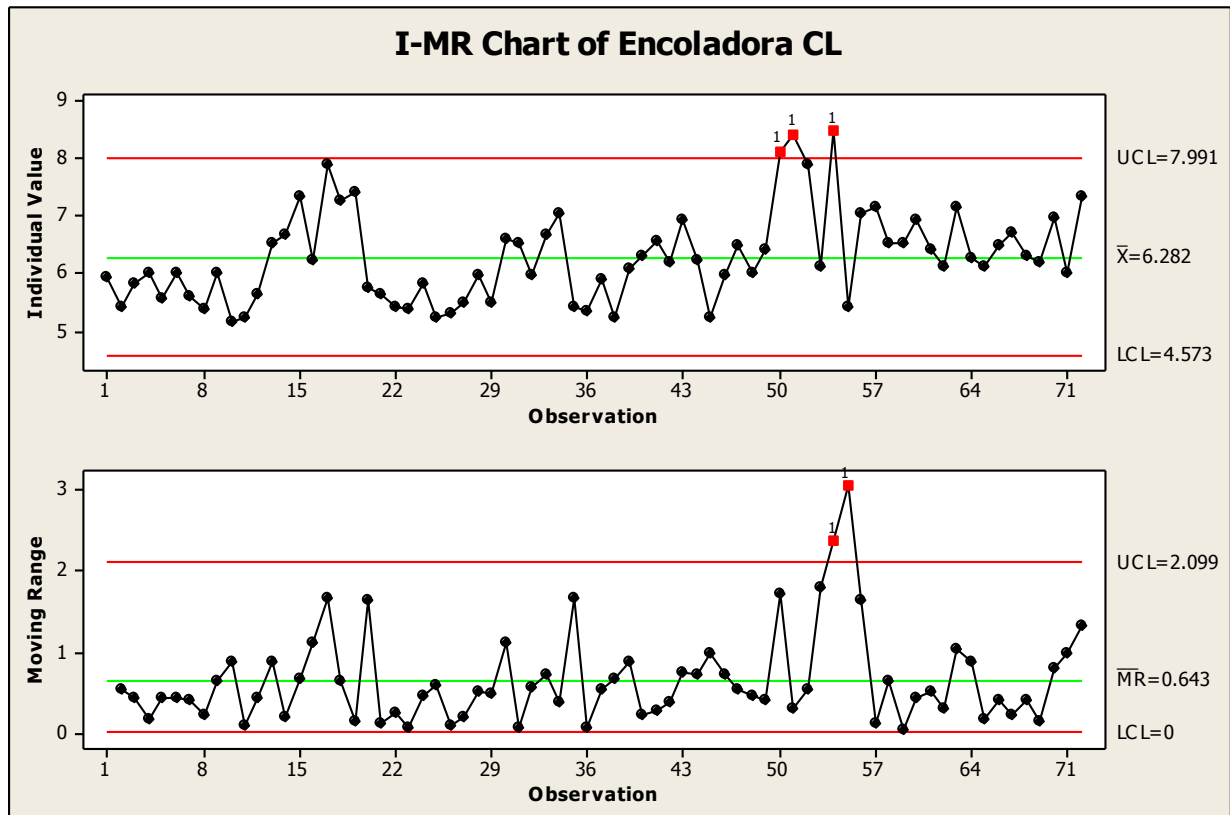


Nota: Podemos ver que existen varias observaciones que se encuentran fuera de los límites de control. Notamos que las observaciones 15, 17, 41, 45 y 63 del gráfico de valores individuales se encuentran por debajo del límite de control inferior, mientras que las observaciones 15, 18 y 63 correspondientes a la gráfica de rango móvil se encuentran por encima del límite de control superior. Se determinó que en seis de los turnos de producción de donde se obtuvo los datos referentes a este punto de control correspondían a tableros del tipo Tropical y no a tableros MDP. En la producción de tableros del tipo Tropical se utiliza una mezcla diferente en el proceso de encolado debido a las propiedades de ese tablero, razón por la cual los datos de porcentaje de humedad pueden variar con respecto a los que corresponden a tableros MDP. Por este motivo se decidió que se podía asignar una causa asignable a estas muestras y se retiraron las observaciones 17, 18, 19, 20, 21, 50, 51, 52, 53, 54 y 55. Posteriormente, se retiró estas muestras y se calculó los límites de control nuevamente.

Anexo 34: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora SL (Causas Asignables Eliminadas)

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	11.46	22	12.12	43	12.30
2	11.89	23	12.47	44	12.90
3	11.79	24	12.69	45	12.63
4	11.85	25	11.82	46	12.63
5	11.71	26	11.83	47	12.57
6	11.49	27	11.07	48	12.42
7	12.02	28	12.43	49	12.91
8	11.94	29	13.25	50	12.28
9	13.19	30	13.18	51	12.23
10	12.91	31	12.09	52	10.13
11	13.07	32	12.34	53	11.67
12	13.25	33	12.64	54	12.17
13	12.15	34	11.54	55	12.02
14	12.84	35	11.90	56	12.10
15	10.30	36	9.98	57	12.06
16	10.67	37	10.81	58	11.41
17	11.68	38	10.67	59	12.49
18	11.04	39	10.95	60	11.78
19	11.79	40	10.00	61	12.07
20	11.86	41	11.08		
21	11.47	42	12.14		

Anexo 35: Diagramas de Control Iniciales de Mediciones Individuales y Rango Móvil para Encoladora CL



Nota: Se puede observar que existen puntos fuera de control tanto en la gráfica de rango móvil como en la de valores individuales. Las muestras 50, 51 y 54 de la gráfica de valores individuales se encuentran por encima del límite de control superior, situación que se repite con los puntos 54 y 55 de la gráfica de rango móvil. Al igual que lo presentado en el caso de la Encoladora SL, existen datos que corresponden a tableros del tipo Tropical, las cuales son las mismas observaciones mencionadas en el análisis previo, que corresponden a los puntos 17, 18, 19, 20, 21, 50, 51, 52, 53, 54 y 55 de ambos gráficos. Por esta razón se asigna como causa asignable a estos puntos y se procede a retirarlos para un posterior análisis.

Anexo 36: Mediciones Finales de Porcentaje de Humedad a la Salida de la Encoladora CL (Causas Asignables Eliminadas)

Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)	Obs.	Humedad (%)
1	5.93	22	5.48	43	6.01
2	5.41	23	5.98	44	6.41
3	5.82	24	5.50	45	7.06
4	5.99	25	6.60	46	7.16
5	5.57	26	6.54	47	6.53
6	5.99	27	5.98	48	6.51
7	5.59	28	6.69	49	6.92
8	5.38	29	7.06	50	6.42
9	6.01	30	5.41	51	6.12
10	5.15	31	5.35	52	7.15
11	5.23	32	5.88	53	6.28
12	5.64	33	5.21	54	6.11
13	6.51	34	6.08	55	6.50
14	6.69	35	6.29	56	6.70
15	7.35	36	6.55	57	6.30
16	6.24	37	6.18	58	6.18
17	5.41	38	6.92	59	6.98
18	5.36	39	6.22	60	6.01
19	5.82	40	5.24	61	7.33
20	5.23	41	5.95		
21	5.30	42	6.47		

Anexo 37: Formato de Control para Molienda Hombak 1



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

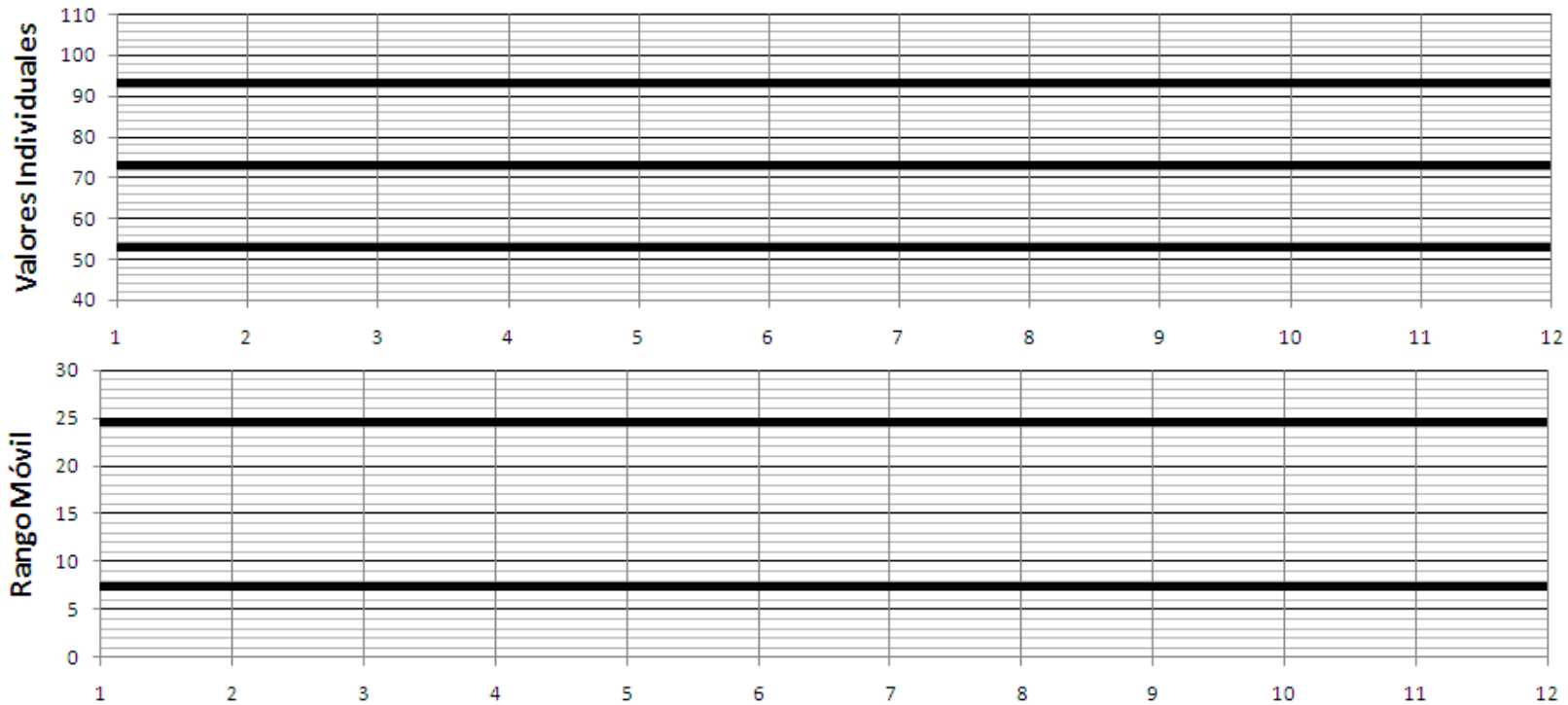
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 38: Formato de Control para Molienda Hombak 2



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

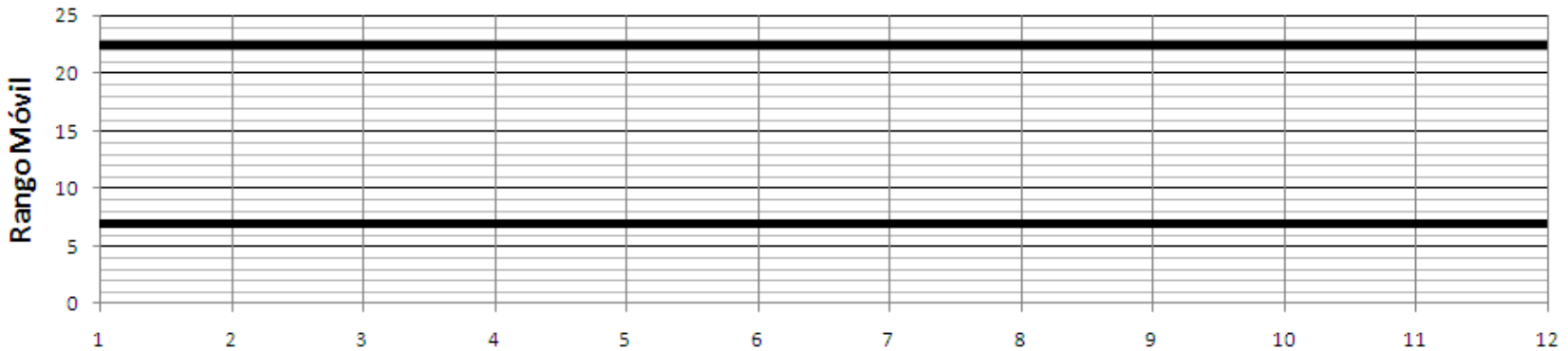
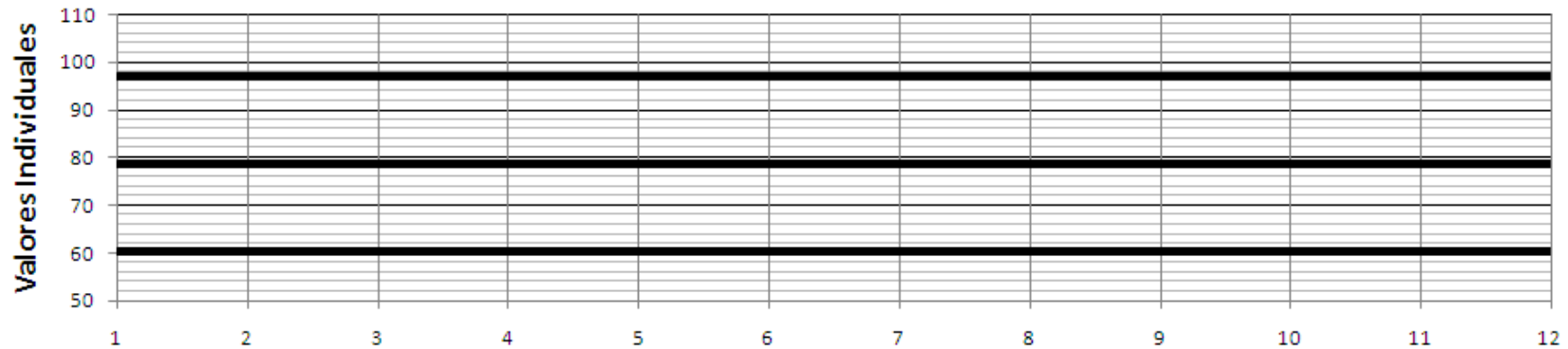
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 39: Formato de Control para Encoladora CL



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

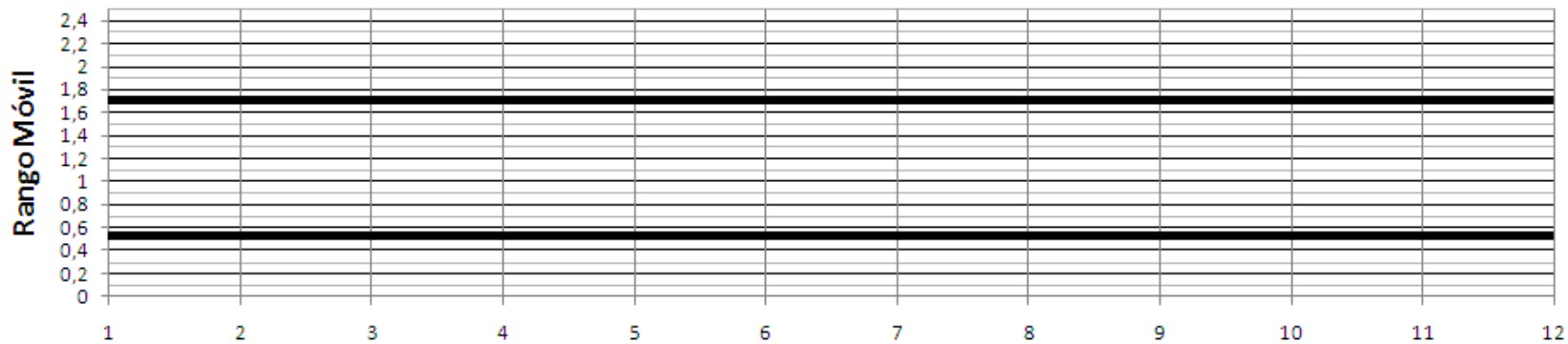
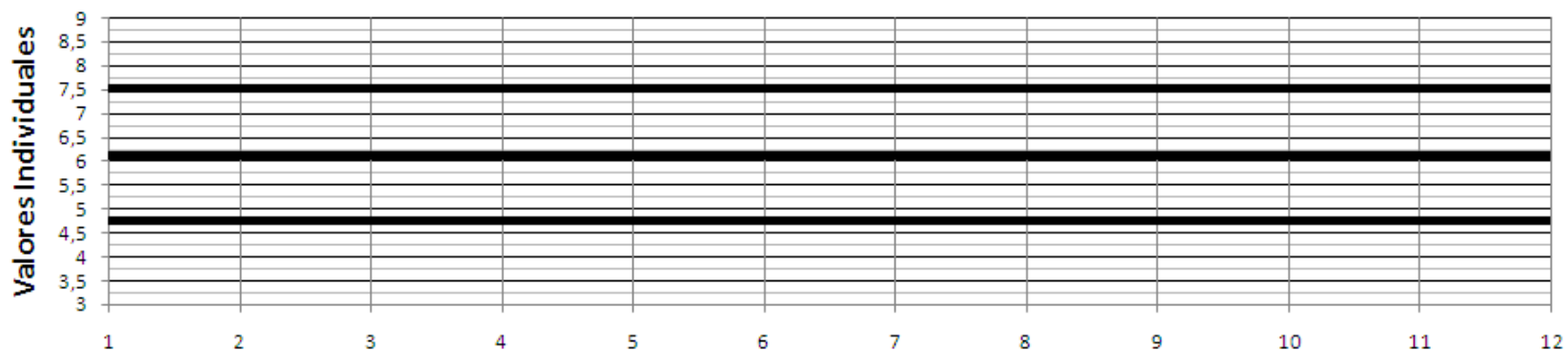
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 40: Formato de Control para Encoladora SL



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

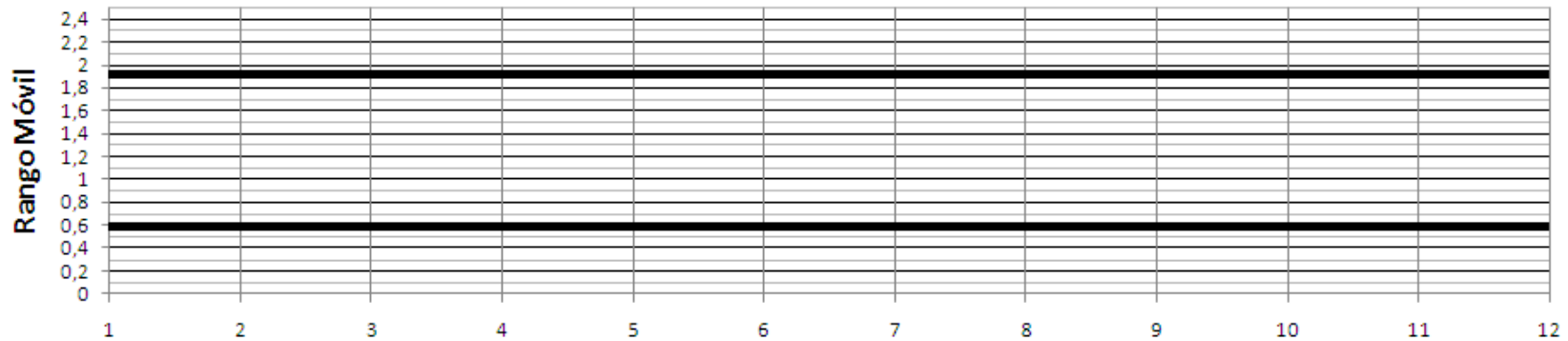
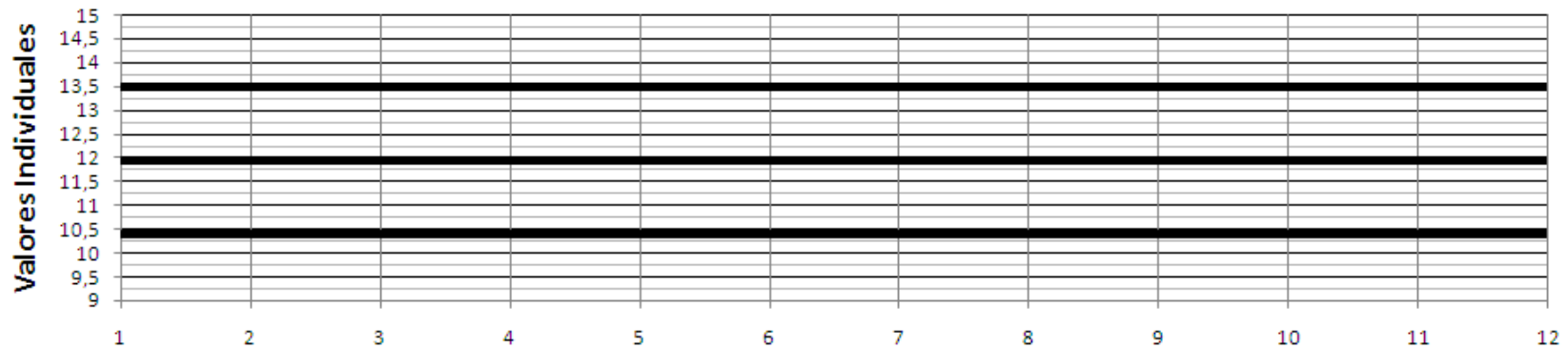
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 41: Formato de Control para Silo 5



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

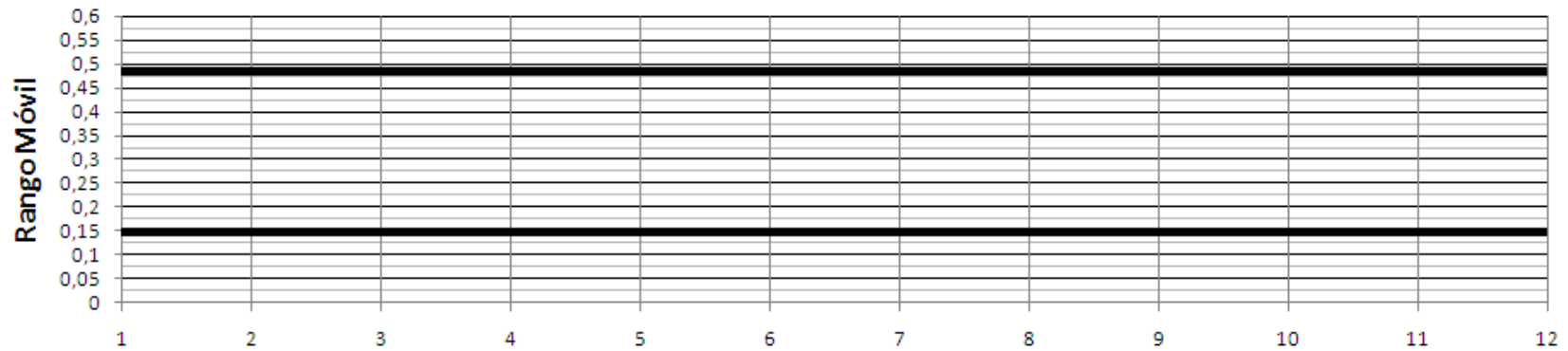
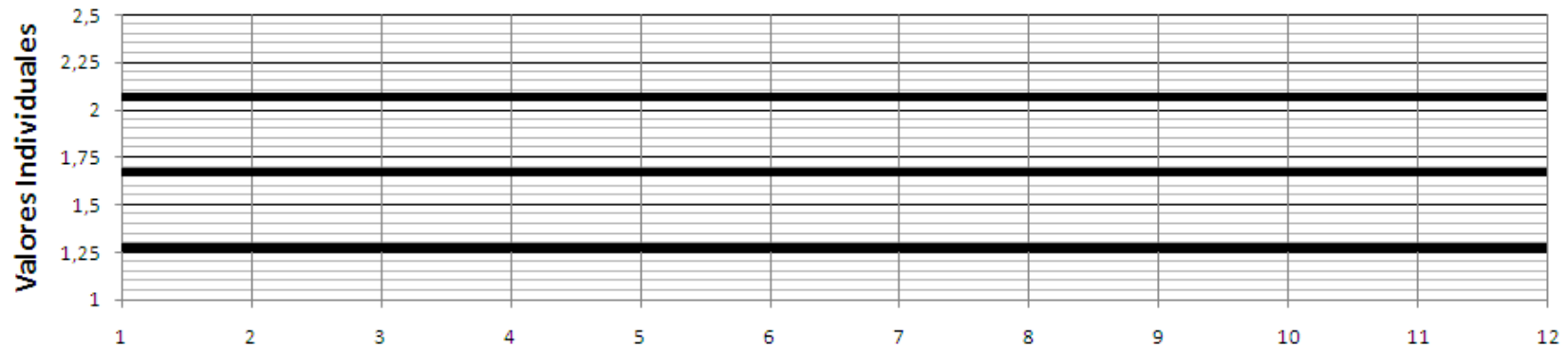
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 42: Formato de Control para Silo 6



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

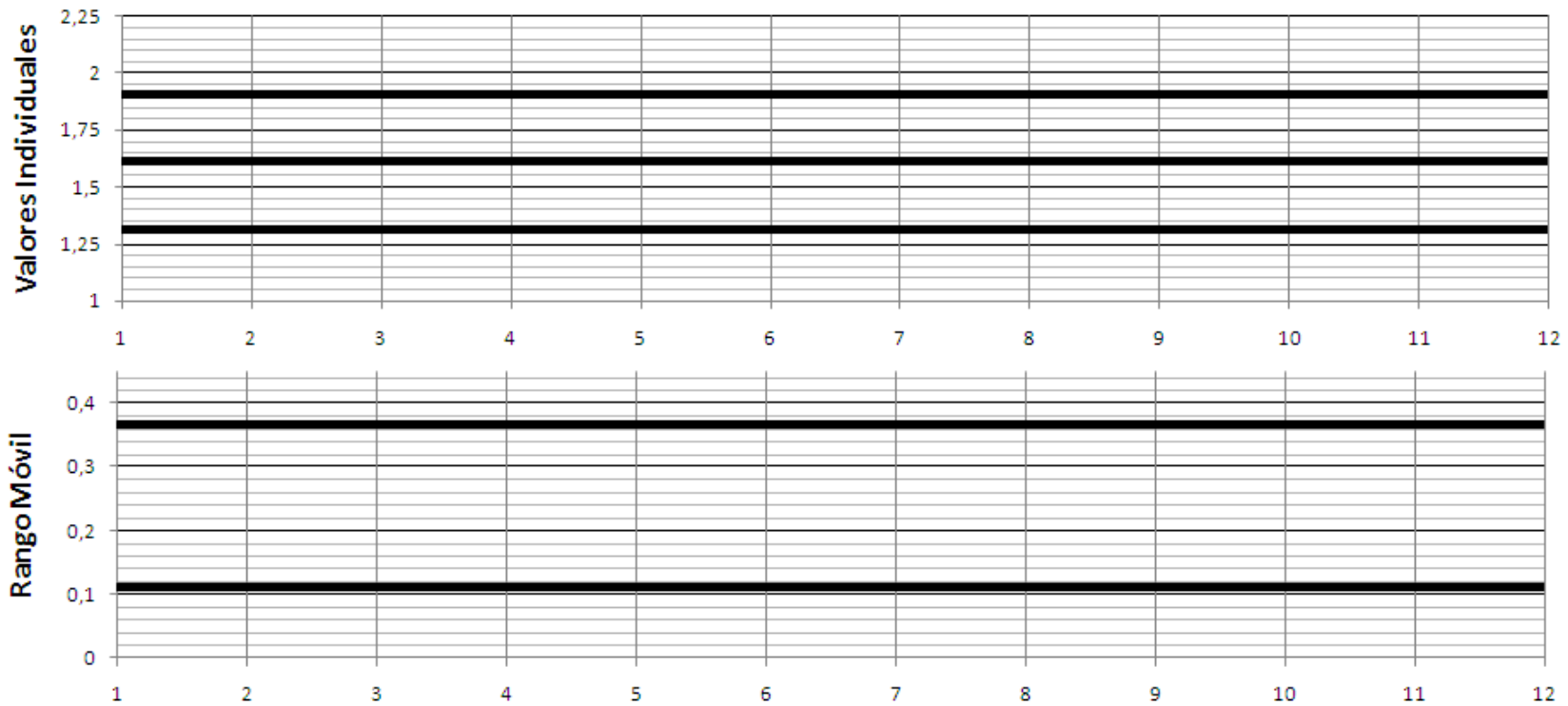
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 43: Formato de Control para Secadero



Producto _____
 Lote N° _____
 Turno _____

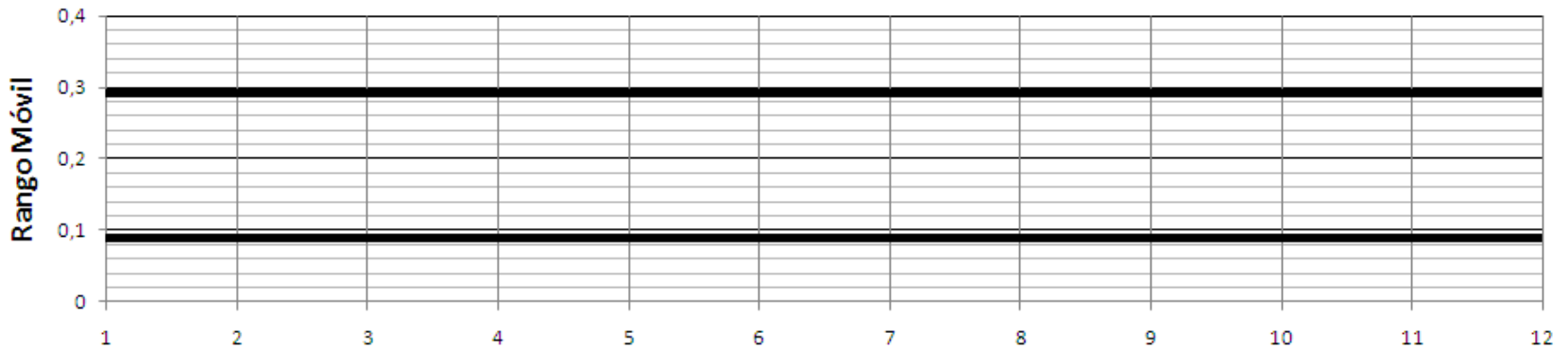
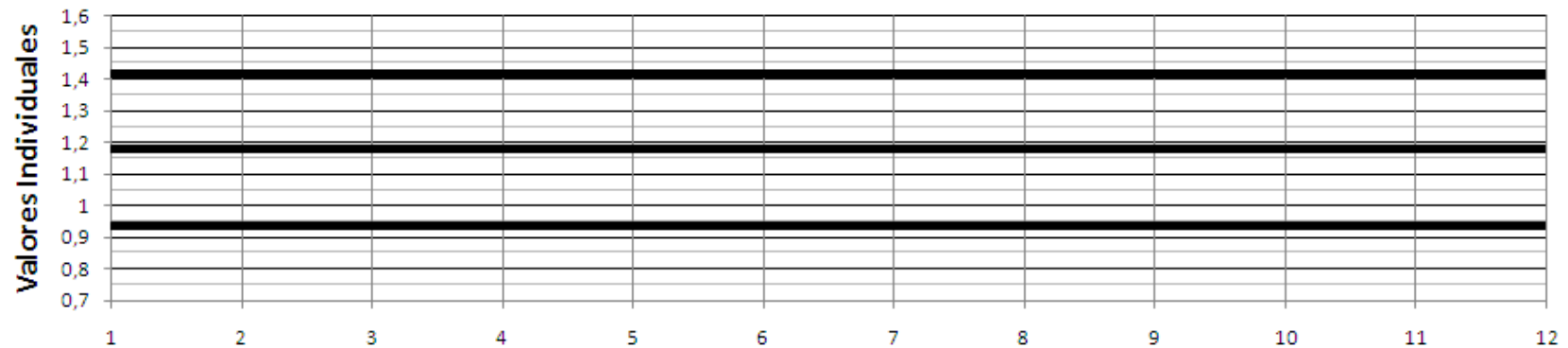
Código _____
 Orden N° _____

Propiedades del Tablero

Espesor _____
 Densidad _____

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Min	Max	Prom	Observaciones
Humedad (%)																
Rango Móvil																

Fecha Inicio _____ Operador _____ Controlado por _____ Revisado por _____
 Fecha Fin _____ firma/fecha firma/fecha firma/fecha



Anexo 44: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (puntos por encima de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Encima del Límite Superior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Material con inapropiado tiempo de almacenamiento	Mayor humedad en el material que ingresa al proceso de molienda	Verificar si la muestra(s) observada(s) proviene(n) de madera que ha sido almacenada en un tiempo prudente de acuerdo a su humedad inicial. Si este es el caso ignorar la(s) indicación(es). Si no es el caso, y las indicaciones se presentan frecuentemente, se recomienda implementar un sistema de inspección de la materia prima previa a la molienda.
	Madera especial	Mayor humedad en el material que ingresa al proceso de molienda	Verificar si se utilizó algún tipo de madera diferente al utilizado normalmente, el cual afecte la mezcla original y el resultado de la variable de respuesta en la toma de muestras.
	Lluvia	Mayor humedad en el material que ingresa al proceso de molienda	Considerar la lluvia como un factor fortuito. Analizar la posibilidad de techar el material próximo a utilizarse para que no afecte la producción.
	Máquina en mal estado	Partículas de mayor tamaño que contienen mayor cantidad de humedad	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Partículas de mayor tamaño que contienen mayor cantidad de humedad	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.

Anexo 45: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (puntos por debajo de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Debajo del Límite Inferior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Material con inapropiado tiempo de almacenamiento	Mayor costo de almacenamiento y pérdida de espacio para almacenamiento	Verificar si la muestra(s) observada(s) proviene(n) de madera que ha sido almacenada en un tiempo prudente de acuerdo a su humedad inicial. Si este es el caso ignorar la(s) indicación(es). Si no es el caso, y las indicaciones se presentan frecuentemente, se recomienda implementar un sistema de inspección de la materia prima previa a la molienda.
	Madera especial	Menor humedad en el material que ingresa al proceso de molienda	Verificar si se utilizó algún tipo de madera diferente al utilizado normalmente, el cual afecte la mezcla original y el resultado de la variable de respuesta en la toma de muestras.

Anexo 46: Tabla OCAP Salida del Molino Homback 1 y Homback 2 (patrones sistemáticos)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Patrones Sistemáticos	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Mal ingreso de datos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Lluvia	Variación de humedad del material de acuerdo a su exposición a la lluvia	Considerar la lluvia como un factor fortuito. Analizar la posibilidad de techar el material próximo a utilizarse para que no afecte la producción.
	Inconsistencia en alimentación de material	Variación de humedad del material de acuerdo a su tiempo de almacenamiento	Verificar que el operario encargado de trasladar el material de las rumas al proceso de molienda seleccione el material correcto de acuerdo a su tiempo de almacenamiento.

Anexo 47: Tabla OCAP Salida del Secadero (puntos por encima de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Encima del Limite Superior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Máquina en mal estado	Mayor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Mayor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.
	Falta de potencia en el quemador debido a fallas de la máquina	Mayor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento del quemador en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Poca cantidad de combustible	Menor potencia en el quemador que ocasionará material con mayor humedad	Verificar que se esté utilizando la cantidad de combustible correcta para un óptimo funcionamiento del caldero.
	Alta variabilidad de las partículas de ingreso	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Considerar la variabilidad de las partículas en cuanto a la humedad. Se recomienda tomar varias sub-muestras en periodos cortos de tiempo para conformar la muestra principal y así reducir el riesgo de una mala programación del secadero.
	Tiempo de ciclo del proceso corto	Menor tiempo de secado de las partículas que ocasiona mayor humedad del material	Verificar que el tiempo de ciclo del material en el secadero sea lo suficientemente adecuado y no varíe. El único factor que debería variar es la temperatura, ya que esta se establece de acuerdo a la humedad del material en los procesos previos.
	Inapropiada mezcla de material proveniente de los silos 1,2 y 3	Mayor humedad en las partículas que ingresan al secadero	Verificar que la mezcla del material proveniente de los Silos 1, 2 y 3 sea la correcta, puesto que tanto el aserrín del Silo 1 como otros tipos de madera diferentes al pino y eucalipto del Silo 2 no tienen un buen control de humedad.
	Filtración de líquidos en silos o procesos previos al proceso de secado	Mayor humedad en las partículas almacenadas en los Silos 1, 2 y 3	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de los Silos 1, 2 y 3 en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Parámetros de funcionamiento incorrectos	Inapropiado funcionamiento del Caldero producirá fallas en el Secadero	Verificar que los parámetros de funcionamiento del Caldero estén bien establecidos y la máquina se encuentre correctamente programada.

Anexo 48: Tabla OCAP Salida del Secadero (puntos por debajo de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Debajo del Límite Inferior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Máquina en mal estado	Menor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Menor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.
	Excesiva cantidad de combustible	Mayor potencia en el quemador que ocasionará material con menor humedad	Verificar que se esté utilizando la cantidad de combustible correcta para un óptimo funcionamiento del caldero.
	Alta variabilidad de las partículas de ingreso	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Considerar la variabilidad de las partículas en cuanto a la humedad. Se recomienda tomar varias sub-muestras en periodos cortos de tiempo para conformar la muestra principal y así reducir el riesgo de una mala programación del secadero.
	Tiempo de ciclo del proceso largo	Mayor tiempo de secado de las partículas que ocasiona menor humedad del material y aumenta los costos de combustible	Verificar que el tiempo de ciclo del material en el secadero sea lo suficientemente adecuado y no varíe. El único factor que debería variar es la temperatura, ya que esta se establece de acuerdo a la humedad del material en los procesos previos.
	Inapropiada mezcla de material proveniente de los silos 1,2 y 3	Menor humedad en las partículas que ingresan al secadero	Verificar que la mezcla del material proveniente de los Silos 1, 2 y 3 sea la correcta, puesto que tanto el aserrín del Silo 1 como otros tipos de madera diferentes al pino y eucalipto del Silo 2 no tienen un buen control de humedad.
	Parámetros de funcionamiento incorrectos	Inapropiado funcionamiento del Caldero producirá fallas en el Secadero	Verificar que los parámetros de funcionamiento del Caldero estén bien establecidos y la máquina se encuentre correctamente programada.

Anexo 49: Tabla OCAP Salida del Secadero (patrones sistemáticos)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Patrones Sistemáticos	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Alta variabilidad de las partículas de ingreso	Ingreso de datos erróneos de humedad inicial en el proceso de secado y en los registros de control	Considerar la variabilidad de las partículas en cuanto a la humedad. Se recomienda tomar varias sub-muestras en periodos cortos de tiempo para conformar la muestra principal y así reducir el riesgo de una mala programación del secadero.
	Parámetros de funcionamiento incorrectos	Inapropiado funcionamiento del Caldero producirá fallas en el Secadero	Verificar que los parámetros de funcionamiento del Caldero estén bien establecidos y la máquina se encuentre correctamente programada.

Anexo 50: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (puntos por encima de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Encima del Límite Superior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Errores en el proceso de secado	Mayor humedad en el material que ingresa a los Silos 5 y 6	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento del Secadero en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Filtración de agua u otros líquidos en los silos y/o procesos previos	Mayor humedad en las partículas almacenadas en los Silos 5 y 6	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de los Silos 5 y 6 en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Absorción de humedad del ambiente	Mayor humedad en las partículas almacenadas en los Silos 5 y 6	Considerar la humedad del ambiente como un factor fortuito. Analizar la posibilidad de cambiar las especificaciones de humedad de las partículas con el objetivo de controlar este problema.

Anexo 51: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (puntos por debajo de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Debajo del Límite Inferior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Errores en el proceso de secado	Mayor humedad en el material que ingresa a los Silos 5 y 6	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento del Secadero en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.

Anexo 52: Tabla OCAP Salida del Silo 5 y Silo 6 (patrones sistemáticos)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Patrones Sistemáticos	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones.
	Errores en el proceso de secado	Variación en los resultados que puede ocasionar ciertos patrones de comportamiento	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento del Secadero en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.

Anexo 53: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (puntos por encima de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Encima del Límite Superior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Incorrecta cantidad de mezcla para encolado	Mayor humedad en el material que sale del proceso de encolado	Verificar que la fórmula de la mezcla de parafina, resina y agua en el proceso de encolado sea la correcta. En caso de que así sea, revisar que las cantidades de dichos elementos estén conformes a la fórmula establecida.
	Máquina en mal estado	Mayor humedad en el material que sale del proceso de encolado	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Mayor humedad en el material que sale del proceso de encolado	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.
	Errores en los silos 5 y 6 y/o procesos previos	Mayor humedad en el material que ingresa a las Encoladoras SL y CL	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de los Silos 5 y 6 en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.

Anexo 54: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (puntos por debajo de los límites de control)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Punto(s) por Debajo del Límite Inferior de Control	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Incorrecta cantidad de mezcla para encolado	Menor humedad en el material que sale del proceso de encolado	Verificar que la fórmula de la mezcla de parafina, resina y agua en el proceso de encolado sea la correcta. En caso de que así sea, revisar que las cantidades de dichos elementos estén conformes a la fórmula establecida.
	Máquina en mal estado	Menor humedad en el material que sale del proceso de secado	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Menor humedad en el material que sale del proceso de encolado	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.
	Errores en los silos 5 y 6 y/o procesos previos	Mayor humedad en el material que ingresa a las Encoladoras SL y CL	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de los Silos 5 y 6 en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.

Anexo 55: Tabla OCAP Salida Encoladora CL y Encoladora SL (patrones sistemáticos)

Síntoma	Causa Potencial	Resultante	Solución/Acciones Correctivas
Patrones Sistemáticos	Errores en la balanza	Mediciones incorrectas	Verificar que la balanza este en perfectas condiciones y no requiera de mantenimiento alguno. Asegurarse que este instrumento de medición este debidamente programado. Si no es un problema de mantenimiento ni programación, analizar la posibilidad de adquirir nuevas balanzas.
	Errores de medición	Ingreso de datos erróneos de humedad en los registros de control	Otorgar el debido entrenamiento (cruzado) y capacitación en caso de que sea un operario sin experiencia o un reemplazante temporal. Estandarizar el procedimiento de toma de muestras y análisis de las mismas para este proceso. Si se debe a negligencia del operador, aplicar las debidas sanciones
	Máquina en mal estado	Variación en los resultados que puede ocasionar ciertos patrones de comportamiento	Verificar el registro de mantenimiento y programar mantenimiento de la máquina en caso de que el registro indique que es necesario. Si no es un problema de mantenimiento analizar la posibilidad de adquirir nuevas partes o maquinaria y construir nuevos diagramas de control.
	Cambios de repuestos de maquinaria	Variación en los resultados que puede ocasionar ciertos patrones de comportamiento	Verificar y asegurarse que partes nuevas y repuestos recientes estén funcionando de la manera adecuada.
	Cambios de producción	Variación en los resultados que puede ocasionar ciertos patrones de comportamiento	Verificar que para cada cambio en la producción se establezcan nuevamente los parámetros de las encoladoras, ya que se utilizan diferentes cantidades de mezcla para cada tipo de tablero.
	Programación sistemática de la producción	Variación en los resultados que puede ocasionar ciertos patrones de comportamiento	Verificar si los patrones sistemáticos se deben a que las muestras fueron tomadas de una producción que fue planificada en algún orden específico. Por ejemplo, se realizó tableros con espesores en orden ascendente o descendente. Si este es el caso ignorar las indicaciones.