



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**Reducción del scrap de madera en el proceso de fabricación de
paneles rígidos en una empresa balseira mediante la
implementación de la metodología DMAIC.**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

Claudio Aquiles Herrera Ordoñez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi directora de proyecto, la MSc. María Fernanda López, a las personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo, y especialmente a mis padres e hijos por darme la fortaleza para poder continuar con mis estudios.

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con esfuerzo por varios meses, está dedicado a mis padres, e hijos.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

**Ángel Ramírez M., Ph.D.
DÉCANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE**

**María López S., MSc.
DIRECTORA DE PROYECTO**

**Marcos Buestán B., Ph.D.
VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Claudio Aquiles Herrera Ordoñez

RESUMEN

El presente proyecto consistió en un estudio para disminuir el desperdicio de madera en una empresa balseira a través de la metodología DMAIC. La filosofía DMAIC representa una alternativa para la gestión de proyectos de mejora continua mediante la definición de un problema, y la medición, análisis, mejora, y control de los procesos.

La empresa objeto de estudio es una balseira que se dedica a la compra, procesamiento, y exportación de productos derivados de la madera balsa la cual cuenta con dos plantas, y lleva operando en el país durante más de tres décadas. El principal producto que elabora esta balseira son los paneles rígidos de balsa los cuales son exportados principalmente a China y un bajo porcentaje a los Estados Unidos.

El objeto del proyecto es reducir el scrap de madera del proceso de elaboración de paneles rígidos en la planta ubicada en el cantón Isidro Ayora a través de la implementación de la metodología DMAIC.

Lo primero que se realizó fue la definición del problema, para esto se determinó la situación inicial del proceso de elaboración de paneles rígidos mediante el establecimiento de la línea base del scrap promedio de madera de las órdenes de producción, seguidamente se conformó un equipo de trabajo, y se estableció el objetivo de mejora. Posteriormente en las etapas de medición y análisis se determinaron las causas raíz de la generación del scrap de madera, esto con el soporte de herramientas de mejora continua (diagrama Ishikawa, diagrama de Pareto, lluvia de ideas, 5 porque's, histograma, etc.) y la estadística. En la fase de mejora se estableció para cada causa raíz generadora de scrap de madera una solución, entre las cuales están rediseño de un equipo de corte, establecimiento de parámetros operacionales adecuados mediante el diseño experimental, y la implementación de un sistema para la recepción de la materia prima (bloques de madera balsa). Finalmente, en la etapa de control se diseñaron e implementaron controles para garantizar que los cambios generados puedan mantenerse, entre estos están la actualización y publicación de estándares esperados de desempeño, implementación de cartas de control, actualización de un check list operacional, y bloqueo de equipos.

Después del desarrollo del proyecto se pudo reducir en un 12,41 % el scrap promedio de madera de las órdenes de producción de paneles rígidos. Adicionalmente se logró mejorar la capacidad y el desempeño del proceso.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Definición del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcance y restricciones del proyecto.....	3
1.4.1. Alcance del proyecto.....	3
1.4.2. Restricciones del proyecto.....	3
1.5. Justificación del proyecto.....	3
1.6. Metodología del proyecto.....	4
1.7. Resultados esperados.....	5
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Definición de DMAIC.....	6
2.2. Herramientas de mejora continua.....	8
2.3. Herramientas de análisis estadístico.....	11
CAPÍTULO 3	
3. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Definición del problema (DEFINE).....	13
3.1.1. Declaración del problema DMAIC.....	13
3.1.2. Alcance del proyecto.....	13
3.1.3. Establecimiento de la línea base del proyecto.....	13
3.1.4. Establecimiento del objetivo del proyecto.....	14
3.1.5. Establecimiento del equipo de trabajo.....	15
3.1.6. Resumen del proyecto (Project Charter).....	16
3.2. Medición del proceso (MEASURE).....	17
3.2.1. Mapeo del proceso.....	17
3.2.2. Análisis del sistema de medición (ASM).....	18
3.2.3. Plan de recolección de datos.....	24
3.2.4. Valoración de la capacidad y desempeño del proceso.....	30

3.3. Análisis del proceso (ANALYZE).....	32
3.3.1. Lluvia de ideas y diagrama Ishikawa.....	32
3.3.2. Matriz de priorización causa-efecto.....	33
3.3.3. Plan de verificación de causas.....	35
3.3.4. Verificación de causas.....	39
3.3.5. Herramienta 5 porque´s.....	49
3.4. Mejora del proceso (IMPROVE).....	52
3.4.1. Plan de mejora.....	52
3.4.2. Desarrollo e implementación de las mejoras.....	53
3.5. Medidas de control (CONTROL).....	78
CAPÍTULO 4	
4. RESULTADOS.....	85
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones.....	89
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ABREVIATURAS

Cp	Índice de capacidad potencial del proceso
Cpk	Índice de capacidad real del proceso
E	Espesor nominal
EC	Espesor de corte
EC(min)	Espesor de corte mínimo
EC(max)	Espesor de corte máximo
EL	Espesor de lijado
EL(min)	Espesor de lijado mínimo
EL(max)	Espesor de lijado máximo
L	Largo nominal
LES	Límite de especificación superior
LEI	Límite de especificación inferior
P	Valor p de una prueba estadística
PPM	Partes por millón
Pp	Índice de capacidad potencial del proceso a largo plazo
Ppk	Índice de capacidad real del proceso a largo plazo
R&R	Repetibilidad y reproducibilidad
SPP	Scrap promedio por panel
SPP(corte)	Scrap promedio por panel en el proceso de corte
X(panel)	Largo de un panel
X(bloque)	Alto de un bloque de madera
Y(panel)	Ancho de un panel
Y(bloque)	Ancho de un bloque de madera
Z(bloque)	Largo de un bloque de madera

SIMBOLOGÍA

Bft	Board feet (Pie tabla)
in	Pulgada
Kg	kilogramos
m ³	Metros cúbicos

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Estrategia DMAIC.....	6
Figura 2.2	Herramientas utilizadas en DMAIC.....	7
Figura 2.3	Arreglo tradicional de un diagrama SIPOC.....	8
Figura 2.4	Simbolos utilizados en diagramas de procesos.....	8
Figura 2.5	Estrutura de un diagrama causa-efecto.....	9
Figura 2.6	Estrutura de la matriz causa-efecto.....	9
Figura 2.7	Estructura de los 5 porque´s.....	10
Figura 2.8	Diagrama de Pareto para ítems con defectos.....	10
Figura 2.9	Estructura de la matriz de priorización.....	11
Figura 2.10	Gráfica de control típico.....	12
Figura 3.1	Línea base del scrap por panel rígido.....	14
Figura 3.2	Equipo de trabajo.....	16
Figura 3.3	Project charter.....	16
Figura 3.4	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de paneles rígidos..	17
Figura 3.5	Defecto de paneles.....	18
Figura 3.6	Análisis de sesgo calibrador Vernier.....	19
Figura 3.7	Análisis R&R calibrador Vernier.....	20
Figura 3.8	Gráficas análisis R&R calibrador Vernier.....	21
Figura 3.9	Análisis de sesgo flexómetro.....	22
Figura 3.10	Análisis R&R flexómetro.....	23
Figura 3.11	Gráficas análisis R&R flexómetro.....	24
Figura 3.12	Diagrama de Pareto para el largo de los bloques.....	25
Figura 3.13	Plan de recolección de datos.....	29
Figura 3.14	Gráfica de control - scrap orden (inicial).....	30
Figura 3.15	Resumen gráfico del scrap de madera promedio de las órdenes... 31	31
Figura 3.16	Análisis de capacidad del scrap de las órdenes de producción.....	31
Figura 3.17	Diagrama de Ishikawa.....	33
Figura 3.18	Matriz de priorización de causas.....	34
Figura 3.19	Diagrama de Pareto causa-efecto.....	35
Figura 3.20	Medición del espesor de un panel.....	36
Figura 3.21	Vista frontal y lateral de corte de limpieza de bloques.....	37
Figura 3.22	Largo de un bloque (Z).....	38
Figura 3.23	Ancho (Y) y Alto (X) de un bloque.....	38
Figura 3.24	Prueba de hipótesis EC(min).....	40
Figura 3.25	Prueba de hipótesis EC(max).....	40
Figura 3.26	Análisis de capacidad EC(min).....	41
Figura 3.27	Análisis de capacidad EC(max).....	40
Figura 3.28	Prueba de hipótesis SPP(Corte).....	42
Figura 3.29	Análisis de capacidad SPP(Corte).....	42
Figura 3.30	Prueba de hipótesis D11-D12.....	43
Figura 3.31	Análisis de capacidad D11-D12.....	44

Figura 3.32	Prueba de hipótesis D21-D22.....	44
Figura 3.33	Análisis de capacidad D21-D22.....	45
Figura 3.34	Prueba de hipótesis Z(bloque).....	46
Figura 3.35	Análisis de capacidad Z(bloque).....	46
Figura 3.36	Prueba de hipótesis X(bloque).....	47
Figura 3.37	Prueba de hipótesis Y(bloque).....	48
Figura 3.38	Análisis de capacidad X(bloque).....	48
Figura 3.39	Análisis de capacidad Y(bloque).....	49
Figura 3.40	5 porque´s: paneles cortados fuera de especificaciones.....	50
Figura 3.41	5 porque´s: bloques de madera se mueven durante el corte.....	50
Figura 3.42	Puntos de sujeción y tornillos sin fin del equipo de corte.....	51
Figura 3.43	5 porque´s: bloques no cumplen con dimensiones (X y Y).....	51
Figura 3.44	Equipo de corte situación inicial.....	54
Figura 3.45	Equipo de corte mejorado.....	54
Figura 3.46	Movimiento de posicionamiento de los bloques.....	55
Figura 3.47	Desplazamiento de corte.....	56
Figura 3.48	Resultado número de réplicas EC(min).....	57
Figura 3.49	Resultado número de réplicas EC(max).....	58
Figura 3.50	Resumen gráfico de residuos EC(min).....	60
Figura 3.51	Gráficas de residuos de EC(min).....	61
Figura 3.52	Gráfica de corridas de residuos EC(min).....	61
Figura 3.53	Diagrama de Pareto de efectos – EC(min).....	62
Figura 3.54	Análisis de varianza EC(min).....	63
Figura 3.55	Análisis de varianza sin interacciones EC(min).....	64
Figura 3.56	Gráfica de cubo – EC(min).....	64
Figura 3.57	Resumen gráfico de residuos EC(max).....	65
Figura 3.58	Gráficas de residuos de EC(max).....	66
Figura 3.59	Gráfica de corrida de residuos de EC(max).....	67
Figura 3.60	Diagrama de Pareto de efectos – EC(max).....	67
Figura 3.61	Análisis de varianza – EC(max).....	68
Figura 3.62	Análisis de varianza sin interacciones – EC(max).....	69
Figura 3.63	Gráfica de cubo – EC(max).....	70
Figura 3.64	Optimizador de respuesta (1).....	71
Figura 3.65	Optimizador de respuesta (2).....	71
Figura 3.66	Curva de potencia para prueba T.....	73
Figura 3.67	Prueba de hipótesis EC(min) – mejorado.....	73
Figura 3.68	Prueba de hipótesis EC(max) – mejorado.....	74
Figura 3.69	Proceso de recepción e inspección de bloques.....	76
Figura 3.70	Registro de no conformidades de bloques.....	77
Figura 3.71	Política de descuento por bloques rechazados.....	77
Figura 3.72	Gráfica de control – EC(min).....	80
Figura 3.73	Gráfica de control – EC(max).....	81
Figura 3.74	Formato carta de control EC(min).....	81
Figura 3.75	Formato carta de control EC(max).....	82
Figura 3.76	Pruebas para las cartas de control.....	82
Figura 3.77	Check-list del proceso de corte.....	83
Figura 3.78	Publicación de requisitos de bloques.....	84
Figura 3.79	Señalización de flexómetros.....	84
Figura 4.1	Resumen gráfico scrap proceso mejorado.....	86
Figura 4.2	Tamaño de muestra para estimación de media.....	86
Figura 4.3	Prueba de hipótesis para media de scrap orden.....	87

Figura 4.4	Gráfica de control - scrap orden (mejorado).....	87
Figura 4.5	Análisis de capacidad variable scrap orden.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Estimación de pérdida por scrap de madera (Isidro Ayora)..... 2
Tabla 2	Preguntas para la declaración del problema..... 13
Tabla 3	Propuestas de reducción de GAP..... 14
Tabla 4	Ahorro anual por reducción del GAP..... 15
Tabla 5	Stock de bloques disponibles..... 25
Tabla 6	Porcentaje de órdenes y scrap promedio según espesor..... 26
Tabla 7	Definición de problema enfocado – 5W2H..... 27
Tabla 8	Especificaciones técnicas para la elaboración de paneles rígidos.. 27
Tabla 9	Resultado de muestreo piloto y tamaño final de muestras..... 28
Tabla 10	Lluvia de ideas para la generación de scrap de madera..... 32
Tabla 11	Plan de verificación de causas..... 35
Tabla 12	Pruebas de bondad del ajuste..... 39
Tabla 13	Lluvia de ideas – potenciales soluciones..... 52
Tabla 14	Matriz de priorización de soluciones..... 53
Tabla 15	Plan de implementación de soluciones..... 53
Tabla 16	Factores y niveles del experimento..... 56
Tabla 17	Datos para calcular el número de réplicas..... 57
Tabla 18	Orden de corridas y resultados del experimento..... 59
Tabla 19	Residuos – EC(min)..... 60
Tabla 20	Residuos – EC(max)..... 65
Tabla 21	Niveles de operación por variable de respuesta..... 70
Tabla 22	Parámetros para operación del equipo de corte..... 72
Tabla 23	Corrida verifcatoria corte de paneles..... 72
Tabla 24	Estándares de dimensiones de los bloques..... 75
Tabla 25	Frecuencia de recepción de bloques..... 75
Tabla 26	Plan de control de las medidas implementadas..... 78
Tabla 27	Límites de especificación actualizados del proceso de corte..... 79
Tabla 28	Publicación de especificaciones y rendimientos esperados..... 80
Tabla 29	Scrap promedio – proceso mejorado..... 85

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La empresa en donde se desarrolla el presente trabajo se dedica a la fabricación y exportación de paneles de madera balsa, esta tiene más de 30 años en el mercado y cuenta con dos plantas, una en el sur de la ciudad de Guayaquil y otra en el cantón de Isidro Ayora, las dos plantas manejan la misma tecnología y sus procedimientos son similares.

Entre los procesos que se desarrollan en la balsa están: recepción y calificado de bloques de balsa, corte de bloques de balsa (para producir los paneles), trimmer de paneles (acabado final de los costados de los paneles), reparación de los paneles (retirar las imperfecciones como podredumbre, corcho, nudos, grietas, etc.), lijado de paneles, pegado de tela en el panel, y cortes transversal y longitudinal del panel.

En la industria de la balsa es muy importante manejar con la mayor eficiencia posible la madera debido a que en ciertos periodos del año existe gran escasez de esta materia prima. Esto provoca que el costo de la balsa se eleve de manera frecuente, o que los recursos disponibles trabajen con una tasa de utilización mucho menor que la planificada, incluso llegando a la necesidad de paralizar completamente las operaciones.

La metodología utilizada en el presente proyecto es DMAIC, esta ha demostrado ser eficaz en el desarrollo de iniciativas de mejoras alcanzando resultados sobresalientes. Metodologías como Six Sigma y Kaizen utilizan DMAIC, los estudios muestran que esta ha logrado mejorar procesos hasta en un 100 % (Adams, Gupta & Wilson, 2011).

1.1. Planteamiento del problema

A lo largo del proceso de elaboración de paneles de balsa existen diferentes fuentes de pérdida las cuales afectan el rendimiento de la madera. El alto costo de la balsa y la escasez de la misma en el mercado hacen que la dirección de la compañía continuamente realice esfuerzos con el objetivo de disminuir el scrap de madera. A pesar de lo indicado los niveles de desperdicio están por encima del estándar establecido.

Entre los indicadores para medir la eficiencia del proceso de elaboración de paneles de balsa está el scrap promedio de madera que se genera por cada panel producido. La unidad utilizada para medir el volumen de madera es el Board Foot (1 Board Foot = 144 Pulgadas Cubicas). El scrap promedio por panel se considera aceptable si este es de hasta 1,30 board feet (Bft).

En la planta ubicada en la ciudad de Guayaquil se realiza el 30% de las órdenes de producción, y en el cantón de Isidro Ayora el 70%. La planta de Guayaquil presenta mejores resultados con respecto a la eficiencia con la que se maneja la madera, esta tiene un scrap promedio por panel de 1,32 Bft. En el anexo A se muestra el scrap promedio por panel

rígido correspondiente a las últimas 30 órdenes de producción del mes de octubre de la planta ubicada en el cantón Isidro Ayora, esta información tiene como valor mínimo, máximo, y promedio, 1,25 Bft, 1,67 Bft, y 1,45 Bft respectivamente.

Si se considera lo que se indica en el párrafo anterior, se establece que en promedio la planta de Guayaquil tiene un excedente de scrap de madera de 0,02 Bft, y en la planta de Isidro Ayora el excedente de scrap es de 0,15 Bft con respecto al estándar establecido de 1,30 Bft.

Tabla 1
Estimación de pérdida por scrap de madera (Isidro Ayora)

PERDIDA POR EXCEDENTE DE SCRAP DE MADERA (ISIDRO AYORA)					
Mes	Paneles Planificados (Unidades)	Scrap Excedente (Bft/Panel)	Scrap Excedente (Bft/Mes)	Costo Madera (\$/Bft)	Costo Total Excedente (\$)
Enero	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Febrero	50400	0,15	7560	\$ 2,70	\$ 20.412,00
Marzo	50400	0,15	7560	\$ 2,70	\$ 20.412,00
Abril	50400	0,15	7560	\$ 2,70	\$ 20.412,00
Mayo	50400	0,15	7560	\$ 2,70	\$ 20.412,00
Junio	50400	0,15	7560	\$ 2,70	\$ 20.412,00
Julio	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Agosto	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Septiembre	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Octubre	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Noviembre	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Diciembre	96000	0,15	14400	\$ 2,70	\$ 38.880,00
Perdida Anual por Excedente de Scrap de Madera:					\$ 374.220,00

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la capacidad de la planta ubicada en Isidro Ayora, y al volumen de producción correspondiente a los años 2018 y 2019, se estima que en un año aproximadamente se producen 924000 paneles rígidos, si cada uno de estos tiene un excedente de scrap de 0,15 Bft., lo cual representa 138600 Bft/año, el costo total anual por excedente de scrap de madera es de \$ 374,220.

1.2. Definición del problema

Dado que el mayor porcentaje de paneles se produce en la planta de Isidro Ayora, y que el impacto económico más representativo se puede conseguir al orientar los esfuerzos de mejora en la planta ubicada en este cantón, el problema a abordar se lo define de la siguiente manera:

“El scrap de madera por panel rígido en la planta de Isidro Ayora durante las últimas treinta órdenes de producción registra un valor promedio de 1,45 Bft, cuando el estándar establece como máximo un scrap promedio de 1,30 Bft.”

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reducir el scrap por panel rígido en la planta ubicada en el cantón Isidro Ayora a través de la implementación de la metodología DMAIC.

1.3.2. Objetivos específicos

Diagnosticar la situación actual del proceso, con la finalidad de establecer la línea base del scrap promedio de madera por panel.

Identificar las causas raíz que afectan la generación de scrap por panel.

Determinar las medidas y parámetros operacionales que permitan reducir el scrap por panel.

Establecer medios de control los cuales permitan sostener las mejoras alcanzadas.

1.4. Alcance y restricciones del proyecto

1.4.1. Alcance del proyecto

El presente proyecto considera las operaciones comprendidas desde la recepción de la materia prima (bloques de madera balsa), hasta el lijado de los paneles de balsa.

1.4.2. Restricciones del proyecto

Las limitaciones que pueden afectar el desempeño del proyecto están asociadas directamente a la falta de experiencia en el manejo de herramientas de mejora continua, y el poco compromiso por parte de la dirección de la compañía con iniciativas relacionadas a mejorar los procesos productivos. Entre las principales restricciones están:

- Desconocimiento de herramientas de mejora continua por parte del personal operativo y mandos medios (Coordinadores).
- Nula experiencia en el desarrollo de proyectos de mejora continua de procesos.
- Materia prima (bloques de madera balsa) que no cumple con los estándares de calidad requeridos para el proceso.
- Poca disposición para realizar inversiones en proyectos de mejora y desarrollo de la compañía.

1.5. Justificación del proyecto

El desarrollo del presente proyecto nace por la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso productivo para la fabricación de paneles rígidos de madera balsa. El disminuir el scrap de madera contribuye significativamente al objetivo estratégico de la dirección de la empresa de mejorar continuamente la eficiencia en la utilización de la madera dado que

este recurso es el de mayor costo y una disminución en su desperdicio impacta considerablemente en los indicadores financieros de desempeño.

La realización de este proyecto muestra los pasos necesarios para el desarrollo de la metodología DMAIC, así como una serie de herramientas de mejora de procesos y análisis estadístico. Este trabajo sirve como guía para el desarrollo de nuevos proyectos orientados a mejorar la eficacia y eficiencia de los procesos productivos.

La metodología DMAIC muestra mediante sus resultados ser una de las mejores alternativas que existe para el desarrollo de proyectos de mejora, a continuación, se resume dos casos de éxito de esta:

Reducción del scrap en la fabricación de paneles: Este estudio parte del hecho de que la generación del scrap de la materia prima en el proceso es del 12%, cuando en la industria se maneja un estándar del 5%. El objetivo del proyecto es reducir el scrap a una tasa máxima del 8%. Mediante el desarrollo de la metodología DMAIC, y con el soporte de herramientas como diagrama SIPOC, análisis de Pareto, mapeo del proceso, determinación de la capacidad del proceso, lluvia de ideas, matriz causa-efecto, AMFE, diagrama de Ishikawa, y 5 porqué's, se logra alcanzar el objetivo planteado, llegando a un scrap promedio de 7,81% (Kholkar & Sangodker, 2019).

Optimización del proceso de fabricación de barras de acero: En este estudio se indica la importancia de mejorar los rendimientos en los procesos de elaboración de barras de acero. Inicialmente el proceso estudiado tiene un rendimiento del 98,121% y un nivel de sigma de 3,579. Mediante la metodología Six Sigma – DMAIC, y con el soporte de las siguientes herramientas: mapa de procesos, gráficas de control, estudio de capacidad, análisis de Pareto, ANOVA, modelos de regresión, y diseño experimental se logra alcanzar un rendimiento del 99,390% y un nivel de sigma de 4,007 (Khawar, Misbah, & Adnan, 2016).

1.6. Metodología del proyecto

Para resolver el problema planteado se utiliza la metodología DMAIC. Cada letra de la palabra DMAIC representa una etapa específica del proyecto, las cuales son: Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analizar), Improve (Mejorar), y Control (Controlar).

Durante la etapa de DEFINIR se conforma el equipo de trabajo con el que se desarrolla este proyecto, se describe la situación actual del proceso mediante la elaboración de un diagrama SIPOC y se establece la línea base del proceso. En la etapa de MEDIR se determina la confiabilidad del sistema de medición mediante un análisis R&R, la capacidad del proceso mediante análisis estadístico, y se identifican las posibles fuentes de variación del proceso. Durante la etapa de ANALIZAR se determina cuáles son las causas que realmente afectan el proceso utilizando el diagrama Ishikawa, y la matriz causa-efecto, todo esto con el soporte de herramientas estadísticas. En la etapa de MEJORAR se plantean soluciones para cada una de las causas determinadas en la parte de análisis las cuales se implantan y finalmente se evalúan. En la etapa de CONTROL se definen nuevos estándares, se establecen controles visuales, y finalmente se implantan gráficas de control para dar seguimiento a las causas de variación presentes en el proceso.

1.7. Resultados esperados

Con la implementación de la metodología DMAIC en el proceso de elaboración de paneles rígidos se espera reducir en un 10% el scrap promedio de madera generado por panel.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de DMAIC

DMAIC son las siglas en inglés de las palabras DEFINE (Definir), MEASURE (Medir), ANALYZE (Analizar), IMPROVE (Mejorar), y CONTROL (Controlar) las cuales son las fases específicas de la gestión de proyectos o resolución de problemas. Cada una de estas fases son claramente distintas y persiguen objetivos específicos (Adams, Gupta, & Wilson, 2011).

DMAIC establece una línea base (a donde nos encontramos), y un enfoque lógico para alcanzar el objetivo al que se quiera llegar, esto sin importa de que se trate de un proyecto de mejora del tipo Six Sigma, Lean, o Kaizen (Burton & Sams, 2004).



Figura 2.1 Estrategia DMAIC

Fuente: Burton & Sams, 2004

En la figura 2.1. se muestra la metodología DMAIC como una estrategia de mejora continua. En los siguientes párrafos se describe de forma general en que consiste cada una de las etapas del DMAIC.

DEFINE: La etapa de definir es considerada como la más importante de un proyecto, en esta se declara el problema, alcance, objetivo, recursos, y los tiempos para el desarrollo del proyecto. Específicamente se identifica que pertenece al proyecto y que no (Adams, et al. 2011).

La declaración del problema debe responder las siguientes interrogantes sobre el problema a resolver: ¿Qué ocurre?, ¿Dónde ocurre?, ¿Desde cuándo ocurre?, ¿Qué tanto ocurre?, y ¿Cómo sé qué ocurre?. Es importante que el objetivo del proyecto sea expresado de manera clara, en términos conocidos, y que el mismo sea medible (Burton & Sams, 2004).

MEASURE: Mediante la utilización de indicadores críticos se cuantifica la situación actual y se establece la oportunidad de mejora. Para esto se utilizan datos reales y con el soporte de la estadística se establece un punto de partida claro para el proyecto. Es importante establecer un plan de recolección de datos para poder documentar el desempeño de los procesos estudiados (Adams, et al. 2011).

Es en esta etapa en donde se recolectan los datos necesarios para establecer la situación actual del proyecto, y con el objetivo de contar con información confiable, previo a la recolección de datos se realiza un análisis del sistema de medición (Burton & Sams, 2004).

ANALYZE: En esta etapa se definen y validan las causas fundamentales del problema que se establece en la primera etapa (Define). Mediante la utilización de herramientas de análisis y mejora se estudia el proceso con el objetivo de comprenderlo a un nivel mucho más detallado, y de esta manera poder plantear alternativas de mejora (Adams, et al. 2011).

En esta etapa es muy importante asegurar que las causas identificadas realmente son las causantes del problema, para esto se pueden utilizar herramientas de análisis basadas en la estadística como la prueba de hipótesis, y el diseño de experimentos (Burton & Sams, 2004).

IMPROVE: Es en esta etapa en donde se generan soluciones para las causas fundamentales del problema. Estas soluciones se deben analizar y priorizar antes de su implementación, para esto es posible que sea necesario la realización de pruebas y experimentos que permitan evaluar de manera objetiva las diferentes alternativas de mejora (Adams, et al. 2011).

Nuevamente el análisis estadístico toma relevancia en esta etapa, debido a que con el soporte de estas se puede evaluar objetivamente la eficacia de las soluciones que se plantean para cada una de las causas fundamentales del problema (Burton & Sams, 2004).

CONTROL: Para mantener los logros alcanzado se deben implementar medidas las cuales permitan dar seguimiento al rendimiento de los procesos mejorados. Esta fase debe implementarse inmediatamente después de la fase de Improve (Mejora) con el objetivo de mantener las mejoras alcanzadas. Los controles implementados pueden ser físicos o documentales (Burton & Sams, 2004).

DMAIC - SIX SIGMA				
DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTROLAR
Diagrama SIPOC Línea base Project Charter	CTQ Tree KPIV y KPOV Mapa de proceso Análisis de capacidad Análisis MSA Muestreo estadístico	AMFE Diagrama de cajas Diagrama de Pareto Diagrama de Ishikawa Matriz causa-efecto Lluvia de ideas Intervalos de confianza Pruebas de hipótesis ANOVA Estadística básica	Matriz de prioridad Diseño de experimento Pruebas de hipótesis Regresión, Correlación	Cartas de control Control visual KANBAN, JIT Lean, 5 S, Poka-Yoke Kaizen

Figura 2.2 Herramientas utilizadas en DMAIC

Fuente: Burton & Sams, 2004

Para el desarrollo de un proyecto bajo la metodología DMAIC se utilizan varios tipos de herramientas, en la figura 2.2 se muestran algunas de las herramientas más utilizadas según la etapa del proyecto.

2.2. Herramientas de mejora continua

Diagrama SIPOC: Es un arreglo en el que se muestra cómo se vinculan los recursos asociados a un sistema productivo. Este arreglo identifica claramente al proveedor (Supplier), ingreso (Input), proceso (Process), salida (Output), y cliente (Customer), describiendo para cada uno de estos su participación en el sistema.



Figura 2.3 Arreglo tradicional de un diagrama SIPOC

Fuente: Burton & Sams, 2004

Diagrama de Proceso de Flujo: Es una representación gráfica de una secuencia de actividades, flujo de materiales o información cuyo principal objetivo es dar a conocer de forma objetiva los pasos necesarios para realizar un trabajo (Evans & Lindsay, 2008).

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Proceso		Decisión
	Demora		Almacenaje
	Datos		Transporte
	Inicio/Fin		Conector

Figura 2.4 Símbolos utilizados en diagramas de procesos

Fuente: Elaboración propia

Diagrama Ishikawa: El diagrama de Ishikawa o de causa-efecto, llamado también por su forma como diagrama de espina de pescado es una representación gráfica que muestra una cadena de causas y sus efectos (Shridhara, 2010). Para su elaboración se traza una línea horizontal y en uno de los extremos de esta se ubica el problema (efecto), de la línea horizontal se derivan varias ramificaciones las cuales representan las posibles causas del problema. En la figura 2.5. se muestra un esquema del diagrama causa-efecto.

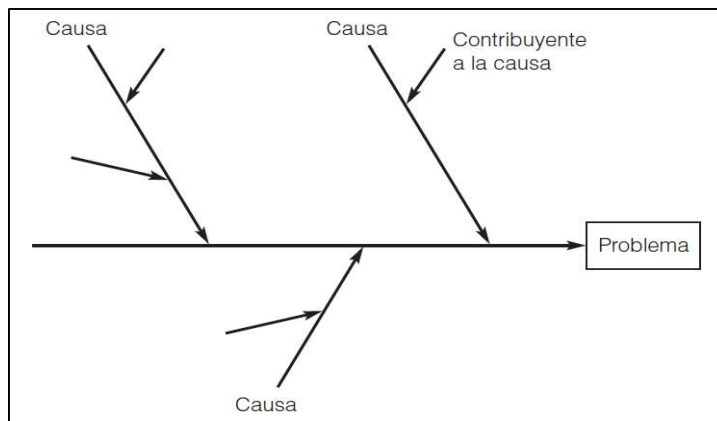


Figura 2.5 Estructura de un diagrama causa-efecto

Fuente: Evans & Lindsay, 2008

Matriz causa efecto: El objetivo de una matriz causa-efecto es determinar cuáles son las variables claves de entrada (KPIV's) que afectan o se relacionan con las variables claves de salida (KPOV's). Una vez que se evalúan las KPIV's se determina la prioridad de las mismas a través de un análisis de Pareto (Adams, et al. 2011). En la figura 2.6. se muestra la estructura y los pasos para desarrollar una matriz causa-efecto.

	VARIABLES DE SALIDA (Y's)			TOTAL
	Y1	Y2	Y3	
VARIABLES DE ENTRADA (x's)	a1	a2	a3	
X1 (Causa 1)	b1	b2	b3	$(a1*b1)+(a2*b2)+(a3*b3)$
X2 (Causa 2)	b4	b5	b6	$(a1*b4)+(a2*b5)+(a3*b6)$
X3 (Causa 3)	b7	b8	b9	$(a1*b7)+(a2*b8)+(a3*b9)$
X4 (Causa 4)	b10	b11	b12	$(a1*b10)+(a2*b11)+(a3*b12)$

Variables de salida (Y's), a las que se les asigna un nivel de prioridad (a1, a2, a3) según el grado de importancia desde el punto de vista del cliente.
Variables de entrada (X's) las cuales están relacionadas a las variables de salida (Y's) y son identificadas con la ayuda de herramientas como lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, etc.
Evaluación de la relación existente entre cada una de las entradas (X's) con cada una de las salidas (Y's). 0: Ninguna relación, 1: relación remota, 2: relación moderada, y 3: relación fuerte.
Niveles de correlación para cada una de las entradas (X's)

Figura 2.6 Estructura de la matriz causa-efecto

Fuente: Elaboración propia

5 porque's: Es una herramienta de uso sencillo y cuyo principal objetivo es encontrar la causa raíz de algún problema. Consiste en preguntar cinco veces ¿Por qué? construyendo una cadena de causas y efectos basadas en hechos, evitando a toda costa los juicios subjetivos o suposiciones. El número cinco es un valor de referencia, hay que realizar la pregunta ¿Por qué? hasta estar seguro de haber encontrado la causa raíz del problema (Madariaga, 2013).

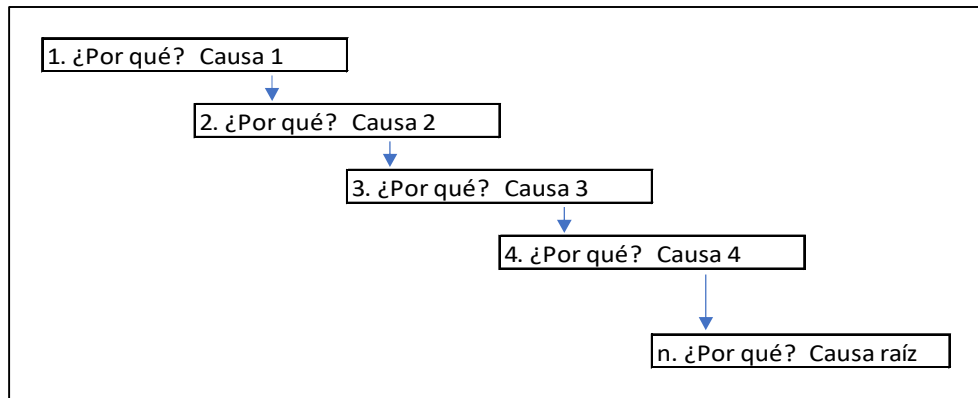


Figura 2.7 Estructura de los 5 porqués

Fuente: Elaboración propia

Lluvia de ideas: Es un procedimiento que se realiza de manera grupal, en el que los miembros del grupo dan a conocer sus ideas con el objetivo de generar una lista la cual será útil para poder encontrar la solución de un problema. Durante el desarrollo de esta herramienta no se permiten críticas, el objetivo es motivar a que todos participen y se generen una gran cantidad de ideas (Evans & Lindsay, 2008).

Diagrama de Pareto: El diagrama de Pareto es un gráfico basado en el principio de Pareto el cual establece que el 80% de los efectos es generado por el 20% de las causas. Es un diagrama de barras que muestra la frecuencia con la que cada causa aporta a la generación del efecto estudiado (Shridhara, 2010).

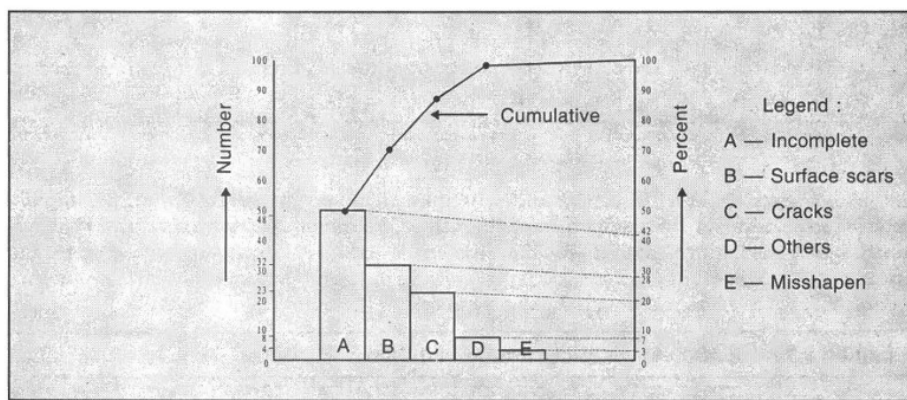


Figura 2.8 Diagrama de Pareto para ítems con defectos

Fuente: Shridhara, 2010

Matriz de Priorización: Esta matriz tiene por objetivo evaluar diferentes alternativas para determinar entre las mismas cual representan la mejor opción. Con esta se pueden evaluar diferentes alternativas de proyectos, soluciones, etc. Una vez que se evalúan las diferentes opciones se determina la prioridad de las mismas a través de un análisis de Pareto (Burton & Sams, 2004). En la figura 2.9. se muestra la estructura y los pasos para desarrollar una matriz de priorización.

	CRITERIOS DE EVALUACIÓN			TOTAL
	C1	C2	C2	
ALTERNATIVAS A EVALUAR	a1	a2	a3	
Alternativa A	b1	b2	b3	$(a1*b1)+(a2*b2)+(a3*b3)$
Alternativa B	b4	b5	b6	$(a1*b4)+(a2*b5)+(a3*b6)$
Alternativa C	b7	b8	b9	$(a1*b7)+(a2*b8)+(a3*b9)$
Alternativa D	b10	b11	b12	$(a1*b10)+(a2*b11)+(a3*b12)$

Definir criterios de evaluación (costos, tiempo, facilidad, etc.) estableciendo para cada uno un peso (a1, a2, a3) según el grado de importancia.
Lista de alternativas a evaluar (soluciones, proyectos, etc.) las cuales están relacionadas a los criterios de evaluación.
Evaluación de la relación existente (b1, b2, ... b12) entre las alternativas disponibles y los criterios de evaluación. Niveles de correlación: 1: Muy baja, 2: Baja, 3: Media, 4: Alta, 5: Muy alta.
Niveles de prioridad, a mayor puntaje mayor prioridad.

Figura 2.9 Estructura de la matriz de priorización

Fuente: Elaboración propia

2.3. Herramientas de análisis estadístico

Análisis del sistema de medición: El análisis del sistema de medición por sus siglas en inglés MSA (Measurement System Analysis) es una herramienta basada en la estadística cuyo fin es verificar qué el sistema de medición este en la capacidad de recopilar datos fiables (Antoy, 2014). Su objetivo principal es determinar cuánto de la variación presente en los datos recolectados corresponde al sistema de medición utilizado. Lo que se espera es que la variación de los datos recolectados sea generada en su mayoría por el proceso productivo, y no por el sistema de medición.

Análisis de capacidad del proceso: Es muy importante obtener información sobre la capacidad del proceso para cumplir las expectativas del cliente. Básicamente un análisis de capacidad consiste en comparar la variación del proceso con respecto a los requerimientos del cliente (límites de especificación). Entre las herramientas disponibles para determinar la capacidad de un proceso están: diagrama de tolerancia, histograma, y la razón de la capacidad del proceso (RCP, RCPk) el cual compara al ancho de las especificaciones del cliente con respecto a la amplitud de la variación real del proceso (Hines & Montgomery, 1996).

Diseño experimental DOE: Una de las aplicaciones del diseño experimental es el determinar en qué condiciones o parámetros un equipo/proceso puede generar los mejores resultados posibles. El DOE es una herramienta basada en la estadística la cual se encarga del proceso de planificar, diseñar, y analizar un experimento para que de este se puedan conseguir conclusiones válidas y objetivas de manera eficaz y eficiente (Antoy, 2014).

Gráficas de control: Las gráficas de control son una herramienta técnica basada en la estadística, y cuyo principal objetivo es determinar cuándo un proceso está siendo afectado por alguna causa asignable de variación (desajuste de algún equipo, error en la mano de obra, baja calidad de la materia prima, etc.). Los diagramas de control se basan en la teoría del doctor Walter A. Shewhart la cual establece que todo proceso se caracteriza por poseer

variación y cuya fuente puede ser aleatoria (cuando el proceso está bajo control), o generada por alguna causa asignable (cuando el proceso está fuera de control) (Hines & Montgomery, 1996).

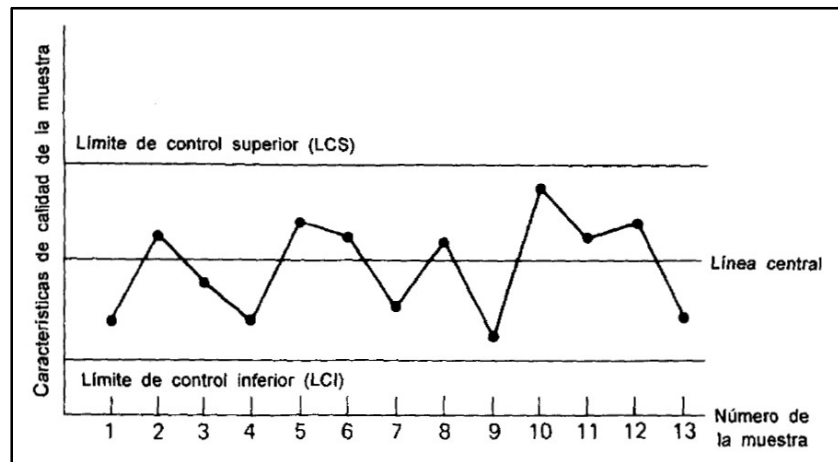


Figura 2.10 Gráfica de control típico

Fuente: Hines & Montgomery, 1996

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Definición del problema (DEFINE)

3.1.1. Declaración del problema DMAIC

Para la declaración del problema del proyecto de mejora se procedió a contestar las cinco preguntas establecidas en la etapa de DEFINE, tal como se muestra en la tabla 2. Para esto se consideró la información que se muestra en la tabla del anexo A, la cual corresponde al scrap promedio generado por las órdenes de producción procesadas en los meses de agosto, septiembre, y octubre del 2020 en la planta ubicada en el canto de Isidro Ayora. A continuación, se muestra la declaración del problema:

“El scrap de madera por panel rígido de las órdenes de producción en la planta de Isidro Ayora a partir de agosto del 2020 registra un valor promedio de 1,45 Bft, cuando el estándar establece como máximo un scrap promedio de 1,30 Bft.”

Tabla 2
Preguntas para la declaración del problema

#	PREGUNTA	RESPUESTA
1	¿Qué ocurre?	El scrap de madera de las ordenes de producción supera el estándar establecido
2	¿Dónde ocurre?	En la planta de producción del cantón Isidro Ayora
3	¿Desde cuándo ocurre?	Desde el mes de Agosto del 2020
4	¿Qué tanto ocurre?	El scrap promedio de madera por panel es de 1,45 Bft.
5	¿Cómo sé que ocurre?	Por que el estándar establece un scrap promedio de hasta 1,30 Bft.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Alcance del proyecto

Para este proyecto se consideró todos los procesos correspondientes a la elaboración de paneles rígidos de la planta ubicada en el cantón de Isidro Ayora, esto incluye: recepción de bloques de madera, corte de bloques, trimmer (recorte) de paneles, reparación, lijado, calificado, y embalaje de paneles. En el anexo B se muestra el diagrama SIPOC para el proceso de elaboración de paneles rígidos.

3.1.3. Establecimiento de la línea base del proyecto

La construcción de la línea base del proyecto se basó en los datos que se muestran en el anexo A. En la figura 3.1 se muestra la línea base para el scrap promedio por panel rígido.

Como se puede visualizar, para las 97 órdenes de producción las cuales corresponden a los meses de agosto, septiembre, y octubre del 2020, el scrap promedio por panel rígido alcanzó un valor de 1,45 Bft. El mejor valor alcanzado fue de 1,24 Bft, el cual representa el menor valor de scrap para las 97 órdenes consideradas, y el mayor valor del scrap de madera para las mismas fue de 1,72 Bft.

Adicionalmente en la figura 3.1 se puede visualizar una gran variación en el scrap de madera por panel (línea azul), esta tiene un rango de 0,48 Bft lo cual representa el 36,92% del estándar establecido como valor máximo aceptado de scrap (1,30 Bft). Es importante señalar que el GAP existente entre el scrap promedio (línea roja) y el estándar (1,30 Bft) es de 0,15 Bft, y de manera similar el GAP con respecto al mejor valor alcanzado es de 0,21 Bft.

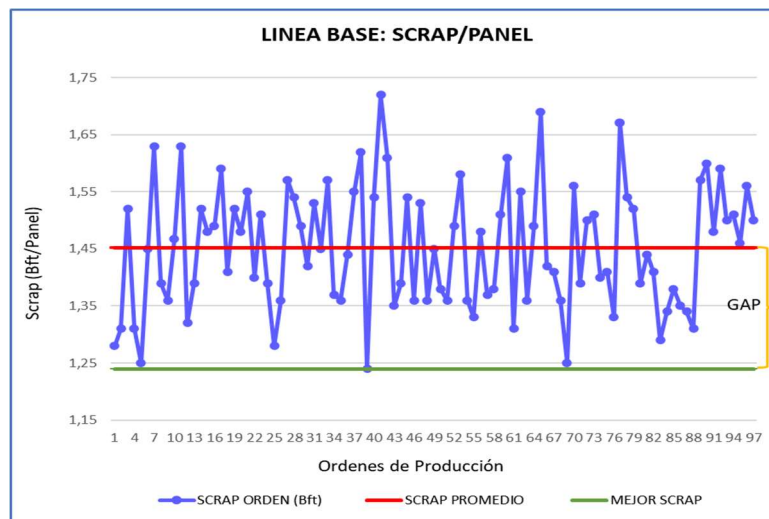


Figura 3.1 Línea base del scrap por panel rígido

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Establecimiento del objetivo del proyecto

Para establecer el objetivo del proyecto se partió del GAP existente entre el scrap promedio de madera (1,45 Bft) y el menor valor de scrap alcanzado (1,24 Bft). Para este GAP (0,21 Bft) se plantearon tres escenarios de mejora, los cuales consisten en reducir el GAP en el 50%, 75%, o 100% como el escenario más optimista, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3
Propuestas de reducción de GAP

Propuestas de Reducción de GAP (Bft/panel)			
GAP actual	0,21	0,21	0,21
% Reducción GAP	50%	75%	100%
GAP objetivo	0,11	0,05	0,00
Scrap Objetivo	1,35	1,29	1,24

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se muestra la estimación del ahorro anual que se realizó para cada uno de los tres escenarios de reducción del GAP. Para esto se determinó la diferencia entre el scrap anual de madera generado bajo las condiciones actuales (924000 paneles anuales multiplicado por 1,45 Bft/panel) y el scrap anual de madera esperado bajo condiciones mejoradas (924000 paneles anuales multiplicado por 1,35, 1,29, y 1,24 Bft/panel, esto según cada escenario de mejora). Finalmente, se multiplicó el ahorro anual estimado del scrap de madera por el costo de cada Bft de madera (\$ 2,70).

Tabla 4
Ahorro anual por reducción del GAP

Ahorro Anual (USD) según propuesta de mejora			
Paneles/año	924000	924000	924000
Scrap actual/año (Bft)	1339800	1339800	1339800
Scrap objeto/año (Bft)	1247400	1191960	1145760
Reducción Scrap (Bft)	92400	147840	194040
Ahorro Anual (\$)	\$ 249.480	\$ 399.168	\$ 523.908

Fuente: Elaboración propia

En base a la información que se muestra hasta el momento, y considerando un escenario de mejora neutral, se estableció el siguiente objetivo para el proyecto:

“Disminuir el scrap promedio de madera por panel rígido de 1,45 a 1,29 Bft en la planta de Isidro Ayora en un periodo de cinco meses”.

Con este objetivo se alcanzaría un ahorro anual de \$ 399168, y se cumpliría con el estándar de scrap promedio de madera por panel establecido por la dirección de la compañía.

3.1.5. Establecimiento del equipo de trabajo

Para el desarrollo del proyecto se constituyó un equipo de trabajo, básicamente se consideró a todas las áreas relacionadas a la producción de paneles rígidos. Como líder del proyecto se nombró al supervisor del área de corte debido a que tiene conocimientos sobre metodologías de mejora de procesos, y por estudios anteriores se conoce que es el área en donde se genera la mayor cantidad de scrap de madera. Adicionalmente se contó con la colaboración de las áreas de calidad, mantenimiento (técnico), producción, y logística. Como sponsor del proyecto estuvo el gerente de calidad debido al gran interés que tiene por reducir el scrap de madera, al conocimiento sobre la metodología DMAIC, y a la gran influencia sobre los accionistas de la empresa.

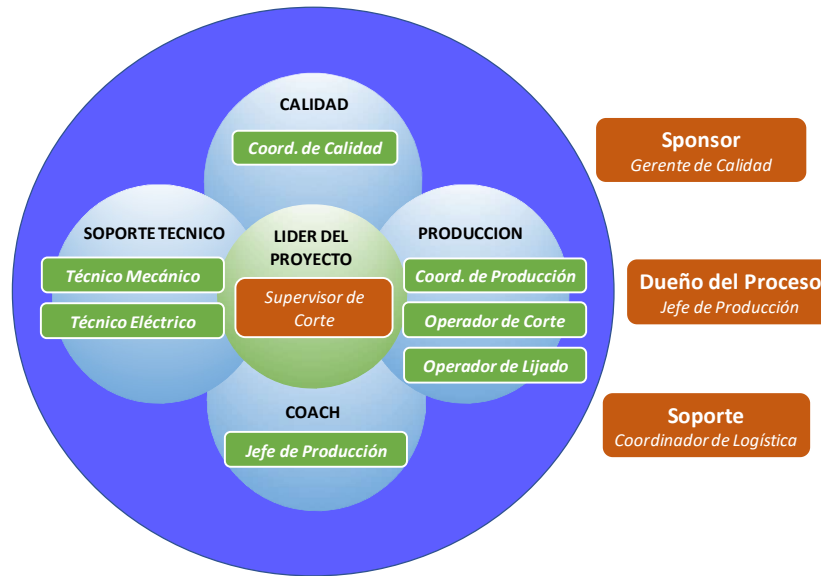


Figura 3.2 Equipo de trabajo

Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Resumen del proyecto (Project Charter)

En la figura 3.3. se muestra el project charter del proyecto, en el mismo se detalla el problema a resolver, el alcance, entregables, KPI, y objetivo del proyecto.

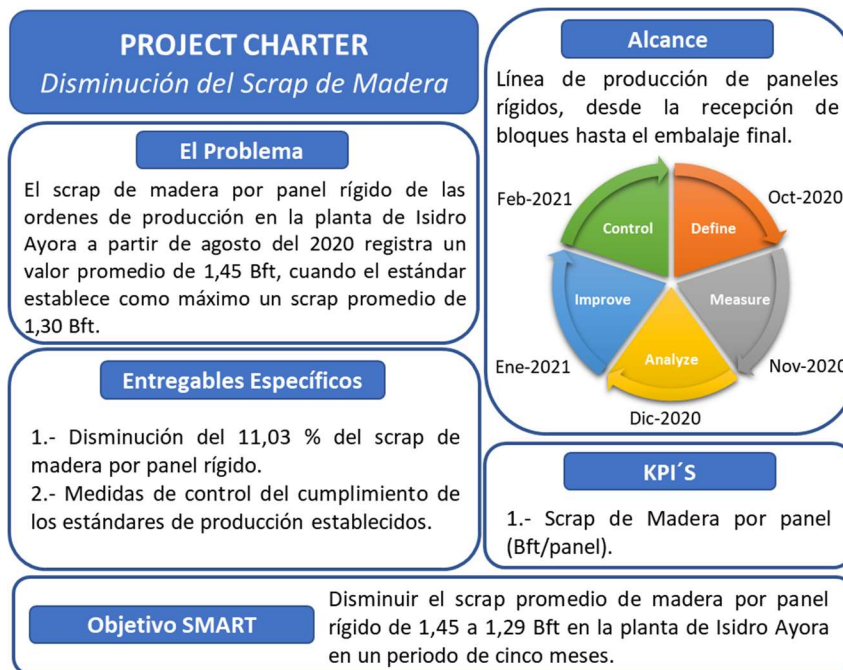


Figura 3.3 Project Charter

Fuente: Elaboración propia

3.2. Medición del proceso (MEASURE)

3.2.1. Mapeo del proceso

El mapeo del proceso de elaboración de paneles rígidos se realizó mediante la herramienta diagrama de flujo de procesos. En este diagrama se muestran las seis operaciones (recepción de bloques, corte de bloques, trimmer, reparación, lijado, y embalado de paneles) para la elaboración de los paneles, y los parámetros de calidad que deben cumplir la materia prima y el producto a lo largo del proceso.

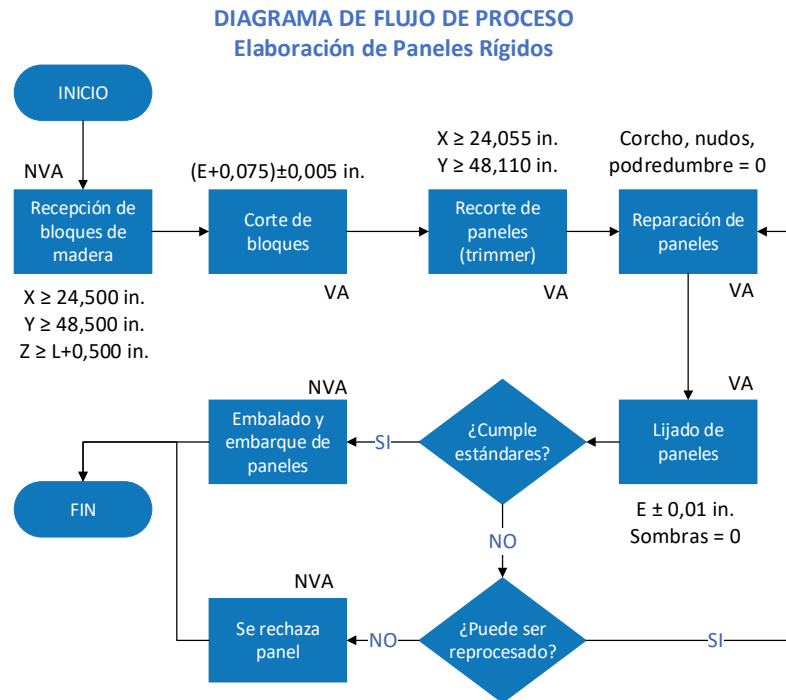


Figura 3.4 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de paneles rígidos

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura 3.4. los bloques de madera deben cumplir con las dimensiones X, Y, y Z (L puede ser 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, o 48 pulgadas, el anexo D muestra la imagen de un bloque con sus respectivas dimensiones). Los paneles resultantes del proceso de corte deben cumplir con un espesor que depende de E (espesor de la orden, el anexo C muestra los diferentes espesores de las órdenes), el proceso de trimmer debe entregar paneles con dimensiones mayores o iguales a 24,055 x 48,110 pulgadas (el anexo D muestra la imagen de un panel con sus respectivas dimensiones), en la reparación de paneles se retira mediante una perforadora las partes dañadas de la madera (podredumbre, corcho, nudos, corazones, y hendijas) y posteriormente se las reemplaza con madera en buen estado. Finalmente, el lijado debe dar el acabado y espesor final al panel (los espesores de lijado se muestran en el anexo C). En la figura 3.5 se muestran imágenes con los defectos que se reparan mediante la perforación de los paneles.

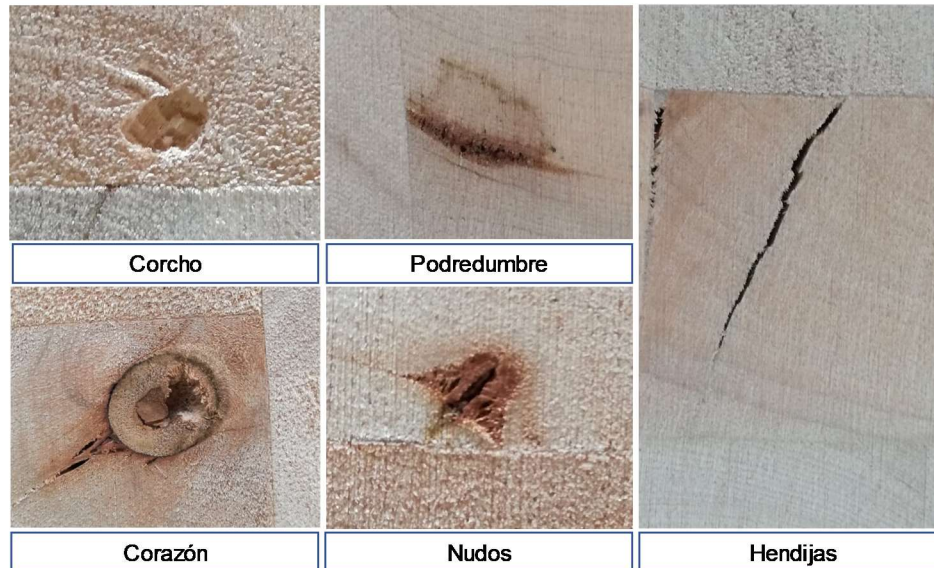


Figura 3.5 Defecto de paneles

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Análisis del sistema de medición (ASM)

El proceso de medición se realizó con la ayuda de un calibrador vernier y un flexómetro, para asegurar que el sistema de medición brinde datos confiables se procedió a realizar un análisis del mismo. Para esto se utilizaron las herramientas de estudio de linealidad y sesgo, y R&R cruzado del software Minitab. En el anexo K se muestran los datos que se emplearon para realizar el análisis.

a) Análisis del sistema de medición (Calibrador Vernier):

Para el análisis de sesgo y linealidad se consideraron cinco piezas de referencia las cuales fueron medidas cinco veces cada una (total 25 mediciones), en la figura 3.6 se muestran los resultados que se obtuvieron con la ayuda del software Minitab:

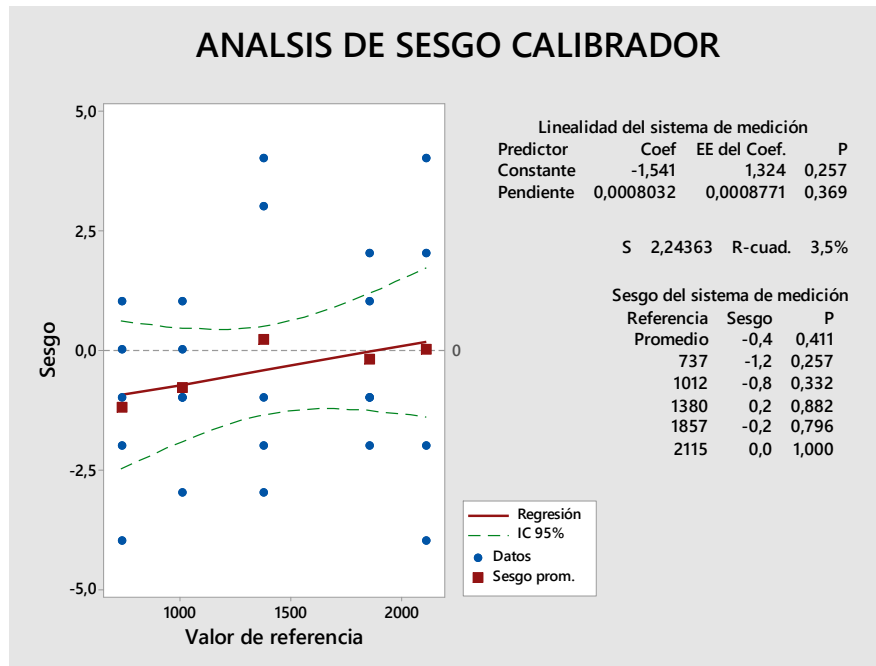


Figura 3.6 Análisis de sesgo calibrador Vernier

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la figura 3.6, existe un coeficiente de determinación del 3,5% lo cual denota una ligera linealidad, esto se considera poco significativo. Para la hipótesis nula (no existe sesgo) para cada una de las partes analizadas se obtuvo un valor P mayor de 0,05; por lo que se concluye (con un 95% de confianza) que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta que el sesgo para cada una de las partes analizadas es igual a cero.

Para el análisis R&R se consideraron 10 partes las cuales fueron medidas 3 veces cada una por 3 operadores diferentes, es decir se realizaron 90 mediciones. En la figura 3.7 se muestran los resultados que se obtuvieron.

Como se observa en las tablas ANOVA con y sin interacción, las partes medidas y los operadores son factores con un valor P menor a 0,05, con esto se puede concluir con un 95% de confianza que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que estas fuentes no tienen influencia sobre la variación presente en los datos medidos. La interacción Parte*Operador posee un valor de P igual a 0,097, debido a que este valor es mayor a 0,05 no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que se acepta que esta fuente no influye sobre la variación presente en los datos.

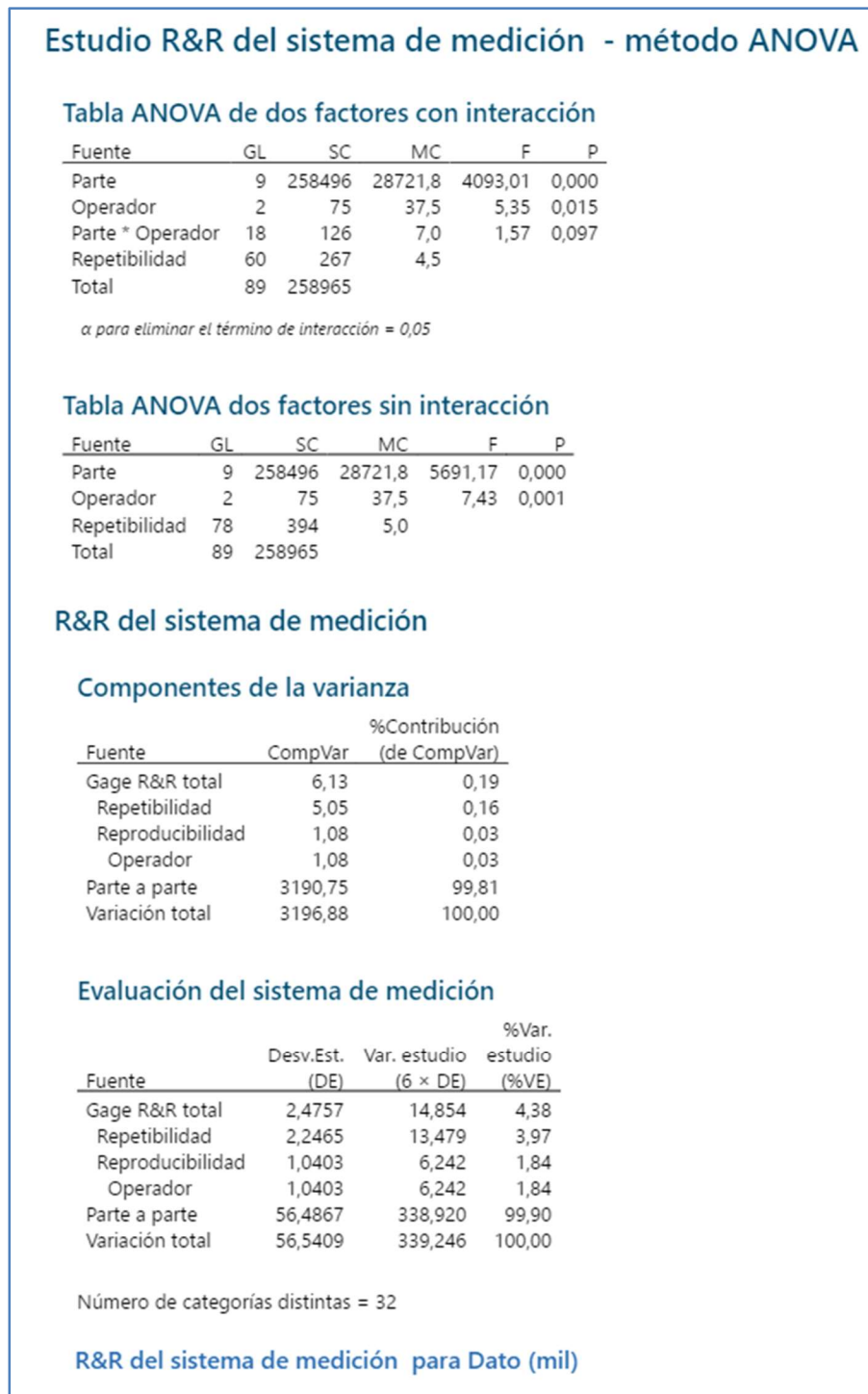


Figura 3.7 Análisis R&R calibrador Vernier

Fuente: Elaboración propia

Si se analiza el porcentaje de contribución, se observa que el sistema de medición representa únicamente 0,19% de toda la variación presente en los datos, y que el 99,81% de la variación de los datos corresponde a las partes medidas.

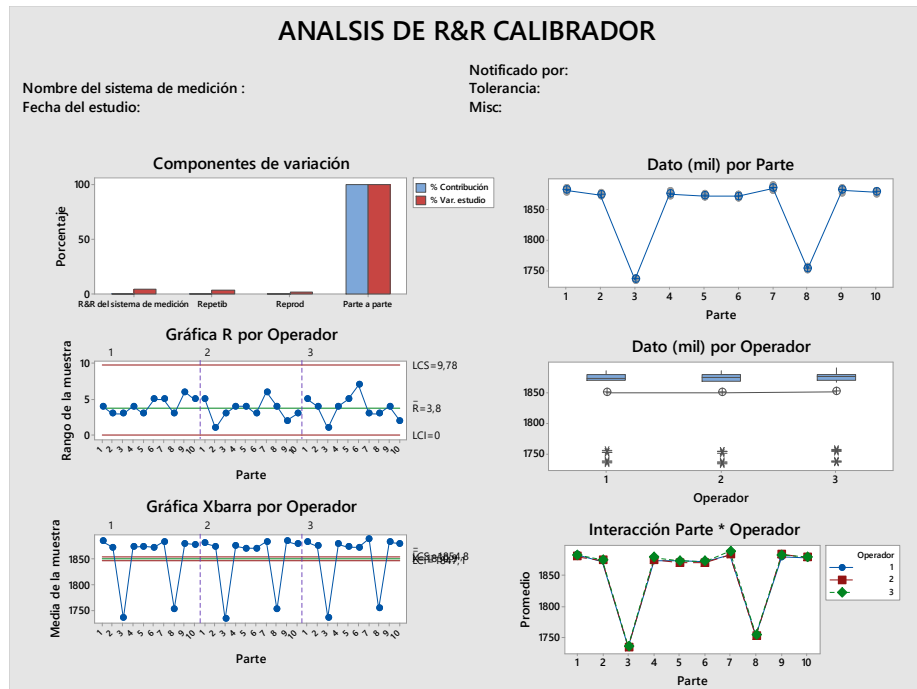


Figura 3.8 Graficas análisis R&R calibrador Vernier

Fuente: Elaboración propia

Analizando la figura 3.8 se puede llegar a las mismas conclusiones indicadas hasta el momento. En la gráfica Componente de Variación se evidencia que el mayor porcentaje de la variación presente en los datos corresponde a las partes medidas, y un porcentaje muy bajo al sistema de medición. La gráfica R por Operador muestra que no existe mayor diferencia entre las medidas tomadas en una misma parte, es decir que el rango de las mediciones para cada una de las partes medidas se encuentra bajo control. La gráfica X barra por Operador, muestra una gran consistencia entre las mediciones realizadas debido a que los patrones entre los diferentes operadores son prácticamente iguales. Adicionalmente, el error en las mediciones (rango de las líneas horizontales) es mucho menor con respecto al rango del promedio de las partes medidas. En la gráfica Dato por Parte se visualiza que todas las mediciones realizadas para cada una de las partes presentan una alta precisión (baja variación), de manera similar en la gráfica Dato por Operador se aprecia una alta consistencia entre las mediciones realizadas de un operador a otro. En la gráfica Interacción Parte*Operador se muestra que existe muy poca variación entre las mediciones realizadas por cada operador para cada una de las partes consideradas.

A pesar de que el operador influye sobre la variación presente en los datos, el sistema de medición representa únicamente el 0,19% del total de la variación presente en los datos, y con un número de categorías distintas igual a 32 (La AIAG “Automotive Industry Action Group” sugiere un número de categorías mayor o igual a 5), finalmente se puede concluir que el sistema de medición que se utilizó en el proyecto es confiable.

b) Análisis del sistema de medición (Flexómetro):

Para el análisis de sesgo y linealidad del flexómetro se consideraron igualmente 25 mediciones, en la figura 3.9 se muestran los resultados obtenidos con la ayuda del software Minitab.

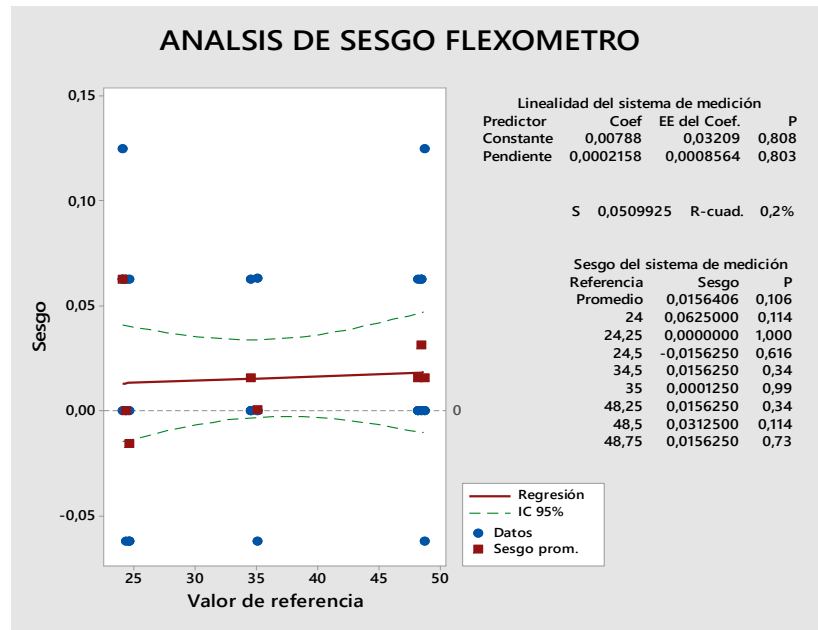


Figura 3.9 Análisis de sesgo flexómetro

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la imagen 3.9 existe un coeficiente de determinación del 0,2%, lo cual denota prácticamente una nula linealidad. Para la hipótesis nula (no existe sesgo) de cada una de las partes analizadas se tiene un valor P mayor de 0,05, por lo que con un 95% de confianza se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta que el sesgo para cada una de las partes analizadas es igual a cero.

Para el análisis R&R se consideraron 5 partes las cuales fueron medidas 2 veces cada una por 2 operadores diferentes, es decir se realizaron 20 mediciones. En la figura 3.10 se muestra los resultados que se obtuvieron.

Como se visualiza en las tablas ANOVA con y sin interacción, las fuentes Parte e interacción Parte*Operador poseen un valor P igual a 0,650 y 0,740 respectivamente, considerando que estos valores son mayores a 0,05, se concluye con un 95% de confianza de que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que estos factores no influyen sobre la variación presente en los datos. Si se analiza el % de contribución se observa que el sistema de medición representa únicamente 0,01% de toda la variación presente en los datos, y que el 99,99% de la variación de los datos corresponde a las partes medidas.

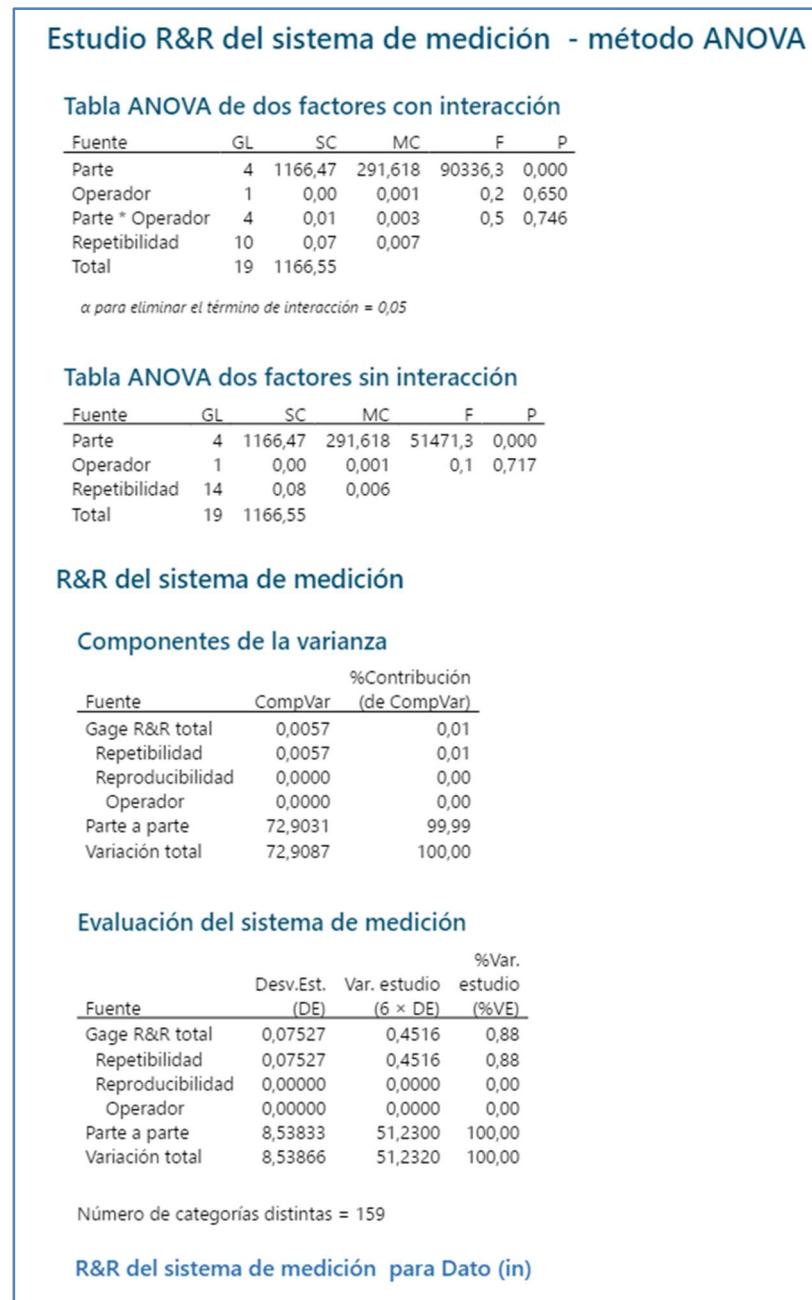


Figura 3.10 Análisis R&R flexómetro

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.11 la cual corresponde al análisis R&R para el flexómetro se muestra la gráfica Componente de Variación en la cual se evidencia que la variación presente en los datos corresponde prácticamente en su totalidad a las partes medidas, y un porcentaje prácticamente insignificante al sistema de medición. La gráfica R por Operador muestra que las medidas tomadas en una misma parte poseen una diferencia poca significativa, es decir que el rango de las mediciones para cada una de las partes medidas se encuentra bajo control. La gráfica X barra por Operador muestra gran consistencia entre las mediciones realizadas por cada operador, dado que las mismas muestran patrones prácticamente

iguales, adicionalmente el error en las mediciones (rango de las líneas horizontales) es mucho menor con respecto al rango del promedio de las partes medidas. En las gráficas Dato por Parte, Dato por Operador, e Interacción Parte*Operador se evidencia una alta precisión en los datos debido a la escasa variación presente en los datos.

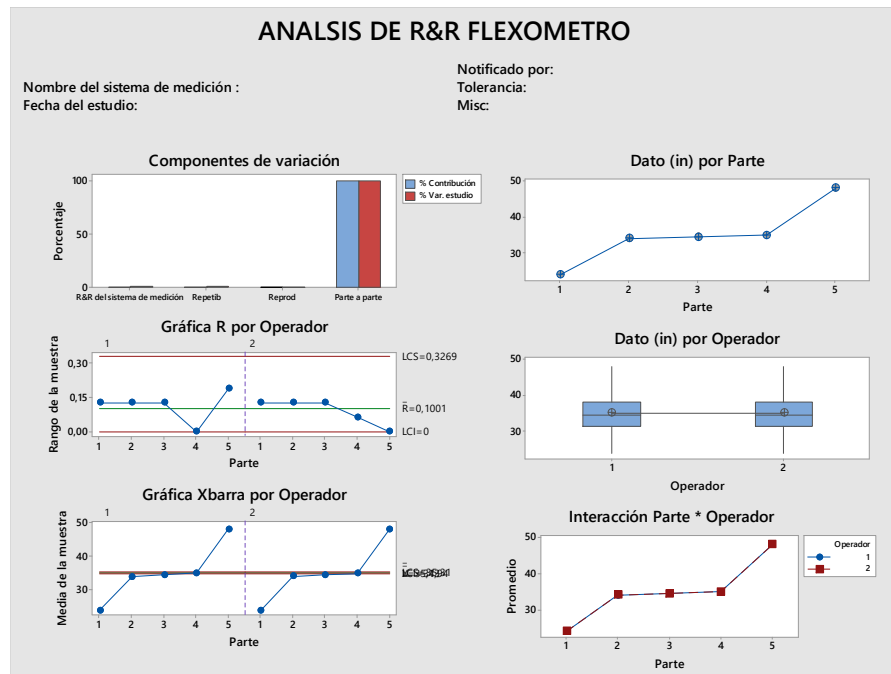


Figura 3.11 Graficas análisis R&R flexómetro

Fuente: Elaboración propia

Dado que el sistema de medición representa únicamente el 0,01% del total de la variación presente en los datos, y que el número de categorías distintas es igual a 159, se concluye que el sistema de medición que se utilizó en el proyecto es confiable.

3.2.3. Plan de recolección de datos

a) Enfoque del problema

Previo a la elaboración del plan de recolección de datos se procedió a determinar en donde se centrarían los esfuerzos para poder conseguir de manera eficiente la reducción del scrap de madera. Para esto se determinó el tipo de bloque de madera más utilizado según el largo del mismo ($Z = L + 0,500$ in), y principalmente se consideró la presentación de panel rígido (según su espesor nominal) que mayor scrap de madera genera.

Tal como se muestra en la figura 3.4 los bloques de madera pueden presentar varias dimensiones para Z (Z depende de L, donde L puede ser 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, o 48 pulgadas). Por aspectos contractuales con los proveedores se espera que al menos el 60% de los bloques de madera sean de un valor L de 24 pulgadas, en la tabla 5 se muestra el stock de bloques disponibles para inicios del mes de noviembre del 2020.

Tabla 5
Stock de bloques disponibles

STOCK DE BLOQUES EN PLANTA				
#	LARGO (L)	CANTIDAD	%	% ACUMULADO
1	24	371	71,21%	71,21%
2	18	67	12,86%	84,07%
3	21	33	6,33%	90,40%
4	12	23	4,41%	94,82%
5	15	16	3,07%	97,89%
6	6	5	0,96%	98,85%
7	8	5	0,96%	99,81%
8	10	1	0,19%	100,00%
TOTAL		521	100,00%	

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos de la tabla 5, y tal como se visualiza en la figura 3.12, los bloques de 24 pulgadas (12,5% de los tipos de bloques) representan el 71,21% de los bloques disponibles en la planta, el resto de bloques (87,5% de los tipos según el largo) representa únicamente el 28,79% del total de bloques. De acuerdo a lo indicado y con el objeto de considerar los bloques de madera con mayor presencia en los procesos productivos, el presente proyecto únicamente consideró para temas de muestreo y análisis de datos los bloques con un valor nominal L de 24 pulgadas.

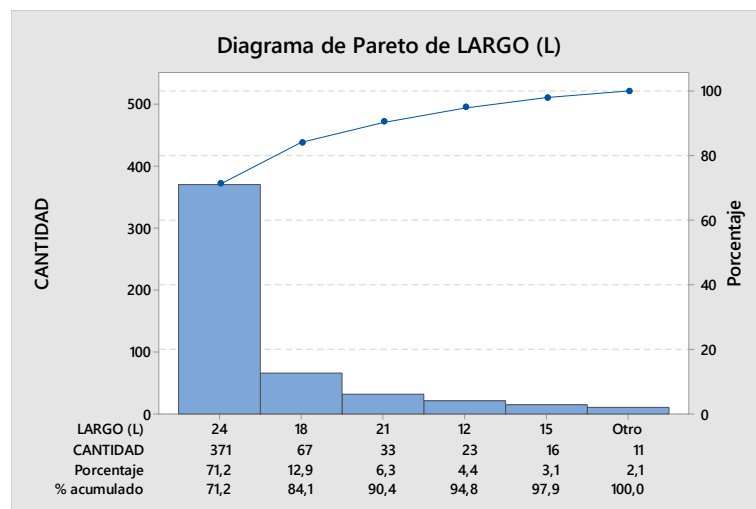


Figura 3.12 Diagrama de Pareto para el largo de los bloques

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestra el porcentaje anual y el scrap promedio de madera de las órdenes de producción según el espesor de los paneles que solicita el principal cliente de la empresa, este representa aproximadamente el 98% de las ventas anuales. Como se puede apreciar en la primera fila, las órdenes de producción de paneles de 5/8 de pulgadas representan aproximadamente el 4% del total de las órdenes procesadas durante un año,

y estas tienen un scrap promedio de madera de 1,34 Bft (según la muestra del anexo A la cual corresponde a tres meses de producción). Los espesores de 1 ¾ y 2 pulgadas representan con el 18% y el 20% respectivamente, las órdenes de producción que más se procesan durante un año, y las mismas poseen los desperdicios de madera más altos con un scrap promedio de 1,54 y 1,55 Bft respectivamente. Adicionalmente como se puede apreciar las órdenes con un espesor de 5/8, 3/4, 1, 1 ¼, y 1 3/8 poseen un scrap promedio que se encuentra en el rango de 1,34 – 1,38 Bft., y las órdenes de 1 ½, 1 5/8, 1 ¾, y 2 pulgadas tienen un scrap promedio en un rango de 1,45 – 1,55 Bft. Según lo indicado y a históricos que maneja la empresa objeto del presente estudio, existe una relación presente entre el espesor de los paneles a procesar y el scrap de madera generado (a mayor espesor del panel, se espera un mayor scrap de madera).

Tabla 6
Porcentaje de órdenes y scrap promedio según espesor

ESPESOR	% ORDENES AL AÑO	SCRAP PROMEDIO
5/8	4,00%	1,34
3/4	6,00%	1,38
1	8,00%	1,34
1 1/4	9,00%	1,38
1 3/8	11,00%	1,35
1 1/2	11,00%	1,45
1 5/8	13,00%	1,47
1 3/4	18,00%	1,54
2	20,00%	1,55
	100,00%	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo indicado hasta el momento, el centrar los esfuerzos de mejora en las órdenes de producción con paneles de 2 pulgadas de espesor era la mejor alternativa, pero por temas de planificación de la producción, durante la etapa de análisis del presente proyecto se tenía previsto trabajar pocas órdenes con el espesor de 2 pulgadas, lo cual representaba una dificultad para la toma y análisis de datos. Debido a lo mencionado se decidió trabajar con las órdenes de producción relacionadas a paneles con un espesor de 1 ¾ pulgadas, lo cual representa la segunda mejor alternativa. Para la definición enfocada del problema se utilizó la herramienta 5W2H, en la tabla 7 se muestra el resultado de la misma.

Según lo expuesto hasta este punto., se estableció el siguiente problema enfocado: “Desde agosto del 2020 el scrap promedio de madera para las órdenes de producción de paneles rígidos con un espesor de 1 ¾ de pulgadas posee un valor de 1,54 Bft., cuando el estándar establece como máximo un scrap promedio de 1,30 Bft. Esto ha generado un incremento en los costos productivo.”

Tabla 7
Definición del problema enfocado – 5W2H

5W2H	PREGUNTA	RESPUESTA
What?	¿Qué sucede?	El desperdicio de madera es muy elevado
Why?	¿Por qué es un problema?	Porque los costo de producción se incrementan considerablemente
Who?	¿Quién genera el problema?	La línea de producción de paneles rígidos
When?	¿Desde cuándo se genera el problema?	Desde agosto del 2020
Where?	¿Dónde se genera el problema?	En los paneles rígidos de 1 3/4 de pulgadas
How much?	¿Cuánto afecta?	El estándar establece un valor máximo de scrap de 1,30 Bft., y el proceso actual tiene un valor de 1,54 Bft. (Existe un excedente del 18,46 % del scrap de madera máximo permitido)
How?	¿Cómo sucede el problema?	Durante los procesos de corte, trimmer, reparación, y lijado de paneles.

Fuente: Elaboración propia

b) Plan de recolección de datos

Antes de la elaboración del plan de recolección de datos se procedió a realizar un mapeo de expectativas mediante un focus group para determinar las necesidades de cada uno de los involucrados en el proceso de elaboración de paneles rígidos, para que estos puedan cumplir con los estándares de calidad y eficiencia establecidos. Estos requerimientos fueron asociados a especificaciones técnicas, lo cual se muestra en la tabla 8.

Tabla 8
Especificaciones técnicas para la elaboración de paneles rígidos

CLIENTE/ÁREA	NECESIDADES	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Cliente final	Paneles con dimensiones adecuadas	$X(\text{panel}) \geq 24,055 \text{ in}$; $Y(\text{panel}) \geq 48,110 \text{ in}$, $EL(\text{min})$ y $EL(\text{max}) = E \pm 0,01 \text{ in}$. (EL: Espesor de lijado)
Planificación	Alto rendimiento de bloques de maderas	$SPP(\text{Corte}) \leq 1,25 \text{ Bft}$. (SPP: Scrap por panel)
Lijado	Paneles cumplan con el espesor de corte	$EC(\text{min})$ y $EC(\text{max}) = (E + 0,075) \pm 0,005 \text{ in}$. (EC: Espesor de corte)
Reparación	Paneles con dimensiones adecuadas	$X(\text{panel}) \geq 24,055 \text{ in}$; $Y(\text{panel}) \geq 48,110 \text{ in}$
Trimmer	Paneles con sobremedida suficiente	$X(\text{bloque}) \geq 24,5 \text{ in}$; $Y(\text{bloque}) \geq 48,5 \text{ in}$
Corte	Bloques cumplan sobremedida	$X(\text{bloque}) \geq 24,5 \text{ in}$; $Y(\text{bloque}) \geq 48,5 \text{ in}$; $Z(\text{bloque}) \geq L + 0,50 \text{ in}$
	Bloques no estén descuadrados	$D11 - D12 \leq 0,5 \text{ in}$ y $D21 - D22 \leq 0,5 \text{ in}$.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se muestran los estimadores utilizados para calcular el tamaño de muestra final (columna n en color verde) para cada una de las variables consideradas en la tabla 8, para esto se utilizó la herramienta “Potencia de t de 1 muestra” del software Minitab. Estos estimadores se basaron en las muestras iniciales que se detallan en los anexos A, E, F, G, y H.

Tabla 9
Resultado de muestreo piloto y tamaño final de muestras

RESUMEN DE MUESTREO PILOTO Y TAMAÑO FINAL DE MUESTRAS							
VARIABLE (in)	MEDIA	S	% DIFERENCIA	DIFERENCIA	POTENCIA	SIGNIFICANCIA	n
X (Bloque)	24,800	0,203	1,00%	0,248	0,900	0,050	10
Y (Bloque)	48,889	0,187	0,50%	0,244	0,900	0,050	9
Z (Bloque)	24,769	0,059	0,30%	0,074	0,900	0,050	9
D11-D12	0,344	0,067	10,00%	0,034	0,900	0,050	43
D21-D22	0,156	0,033	10,00%	0,016	0,900	0,050	47
EC (min)	1,838	0,011	0,50%	0,009	0,900	0,050	18
EC (max)	1,853	0,011	0,50%	0,009	0,900	0,050	18
X (Panel)	24,037	0,035	0,12%	0,029	0,900	0,050	18
Y (Panel)	48,091	0,035	0,06%	0,029	0,900	0,050	18
EL (min)	1,757	0,006	0,30%	0,005	0,900	0,050	18
EL (max)	1,769	0,005	0,26%	0,005	0,900	0,050	19
SPP (Bft)	1,317	0,123	4,00%	0,053	0,900	0,050	59
SCRAP ORDEN	1,449	0,105	4,50%	0,065	0,900	0,050	30

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.13 se muestra el plan de recolección de datos el cual se elaboró con el objetivo de establecer la definición operacional, tamaño de muestra, origen y método de recolección, así como los responsables de realizar el muestreo de los datos que fueron necesarios estudiar durante la etapa de análisis.

PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Proyecto:	Disminución del scrap de madera en la fabricación de paneles rígidos				
MÉTRICO	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TAMAÑO DE MUESTRA	ORIGEN Y UBICACIÓN	MÉTODO DE RECOLECCIÓN	QUIEN RECOLECTARÁ LOS DATOS
X (bloque)	Medir el alto del bloque con un flexómetro. Revisar Instructivo INS-001	10	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
Y (bloque)	Medir el ancho del bloque con un flexómetro. Revisar Instructivo INS-001	9	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
Z (bloque)	Medir el largo del bloque con un flexómetro. Revisar Instructivo INS-001	10	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
D11 (bloque)	Medir las diagonales de las caras laterales del bloque. Revisar instructivo INS-001	43	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
D12 (bloque)		43	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
D21 (bloque)		47	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
D22 (bloque)		47	Planta IS, área de recepción bloques	Se seleccionaran aleatoriamente los bloque a medir. La toma de las muestras se realizara en el área de recepción de bloques.	Responsable de recepción
Espesor de corte (EC)	Medir el espesor del panel con un calibrador vernier. Revisar instructivo INS-002	18	Planta IS, área de corte de bloques	Se seleccionaran cinco (5) paneles cada cuatrocientos (400) paneles . La toma de muestra se realizara en el área de corte de bloques.	Inspector de calidad
X (panel)	Medir el largo del panel con un flexómetro. Revisar instructivo INS-002	18	Planta IS, área de trimmer	Se seleccionaran cinco (5) paneles cada cuatrocientos (400) paneles . La toma de muestra se realizara en el área de trimmer.	Operador de trimmer
Y (panel)	Medir el ancho del panel con un flexómetro. Revisar instructivo INS-002	18	Planta IS, área de trimmer	Se seleccionaran cinco (5) paneles cada cuatrocientos (400) paneles . La toma de muestra se realizara en el área de trimmer.	Operador de trimmer
Espesor de lijado (EL)	Medir el espesor del panel con un calibrador vernier. Revisar instructivo INS-002	19	Planta IS, área de lijado	Se seleccionaran cinco (5) paneles cada cuatrocientos (400) paneles. La toma de muestra se realizara en el área de lijado	Operador de lijadora
SPP (Corte)	Determinar el número de paneles que resultan de un bloque de 24 pulgadas	59	Planta IS, área de corte de bloques	Se seleccionaran Seis (6) bloques cada 2,5 horas. La toma de muestra se realizara en el área de corte de bloques	Inspector de calidad

Figura 3.13 Plan de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Valoración de la capacidad y desempeño del proceso

Para determinar el desempeño del proceso inicialmente se elaboró la gráfica de control para la variable Scrap Orden, para esto se utilizó la herramienta “gráficas de control” para datos individuales (I-MR) del software Minitab debido a que las muestras consideradas (97 órdenes) fueron tomadas de forma consecutivas y corresponden a tres meses de trabajo (agosto, septiembre, y octubre del 2020), es decir que en promedio se espera tener un dato diario para poder elaborar la carta de control.

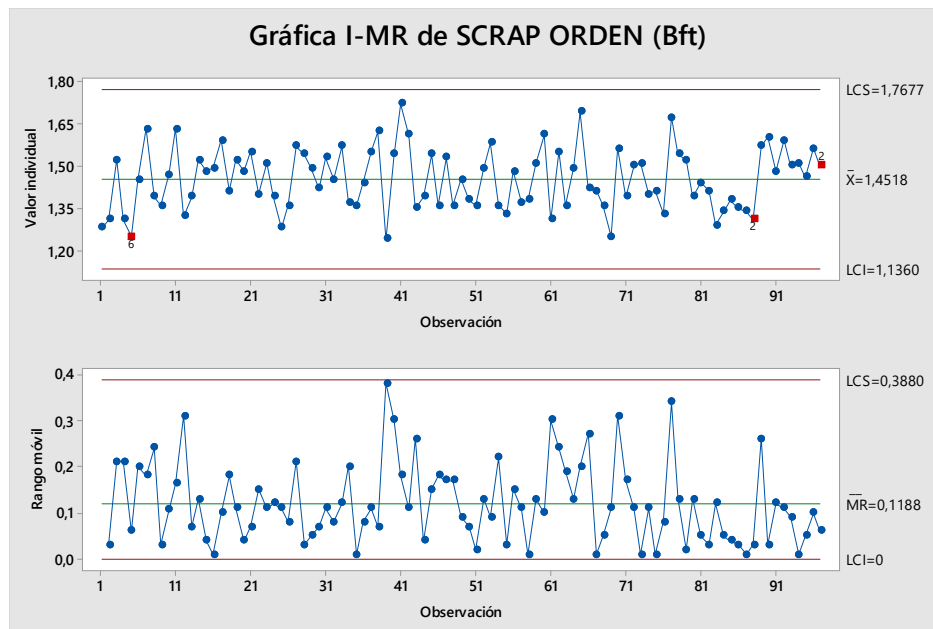


FIGURA 3.14 Grafica de control – scrap orden (Inicial)

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 3.14, en la gráfica de valor individual existen tres puntos (puntos en color rojo) que indican que el proceso se encuentra fuera de control estadístico, es decir que el proceso de elaboración de paneles rígidos se encuentra afectado por causas asignables de variación (variables controlables).

Finalmente, para determinar la capacidad del proceso se utilizaron los datos correspondientes al scrap de madera promedio por panel de las diferentes órdenes que se muestran en el anexo A. Antes de realizar el análisis de capacidad se evaluó si los datos a utilizar muestran un comportamiento normal, dado que este es un requisito importante para poder utilizar todos los indicadores relacionados.

En la figura 3.15 se muestra el resumen gráfico generado con el software Minitab de la variable scrap de madera promedio por panel de las órdenes de producción (Scrap Orden). En este se muestra la prueba de normalidad de Anderson-Darling, con un valor de P igual a 0,057 y con un 95% de confianza se concluye que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que los datos se distribuyen normalmente (se aceptan que los datos son normales).

Para la realización del análisis de la capacidad y desempeño del proceso se utilizó la herramienta análisis de capacidad para datos normales del software Minitab (con subgrupo tamaño 1). Para este caso solo se consideró el límite de especificación superior (LES), esto debido a que el objetivo de la gerencia de la empresa es llegar a un scrap promedio máximo por panel de las órdenes de producción de 1,30 Bft.

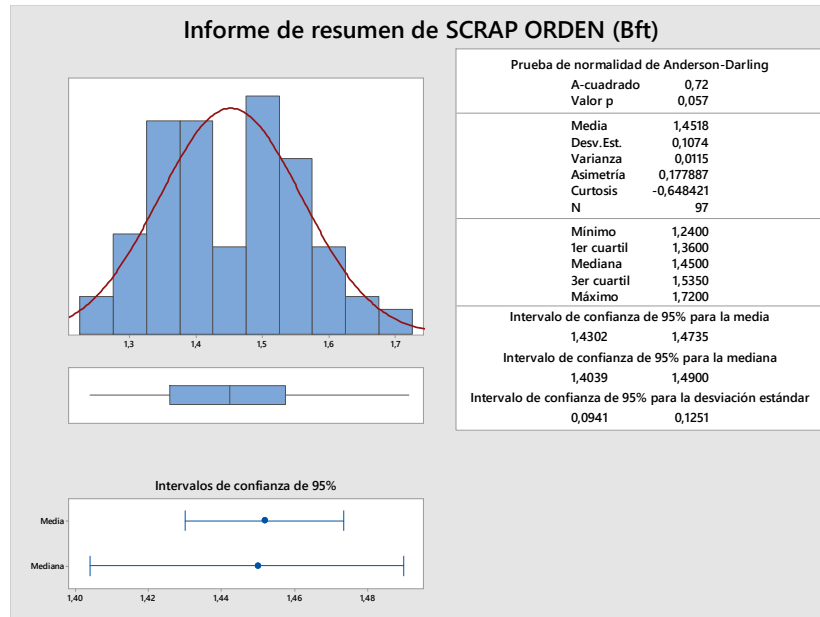


Figura 3.15 Resumen gráfico del scrap de madera promedio de las órdenes

Fuente: Elaboración propia

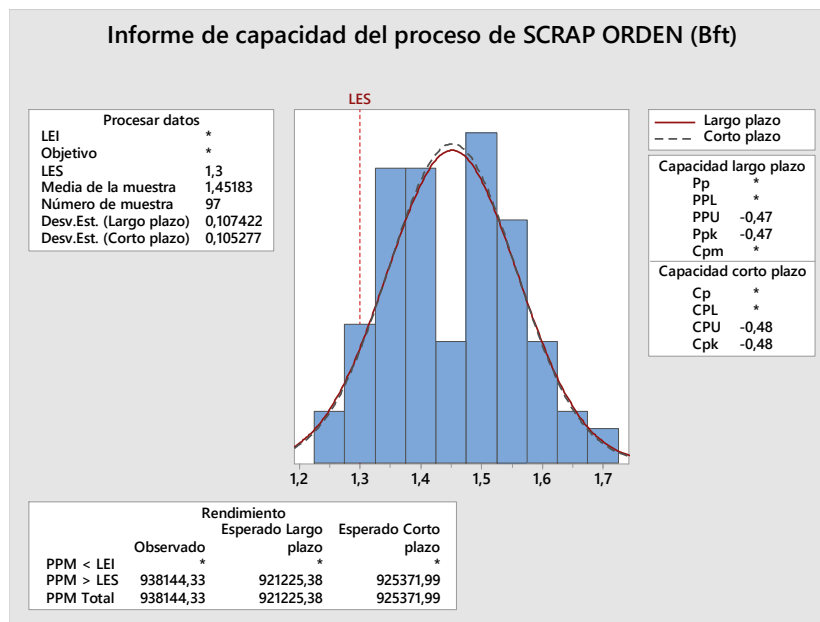


Figura 3.16 Análisis de capacidad del scrap de las órdenes de producción

Fuente: Elaboración propia

Los índices de capacidad a corto (Cpk) y a largo plazo (Ppk) son -0,48 y -0,47 respectivamente. Esto da a conocer que la gran mayoría de las órdenes de producción poseen un scrap promedio de madera por panel superior a 1,30 Bft, tal como se muestra en la figura 3.16. De manera similar en el recuadro de rendimiento se puede apreciar que las parte por millón (PPM) de las órdenes producidas que son mayores al LES superan ampliamente las 900 mil unidades tanto para los valores observados, como para los esperados a corto y a largo plazo. En base a lo indicado se puede concluir que el proceso de fabricación de paneles rígidos no tiene la capacidad para cumplir con el máximo del scrap de madera permitido.

3.3. Análisis del proceso (ANALYZE)

3.3.1. Lluvia de ideas y diagrama Ishikawa

Para la generación de las potenciales causas del problema se procedió a realizar una lluvia de ideas con los miembros del equipo de trabajo que se conformó para el desarrollo del presente proyecto. En la tabla 10 se muestran las ideas que se establecieron como posibles causas de la generación del scrap de madera.

Tabla 10
Lluvia de ideas para la generación de scrap de madera

#	LLUVIA DE IDEAS (SCRAP DE MADERA Balsa)
1	Panales cortados con espesor fuera de especificaciones
2	Bloques de madera descuadrados
3	Corte de limpieza de los bloques es muy grueso
4	Bloques de madera incorrectamente colocados sobre la mesa de corte
5	Bloque de madera se mueve durante el proceso de corte
6	Alta densidad de la madera
7	Sierra cinta altamente desgastada
8	Bloques no cumplen con largo (Z) establecido
9	Bloques no cumplen con dimensiones establecidas (X y Y)
10	Reparación de defectos que son aceptados
11	Módulos de madera defectuosos
12	Tiras de madera para reparación sobredimensionadas
13	Tamaño de módulos (madera para reemplazar los defectos) muy grandes
14	Lijado de paneles mal reparados
15	Excesivo debaste de madera en el primer lijado
16	lijas altamente desgastadas

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la realización de la lluvia de ideas se realizó el diagrama Ishikawa con el objetivo de ordenar las 16 causas potenciales de acuerdo a las 6M (Medio ambiente, mano de obra, materiales, máquina, método de trabajo, y medición). En la figura 3.17 se muestra el diagrama de Ishikawa de las potenciales causas de la generación del scrap de madera,

como se puede apreciar la mayoría de las posibles causas están asociadas a la mano de obra, método de trabajo, materiales, y maquinaria.

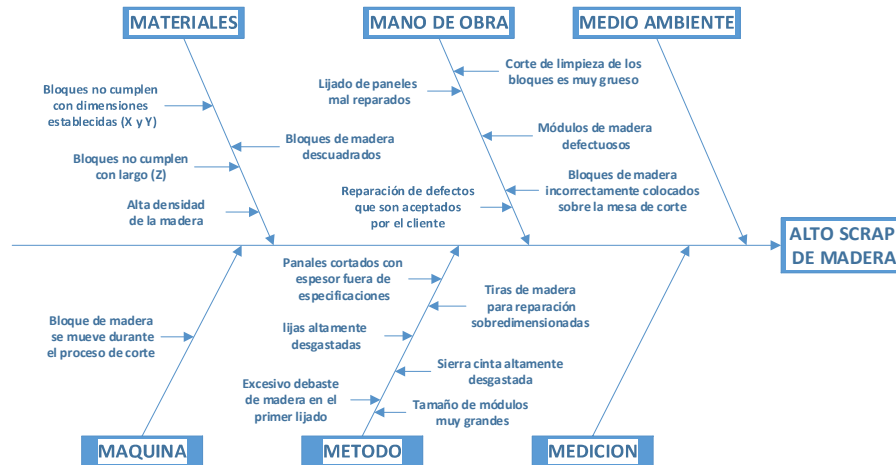


Figura 3.17 Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Matriz de priorización causa-efecto

Con las 16 causas potenciales obtenidas mediante la lluvia de ideas se procedió a desarrollar la matriz de priorización de causas con el objetivo de determinar las principales potenciales causas generadoras del scrap de madera durante el proceso de elaboración de paneles rígidos. Como variables de salida se estableció el rendimiento de madera en el proceso de corte (Y1), consumo de madera en el proceso de reparación (Y2), y el porcentaje de paneles rechazados en el proceso de lijado (Y3). Las 16 causas potenciales representan las variables de entrada (X's). En la figura 3.18 se muestra la matriz de priorización causa-efecto.

Con los resultados de la matriz causa efecto se desarrolló el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la figura 3.19. Como se puede evidenciar específicamente 5 causas (31% de las causas) generan el 67% de los efectos, las mismas se consideran como las principales fuentes potenciales del problema. Estas cinco causas se detallan a continuación: Paneles cortados con espesor fuera de especificaciones (1), bloques de madera descuadrados (2), bloque de madera se mueve durante el proceso de corte (5), bloques no cumplen con el largo establecido (8), y bloques no cumplen con las dimensiones establecidas (X y Y) (9).

MATRIZ CAUSA EFECTO		VARIABLES DE SALIDA Y's			TOTAL	
		Y1	Y2	Y3		
		10	7	5		
VARIABLES DE ENTRADA X'S	1	Panales cortados con espesor fuera de especificaciones	9		3	105
	2	Bloques de madera descuadrados	9	1	1	102
	3	Corte de limpieza de los bloques es muy grueso	3			30
	4	Bloques de madera incorrectamente colocados sobre la mesa de corte	3			30
	5	Bloque de madera se mueve durante el proceso de corte	9		3	105
	6	Alta densidad de la madera	1		3	25
	7	Sierra cinta altamente desgastada	1		3	25
	8	Bloques no cumplen con largo (Z) establecido	9	1	1	102
	9	Bloques no cumplen con dimensiones establecidas (X y Y)		9		63
	10	Reparación de defectos que son aceptados		1		7
	11	Módulos de madera defectuosos		3	1	26
	12	Tiras de madera para reparación sobredimensionadas		3		21
	13	Tamaño de módulos (madera para reemplazar los defectos) muy grandes		3		21
	14	Lijado de paneles mal reparados		1	3	22
	15	Excesivo debaste de madera en el primer lijado			3	15
	16	lijas altamente desgastadas			3	15

Y1: Rendimiento de madera en corte
Y2: Consumo de madera en reparación
Y3: % de paneles rechazados en lijado

Figura 3.18 Matriz de priorización de causas

Fuente: Elaboración propia

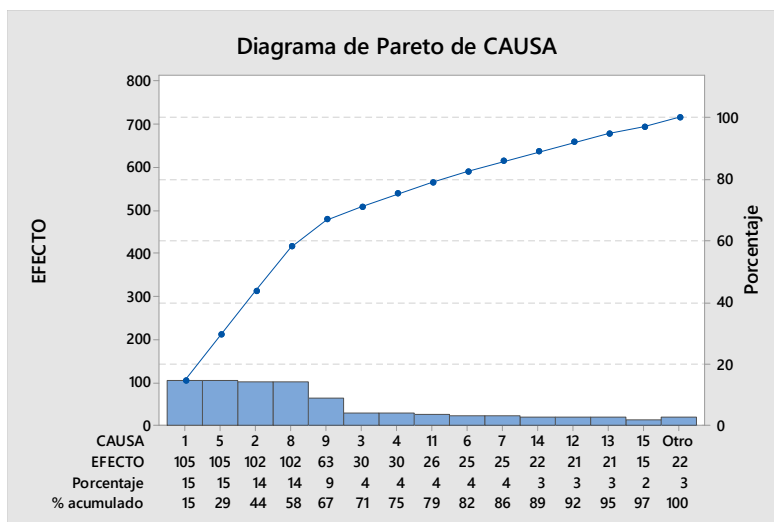


Figura 3.19 Diagrama de Pareto causa – efecto

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Plan de verificación de causas

Como se muestra en la matriz de priorización, se identificaron como principales a cinco causas potenciales del problema. En el presente punto se enseña el plan que se utilizó para verificar que estas realmente representaban una causa significativa para la generación del scrap de madera balsa en el proceso de fabricación de paneles rígidos. En la tabla 11 se muestra el plan de verificación de causas.

**Tabla 11
Plan de verificación de causas**

PLAN DE VERIFICACIÓN DE CAUSAS					
CAUSA POTENCIAL (X's)	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	MÉTODO DE VERIFICACION	ESTADO	VARIABLE ES SIGNIFICATIVA
Panales cortados con espesor fuera de especificaciones	El espesor de corte de paneles EC(min) y EC(max) supera el estándar establecido	El rendimiento de los bloques SPP(Bft) se encuentra por debajo del estándar establecido	Prueba de hipótesis para evaluar si existe diferencia entre el estándar establecido y el promedio actual; y análisis de capacidad.	Verificado	SI
Bloques de madera descuadrados	Descuadre de bloques supera especificación establecida	El rendimiento de los bloques SPP(Bft) se encuentra por debajo del estándar establecido	Prueba de hipótesis para evaluar si existe diferencia entre el estándar establecido y el promedio actual; y análisis de capacidad.	Verificado	NO
Bloque de madera se mueve durante el proceso de corte	Movimiento de los bloques genera alta variación en el proceso	El rendimiento de los bloques SPP(Bft) se encuentra por debajo del estándar establecido	Estudio de capacidad del proceso para los indicadores EC(min), EC(max), y SPP(Corte)	Verificado	SI
Bloques no cumplen con largo (Z) establecido	El largo de los bloques Z no cumple con el estándar mínimo establecido.	El rendimiento de los bloques SPP(Bft) se encuentra por debajo del estándar establecido	Prueba de hipótesis para evaluar si existe diferencia entre el estándar establecido y el promedio actual; y análisis de capacidad.	Verificado	NO
Bloques no cumplen con dimensiones establecidas (X y Y)	X(Bloque) y Y(Bloque) no cumplen con el estándar mínimo establecido	Incremento en el consumo de tiras de madera para reparar paneles	Prueba de hipótesis para evaluar si existe diferencia entre el estándar establecido y el promedio actual; y análisis de capacidad.	Verificado	SI

Fuente: Elaboración propia

En los siguientes párrafos se detalla el método que se utilizó para verificar la influencia de las cinco causas potenciales (X's) sobre la generación del scrap de madera (Y).

Paneles cortados con espesor fuera de especificaciones: Una de los indicadores críticos en el proceso de elaboración de paneles de madera es el espesor de corte. Debido a que un panel de madera balsa presenta varios espesores a lo largo del mismo se considera importante establecer un espesor de corte mínimo EC(min) y uno máximo EC(max) por cada panel. Tanto el EC(min) y EC(max) deben cumplir con la siguiente especificación, $(E+0,075)\pm 0,005$ (pulgadas) donde E es el espesor nominal de una orden de producción. Para nuestro estudio el valor nominal de E es igual a 1,750 pulgadas (1 3/4), por lo tanto, EC(min) y EC(max) deben estar en el rango de $1,825\pm 0,005$ pulgadas. Este espesor permite que cada panel pueda ser lijado hasta en dos ocasiones, con el objetivo de que, si se detecta un defecto en el panel durante el primer lijado, este se pueda reparar y lijar nuevamente. Debido a lo indicado, si el proceso de corte genera espesores superiores al señalado se está generando un desperdicio de madera innecesario, esto provoca una disminución en el rendimiento de los bloques. Para validar lo indicado se procedió a realizar pruebas de hipótesis para determinar si los espesores de corte EC(min), EC(max), y el desperdicio de madera en el proceso de corte SPP(Corte) superan los estándares establecidos. Adicionalmente se realizó un análisis de capacidad para determinar el desempeño del proceso.



Figura 3.20 Medición del espesor de un panel

Fuente: Elaboración propia

Bloques de madera descuadrados: Un bloque descuadrado genera la necesidad de realizar un corte de limpieza de gran espesor, esto provoca un alto desperdicio de madera, tal como se muestra en la figura 3.21. Debido a lo indicado existe un estándar donde se establece el descuadre máximo permitido en los bloques (0,50 pulgadas). Este descuadre máximo permitido en los bloques corresponde a un requerimiento que deben cumplir los proveedores de bloques. Para evaluar esta causa se desarrolló una prueba de hipótesis para verificar si las variables D11-D12 y D21-D22 superan el estándar establecido. Adicionalmente se realizó un análisis de capacidad para determinar el desempeño del proceso.

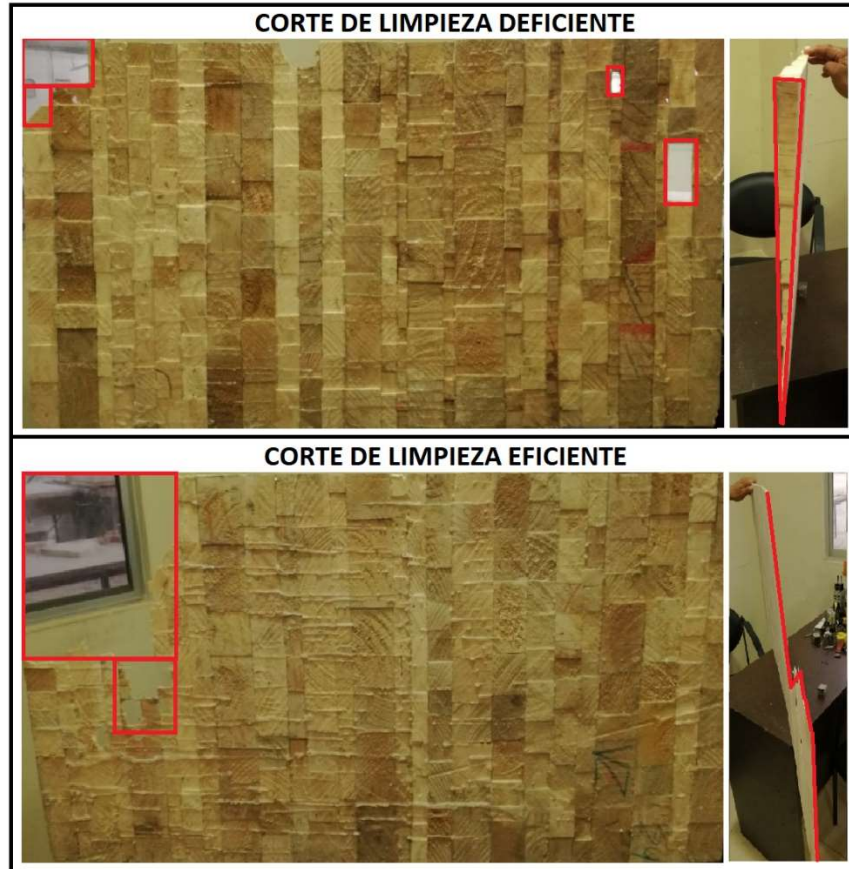


Figura 3.21 Vista frontal y lateral de corte de limpieza de bloques

Fuente: Elaboración propia

Bloques de madera se mueven durante el proceso de corte: La inestabilidad o ligeros movimientos que experimentan los bloques durante el proceso de corte produce un incremento en la variación del proceso, por lo que se genera la necesidad de programar la sierra de corte a un espesor mayor al estándar establecido, esto con el objeto de evitar que se produzcan paneles con espesores inferiores al mínimo permitido. Para verificar esta causa se procedió a realizar un análisis de capacidad del proceso de corte para las variables EC(min) y EC(max) para determinar si la variación actual nos permite cumplir con el estándar establecido.

Bloques no cumplen con el largo establecido (Z): El número de paneles resultante de un bloque y el rendimiento del mismo depende directamente del largo del bloque (Z). Todo bloque que ingresa a la planta debe tener un excedente de 0,50 pulgadas con respecto a su largo nominal, es decir, si un bloque tiene un largo (Z) nominal de 24,00 pulgadas, este deberá medir por lo menos 24,50 pulgadas, caso contrario no puede ingresar al proceso productivo. Para verificar esta causa también se utilizó una prueba de hipótesis para ver si se cumplía con el estándar establecido. Adicionalmente se realizó un análisis de capacidad para determinar el desempeño del proceso.



Figura 3.22 Largo de un bloque (Z)

Fuente: Elaboración propia

Bloques no cumplen con las dimensiones establecidas (X y Y): Los bloques deben cumplir con un alto (X) y ancho (Y) mínimo, los cuales son 24,50 y 48,50 pulgadas respectivamente. En caso de que esto no se cumpla será necesario pegar tiras en los costados de los paneles para que estos alcense su dimensión mínima, lógicamente esta actividad genera un consumo adicional de madera (scrap). Como en las causas anteriores se utilizó una prueba de hipótesis para verificar el cumplimiento de este estándar. Adicionalmente se realizó un análisis de capacidad para determinar el desempeño del proceso.



Figura 3.23 Ancho (Y) y alto (X) de un bloque

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Verificación de Causas

Debido a que parte de la verificación de las causas se basa en el análisis de capacidad, fue necesario determinar qué tipo de distribución estadística seguían las variables estudiadas, para esto se utilizó la herramienta de prueba de bondad del ajuste, los resultados se muestran en la tabla 12. Para la realización de las pruebas desarrolladas en esta sección se utilizaron las muestras finales que se detallan en los anexos L, M, y N.

Tabla 12
Prueba de bondad del ajuste

PRUEBA DE BONDAD DEL AJUSTE								
DISTRIBUCIÓN	VALOR P:							
	EC (min)	EC (max)	SPP	D11-D12	D21-D22	Z (Bloque)	X(Bloque)	Y(Bloque)
Logística	0,071	0,213	0,005	0,005	0,005	0,128	0,250	0,224
Loglogística	0,068	0,208	0,005	0,005	0,005	0,128	0,250	0,225
Loglogística de 3 parámetros	*	*	*	*	*	*	*	*
Valor extremo mas pequeño	0,250	0,250	0,010	0,010	0,010	0,119	0,250	0,139
Valor extremo por máximos	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,136	0,086	0,250
Gamma	0,063	0,109	0,005	0,005	0,005	0,200	0,250	0,250
Gamma de 3 parámetros	*	*	*	*	*	*	*	*
Exponencial	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Exponencial de 2 parámetros	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,074	0,017	0,112
Weirbull	0,250	0,250	0,010	0,010	0,010	0,120	0,250	0,141
Weirbull de 3 parámetros	0,289	0,500	0,005	0,005	0,005	0,100	0,500	0,296
Normal	0,060	0,091	0,005	0,005	0,005	0,172	0,323	0,281
Transformación Box-Cox	0,070	0,111	0,005	0,005	0,005	0,173	0,365	0,288
Lognormal	0,057	0,087	0,005	0,005	0,005	0,172	0,313	0,028
Lognormal de 3 parámetros	*	*	*	*	*	*	*	*

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 12, con un 95% de confianza se concluye que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que las variables EC(min), EC(max), Z(Bloque), X(Bloque), y Y(Bloque) siguen una distribución normal (se aceptan que estas variables son normales). Con respecto a las variables SPP, D11-D12, y D21-D22, se puede concluir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar que estas se comportan como una de las distribuciones evaluadas; estas tres variables a pesar de los resultados también fueron consideradas como normales para la realización del análisis. En los siguientes párrafos se detalla la verificación de las cinco potenciales causas del problema.

Paneles cortados con espesor fuera de especificaciones: Inicialmente se evaluó las hipótesis de que si los espesores de corte EC(min) y EC(max) son menores al límite de especificación superior, el cual es de 1,83 pulgadas. Para esto se utilizó la herramienta t de una muestra del software Minitab, los resultados se muestran en las imágenes 3.24 y 3.25.

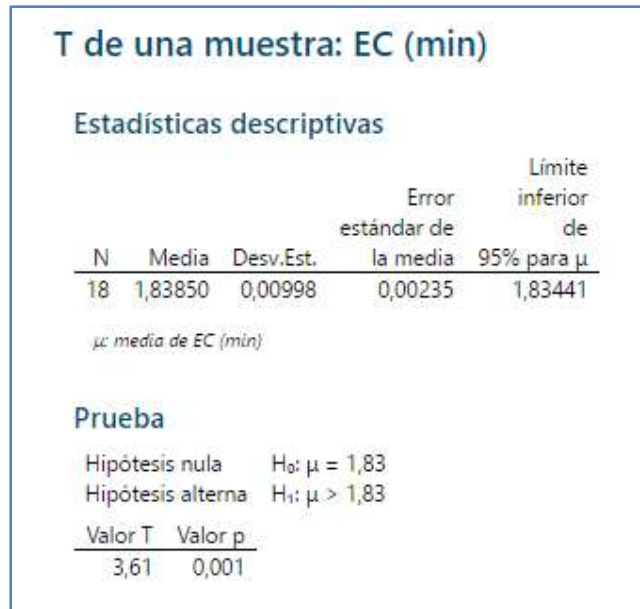


Figura 3.24 Prueba de hipótesis EC(min)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en las figuras 3.24 y 3.25 los valores de P son menores a 0,05, con esto se concluye con un 95 % de confianza que existe la suficiente evidencia estadística para rechazar las hipótesis de que EC(min) y EC(max) tienen una media igual o menor a 1,83 pulgadas, por lo tanto, se acepta que ambas variables tienen en promedio un valor mayor a 1,83 pulgadas.

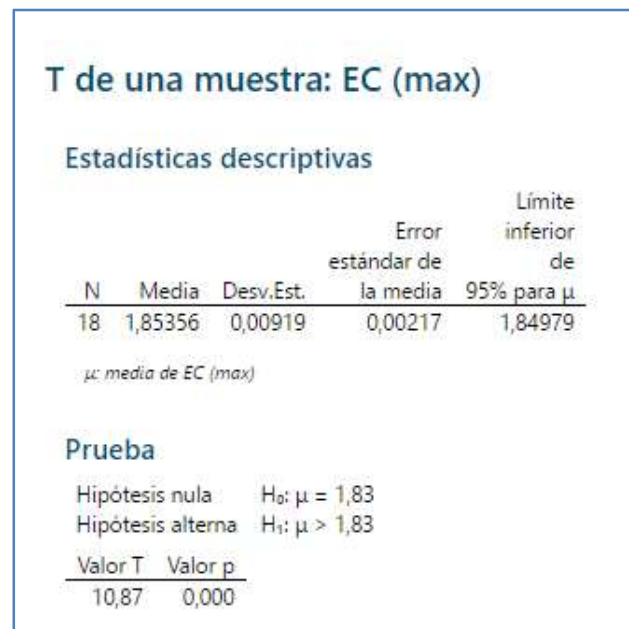


Figura 3.25 Prueba de hipótesis EC(max)

Fuente: Elaboración propia

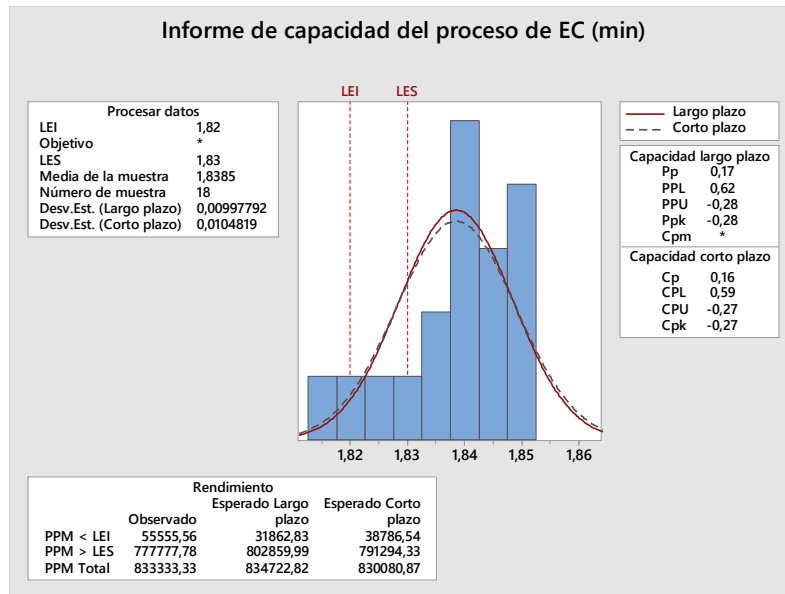


Figura 3.26 Análisis de capacidad EC(min)

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 3.26 y 3.27 se muestran los resultados del análisis de capacidad para las variables EC(min) y EC(max). Como se puede visualizar en los histogramas de las dos variables, la gran mayoría de los paneles poseen un espesor que supera significativamente el LES (1,83 pulgadas), por lo cual se concluye que la causa analizada es significativa. Lo mismo se puede concluir si se analiza las partes por millón (PPM) que superan el LES, tanto los valores observados como los esperados a corto y a largo plazo que superan él LES representa al menos el 70% de toda la producción.

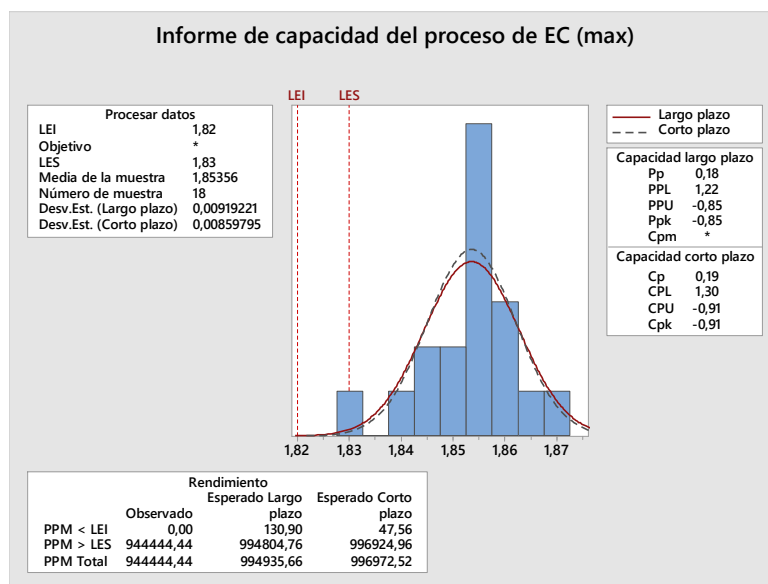


Figura 3.27 Análisis de capacidad EC(max)

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.28 Prueba de hipótesis SPP(Corte)

Fuente: Elaboración propia

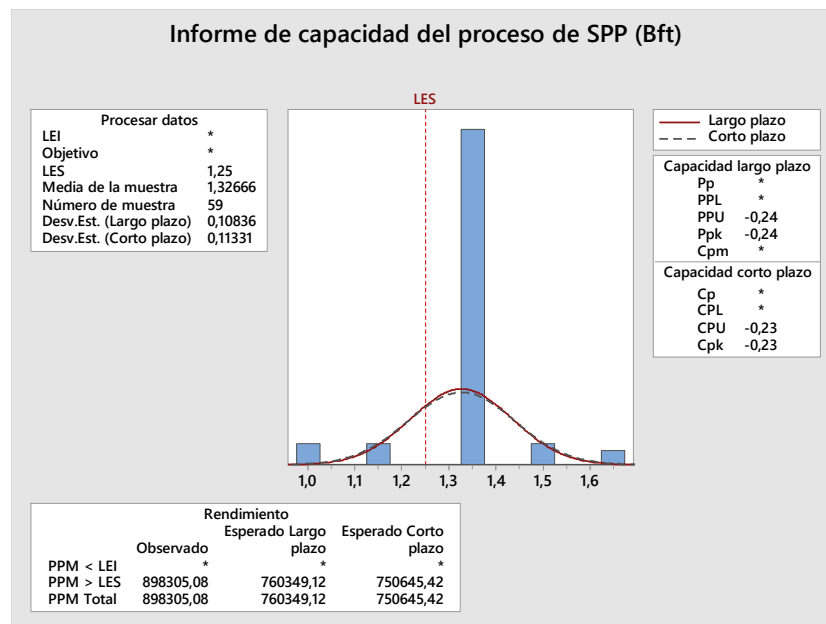


Figura 3.29 Análisis de capacidad SPP(Corte)

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 3.28 y 3.29 se muestran la prueba de hipótesis y el análisis de capacidad para la variable SPP(corte). Con un valor de P igual a 0,00 y con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis de que el scrap promedio por panel en el proceso de corte es menor o igual al estándar establecido (LES: 1,25 Bft), y se acepta que es mayor a 1,25 Bft. Adicionalmente se puede observar que las partes por millón que superan el LES es de al menos 75%. En base a todo lo indicado se puede establecer que la causa " *Paneles cortados con espesor fuera de especificaciones* " es significativa para el rendimiento de la madera.

Bloques de madera descuadrados: El objetivo en este punto fue determinar si el descuadre de los bloques supera el valor máximo permitido (LES: 0,5 pulgadas). Para esto se planteó inicialmente la hipótesis de si el descuadre de una de las caras de los bloques (D11-D12) es mayor o igual a 0,5 pulgadas, versus la hipótesis alterna de si es menor al valor indicado. Como se puede apreciar en la figura 3.30, para esta prueba de hipótesis tenemos un valor P igual a 0,00, con esto se puede concluir con un 95% de confianza que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que el descuadre de los bloques de madera D11-D12 es mayor o igual a 0,5 pulgadas, por lo que se acepta que es menor al valor de 0,5 pulgadas.

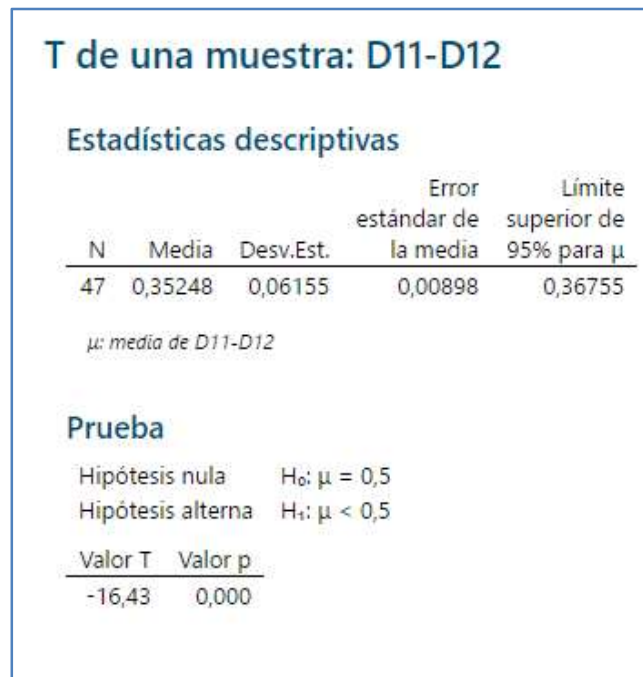


Figura 3.30 Prueba de hipótesis D11-D12

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.31 se muestra el análisis de capacidad para la variable descuadre del bloque (D11-D12), como se evidencia el índice de capacidad tanto a corto (Cpk) como a largo (Ppk) plazo es de 0,8, esto nos indica que el proceso podría ser analizado en busca de oportunidades de mejora. Esto también se puede observar en el indicador PPM, tanto a corto como a largo plazo, por cada millón de bloques que ingresen a la planta a lo mucho 8300 van a presentar un descuadre mayor a 0,5 pulgadas, lo cual no se consideró significativo.

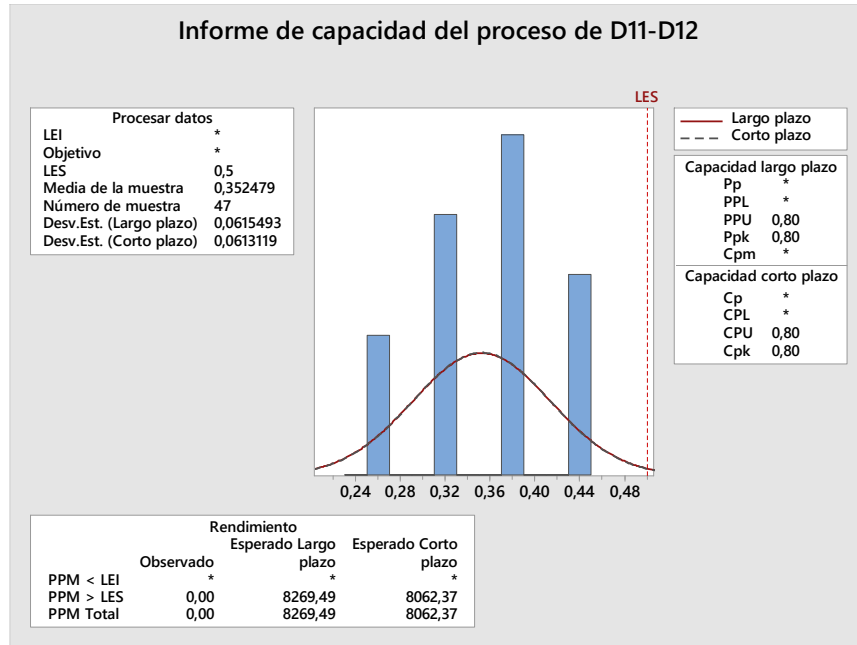


Figura 3.31 Análisis de capacidad D11-D12

Fuente: Elaboración propia

También se evaluó si el descuadre de la segunda cara lateral de los bloques (D21-D22) cumple con el estándar máximo de 0,5 pulgadas. En la figura 3.32 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis para esta variable. Como se aprecia el valor P es de 0,00, debido a esto también se concluye con un 95% de confianza que el descuadre D21-D22 es menor a 0,5 pulgadas.

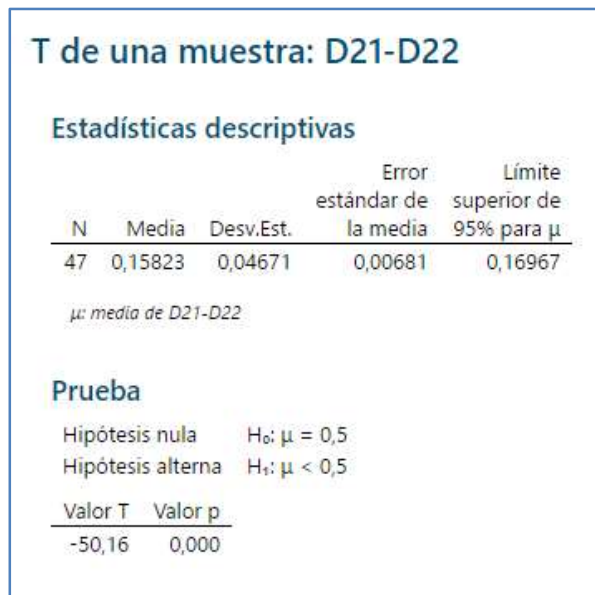


Figura 3.32 Prueba de hipótesis D21-D22

Fuente: Elaboración propia

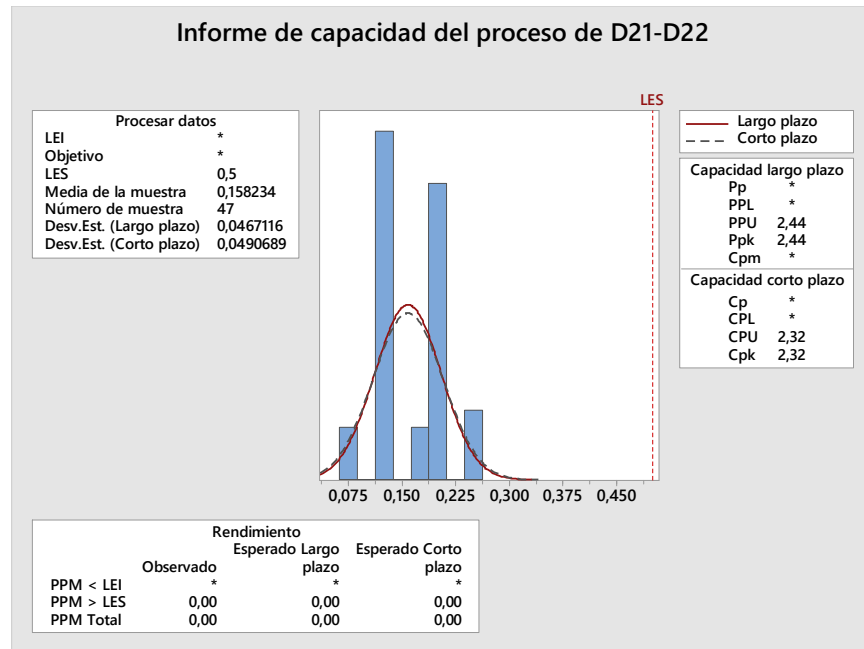


Figura 3.33 Análisis de capacidad D21-D22

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.33 se muestra el resultado del análisis de capacidad para D21-D22. En este caso tenemos un índice de capacidad a corto y a largo plazo de 2,32 y 2,44 respectivamente, lo cual indica que el proceso cumple de manera excelente el estándar de un descuadre máximo de 0,5 pulgadas. Lo mismo da a conocer el indicador PPM, este muestra que ningún bloque va a superar el LES.

En base a lo analizado se puede concluir que la causa “*Bloques de madera descuadrados*” no es significativa para el presente proyecto.

Bloques de madera se mueven durante el proceso de corte: Para verificar esta causa inicialmente se observó en el área de trabajo el comportamiento del bloque durante el proceso de corte, como resultado se pudo evidenciar que los bloques se movían ligeramente, de tal forma que el proceso de corte no era completamente estable. Posteriormente se analizó los índices de capacidad potencial a corto y a largo plazo de las variables EC(min) y EC(max), esto debido a que el proceso se encuentra descentrado con respecto a la media nominal (1,825 pulgadas). Para esto se utilizó los LEI y LES de 1,82 y 1,83 pulgadas respectivamente. Como se puede observar en la figura 3.26 el espesor de corte mínimo posee índices de capacidad Cp y Pp de 0,16 y 0,17 respectivamente. En la figura 3.27 se puede visualizar que el espesor de corte máximo posee índices de capacidad Cp y Pp de 0,19 y 0,18 respectivamente. Cuando un índice de capacidad es menor a 0,67 el proceso asociado al mismo se considera de categoría 4 (no adecuado), esto debido a que la variación del proceso es muy alta. En base a lo indicado se concluye que la causa “*Alta variación en el proceso de corte*” es significativa en la generación de scrap de madera.

Bloques no cumplen con el largo establecido (Z): El largo mínimo que debe cumplir cada bloque es de 24,50 pulgadas, para verificar esto se planteó la hipótesis de que el largo

promedio de los bloques (Z) es menor o igual al estándar indicado. En la figura 3.34 se muestra el resultado de la prueba realizada.

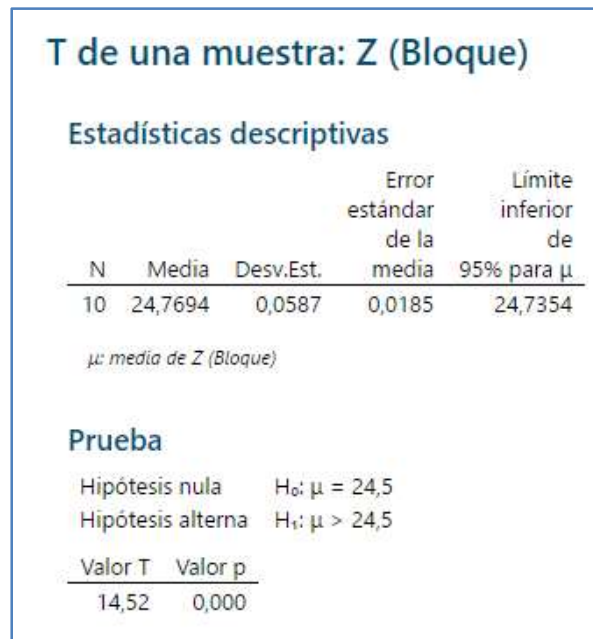


Figura 3.34 Prueba de hipótesis Z(Bloque)

Fuente: Elaboración propia

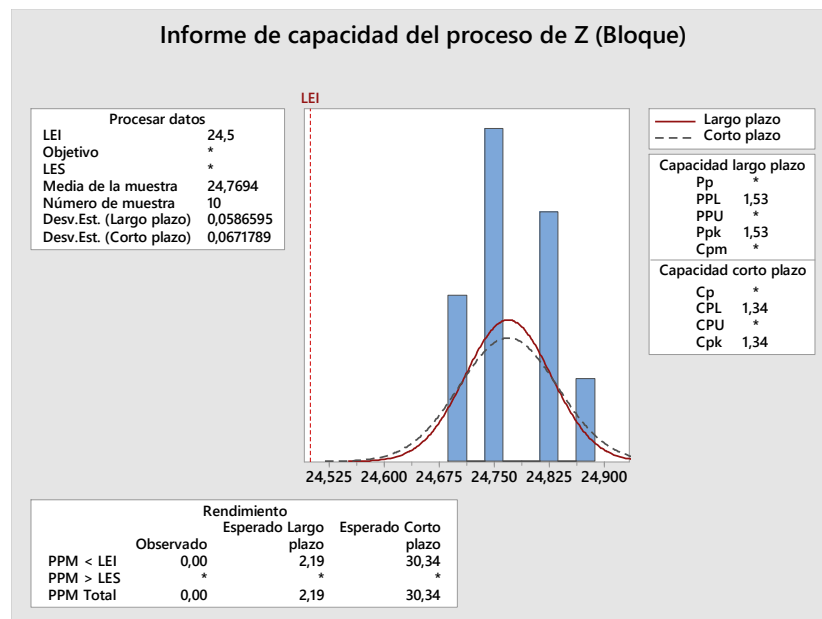


Figura 3.35 Análisis de capacidad Z(Bloque)

Fuente: Elaboración propia

Con un 95% de confianza y con un valor P igual a 0,000 se puede concluir que existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que los bloques de madera tienen un largo promedio igual a 24,500 pulgadas, y se acepta la hipótesis alterna de que los bloques superan el estándar mínimo establecido. Adicionalmente se puede apreciar en la figura 3.35 el análisis de capacidad para Z con un LEI de 24,50 pulgadas, en este caso tenemos los índices de capacidad Cpk y Ppk iguales a 1.34 y 1.53 respectivamente; y las PPM (observadas, a corto, y a largo plazo) que son inferiores al LEI representan un valor prácticamente insignificante. En base a lo indicado se puede concluir que el proceso de elaboración de bloques tiene la suficiente capacidad para cumplir con el estándar mínimo establecido, por lo que la causa "Bloques no cumplen con el largo establecido (Z)" no representa una variable significativa para el presente proyecto.

Bloques no cumplen con las dimensiones establecidas (X y Y): Las hipótesis que se plantearon para estas fuentes son: el alto del bloque X(Bloque) tiene un valor promedio menor o igual a 24,50 pulgadas, y el ancho del bloque Y(Bloque) tiene un valor promedio menor o igual a 48,50 pulgadas. En las figuras 3.36 y 3.37 se muestran los resultados de las pruebas de hipótesis para estas dos variables.

Para ambas variables, con un valor de P igual a 0,00, y con un 95% de confianza se puede concluir que existe la suficiente evidencia para rechazar las hipótesis nulas de que X(bloque) y Y(bloque) son menores o iguales a 24,5 y 48,5 pulgadas respectivamente, esto a favor de las hipótesis alternas que indican lo contrario.

T de una muestra: X (Bloque)				
Estadísticas descriptivas				
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
10	24,8000	0,2032	0,0643	24,6822
μ : media de X (Bloque)				
Prueba				
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 24,5$			
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 24,5$			
Valor T	Valor p			
4,67	0,001			

Figura 3.36 Prueba de hipótesis X (Bloque)

Fuente: Elaboración propia

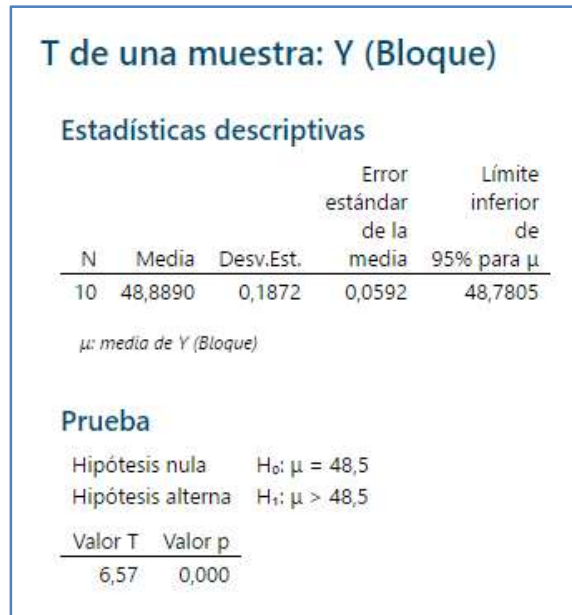


Figura 3.37 Prueba de hipótesis Y(Bloque)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.38 se encuentra el resultado del análisis de capacidad para el alto de los bloques (X), con un LEI de 24,500 pulgadas el proceso relacionado a esta variable posee índices de capacidad a corto y a largo plazo de 0,49 y 0,63 respectivamente, esto denota que el proceso no es adecuado y debe ser revisado en busca de oportunidades de mejora. Las PPM indican que, por cada millón de bloques, 100000 van a presentar un X(bloque) menor a 24,500 pulgadas (según valores observados).

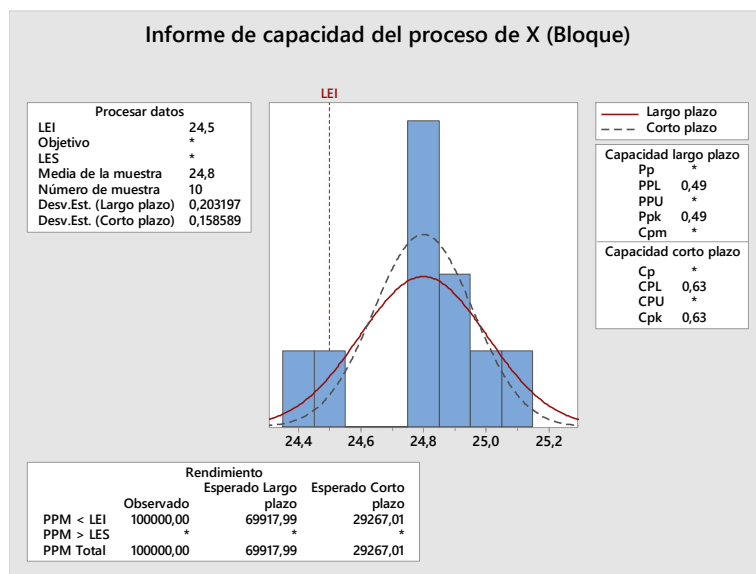


Figura 3.38 Análisis de capacidad X(Bloque)

Fuente: Elaboración propia

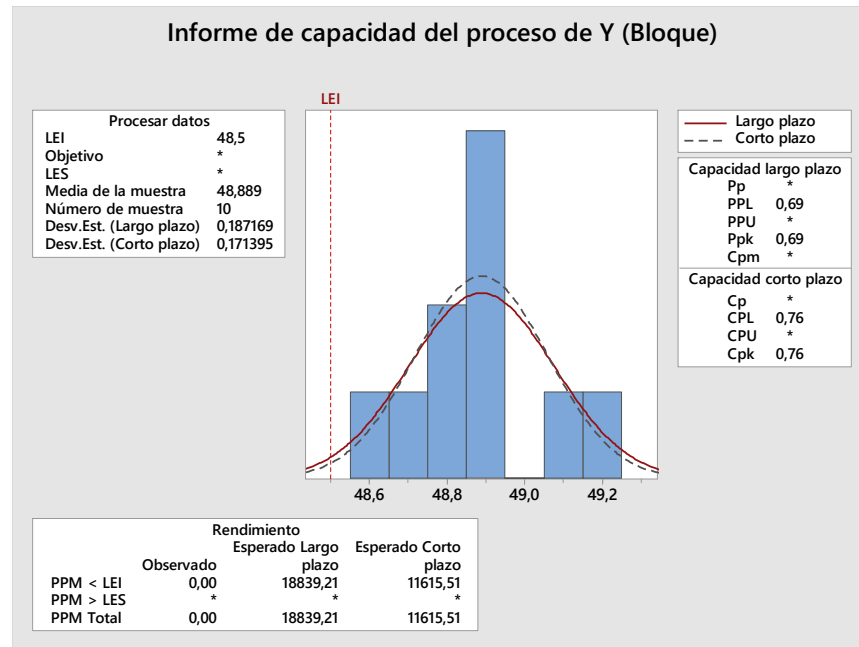


Figura 3.39 Análisis de capacidad Y(Bloque)

Fuente: Elaboración propia

El resultado del análisis de capacidad para el ancho de los bloques Y(bloque), se detalla en la figura 3.39, esta muestra valores de Cpk y Ppk de 0,76 y 0,69 respectivamente. Estos valores de índice de capacidad igual que en el caso anterior denotan la necesidad de buscar oportunidades de mejora. Las PPM que son menores al LEI, a corto y a largo plazo superan las 11000 unidades.

En conclusión, se puede establecer que un porcentaje considerable de los bloques (aproximadamente el 10%) posee un X(bloque) menor al LEI, por lo que la causa "Bloques no cumplen con las dimensiones establecidas (X y Y)" se considera significativa.

3.3.5. Herramienta 5 porque's

Como resultado de la verificación de las causas (X's), tres de estas son significativas. Para encontrar las causas raíz del problema del alto scrap promedio de madera por panel rígido se utilizó la herramienta de los cinco porque's para analizar cada una de las tres X's significativas.

En la figura 3.40 se analiza la X "paneles cortados con espesor fuera de especificaciones", para esta se encontró una causa raíz, la cual es, no tener establecido parámetros operacionales adecuados.


PROBLEMA: PANELES CORTADOS CON ESPESOR FUERA DE ESPECIFICACIONES									
RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS	RONDA 5	HIPÓTESIS
¿Por qué se genera el problema?	SI	¿Por qué los equipos de corte se calibran por encima del estándar?	SI	¿Por qué la variación de los equipos es elevada?	¿Por qué la calibración se realiza según el criterio del operador?				
Porque los equipos de corte se calibran por encima del estándar		Porque la variación de los equipos de corte es elevada		Porque la calibración del equipo se realiza según el criterio del operador.	Porque no se han establecido parámetros operacionales adecuados	 CAUSA RAÍZ			

Figura 3.40 5 Porque's: Paneles cortados fuera de especificaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.41 se analiza la X "bloques de madera se mueven durante el proceso de corte", para esta se encontraron dos causas raíz: la sujeción de los bloques de madera únicamente en dos puntos de apoyo, y el diámetro inadecuado de los tornillos sin fin del sistema de avance de los bloques, esto se muestra en la figura 3.42. Cada una de las hipótesis generadas en este punto fue validada mediante entrevistas que se les realizó a los operadores de los equipos de corte, y con el soporte del personal de mantenimiento.



PROBLEMA: BLOQUES DE MADERA SE MUEVEN DURANTE EL PROCESO DE CORTE									
RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS	RONDA 5	HIPÓTESIS
¿Por qué se genera el problema?	SI	¿Por qué el sistema de sujeción-avance de bloques es inestable?	SI	¿Por qué el sistema de anclaje de los bloques es débil?					
Porque el sistema de sujeción-avance de los bloques es inestable		Porque el sistema de anclaje de los bloques es débil		Porque únicamente sujetan dos puntos del bloque	 CAUSA RAÍZ				
		Porque los tornillos sin fin del sistema de avance son inestables	SI	¿Por qué los tornillos sin fin son inestables?					
				Porque el diámetro de los tornillos sin fin es muy delgado	 CAUSA RAÍZ				

Figura 3.41 5 Porque's: Bloques de madera se mueven durante el corte

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.42 Puntos de sujeción y tornillos sin fin del equipo de corte

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la X "bloques no cumplen con dimensiones establecidas X y Y" se muestra en la figura 3.43, para esta se encontró una causa raíz, la falta de un procedimiento para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques durante su recepción. Cada una de las hipótesis generadas en este punto fue validada mediante entrevistas que se les realizó al personal encargado de la recepción de los bloques.

PROBLEMA: BLOQUES NO CUMPLEN CON DIMENSIONES ESTABLECIDAS (X y Y)									
RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS	RONDA 5	HIPÓTESIS
¿Por qué se genera el problema?		¿Por qué no es adecuado el control del cumplimiento de las especificaciones?		¿Por qué el control se realiza bajo criterio del operador?					
Porque el control del cumplimiento de las especificaciones de los bloques no es adecuado	SI	Porque el control lo realizan los operadores según su criterio	SI	Porque no existe un procedimiento establecido.	CAUSA RÁIZ				

Figura 3.43 5 Porque´s: Bloques no cumplen con dimensiones (X y Y)

Fuente: Elaboración propia

3.4. Mejora del proceso (IMPROVE)

3.4.1. Plan de mejora

Con la participación de los miembros del equipo de trabajo de este proyecto se realizó una lluvia de ideas para generar potenciales soluciones para cada una de las causas raíz que se determinaron durante la etapa de análisis. En la tabla 13 se muestran las potenciales soluciones que se generaron.

Tabla 13
Lluvia de ideas – Potenciales soluciones

#	CAUSAS RAÍZ	#	LLUVIA DE IDEAS DE SOLUCIONES
1	No se han establecido parámetros operacionales adecuados en el equipo de corte.	1	Realizar un estudio para determinar bajo que parámetros operacionales debe trabajar el equipo de corte.
		2	Comprar un equipo de corte con mayor precisión
2	El equipo de corte únicamente sujeta dos puntos de los bloques	3	Comprar un equipo de corte con mayor precisión
		4	Rediseñar el sistema de anclaje de los bloques.
		5	Cambiar completamente la mesa del equipo de corte.
3	El diámetro de los tornillos sin fin del equipo de corte es muy delgado	6	Comprar un equipo de corte con mayor precisión
		7	Cambiar los tornillos sin fin actuales por unos de mayor diámetro (Rediseño).
		8	Cambiar completamente la mesa del equipo de corte.
4	No existe un procedimiento para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques durante su recepción	9	Implementar un sistema basado en muestreo de aceptación para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques.
		10	Implementar un sistema basado en la inspección del 100% de los bloques para garantizar que todos cumplan las especificaciones.

Fuente: Elaboración propia

En total se generaron 10 soluciones, pero de estas algunas se repiten (las soluciones 2, 3, y 6 corresponden a la compra de un nuevo equipo de corte; y las soluciones 5 y 8 hacen referencia a cambiar completamente la mesa del equipo de corte). En total, se plantean 7 potenciales soluciones diferentes, estas fueron posteriormente evaluadas para priorizar el desarrollo e implementación de las mismas.

Para la priorización de las soluciones se consideraron tres factores, facilidad de implementación, costo, y beneficio, con un peso de 7, 10, y 8 respectivamente. Cada una de las soluciones fue calificada en un rango del 1 al 9 con respecto a cada factor, donde uno es la calificación menos favorable, y nueve la más favorable. En la tabla 14 se muestran los resultados de la priorización de soluciones. De las siete posibles soluciones, únicamente cuatro alcanzaron una mayor puntuación, y cada una está orientada a contrarrestar una causa raíz. Las soluciones seleccionadas fueron: realizar un estudio para determinar bajo que parámetros operacionales debe trabajar el equipo de corte, rediseñar el sistema de anclaje de los bloques, cambiar los tornillos sin fin actuales por unos de mayor diámetro, e implementar un sistema basado en la inspección del 100% de los bloques para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los mismos.

Tabla 14
Matriz de priorización de soluciones

		FACILIDAD DE DESARROLLO	COSTO	BENEFICIO	
#	POTENCIALES SOLUCIONES	7	10	8	TOTAL
1	Realizar un estudio para determinar bajo que parámetros operacionales debe trabajar el equipo de corte.	6	9	7	188
2	Comprar un equipo de corte con mayor precisión	4	2	9	120
3	Rediseñar el sistema de anclaje de los bloques.	7	7	6	167
4	Cambiar completamente la mesa del equipo de corte.	4	4	8	132
5	Cambiar los tornillos sin fin actuales por unos de mayor diámetro (Rediseño).	8	8	6	184
6	Implementar un sistema basado en muestreo de aceptación para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques.	5	8	6	163
7	Implementar un sistema basado en la inspección del 100% de los bloques para garantizar que todos cumplan las especificaciones.	7	7	9	191

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las soluciones para cada causa raíz se desarrolló un plan de implementación, este implica una inversión aproximada de \$2200, y una fecha máxima de cumplimiento del 15 de febrero del 2021. En la tabla 15 se muestra el plan para el desarrollo e implementación de las mejoras.

Tabla 15
Plan de implementación de soluciones

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN							
CAUSA RÁIZ	SOLUCIÓN	POR QUE	DONDE	RESPONSABLE	COSTO	CUANDO	ESTADO
No se han establecido parámetros operacionales adecuados en el equipo de corte	Realizar un estudio para determinar bajo que parámetros operacionales debe trabajar el equipo de corte.	Para disminuir el espesor de los paneles durante el corte.	En la sierra de corte 1.	Jefe de Producción	\$ 250,00	28/01/2021	Terminado
El equipo de corte únicamente sujeta dos puntos de los bloques	Rediseñar el sistema de anclaje de los bloques.	Mejorar la estabilidad de los bloques durante el corte.	En la sierra de corte 1.	Jefe de Mantenimiento	\$ 1.500,00	15/12/2020	Terminado
El diámetro de los tornillos sin fin del equipo de corte es muy delgado.	Cambiar los tornillos sin fin actuales por unos de mayor diámetro (Rediseño).	Mejorar la estabilidad de los bloques durante el corte.	En la sierra de corte 1.	Jefe de Mantenimiento	\$ 350,00	15/12/2020	Terminado
No existe un procedimiento para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques durante su recepción	Implementar un sistema basado en la inspección del 100% de los bloques para garantizar que todos cumplan las especificaciones.	Los bloques de madera no cumplen con las especificaciones X y Y.	Área de recepción de bloques.	Jefe de Producción	\$ 100,00	15/02/2021	Terminado

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Desarrollo e implementación de las mejoras

a) Rediseño del equipo de corte

De acuerdo al plan de implementación, la primera solución que se desarrolló fue el rediseño o mejora del sistema de anclaje y arrastre de los bloques de madera. El departamento de mantenimiento para mejorar la sujeción de los bloques instaló un sistema de absorción el

cual genera una presión negativa sobre toda la superficie del bloque a cortar evitando que el mismo se mueva. Adicionalmente se cambiaron los tornillos sin fin, los cuales tenían un diámetro de 1 pulgada, por unos de 1 ½ pulgada. Estas modificaciones se realizaron con el objetivo de disminuir las vibraciones y movimientos no deseados de los bloques de madera durante su corte. En la figura 3.44 se muestra la situación inicial del equipo de corte, y en la figura 3.45 se muestra el equipo de corte después de las modificaciones realizadas.

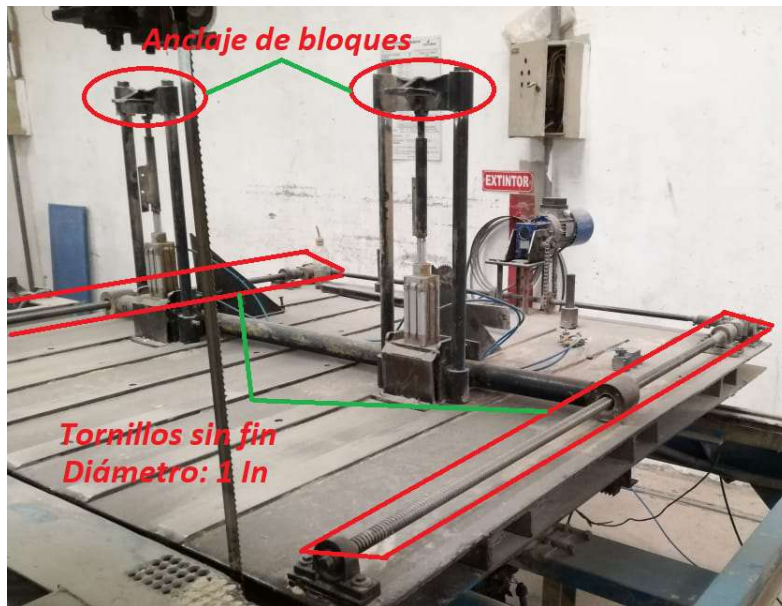


Figura 3.44 Equipo de corte situación inicial

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.45 Equipo de corte mejorado

Fuente: Elaboración propia

b) Determinación de parámetros operacionales del equipo de corte

Para determinar los parámetros operacionales del equipo de corte se utilizó el diseño experimental (DOE), el tipo de diseño que se empleó fue el de factoriales completos, específicamente 2^3 , es decir que se consideraron 3 factores y para cada uno de estos 2 niveles. Los factores y niveles fueron establecidos con los miembros del equipo de trabajo DMAIC, estos se describen a continuación:

Factor 1 (F1): Corresponde a la velocidad de posicionamiento del bloque entre el corte de un panel y otro. El dispositivo que controla el espesor de corte de los paneles está formado básicamente por un elemento mecánico y un láser, la precisión de este dispositivo probablemente se encuentre afectado por la velocidad de posicionamiento, es decir, que a mayor velocidad de posicionamiento la precisión en el espesor de corte podría disminuir. La velocidad de posicionamiento se ha seteado históricamente en un rango de 40 a 60. Debido a aspectos de eficiencia, y por recomendaciones del área de mantenimiento se procedió a establecer para este factor los niveles de 40 y 60. En la figura 3.46 se muestra el sentido del movimiento de posicionamiento de los bloques.



Figura 3.46 Movimiento de posicionamiento de los bloques

Fuente: Elaboración propia

Factor 2 (F2): Corresponde a la velocidad de corte, históricamente este factor se ha seteado en un rango de 10 a 15, una velocidad menor de 10 impactaría negativamente en la productividad, y una velocidad mayor de 15 genera un acabado defectuoso en los paneles. Este rango de trabajo fue determinado por el equipo de mantenimiento en conjunto con el área de calidad. De acuerdo a lo indicado los niveles para este factor son 10 y 15. En la figura 3.47 se muestra el sentido del desplazamiento del corte de los bloques.

Factor 3 (F3): La presión con que se tense la cinta sierra es un factor importante en el proceso de corte, esta variable influye en la calidad del acabado del corte y en las variaciones presente en la superficie de los paneles. Históricamente y por recomendaciones

del fabricante de las sierras las presiones con que se trabaja se encuentran en un rango de 25000 a 32500 PSI, debido a esto, los dos valores indicados representan los niveles para este factor. En la tabla 16 se muestran los tres factores con sus respectivos niveles que se consideraron para el desarrollo del experimento.



Figura 3.47 Desplazamiento de corte

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16
Factores y niveles del experimento

FACTOR	NIVELES	
F1: Velocidad de posicionamiento del bloque	40	60
F2: Velocidad de corte	10	15
F3: Tensión de sierra cinta	25000 (PSI)	32500 (PSI)

Fuente: Elaboración propia

Para terminar de definir el diseño del experimento se procedió a determinar el número de réplicas necesarias a realizar. Para esto se utilizó la herramienta “potencia y tamaño de la muestra para diseño factorial de dos niveles” del software Minitab. En la tabla 17 se muestran los parámetros que se utilizaron para calcular el número de réplicas para las variables EC(min) y EC(max). La media real y la desviación estándar se determinaron a partir de las muestras finales que se encuentran en el anexo M.

Tabla 17
Datos para calcular el número de réplicas

	EC (min)		EC (max)	
Número de factores:	3	3	3	3
Número de puntos de esquina (2^f):	2^3	8	2^3	8
Efectos (Media real - Media objetivo):	1,839 - 1,825	0,014	1,854 - 1,825	0,029
Valores de potencia (1 - B):	0,85	0,85	0,95	0,95
Número de puntos centrales por bloque:	0	0	0	0
Desviación estándar:	0,01	0,01	0,009	0,009

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 3.48 y 3.49 se muestran los resultados correspondientes al cálculo del número de réplicas necesarias para el experimento a realizar, para la variable EC(min) se requieren tres réplicas, y para EC(max) dos. Debido a que las muestras utilizadas para determinar los valores de EC(min) son las mismas que para determinar EC(max), el número total de réplicas que se consideró fue de tres.

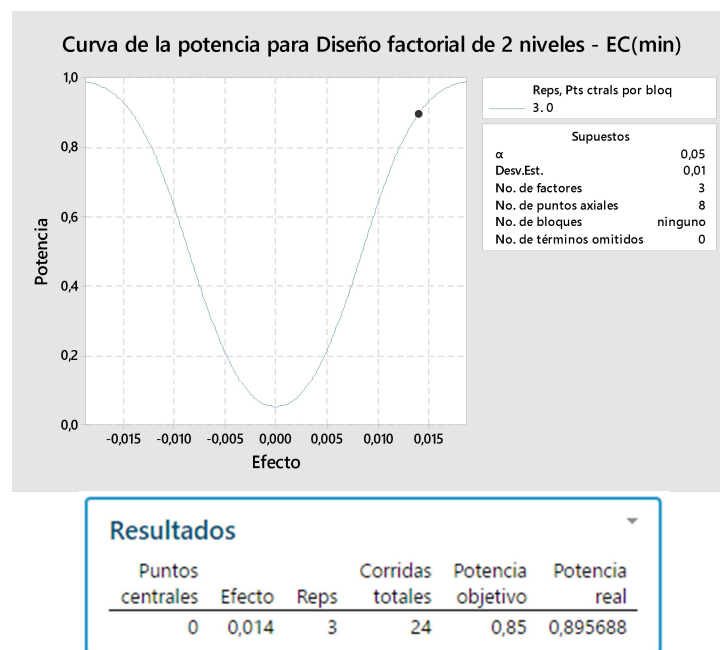


Figura 3.48 Resultado número de réplicas EC(min)

Fuente: Elaboración propia

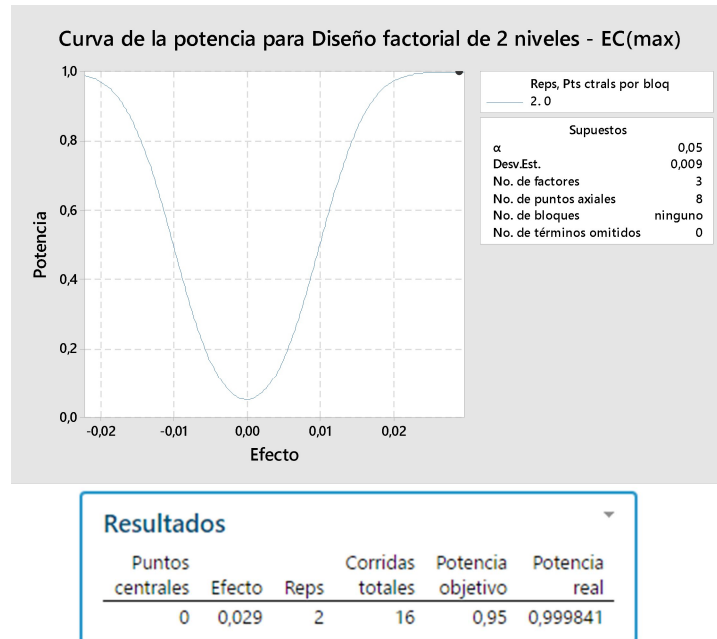


Figura 3.49 Resultado número de réplicas EC(max)

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el modelo que se utilizó en el experimento fue de 2^3 (tres factores y dos niveles) con un total de tres réplicas, lo que corresponde a 24 corridas.

Una vez definido el experimento se procedió a crear el diseño factorial con la ayuda del software Minitab, para esto se seleccionó la opción de aleatorizar las corridas con el objetivo de garantizar el principio de aleatorización. En la tabla 18 se muestra el orden en que se desarrolló cada corrida del experimento.

Para asegurar que el experimento se realizara en condiciones adecuadas, y que los resultados del mismo no se vieran afectados por factores no considerados, este se realizó con la presencia del coordinador de calidad, técnico eléctrico, y jefe de producción. También es importante indicar que dos factores que afectan en la calidad del corte se trabajaron en un valor específico: el primer factor corresponde a las revoluciones por minuto del motor que acciona la hoja de sierra cinta, este se trabajó a 1750 rpm (máxima velocidad posible, la cual genera un acabado de corte de alta calidad); y el segundo factor es la hoja de sierra cinta, las especificaciones de esta son 1 x 0,04 pulgadas x 4 TPI (al menos el 70% de las hojas de sierra cinta disponibles son de este tipo). En la tabla 18 se muestran los resultados que se obtuvieron durante la realización de cada una de las corridas del experimento.

Tabla 18
Orden de corridas y resultados del experimento

ORDEN DE CORRIDA	FACTORES			ESPESES DE CORTE (1 3/4) (Pulgadas)						VARIABLE RESPUESTA	
	F1	F2	F3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC(min)	EC(max)
1	40	15	32500	1,830	1,832	1,827	1,823	1,831	1,826	1,823	1,832
2	40	15	32500	1,823	1,834	1,822	1,838	1,835	1,830	1,822	1,838
3	60	10	25000	1,852	1,850	1,849	1,854	1,848	1,862	1,848	1,862
4	60	15	32500	1,845	1,848	1,850	1,849	1,846	1,849	1,845	1,850
5	40	15	32500	1,836	1,829	1,829	1,829	1,830	1,824	1,824	1,836
6	60	10	25000	1,861	1,859	1,861	1,853	1,853	1,849	1,849	1,861
7	60	10	25000	1,852	1,849	1,859	1,850	1,857	1,854	1,849	1,859
8	60	15	25000	1,856	1,867	1,856	1,860	1,858	1,861	1,856	1,867
9	40	10	32500	1,828	1,823	1,827	1,828	1,828	1,827	1,823	1,828
10	60	10	32500	1,844	1,853	1,840	1,841	1,850	1,852	1,840	1,853
11	40	15	25000	1,844	1,846	1,844	1,838	1,836	1,843	1,836	1,846
12	40	10	32500	1,819	1,825	1,820	1,832	1,821	1,817	1,817	1,832
13	40	10	25000	1,836	1,837	1,834	1,832	1,835	1,842	1,832	1,842
14	60	15	25000	1,862	1,863	1,867	1,859	1,860	1,859	1,859	1,867
15	60	10	32500	1,842	1,850	1,849	1,839	1,846	1,845	1,839	1,850
16	40	10	25000	1,830	1,846	1,833	1,836	1,836	1,837	1,830	1,846
17	40	15	25000	1,844	1,845	1,851	1,840	1,834	1,839	1,834	1,851
18	40	10	32500	1,830	1,827	1,815	1,825	1,825	1,826	1,815	1,830
19	60	15	32500	1,851	1,851	1,854	1,853	1,857	1,842	1,842	1,857
20	40	15	25000	1,842	1,826	1,842	1,840	1,843	1,834	1,826	1,843
21	40	10	25000	1,837	1,833	1,830	1,830	1,838	1,827	1,827	1,838
22	60	15	32500	1,847	1,845	1,855	1,846	1,849	1,846	1,845	1,855
23	60	10	32500	1,848	1,840	1,844	1,847	1,843	1,834	1,834	1,848
24	60	15	25000	1,861	1,861	1,859	1,862	1,858	1,851	1,851	1,862

Fuente: Elaboración propia

En los siguientes párrafos se muestran los resultados del análisis factorial, en estos inicialmente se validan algunas condiciones que los residuos deben cumplir, se determina que factores son significativos para las variables de respuestas, se mejora el modelo mediante la eliminación de los factores e interacciones no significativas, y finalmente se determinan los niveles adecuados de operación.

- Resultado del análisis factorial para las variables EC(min) y EC(max)

Entre las condiciones que los residuos deben cumplir están: distribuirse normalmente, tener una media de cero, una desviación estándar igual a uno, varianza homogénea, y ser independientes. En la siguiente tabla se muestran los residuos para la variable EC(min) para cada una de las 24 corridas.

Tabla 19
Residuos – EC(min)

ORDEN DE CORRIDA	RESI1	ORDEN DE CORRIDA	RESI1	ORDEN DE CORRIDA	RESI1	ORDEN DE CORRIDA	RESI1
1	0,0000	7	0,0003	13	0,0023	19	-0,0020
2	-0,0010	8	0,0007	14	0,0037	20	-0,0060
3	-0,0007	9	0,0047	15	0,0013	21	-0,0027
4	0,0010	10	0,0023	16	0,0003	22	0,0010
5	0,0010	11	0,0040	17	0,0020	23	-0,0037
6	0,0003	12	-0,0013	18	-0,0033	24	-0,0043

Fuente: Elaboración propia

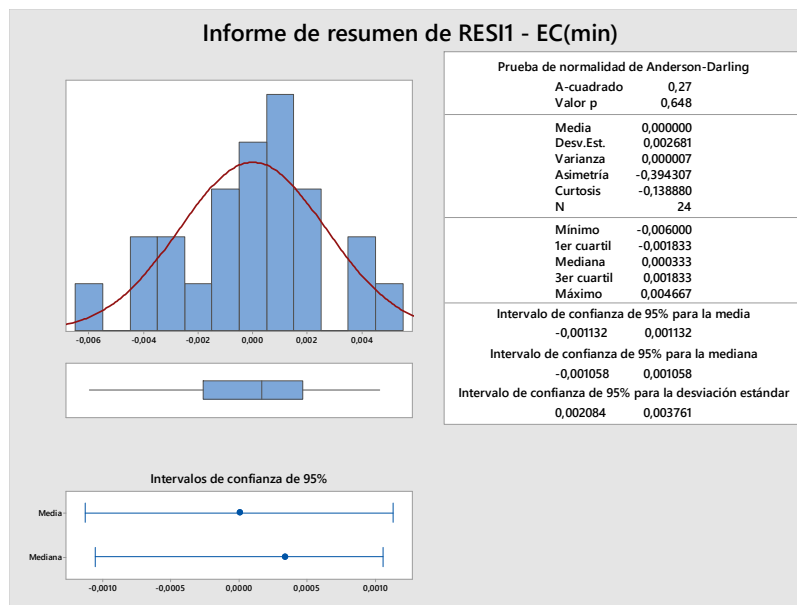


Figura 3.50 Resumen gráfico de residuos EC(min)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.50 se muestra un resumen gráfico para los residuos correspondientes a la variable EC(min), como se puede evidenciar con un valor P de 0,648 y un 95 % de confianza se puede concluir que los datos muestran un comportamiento normal, y además poseen un valor promedio de cero. La desviación estándar es prácticamente igual a cero, pero esto no es muy significativo dado que se cumple el principio de normalidad y del valor promedio de los residuos, lo cual también se evidencia la gráfica de probabilidad normal e histograma de la figura 3.51.

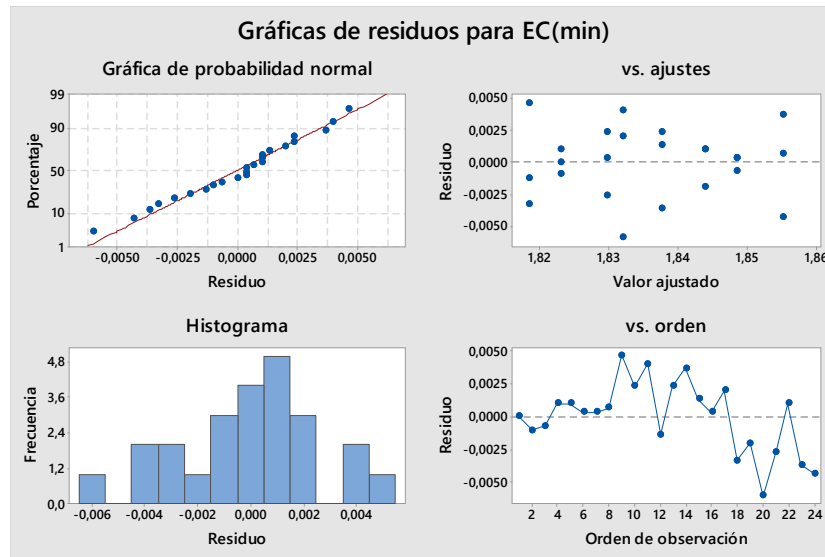


Figura 3.51 Gráficas de residuos de EC(min)

Fuente: Elaboración propia

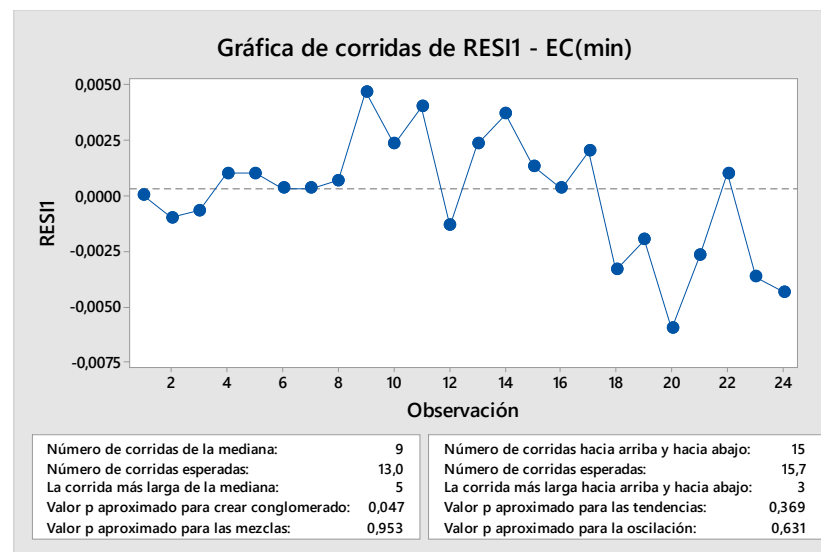


Figura 3.52 Gráfica de corridas de residuos EC(min)

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 3.51, en la gráfica Residuo vs. Ajuste se visualiza la variación de los residuos, en esta se puede observar que los mismo presentan un comportamiento poco homogéneo, lo ideal sería un comportamiento homogéneo. En la figura 3.52 se muestra la gráfica de corrida para los residuos, esta se utilizó para verificar si los residuos son independientes, para esto se contrasta la hipótesis nula “los residuos son aleatorios” versus las hipótesis alternas “existe conglomeración, mezcla, tendencia, y oscilación de datos”, los valores de P existentes son de 0,047, 0,953, 0,369, y 0,631 respectivamente. En los casos en que los valores de P son mayores a 0,05 se acepta con un 95% de confianza que los residuos son aleatorios. Con respecto a datos conglomerados el valor de P es de

0,047, esto nos llevaría a la conclusión de que los datos no son aleatorios, pero debido a que este valor es muy cercano a 0,05 y a que no existe problemas de mezcla, tendencia, y oscilación de datos, de manera general se concluye que los residuos tienen un comportamiento aleatorio.

Dado que se cumplió una parte importante de las condiciones de los residuos, se concluyó que los mismos muestran un comportamiento aceptable y que el diseño es válido para continuar con su análisis. Para analizar los resultados, inicialmente se verificó que factores e interacciones eran significativos para la variable de respuesta EC(min), en las figuras 3.53 y 3.54 se muestran la gráfica de Pareto de efectos estandarizados y el análisis de varianza resultantes del análisis factorial.

Como se observa en la figura 3.53, los factores F1, F2, y F3 son significativos para la variable de respuesta EC(min), esto debido a que las barras que representan a los mismo superan el límite de 2.12 (línea de color rojo). Dado que las barras que representan las cuatro interacciones (AB, AC, BC, y ABC) no superan el límite de 2.12, se concluye que ninguna de las interacciones es significativa.

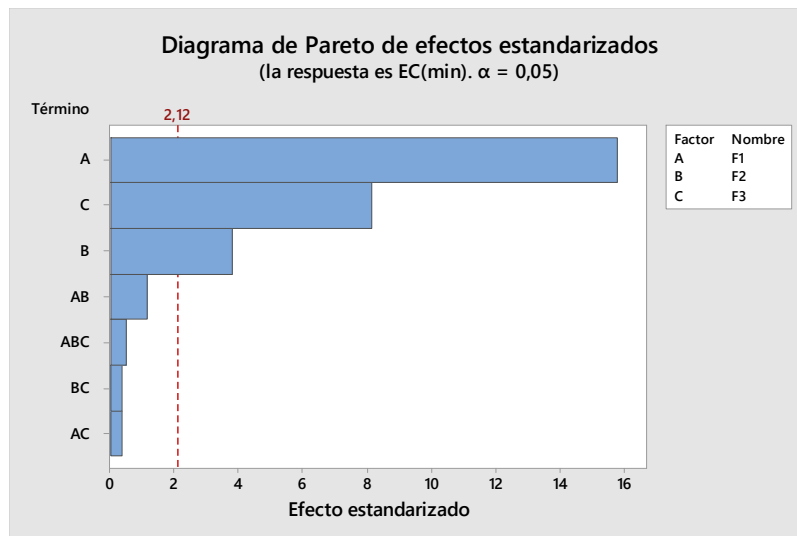


Figura 3.53 Diagrama de Pareto de efectos - EC(min)

Fuente: Elaboración propia

Revisando el análisis de varianza que se muestra en la figura 3.54, se confirma lo que muestra la figura 3.53. En esta se contrastan las hipótesis nulas de que los factores F1, F2, y F3, así como sus interacciones no son significativas para las variables de respuesta EC(min), contra las hipótesis alternativas de que si son significativas. Con un 95% de confianza se puede concluir que los factores F1, F2, y F3 influyen significativamente sobre la variable de respuesta EC(min), esto debido a que los valores de P respectivos (marcados en rojo) son menores a 0.05. Debido a que los valores de P correspondientes a las interacciones son mayores a 0.05 se concluye que estos no son significativos.

Los valores de R cuadrado ajustado y de predicción son 93,36% y 89,61% respectivamente, debido a que estos superan el 70%, se puede concluir que el modelo captura un porcentaje alto de la variación presente en los datos, y que la ecuación de regresión es eficiente.

Regresión factorial: EC(min) vs. F1. F2. F3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,003415	0,000488	47,21	0,000
Lineal	3	0,003395	0,001132	109,53	0,000
F1	1	0,002563	0,002563	248,00	0,000
F2	1	0,000150	0,000150	14,52	0,002
F3	1	0,000683	0,000683	66,06	0,000
Interacciones de 2 términos	3	0,000016	0,000005	0,53	0,667
F1*F2	1	0,000013	0,000013	1,31	0,270
F1*F3	1	0,000001	0,000001	0,15	0,708
F2*F3	1	0,000002	0,000002	0,15	0,708
Interacciones de 3 términos	1	0,000003	0,000003	0,26	0,618
F1*F2*F3	1	0,000003	0,000003	0,26	0,618
Error	16	0,000165	0,000010		
Total	23	0,003580			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0032146	95,38%	93,36%	89,61%

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$EC(\min) = 1,895 - 0,00043 F1 - 0,0064 F2 - 0,000004 F3 + 0,000132 F1*F2 + 0,000000 F1*F3 + 0,000000 F2*F3 - 0,000000 F1*F2*F3$$

Figura 3.54 Análisis de varianza - EC(min)

Fuente: Elaboración propia

Dado que ninguna de las interacciones entre los factores influye sobre la variable de respuesta EC(min), se analizó nuevamente el diseño considerando únicamente los factores principales (F1, F2, y F3), bajo estas circunstancias se consiguió mejorar los valores de R cuadrado ajustado y de predicción, inicialmente estos eran de 93,36% y 89,61% respectivamente, pero con la mejora del modelo alcanzaron los valores de 94,07% y 92,58% respectivamente. En la figura 3.55 se muestra los resultados del análisis del diseño factorial sin interacciones.

Para determinar bajo que parámetros debe operar la sierra cinta para que el espesor de corte EC(min) cumpla con el estándar establecido ($1,825 \pm 0,005$ pulgadas) se utilizó el gráfico de cubos del análisis factorial, el cual se muestra en la figura 3.56. Como se observa en la gráfica, los valores que se encuentran dentro del estándar establecido son 1,82300 y 1,82967 pulgadas, los demás valores se encuentran fuera del rango deseado. De acuerdo a la gráfica de cubo, se puede alcanzar un espesor de corte promedio de 1,82967 pulgadas operando la sierra cinta con una velocidad de posicionamiento de bloque (F1) de 40, velocidad de corte (F2) de 10, y tensión de sierra cinta (F3) de 25000 PSI. El espesor promedio de 1,82300 pulgadas se alcanzó trabajando F1 a 40, F2 a 15, y F3 a 32500 PSI.

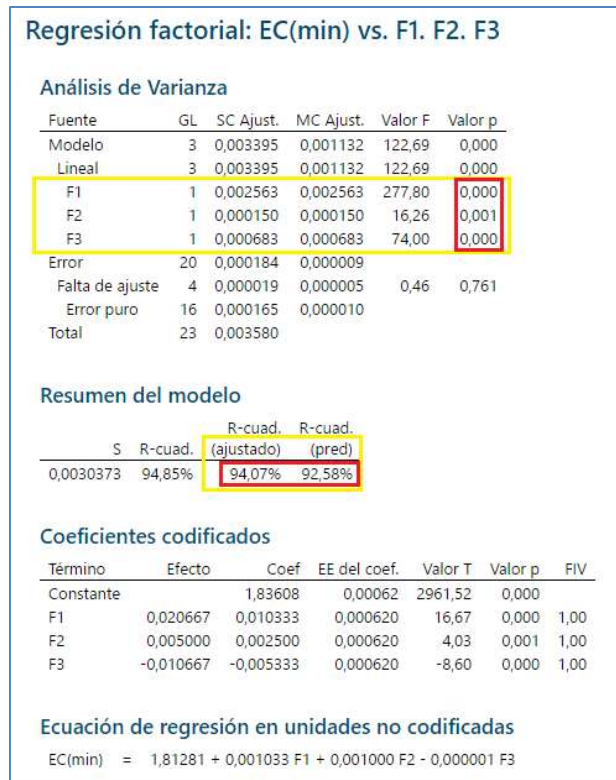


FIGURA 3.55 Análisis de varianza sin interacciones - EC(min)

Fuente: Elaboración propia

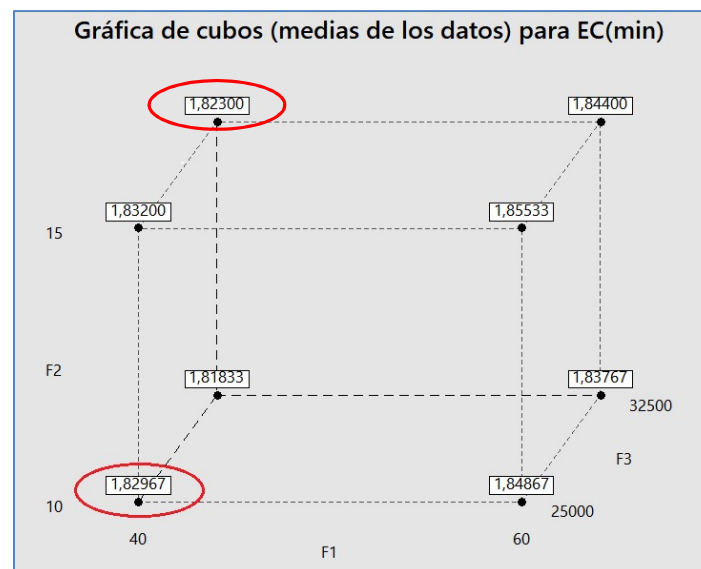


Figura 3.56 Gráfica de cubo – EC(min)

Fuente: Elaboración propia

Hasta este punto solo se ha determinado bajo que parámetros operacionales se podría trabajar la sierra cinta para que el espesor de corte EC(min) cumpla con el estándar establecido. A continuación, se realiza el mismo análisis, pero para la variable de respuesta EC(max).

Para iniciar con el análisis de la variable de respuesta “espesor de corte” EC(max) primero se verificó que los residuos correspondientes a la misma cumplan con las condiciones de normalidad, media, varianza, homogeneidad, y aleatoriedad. En la tabla 20 se muestran los residuos correspondientes a la variable EC(max) para cada una de las 24 corridas del experimento.

Tabla 20
Residuos – EC(max)

ORDEN DE CORRIDA	RESI2	ORDEN DE CORRIDA	RESI2	ORDEN DE CORRIDA	RESI2	ORDEN DE CORRIDA	RESI2
1	-0,0033	7	-0,0017	13	-0,0000	19	0,0030
2	0,0027	8	0,0017	14	0,0017	20	-0,0037
3	0,0013	9	-0,0020	15	-0,0003	21	-0,0040
4	-0,0040	10	0,0027	16	0,0040	22	0,0010
5	0,0007	11	-0,0007	17	0,0043	23	-0,0023
6	0,0003	12	0,0020	18	-0,0000	24	-0,0033

Fuente: Elaboración propia

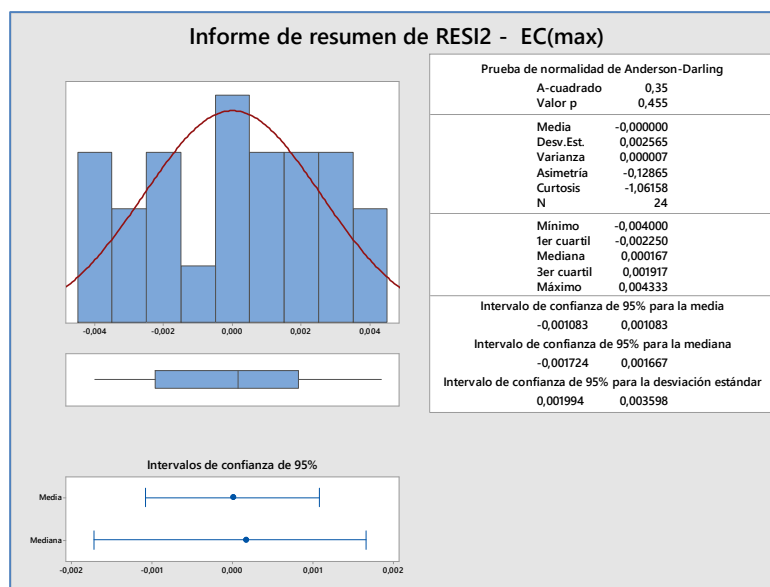


Figura 3.57 Resumen gráfico de residuos EC(max)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.57 se muestra el resumen gráfico para la variable de respuesta espesor de corte EC(max), como se visualiza para la prueba de normalidad se cuenta con un valor de P de 0,455, debido a esto se puede concluir con un 95% de confianza que no existe la

suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que la variable EC(max) muestra un comportamiento normal, por lo tanto, se acepta que se distribuye normalmente. Adicionalmente, la media es igual a cero lo cual es un requisito importante que se cumple. La desviación estándar difiere significativamente de uno, lo cual no es la condición ideal, pero con el cumplimiento de normalidad y media igual a cero se concluye que los residuos muestran un comportamiento aceptable.

En la figura 3.58 se muestran las gráficas de residuos para EC(max), en la gráfica de probabilidad normal se evidencia que los residuos muestran un comportamiento normal dado que los mismos (puntos azules) prácticamente se encuentran sobre la línea roja; en la gráfica Residuo vs. Ajustes se puede ver un comportamiento regularmente homogéneo, y en la gráfica Residuo vs. orden se visualiza que los residuos muestran un comportamiento aparentemente aleatorio. Adicionalmente en la figura 3.59 se encuentra la gráfica de corridas para los residuos de EC(max), en esta se muestran los valores de P que evalúa la hipótesis nula (los residuos tienen un comportamiento aleatorio), contra las hipótesis alternas de que no existe conglomeración, mezcla, tendencia, y oscilación de datos, los valores de P respectivamente son 0,994, 0,006, 0,880, y 0,120. Dado que únicamente el valor de P correspondiente a la existencia de mezcla es menor a 0,05, se acepta que se cuenta con mezcla de datos; pero en los demás casos donde los valores de P son mayores a 0,05, con un 95% de confianza se concluye que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar el que los datos muestran un comportamiento aleatorio, es decir que se acepta que no existe conglomeración, tendencia, y oscilación en los residuos.

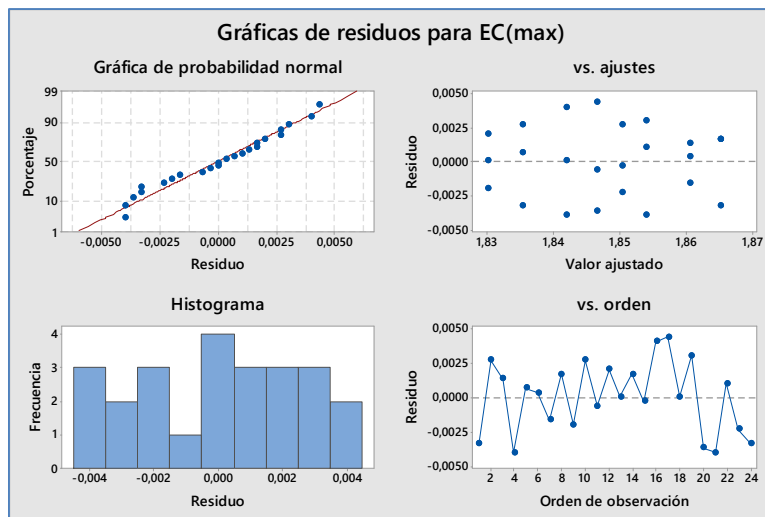


Figura 3.58 Gráficas de residuos de EC(max)

Fuente: Elaboración propia

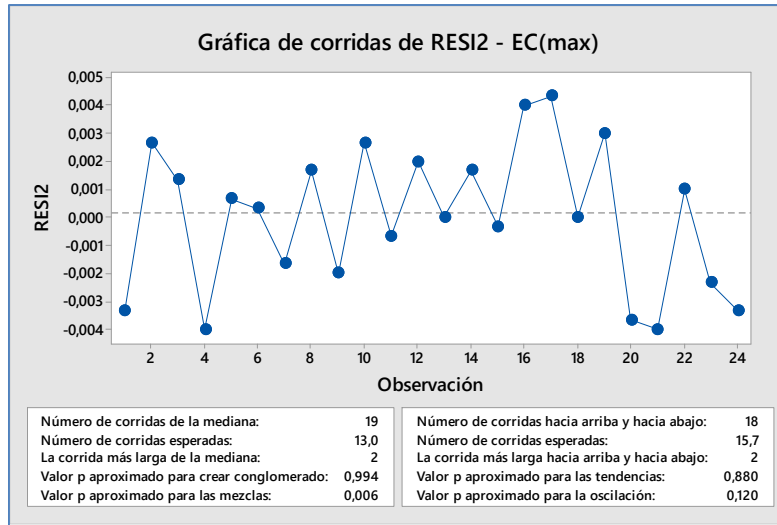


Figura 3.59 Gráfica de corridas de residuos EC(max)

Fuente: Elaboración propia

Una vez confirmado el cumplimiento de normalidad, media, homogeneidad, y aleatoriedad de los residuos, se determinó que factores e interacciones son significativos para la variable de respuesta EC(max), como se puede evidenciar en la figura 3.60 únicamente las barras correspondientes a los factores F1, F2, y F3 superan el nivel de 2.12 (línea roja) por lo que estos resultan tener un efecto sobre la variable EC(max). En el caso de las interacciones, ninguna ejerce un efecto sobre la variable de respuesta.

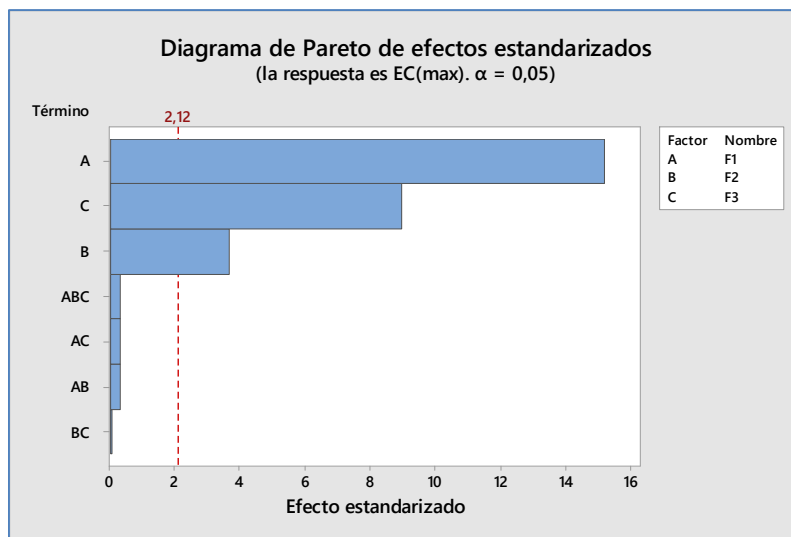


Figura 3.60 Diagrama de Pareto de efectos - EC(max)

Fuente: Elaboración propia

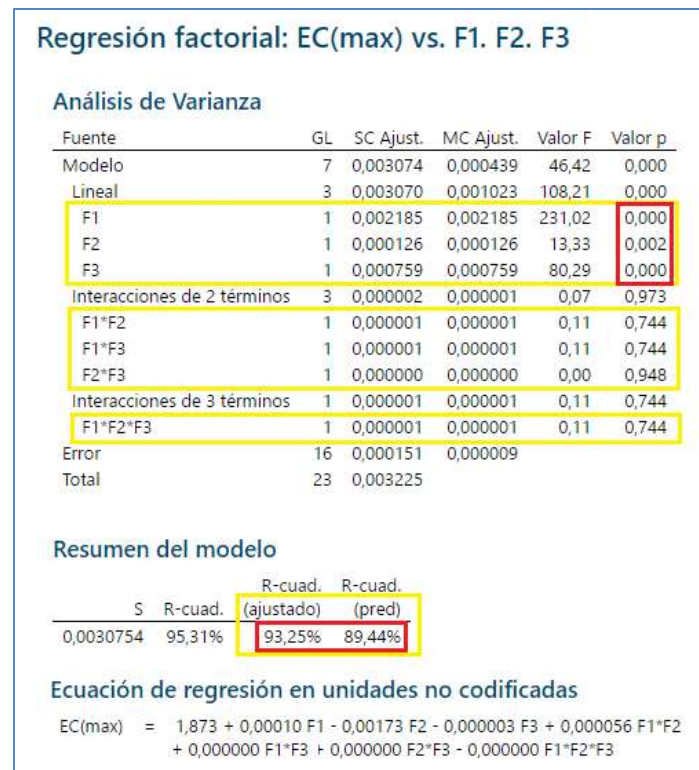


Figura 3.61 Análisis de varianza - EC(max)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.61 se muestra el análisis de varianza para la variable EC(max), en esta se evalúan las hipótesis nulas de que los factores principales y sus interacciones no afectan la variable de respuesta, versus la hipótesis alterna de que si la afectan. Como se observa, únicamente los factores principales F1, F2, y F3 poseen un valor P menor a 0,05, debido a esto se puede concluir con un 95% de confianza que existe la suficiente evidencia estadística para rechazar que los factores principales no afectan la variable de respuesta, y por lo tanto, se acepta que estos tres factores si afectan al espesor de corte EC(max). Adicionalmente, se muestra que el modelo cuenta con un R cuadrado ajustado y de predicción del 93,25% y 89,44% respectivamente.

Debido a que las interacciones de los factores F1, F2, y F3 no afectan a la variable de respuesta EC(max), se analizó nuevamente el modelo, pero sin considerar las interacciones. Como se observa en la figura 3.62, el modelo mejora incrementando los valores de R cuadrado ajustado y de predicción a 94,49% y 93,10% respectivamente.

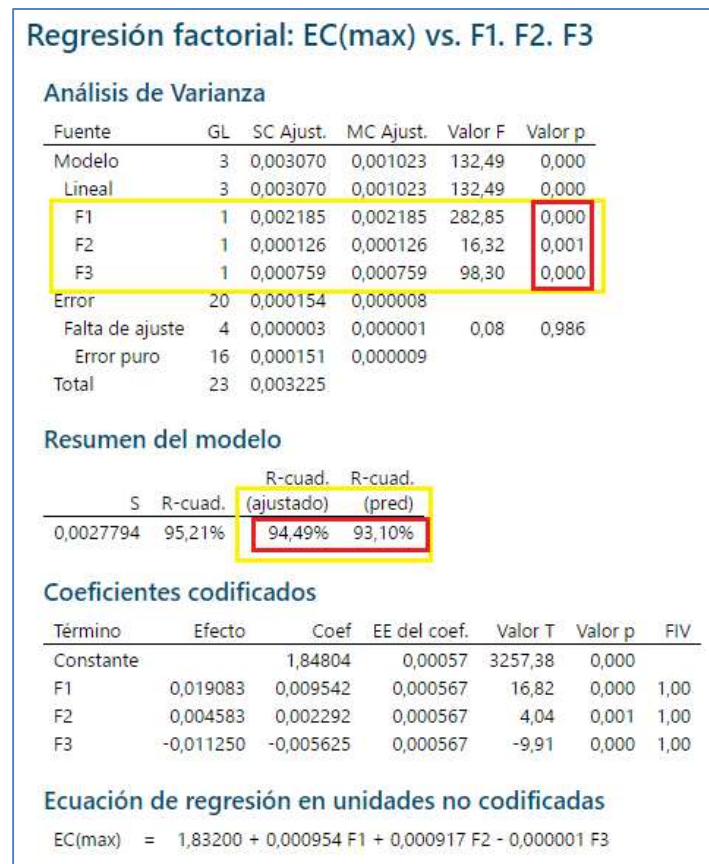


Figura 3.62 Análisis de varianza sin interacciones - EC(max)

Fuente: Elaboración propia

Como el objetivo es determinar bajo qué condiciones los factores F1, F2, y F3 deben operar para que la variable de respuesta EC(max) cumplan con el estándar de $1,825 \pm 0,005$ pulgadas, se elaboró la gráfica de cubo la cual se muestra en la figura 3.63. Como se visualiza, siete de las ocho alternativas disponibles muestran un valor promedio de espesor de corte que supera el límite superior de especificación de 1,830 pulgadas, por lo que estas quedan descartadas. Únicamente una de las alternativas disponibles (marcada en círculo rojo) generó un espesor de corte EC(max) aceptable, esto debido a que justo coincide con el límite superior de especificación de 1,830 pulgadas (el valor ideal sería de 1,825 pulgadas). Este se logró trabajando con una velocidad de posicionamiento del bloque (F1) de 40, velocidad del corte (F2) de 10, y tensión de sierra cinta (F3) de 32500 PSI.

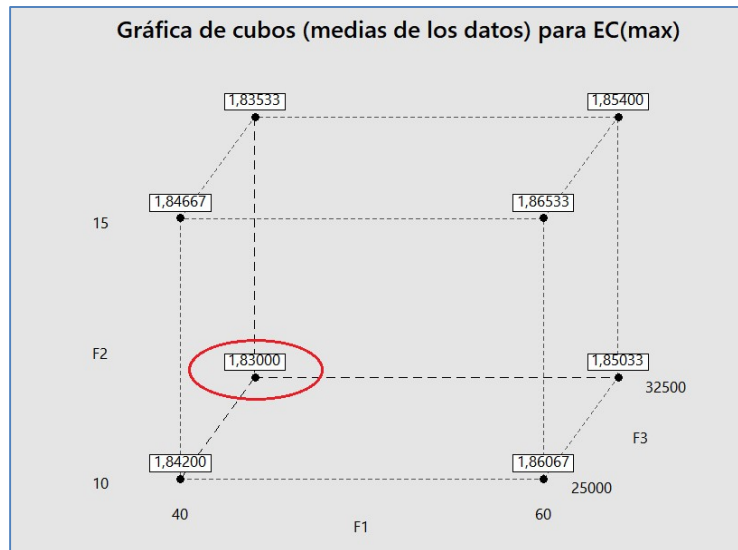


Figura 3.63 Gráfica de cubo – EC(max)

Fuente: Elaboración propia

Hasta este punto las variables de respuesta EC(min) y EC(max) se analizaron de manera independiente, los resultados alcanzados se muestran en la tabla 21. Para que la variable de respuesta EC(min) alcance un valor promedio que se encuentre dentro del estándar establecido ($1,825 \pm 0,005$ pulgadas) hay dos alternativas, y para la variable EC(max) solo una alternativa. A pesar de lo indicado, ninguna de las tres alternativas representa una solución viable, dado que necesariamente se requiere al menos una configuración específica para F1, F2, y F3 que permitan que el equipo de corte genere espesores EC(min) y EC(max) que se encuentren dentro del estándar establecido.

Tabla 21
Niveles de operación por variable de respuesta

VARIABLES	FACTORES			RESPUESTA
	F1	F2	F3	
EC(min)	40	10	25000	1,82967
EC(min)	40	15	32500	1,82300
EC(max)	40	10	32500	1,83000

Fuente: Elaboración propia

Para encontrar una cuarta alternativa para los parámetros de operación (F1, F2, y F3) del equipo de corte se utilizó el optimizador de respuesta de diseños factoriales del software Minitab, inicialmente se buscó cumplir con el estándar establecido de $1,825 \pm 0,005$ pulgadas. Como se muestra en la figura 3.64, no se encontró una solución que permita que las variables EC(min) y EC(max) cumplan el estándar indicado. Este problema se presentó debido a que para la variable de respuesta EC(max) el valor promedio mínimo que se pudo alcanzar fue de 1,8300 pulgadas el cual coincide con el LSE del estándar establecido. Para solucionar lo indicado en el optimizador de respuesta fue necesario incrementar el LSE para la variable EC(max) hasta un valor de 1,833 pulgadas tal como se muestra en la figura 3.65.

Optimización de respuesta: EC(max). EC(min)

*** NOTA * No se encontró una solución óptima.**

Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
EC(max)	Objetivo	1,82	1,825	1,83	1	1
EC(min)	Objetivo	1,82	1,825	1,83	1	1

Figura 3.64 Optimizador d respuesta (1)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.65 se muestran los parámetros (media, LIE, y LSE) que finalmente se establecieron para las variables EC(min) y EC(max) con el objetivo de encontrar una solución viable en el optimizador de respuestas. Adicionalmente se muestra la solución, es decir bajo que niveles los factores F1, F2, y F3 deben trabajar para alcanzar los parámetros establecidos.

Optimización de respuesta: EC(max). EC(min)

Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
EC(max)	Objetivo	1,82	1,825	1,833	1	1
EC(min)	Objetivo	1,82	1,825	1,830	1	1

Solución

Solución	F1	F2	F3	EC(max) Ajuste	EC(min) Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	40	12,2222	32500	1,83262	1,82041	0,0621820

Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración
F1	40
F2	12,2222
F3	32500

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
EC(max)	1,83262	0,00098	(1,83057, 1,83467)	(1,82647, 1,83877)
EC(min)	1,82041	0,00132	(1,81761, 1,82321)	(1,81304, 1,82777)

Figura 3.65 Optimizador de respuesta (2)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22 se muestra detalladamente bajo que niveles se recomienda que los factores F1, F2, y F3 operen con el objetivo de que los paneles resultantes del proceso de corte de bloques alcancen un espesor promedio de 1,825 pulgadas.

Tabla 22
Parámetros operación del equipo de corte

FACTOR	NIVEL DE OPERACIÓN
F1: Velocidad de posicionamiento del bloque	40
F2: Velocidad de corte	12,2222
F3: Tensión de sierra cinta	32500 PSI

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de comprobar que los parámetros recomendados generaran los resultados deseados, se procedió a realizar una corrida verificadora, para esto se configuro el equipo de corte en los parámetros indicados en la tabla 22 y se procedió a tomar una muestra de 10 paneles, los resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23
Corrida verificatoria corte de paneles

CORRIDA VERIFICATORIA								
#	ESPEORES DE CORTE (1 3/4) (Pulgadas)						VARIABLE RESPUESTA	
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC(min)	EC(max)
1	1,823	1,817	1,828	1,821	1,833	1,825	1,817	1,833
2	1,827	1,829	1,819	1,823	1,829	1,822	1,819	1,829
3	1,827	1,817	1,829	1,822	1,818	1,822	1,817	1,829
4	1,824	1,823	1,819	1,819	1,829	1,821	1,819	1,829
5	1,826	1,828	1,825	1,824	1,830	1,823	1,823	1,830
6	1,826	1,820	1,820	1,834	1,824	1,831	1,820	1,834
7	1,831	1,826	1,832	1,823	1,827	1,824	1,823	1,832
8	1,826	1,825	1,825	1,827	1,825	1,832	1,825	1,832
9	1,823	1,824	1,825	1,830	1,822	1,819	1,819	1,830
10	1,828	1,826	1,824	1,831	1,819	1,818	1,818	1,831

Media	1,820	1,831
S	0,003	0,002
% Diferencia	0,25%	0,25%
Diferencia	0,005	0,005
Potencia	0,950	0,950
Significancia	0,050	0,050

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la desviación estándar, diferencia, potencia, y significancia que se muestran en la tabla 23 se procedió a determinar el tamaño de muestra para la estimación de los parámetros de las variables EC(min) y EC(max). Debido a que únicamente las desviaciones estándares de las dos variables son diferentes, solo se trabajó con los datos de EC(min) dado a que esta posee una desviación estándar mayor.

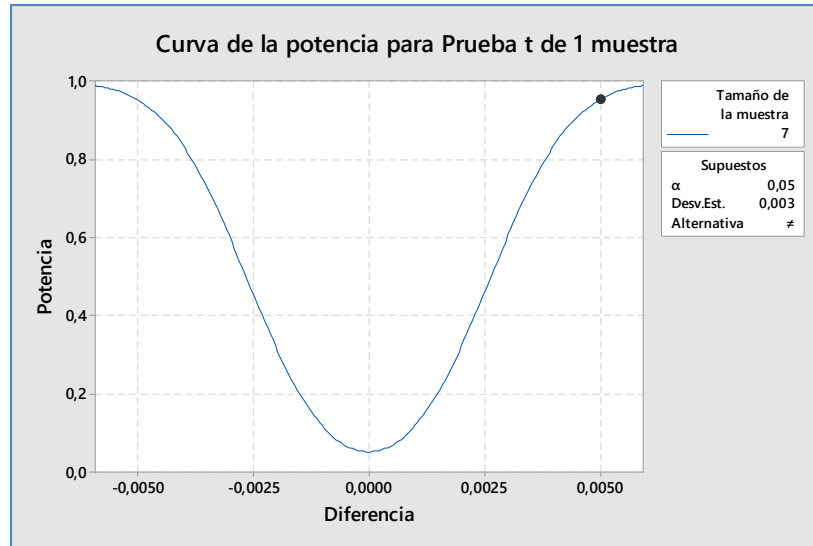


Figura 3.66 Curva de potencia para la prueba T

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 3.66, para los estimadores indicados en la tabla 22, la variable EC(min) requiere un tamaño de muestra igual a siete, y la variable EC(max) un tamaño de muestra menor a siete. De acuerdo a lo indicado, la corrida verificadora inicial la cual tiene un tamaño de 10 muestras, es suficiente para estimar adecuadamente los parámetros de las dos variables.

Considerando las 10 muestras de la corrida verificadora del proceso de corte, se procedió a evaluar si los espesores de corte EC(min) y EC(max) eran igual o diferente a los límites de especificación inferior y superior, 1,820 y 1,830 pulgadas respectivamente. Para esto se utilizó la prueba de hipótesis, los resultados se muestran en las figuras 3.67 y 3.68.

T de una muestra: EC(min)				
Estadísticas descriptivas				
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
10	1,82000	0,00275	0,00087	(1,81803, 1,82197)
μ : media de EC(min)				
Prueba				
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 1,82$			
Hipótesis alterna	$H_1: \mu \neq 1,82$			
Valor T	Valor p			
0,00	1,000			

Figura 3.67 Prueba de hipótesis EC(min) – Mejorado

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en la figura 3.67, con un 95% de confianza y un valor de P igual a 1, se puede concluir que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que el espesor de corte promedio EC(min) es igual de 1,820 pulgadas. De manera similar en la figura 3.68, se puede apreciar un valor P igual de 0,147, por lo que con un 95% de confianza se concluye que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar que el espesor promedio de corte EC(max) es igual a 1,830 pulgadas.

De acuerdo a lo indicado, los parámetros operacionales que se muestran en la tabla 22 permiten producir durante el proceso de corte paneles con un espesor que en promedio alcanzan un valor mínimo EC(min) y máximo EC(max) de 1,820 y 1,830 pulgadas respectivamente.

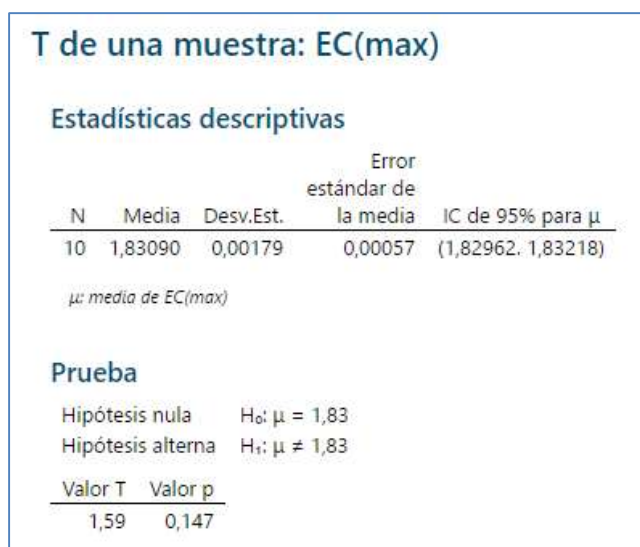


Figura 3.68 Prueba de hipótesis EC(max) – Mejorada

Fuente: Elaboración propia

Es importante puntualizar que en promedio los espesores de corte EC(min) y EC(max) se encontrarían dentro del estándar de corte establecido ($1,825 \pm 0,005$ pulgadas). Pero si se visualiza en la figura 3.67, según el intervalo de confianza del 95% la variable EC(min) puede alcanzar valores inferiores a 1,81803 pulgadas, y en la figura 3.68 se aprecia en el intervalo de confianza que la variable EC(max) puede alcanzar valores superiores a 1,83218 pulgadas. En conclusión, se puede afirmar que con los parámetros indicados en la tabla 21, los paneles resultantes del proceso de corte pueden alcanzar un espesor de $1,825 \pm 0,008$ pulgadas, estos valores se encuentran fuera del estándar establecido, pero representan una mejora significativa a la situación inicial. Adicionalmente se puede indicar que del bloque utilizado (bloque de 24 pulgadas – 192 Bft) para obtener la muestra de 10 paneles, en total se obtuvieron 12 paneles de $1 \frac{3}{4}$ y un panel adicional de $1 \frac{1}{4}$ lo cual corresponde a un scrap promedio por panel en corte (SPP-Corte) de 1,17 Bft, este resultado es adecuado dado que el estándar establece un SPP-Corte máximo de 1,25 Bft. Bajo las condiciones indicadas las operaciones subsiguientes al proceso de corte de bloques se pueden desarrollar sin ninguna dificultad.

c) Desarrollo del sistema de recepción e inspección de bloques

El objetivo del proceso de inspección de los bloques es asegurar que los mismos cumplan con los parámetros establecidos (largo, ancho, alto, descuadre, y densidad). De acuerdo a los datos evaluados en la etapa de análisis, únicamente la variable X(bloque) presentan un problema debido a que aproximadamente el 10% de los bloques no cumplen con el valor mínimo permitido (24.500 pulgadas). A pesar de lo indicado, el presente proceso considera el control de las cinco variables X, Y, Z, D11-D12, y D21-D22 debido a que durante el proceso de recepción de los bloques se puede monitorear las cinco variables sin la necesidad de incurrir en la utilización de recursos adicionales. En la tabla 24 se detalla el estándar que cada variable debe cumplir.

Tabla 24
Estándares de dimensiones de los bloques

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	ESTÁNDAR (Pulg.)
Alto del bloque	X(Bloque)	Mayor o igual a 24,5
Ancho del bloque	Y(Bloque)	Mayor o igual a 48,5
Largo del bloque	Z(Bloque)	Mayor o igual a L + 0,5
Descuadre (1)	D11-D12	Menor o igual a 0,5
Descuadre (2)	D21-D22	Menor o igual a 0,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 se muestra la información del año 2020 correspondiente al número de bloques que se recibieron por día con su respectiva frecuencia (Los bloques llegan a la planta en camiones, en promedio cada camión carga 75 bloques). La fila uno de la tabla 24 indica que el 4,83% de los días a la planta llegó únicamente un camión (75 bloques), el 31,11% de los días llegaron 2 camiones (150 bloques), etc. En la columna de frecuencia acumulada se puede ver que el 90,52% de los días se recibió a lo mucho 4 camiones (300 bloques).

Tabla 25
Frecuencia de recepción de bloques

# de Camiones/Día	Cantidad de bloques/Día	% Frecuencia	Frecuencia Acumulada
1	75	4,83%	4,83%
2	150	31,11%	35,94%
3	225	35,77%	71,71%
4	300	18,80%	90,52%
5	375	7,49%	98,00%
6	450	0,83%	98,84%
7	525	0,67%	99,50%
8	600	0,50%	100,00%

Fuente: Elaboración propia

El proceso de recepción de bloques lo desarrollan 6 personas, 2 auxiliares se encargan de ubicar los bloques de madera que se encuentran en los camiones sobre las uñas del montacargas (máximo 2 bloques), 1 operador de montacargas transporta los bloques desde los camiones hasta el área de pesado de bloques y después los coloca en un pallet para finalmente retornar al camión donde se encuentran los bloques y continuar con la descarga, 2 auxiliares trabajan en el área de pesado de bloques (determinan la densidad de los bloques), y 1 asistente se encargaba de medir una muestra aleatoria de bloques y generar el reporte de recepción. Los 2 auxiliares que trabajan en el área de pesado pasaban un alto porcentaje del tiempo desocupados debido a que debían esperar a que el montacargas les lleve los bloques para poder pesarlos.

En la figura 3.69 se muestra el proceso de recepción de bloques con las modificaciones que se realizaron con el objetivo de inspeccionar todos los parámetros de calidad y registrar las no-conformidades. Para poder medir todos los bloques se aprovechó el tiempo muerto señalado en el párrafo anterior, esto evito incrementar los costos operativos de la operación.

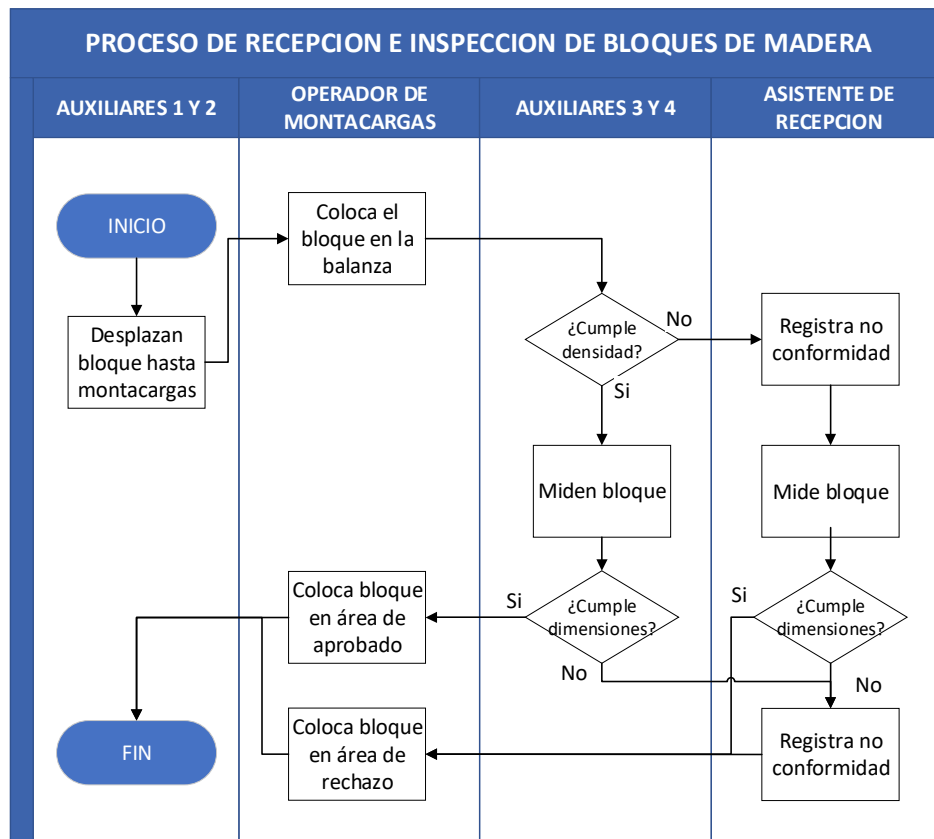


Figura 3.69 Proceso de recepción e inspección de bloques

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se elaboró un formato para el registro de las no conformidades, este formato se muestra en la figura 3.70. En las columnas de información del bloque (Lote, Código, y Largo nominal del bloque) se debe escribir la información de cada bloque la cual siempre viene detallada en el mismo, en el resto de las columnas solo se debe escribir una "X" en la casilla correspondiente en caso de que el bloque no cumpla con el parámetro

un evento prácticamente improbable. Debido a lo indicado, los bloques rechazados son aceptados después de negociar con los proveedores algún tipo de descuento, pero esta actividad no se encuentra estandarizada. En la siguiente figura 3.71 se muestra la política de descuentos que se desarrolló para los bloques que no cumplan con los parámetros establecidos, esta se basa en las negociaciones anteriormente realizadas con los proveedores.

El objetivo de las políticas indicadas en la figura 3.71 es el que los bloques que no cumplan los parámetros de calidad establecidos puedan ser recibidos sin que los mismos afecten la eficiencia de los procesos productivos.

3.5. Medidas de control (CONTROL)

Las medidas de control se diseñaron con el objetivo de mantener los resultados obtenidos en la etapa de mejora. En la tabla 26 se muestra el plan de control para cada una de las soluciones desarrolladas, este plan contempla un total de nueve acciones, las cuales fueron desarrolladas e implementadas.

Tabla 26
Plan de control de las medidas implementadas

PLAN DE CONTROL						
PROBLEMA	CAUSA RAÍZ	SOLUCIÓN	ACCIÓN	RESPONSABLE	CUANDO	ESTADO
Panales cortados con espesor fuera de especificaciones	No se han establecido parámetros operacionales adecuados en el equipo de corte	Realizar un estudio para determinar bajo que parámetros operacionales debe trabajar el equipo de corte.	Actualizar límites de especificación del proceso de corte.	Coordinador de Calidad	15/02/2021	Terminado
			Bloquear velocidades de posicionamiento y de corte de bloques.	Técnico Eléctrico	19/02/2021	Terminado
			Publicar en el equipo de corte las especificaciones actualizadas del proceso de corte y su rendimiento esperado.	Jefe de Producción	19/02/2021	Terminado
			Implementar cartas de control para el proceso de corte.	Jefe de Producción	26/02/2021	Terminado
			Incluir en la lista de chequeo pre-operacional del proceso de corte las actividades de dar seguimiento al bloqueo de los equipos y publicación de las especificaciones de corte y rendimiento esperado.	Jefe de Producción	26/02/2021	Terminado
Bloque de madera se mueve durante el proceso de corte	El equipo de corte únicamente sujeta dos puntos de los bloques	Rediseñar el sistema de anclaje de los bloques.	Incluir en la lista de chequeo pre-operacional del proceso de corte la actividad de verificar el correcto estado y funcionamiento del sistema anclaje y sujeción de bloques.	Jefe de Producción	26/02/2021	Terminado
Bloque de madera se mueve durante el proceso de corte	El diámetro de los tornillos sin fin del equipo de corte es muy delgado.	Cambiar los tornillos sin fin actuales por unos de mayor diámetro (Rediseño).	Incluir en la lista de chequeo pre-operacional del proceso de corte la actividad de verificar el correcto estado y funcionamiento de los tornillos sin fin.	Jefe de Producción	26/02/2021	Terminado
Bloques no cumplen con dimensiones establecidas (X y Y)	No existe un procedimiento para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques durante su recepción.	Implementar un sistema de recepción basado en la inspección del 100% de los bloques para garantizar que todos cumplan las especificaciones.	Publicar en el área de recepción las especificaciones que deben cumplir los bloques.	Coordinador de Logística	19/02/2021	Terminado
			Marcar en los flexómetros las dimensiones más utilizadas en la recepción de bloques (48, 24, 21, 18, 15, y 12 pulgadas).	Coordinador de Logística	26/02/2021	Terminado

Fuente: Elaboración propia

a) Medidas de control en el proceso de corte

Inicialmente se actualizaron las especificaciones del espesor en el proceso de corte, para esto se consideraron los resultados obtenidos en el proceso con la configuración que se muestra en la tabla 21 de la etapa de mejora, según estos resultados los espesores de los paneles de 1 ¾ (1,750 pulgadas) pueden alcanzar un rango de 1,825 ± 0,008 pulgadas, es decir (E+0,075) ± 0,008 pulgadas. A partir de esta información se establecieron para cada uno de los espesores nominales E(in) de los paneles las especificaciones que se muestran en la tabla 27.

Tabla 27
Límites de especificación actualizados del proceso de corte

E (in)	ESPESOR DE CORTE (in)		
	Mínimo	Nominal	Máximo
5/8 (0,625)	0,692	0,700	0,708
3/4 (0,750)	0,817	0,825	0,833
1 (1,000)	1,067	1,075	1,083
1 1/4 (1,250)	1,317	1,325	1,333
1 3/8 (1,375)	1,442	1,450	1,458
1 1/2 (1,500)	1,567	1,575	1,583
1 5/8 (1,625)	1,692	1,700	1,708
1 3/4 (1,750)	1,817	1,825	1,833
2 (2,000)	2,067	2,075	2,083

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se muestra la información que se publicó en cada equipo de corte, con el objetivo de que cada operador pueda identificar oportunamente cualquier desviación en el proceso. Según la tabla 28 (fila en amarillo), si se está trabajando el espesor de 1 ¾ cada panel debe tener un espesor entre 1,817 y 1,833 pulgadas, adicionalmente si se está cortando un bloque de 24 pulgadas se deben obtener un total de 12 paneles de 1 ¾ y un panel adicional (taco) de 1 ¼, si el bloque es de 21 pulgadas se deben obtener 10 paneles de 1 ¾ y un panel adicional (taco) de 1 ¾. El cumplimiento de estas especificaciones permite alcanzar un scrap en corte (SPP) menor o igual a 1,25 Bft.

Tabla 28
Publicación de especificaciones y rendimientos esperados

ESPESOR DE CORTE (in)				RENDIMIENTO ESPERADO - POR BLOQUE									
				Bloque de 24		Bloque de 21		Bloque de 18		Bloque de 15		Bloque de 12	
E (in)	Mínimo	Nominal	Máximo	#	Taco	#	Taco	#	Taco	#	Taco	#	Taco
5/8	0,692	0,700	0,708	30	5/8	26	3/4	22	1	18	1	14	1 1/4
3/4	0,817	0,825	0,833	25	1 3/8	22	1 1/4	19	1	16	1/2	12	1 1/4
1	1,067	1,075	1,083	20	1	17	1 1/2	15	3/4	12	1	10	1/2
1 1/4	1,317	1,325	1,333	16	1 1/2	14	1 1/4	12	1 1/4	10	1	8	3/4
1 3/8	1,442	1,450	1,458	15	1 1/4	13	1 1/4	11	1 1/4	9	1 1/4	7	1 1/4
1 1/2	1,567	1,575	1,583	14	1	12	1 1/4	10	1 1/2	8	1 5/8	7	1/2
1 5/8	1,692	1,700	1,708	13	1	11	1 1/2	10	1/4	8	3/4	6	1 3/8
1 3/4	1,817	1,825	1,833	12	1 1/4	10	1 3/4	9	1	7	1 3/4	6	5/8
2	2,067	2,075	2,083	11	5/8	9	1 3/4	8	3/4	6	2	5	1 1/4

Fuente: Elaboración propia

Una medida de control adicional son las cartas de control, en el anexo O se muestran los valores correspondientes a la muestra utilizada para el desarrollo de las cartas de control Xbarra-R para las variables EC(min) y EC(max) para los paneles de 1 3/4 pulgadas, para esto se utilizó un tamaño de subgrupo de tres.

En las figuras 3.72 y 3.73 se muestran las gráficas de control Xbarra-R para las variables EC(min) y EC(max), como se puede visualizar el proceso se encuentra bajo control, es decir que no existen fuentes controlables o asignables que estén afectando el proceso de corte de bloques.

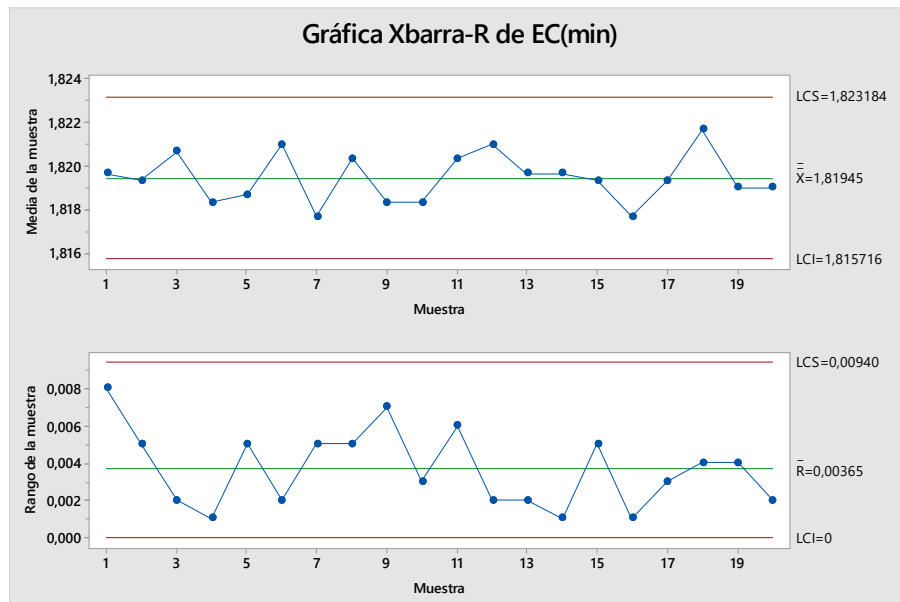


Figura 3.72 Gráfica de control EC(min)

Fuente: Elaboración propia

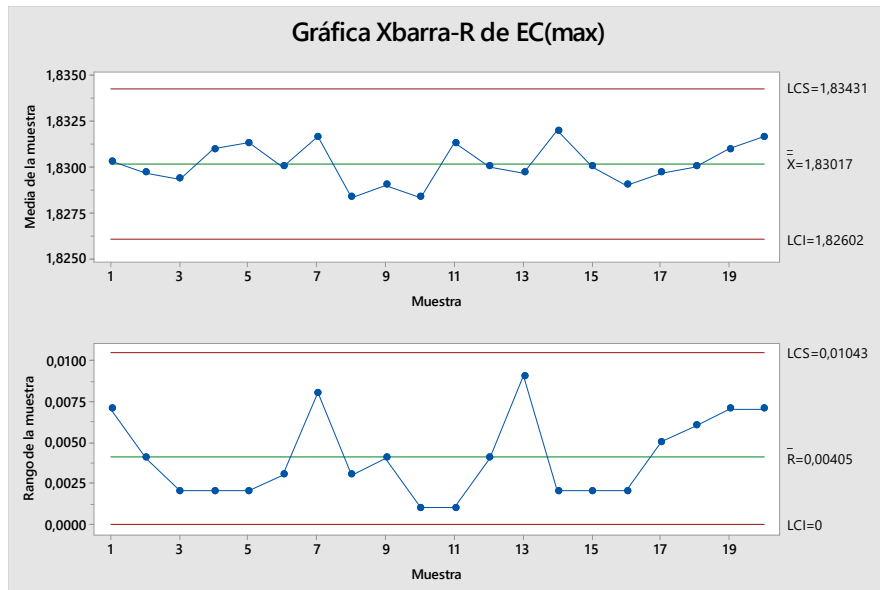


Figura 3.73 Gráfica de control EC(max)

Fuente: Elaboración propia

CARTA DE CONTROL					PROCESO: CORTE 1 3/4						Elaborado por:				
					Variable: EC(min)						Fecha:				
											Revisado por:				
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
1															
2															
3															
MEDIA															
RANGO															
CARTA DE CONTROL PARA X (media)															
1,8240															
1,8230 LCS: 1,8232															
1,8220															
1,8210															
1,8200 X: 1,8195															
1,8190															
1,8180															
1,8170															
1,8160 LCI: 1,8157															
1,8150															
CARTA DE CONTROL PARA R (Rango)															
0,0100 LCS: 0,00940															
0,0090															
0,0080															
0,0070															
0,0060															
0,0050															
0,0040 R: 0,00365															
0,0030															
0,0020															
0,0010															
0,0000 LCI: 0,00000															

Figura 3.74 Formato carta de control EC(min)

Fuente: Elaboración propia

CARTA DE CONTROL					PROCESO: CORTE 1 3/4						Elaborado por:				
					Variable: EC(max)						Fecha:				
											Revisado por:				
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
1															
2															
3															
MEDIA															
RANGO															
CARTA DE CONTROL PARA X (media)															
1,8350 LCS: 1,8343															
1,8340															
1,8330															
1,8320															
1,8310															
1,8300 X: 1,8302															
1,8290															
1,8280															
1,8270 LCI: 1,8260															
1,8260															
CARTA DE CONTROL PARA R (Rango)															
0,0100 LCS: 0,01043															
0,0090															
0,0080															
0,0070															
0,0060															
0,0050 R: 0,00405															
0,0040															
0,0030															
0,0020															
0,0010 LCI: 0,00000															
0,0000															

Figura 3.75 Formato carta de control EC(max)

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 3.74 y 3.75 se muestran los formatos para la toma de muestras y elaboración de las cartas de control por parte del personal operativo de control de calidad. Las muestras se tomarán en intervalos de una hora, y los límites de control se revisarán una vez al mes o cuando el proceso así lo amerite. En la figura 3.76 se detallan las pruebas consideradas para determinar si el proceso se encuentra fuera o bajo control.

PRUEBAS PARA LAS CARTAS DE CONTROL
1 punto 3 desviaciones estándar desde la línea central
9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central
6 puntos consecutivos, todos ascendentes o todos descendentes
14 puntos consecutivos, alternando hacia arriba y hacia abajo
2 de 3 puntos mayor a 2 desviaciones estándar desde la línea central (mismo lado)
4 de 5 puntos mayor a 1 desviación estándar desde la línea central (mismo lado)
15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (cualquier lado)
8 puntos consecutivos mayores a 1 desviación estándar desde la línea central (cualquier lado)

Figura 3.76 Pruebas para las cartas de control

Fuente: Elaboración propia

Un punto importante como medida de control es asegurar que el equipo de corte de bloques trabaje bajo los parámetros establecidos en la tabla 22 (velocidad de posicionamiento y de corte de 40 y 12,22 respectivamente), para esto el técnico eléctrico procedió a fijar las velocidades en los valores indicados y a bloquear el equipo para evitar que algún usuario pueda modificarlas.

En el área de corte adicionalmente se modificó un check-list operacional el cual es llenado al inicio de cada jornada laboral, el objetivo es el que se puede identificar de manera oportuna cualquier daño en el equipo de sierra cinta o alguna desviación en las mejoras implementadas. En la figura 3.77 se muestra el check-list con las modificaciones planteadas en la tabla 25 enmarcadas en rojo.

CHECK LIST OPERACIONAL		FECHA			
AREA:					
OPERADOR:					
#	FACTOR A REVISAR				
1	AREA DE TRABAJO				
1.1	El área de trabajo se encuentra limpia y ordenada				
1.2	Se encuentran instaladas las guardas de seguridad (sierra y cadena de motor)				
1.3	Se encuentran el extintor de incendios en el área de trabajo				
1.4	Se encuentran publicadas las especificaciones de espesor y rendimiento de corte				
1.5	El área se encuentra en condiciones adecuadas para trabajar (Segura)				
	EQUIPO DE CORTE				
2	Se encuentran bloqueadas las velocidades de corte y posicionamiento (40 y 12,22)				
2.1	Los tornillos sin fin del sistema de arrastre están libres fugas y correctamente fijados				
2.2	Los tornillos sin fin del sistema de arrastre están limpios y lubricados				
2.3	El sistema de absorción mantiene fijo a los bloques de madera				
2.4	Los puntos de anclaje de los bloques se encuentran en buen estado				
2.5	Las torres de anclaje de los bloques están libres de fuga				
2.6	Las guías de la sierra cinta están correctamente ubicadas				
2.7	El equipo de corte se encuentra en condiciones adecuadas para trabajar				

Nota: En caso de no cumplir con alguna de las condiciones indicadas se debe detener el proceso productivo y comunicar la novedad al supervisor del área

Figura 3.77 Check-list del proceso de corte

Fuente: Elaboración propia

b) Medidas de control en la recepción de bloques

En el área de recepción de bloques se publicó una señalética con los requisitos que los bloques de madera deben cumplir con respecto a sus dimensiones, la misma se muestra en la figura 3.78 y su objetivo es que los operadores que trabajan en la recepción y los proveedores tengan siempre presente los estándares que deben cumplir.

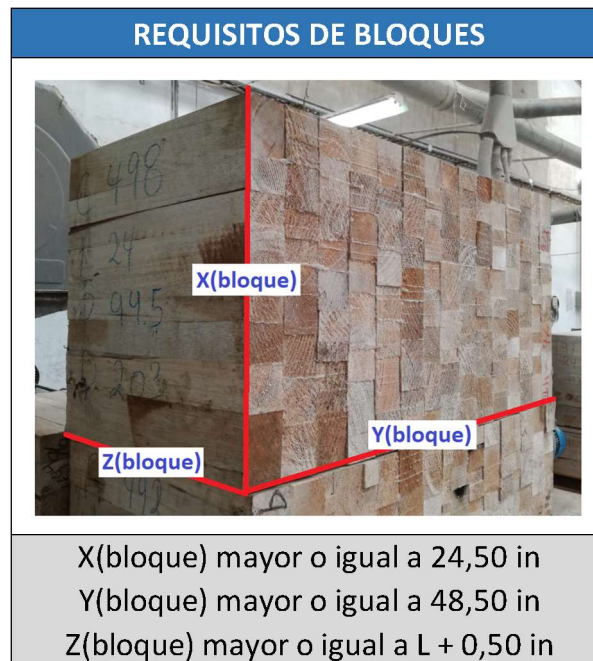


Figura 3.78 Publicación de requisitos de bloques

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de facilitar la actividad de medición de los bloques se procedió a marcar los flexómetros en las dimensiones más utilizadas (48,50, 24,50, 21,50, 18,50, y 15,50 pulgadas), en la figura 3.79 se muestra una imagen con flexómetros señalados.

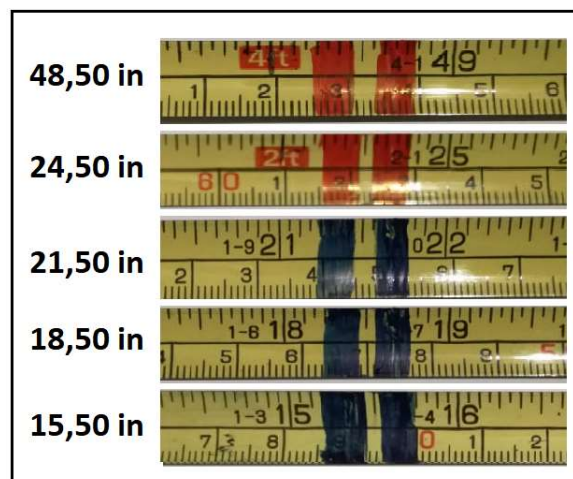


Figura 3.79 Señalización de flexómetros

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Para determinar los resultados del proyecto inicialmente se procedió a tomar una muestra la cual corresponde a las primeras 10 órdenes de producción del mes de marzo del 2021. En la tabla 29 se encuentra la muestra indicada, la columna de “Espesor Panel” corresponde al espesor nominal de la orden de producción, la columna de “Tamaño Orden” al número total de paneles de la orden, y la columna de “Scrap Orden” al desperdicio promedio de madera por panel.

Tabla 29
Scrap promedio – proceso mejorado

N	ESPESOR Panel(in)	TAMAÑO ORDEN (Paneles)	SCRAP ORDEN (Bft)
1	3/4	4080	1,20
2	1 3/4	1680	1,30
3	1 1/4	2400	1,28
4	1 1/2	1920	1,27
5	1 3/4	1680	1,28
6	3/4	4080	1,22
7	1	3120	1,28
8	1 5/8	1920	1,29
9	1 1/2	1920	1,26
10	2	1440	1,31

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.1 se muestra el resumen gráfico de la variable Scrap Orden, como se puede evidenciar en promedio una orden de producción posee un scrap promedio de madera por panel de 1,269 Bft, y una desviación estándar de 0,0345 Bft. Adicionalmente la prueba de normalidad posee un valor p de 0,097, con esto se pudo afirmar con un 95% de confianza que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que los datos tienen un comportamiento normal.

Con la finalidad de estimar adecuadamente la media de la variable Scrap Orden se procedió a calcular el tamaño de la muestra para estimación con el soporte del software Minitab, para esto se utilizó una desviación estándar y un margen de error de 0,0345 y 0,031 Bft respectivamente. Tal como se muestra en la figura 4.2 una muestra de 8 órdenes de producción era lo necesario.

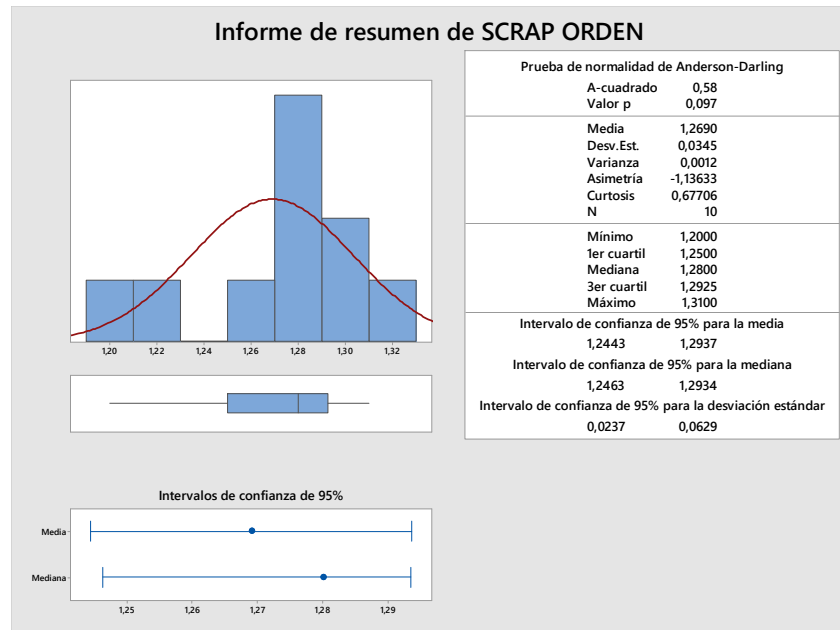


Figura 4.1 Resumen gráfico scrap proceso mejorado

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.2 Tamaño de muestra para estimación de media

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de llegar a una conclusión con respecto a la variable Scrap Orden se procedió a realizar una prueba de hipótesis, tal como se muestra en la figura 4.3, con un valor p de 0,929 y con un 95% de confianza se concluyó que no existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que el scrap promedio de las órdenes de producción es igual a 1,27 Bft.



Figura 4.3 Prueba de hipótesis para media de scrap orden

Fuente: Elaboración propia

Al inicio de este proyecto en la planta de Isidro Ayora las órdenes de producción tenían en promedio un scrap de 1,45 Bft, después de las mejoras implementadas el scrap promedio disminuyó a 1,27 Bft, lo cual representa una reducción de 0,18 Bft (12,41% de reducción).

Considerando que en un año se espera producir aproximadamente 924000 paneles rígidos y que en cada uno se alcanza un ahorro promedio de 0,18 Bft, el ahorro total anual esperado sería de 166320 Bft. Si el costo de 1 Bft es de \$2,70, las mejoras alcanzadas con este proyecto representan un ahorro anual de \$449064.

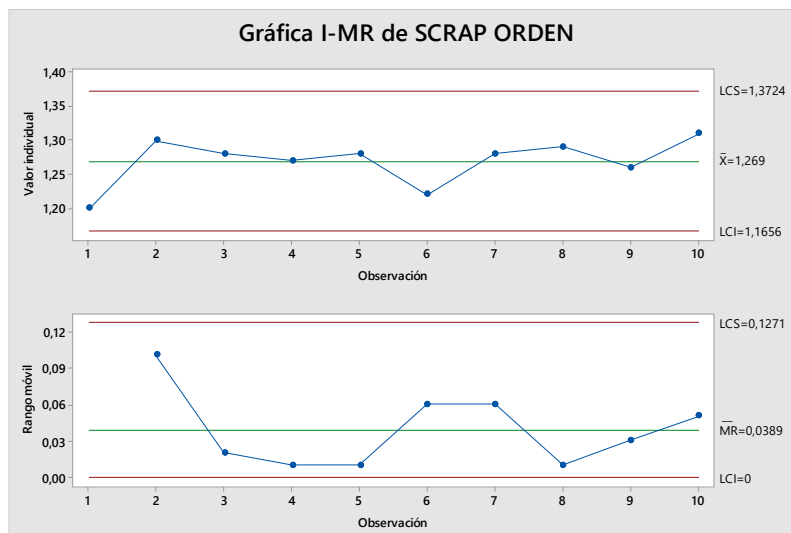


Figura 4.4 Gráfica de control scrap orden (Mejorado)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se procedió a evaluar el estado de control y capacidad del proceso, para esto se consideró nuevamente la muestra que se encuentra en la tabla 29 la cual cumple con el requisito de normalidad. En la figura 4.4 se muestra la carta de control de la variable Scrap Orden y como se puede apreciar el proceso se encuentra bajo control después de las mejoras implementadas, antes del desarrollo de este proyecto el proceso estaba fuera de control.

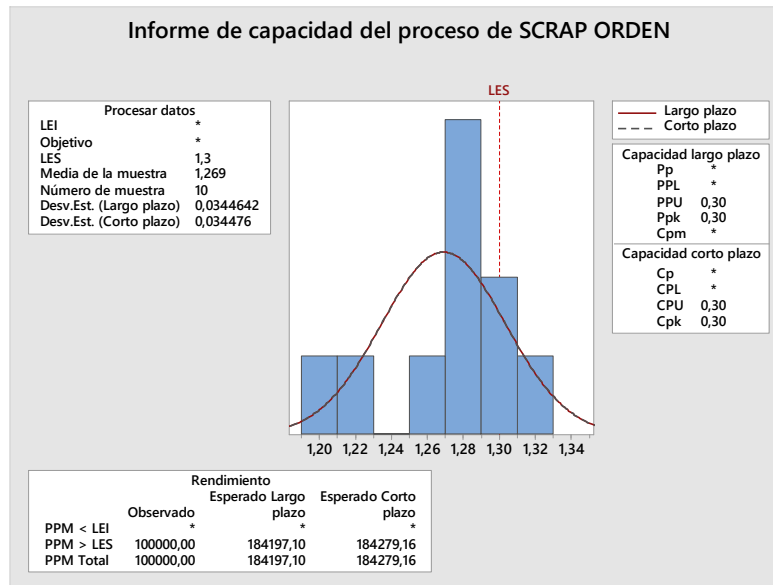


Figura 4.5 Análisis de capacidad variable scrap orden

Fuente: Elaboración propia

El índice de capacidad a largo plazo (Ppk) para la variable Scrap Orden inicialmente era de -0,47 (antes de las mejoras), esto da a conocer que la gran mayoría de las órdenes de producción poseían un scrap promedio de madera por panel superior a 1,30 Bft, aproximadamente el 92% de las órdenes de producción a largo plazo superaban el LES (1,30 Bft). Tal como se muestra en la figura 4.5 con las mejoras implementadas se alcanzó un Ppk de 0,30, es decir que se mejoró significativamente la capacidad del proceso, esto se refleja en que a largo plazo se espera que a lo mucho el 19% de las órdenes de producción supere el LSE de 1,30 Bft.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Con el desarrollo del presente proyecto se pudo reducir de 1,45 Bft a 1,27 Bft el scrap promedio de madera por panel rígido mediante la implementación de la metodología DMAIC. Con esto se cumplió el objetivo planteado del proyecto de reducir el scrap de madera a 1,29 Bft.
2. Se determinó la situación inicial del proceso de elaboración de paneles rígidos de madera balsa, para esto se estableció la línea base del scrap promedio de madera de las órdenes de producción, se estimaron los parámetros más importantes como la media y desviación estándar, y finalmente se determinó el estado de control y capacidad del proceso para cumplir con el LSE de 1,30 Bft como desperdicio de madera.
3. Se pudieron identificar las principales causas raíz que afectan la generación del scrap de madera, entre las cuales están la falta de parámetros operacionales adecuados en los equipos de corte, defectuoso sistema de anclaje y arrastre de los bloques, y la falta de un procedimiento para controlar el cumplimiento de las especificaciones de los bloques de madera durante su recepción.
4. Para cada causa raíz se desarrolló e implementó una solución. Mediante el diseño experimental se establecieron los parámetros de operaciones para el equipo de corte, se rediseñó el sistema de anclaje y arrastre de los bloques de madera, y se estableció un sistema de recepción de los bloques de madera basado en la inspección del 100% de los mismos.
5. Como parte final del proyecto se establecieron medidas de control orientadas a que las mejoras alcanzadas se mantengan, entre estas están la actualización y publicación de nuevos estándares y rendimientos esperados en el proceso de corte, el bloqueo de algunos de los controles del equipo de corte, y cartas de control y check-list preoperacional para el proceso de corte. En el proceso de recepción se publicaron las especificaciones que los bloques de madera deben cumplir y se marcaron en los flexómetros las dimensiones más utilizadas.

5.2. Recomendaciones

1. Considerando el impacto económico que representa una reducción en el scrap de madera, se recomienda desarrollar nuevos proyectos de mejora orientados a disminuir el desperdicio de madera.
2. Debido al alto impacto que tiene el proceso de corte de bloque sobre la generación de scrap de madera, se recomienda establecer mediante diseño experimental los

parámetros operacionales de cada uno de los equipos de corte debido a que estos difieren en su diseño.

3. Debido a la importancia de mantener bajo control estadístico el proceso de corte, se recomienda capacitar al personal de control de calidad en temas relacionados a gráficas de control, con el objetivo de que las mismas se puedan llevar de manera eficaz y eficiente.
4. Se recomienda capacitar y entrenar al personal operativo en temas relacionados a la mejora continua de procesos y sus respectivas herramientas, con el objetivo de que los mismos puedan participar de manera activa en futuras iniciativas de mejora.
5. Se recomienda desarrollar e implementar un plan de incentivos para que el personal operativo participe de manera comprometida en las actividades relacionadas a la reducción del desperdicio de madera.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, C., Gupta, P., y Wilson, C. (2011). *Six Sigma Deployment*. New York, USA: Routledge.
- Burton, T., y Sams, J. (2004). *Six Sigma for Small and Mid-Sized Organizations*. New York, USA: J. Ross.
- Evans, J., y Lindsay, W. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. Boston, USA: Cengage Learning.
- Shridhara, K. (2010). *Total Quality Management*. Karnataka, India: Himalaya Publishing House.
- Madariaga, F. (2013). *Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Madrid, España: Bubok Publishing.
- Antoy, J. (2014). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Massachusetts, USA: Elsevier.
- Hines, W., y Montgomery, D. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. Ciudad de Mexico, Mexico: Editorial Continental.
- Kholkar, P., y Sangodker, A. (2019). Dmaic for Scrap Reduction. *Qess Project*, 70(2), 534-545.
- Khawar, N., Misbah, U., y Adnan, T. (2016). Optimization of Steel Bar Manufacturing Process Using Six Sigma. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 29(2), 332–341.

ANEXOS

ANEXO A

SCRAP PROMEDIO GENERADO EN ÓRDENES DE PRODUCCIÓN DEL CANTON ISIDRO AYORA

DATOS LINEA BASE				DATOS LINEA BASE				DATOS LINEA BASE			
MES	N	ESPEJOR Panel (in)	SCRAP ORDEN (Bft)	MES	N	ESPEJOR Panel (in)	SCRAP ORDEN (Bft)	MES	N	ESPEJOR Panel (in)	SCRAP ORDEN (Bft)
AGOSTO (2020)	1	3/4	1,28	SEPTIEMBRE (2020)	33	2	1,57	OCTUBRE (2020)	64	1 5/8	1,49
	2	1 1/4	1,31		34	1 1/2	1,37		65	1 5/8	1,69
	3	2	1,52		35	1 1/2	1,36		66	3/4	1,42
	4	1 3/8	1,31		36	1 1/2	1,44		67	1 1/4	1,41
	5	1	1,25		37	2	1,55		68	1	1,36
	6	1 5/8	1,45		38	1 3/4	1,62		69	1	1,25
	7	2	1,63		39	1	1,24		70	2	1,56
	8	1 5/8	1,39		40	2	1,54		71	1 1/4	1,39
	9	1 3/8	1,36		41	2	1,72		72	1 1/4	1,50
	10	1 3/4	1,47		42	1 3/4	1,61		73	1 3/4	1,51
	11	2	1,63		43	1 1/4	1,35		74	1 5/8	1,40
	12	5/8	1,32		44	1 5/8	1,39		75	1 1/2	1,41
	13	1 3/8	1,39		45	1 3/4	1,54		76	1	1,33
	14	1 3/4	1,52		46	1 5/8	1,36		77	1 1/2	1,67
	15	1 3/4	1,48		47	1 5/8	1,53		78	1 1/2	1,54
	16	2	1,49		48	1 1/4	1,36		79	1 3/4	1,52
	17	2	1,59		49	1 3/4	1,45		80	1 3/8	1,39
	18	5/8	1,41		50	1	1,38		81	2	1,44
	19	2	1,52		51	1 1/4	1,36		82	1	1,41
	20	1 3/4	1,48		52	2	1,49		83	5/8	1,29
	21	1 3/4	1,55		53	1 3/4	1,58		84	1	1,34
	22	1 1/2	1,40		54	1 1/4	1,36		85	1 1/4	1,38
	23	1 3/4	1,51		55	1 3/8	1,33		86	5/8	1,35
	24	1 1/2	1,39		56	2	1,48		87	1 1/4	1,34
	25	1 1/4	1,28		57	3/4	1,37		88	1 3/8	1,31
	26	1	1,36		58	1 1/4	1,38		89	1 3/4	1,57
	27	1 3/4	1,57		59	1 5/8	1,51		90	2	1,60
	28	2	1,54		60	2	1,61		91	1	1,48
	29	2	1,49		61	3/4	1,31		92	1 3/4	1,59
	30	1 1/2	1,42		62	1 3/4	1,55		93	1 1/2	1,50
	31	1 3/4	1,53		63	1 3/8	1,36		94	3/4	1,51
	32	2	1,45						95	1 1/2	1,46
						96	2	1,56			
						97	1 1/4	1,50			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B

DIAGRAMA SIPOC DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES RÍGIDOS

S SUPPLIER	I INPUTS	P PROCESS	O OUTPUTS	C COSTUMERS
Proveedores de madera Área de Calidad Área técnica	Bloques de madera Estándares de Calidad Balanza Equipos de medición Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Recibir</div> ↓	Bloques clasificados	Área de corte
Área de recepción Área de Calidad Área técnica Área de Producción	Bloques clasificados Estándares de Calidad Equipos de medición Sierra cinta Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Cortar</div> ↓	Paneles de madera Scrap de madera	Área de trimmer
Área de corte Área de Calidad Área técnica Área de Producción	Paneles de madera Estándares de Calidad Equipos de medición Equipo Trimmer Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Recortar</div> ↓	Paneles a medida Scrap de madera	Área de reparación
Área de trimmer Área de Calidad Área técnica Área de Producción	Estándares de Calidad Perforadoras Habilidades de operadores Módulos de madera Estándares de producción	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Reparar</div> ↓	Paneles reparados Scrap de madera	Área de lijado
Área de reparación Área de Calidad Área técnica Área de Producción	Paneles reparados Estándares de Calidad Lijadoras Equipos de medición Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Lijar</div> ↓	Paneles lijados Scrap de madera	Calificado
Área de lijado Área de Calidad Área técnica	Paneles lijados Estándares de Calidad Equipos de medición Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Calificar</div> ↓	Paneles calificados Paneles rechazados	Área de embalaje
Área de calificado Área de Calidad Área técnica Área de Producción	Paneles calificados Estándares de Calidad Termo selladora Embaladora Habilidades de operadores	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; background-color: #ffff00; padding: 5px; display: inline-block;">Embalar</div>	Paneles paletizados	Área de embarque

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C

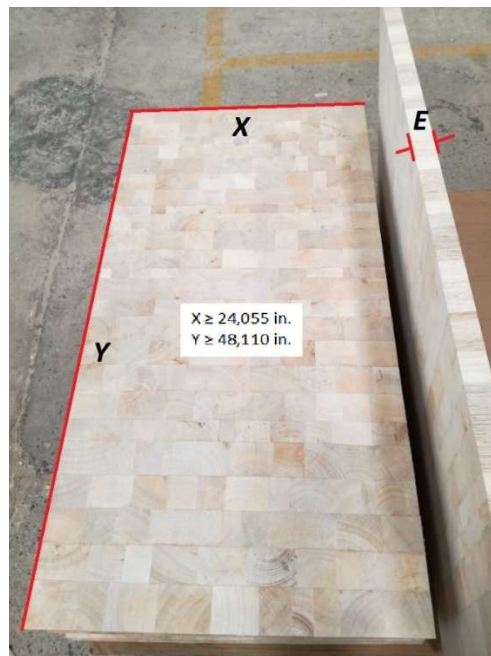
ESPEORES Y VOLUMEN DE PANELES RÍGIDOS

E (in)	ESPESOR DE CORTE (in)			ESPESOR DE LIJADO (in)			VOLUMEN
	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo	BFT
5/8 (0,625)	0,695	0,700	0,705	0,615	0,625	0,635	5
3/4 (0,750)	0,820	0,825	0,830	0,740	0,750	0,760	6
1 (1,000)	1,070	1,075	1,080	0,990	1,000	1,010	8
1 1/4 (1,250)	1,320	1,325	1,330	1,240	1,250	1,260	10
1 3/8 (1,375)	1,445	1,450	1,455	1,365	1,375	1,385	11
1 1/2 (1,500)	1,570	1,575	1,580	1,490	1,500	1,510	12
1 5/8 (1,625)	1,695	1,700	1,705	1,615	1,625	1,635	13
1 3/4 (1,750)	1,820	1,825	1,830	1,740	1,750	1,760	14
2 (2,000)	2,070	2,075	2,080	1,990	2,000	2,010	16

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D

DIMENSIONES DE UN BLOQUE Y PANEL DE MADERA



Fuente: Elaboración propia

ANEXO E

MUESTREO INICIAL Y TAMAÑO DE MUESTRA FINAL (n) PARA LAS DIMENSIONES DE UN BLOQUE DE MADERA

DIMENSIONES DE BLOQUES (24 Pulgadas)									
#	X (Bloque)	Y (Bloque)	Z (Bloque)	D11	D12	D11-D12	D21	D22	D21-D22
1	24,940	48,940	24,690	34,813	34,500	0,313	34,938	34,750	0,188
2	24,750	48,940	24,813	34,875	34,500	0,375	35,000	34,875	0,125
3	24,940	48,750	24,690	34,813	34,500	0,313	35,063	34,938	0,125
4	25,000	48,690	24,813	35,000	34,688	0,312	34,875	35,063	0,188
5	25,060	48,750	24,750	34,875	34,625	0,250	35,438	35,313	0,125
6	24,750	48,940	24,750	34,875	34,625	0,250	35,000	34,813	0,187
7	24,810	48,630	24,750	35,250	34,813	0,437	35,000	34,875	0,125
8	24,440	49,250	24,875	35,000	34,625	0,375	35,188	35,375	0,187
9	24,500	49,060	24,813	35,250	34,813	0,437	35,063	35,250	0,187
10	24,810	48,940	24,750	35,189	34,813	0,376	35,063	35,188	0,125
Media	24,800	48,889	24,769		Media	0,344		Media	0,156
S	0,203	0,187	0,059		S	0,067		S	0,033
% Diferencia	1,00%	0,50%	0,30%		% Diferencia	10,00%		% Diferencia	10,00%
Diferencia	0,248	0,244	0,074		Diferencia	0,034		Diferencia	0,016
Potencia	0,900	0,900	0,900		Potencia	0,900		Potencia	0,900
Significancia	0,050	0,050	0,050		Significancia	0,050		Significancia	0,050
n	10	9	9		n	43		n	47

Fuente: Elaboración propia

ANEXO F

MUESTREO INICIAL Y TAMAÑO DE MUESTRA FINAL (n) PARA EL ESPESOR DE UN PANEL EN CORTE

ESPESOR DE PANELES (CORTE - 1 3/4 Pulgadas)								
#	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC (min)	EC (max)
1	1,849	1,850	1,848	1,848	1,853	1,856	1,848	1,856
2	1,817	1,829	1,823	1,830	1,827	1,830	1,817	1,830
3	1,826	1,823	1,821	1,845	1,838	1,843	1,821	1,845
4	1,850	1,848	1,841	1,845	1,856	1,857	1,841	1,857
5	1,842	1,847	1,844	1,847	1,841	1,843	1,841	1,847
6	1,848	1,852	1,852	1,844	1,850	1,846	1,844	1,852
7	1,859	1,862	1,862	1,848	1,855	1,853	1,848	1,862
8	1,860	1,855	1,855	1,845	1,842	1,846	1,842	1,860
9	1,862	1,868	1,868	1,847	1,856	1,846	1,846	1,868
10	1,833	1,848	1,845	1,839	1,836	1,834	1,833	1,848
Media							1,838	1,853
S							0,011	0,011
% Diferencia							0,50%	0,50%
Diferencia							0,009	0,009
Potencia							0,900	0,900
Significancia							0,050	0,050
n							18	18

EC (min) = min (E1, E2, E3, E4, E5, y E6)

EC (max) = max (E1, E2, E3, E4, E5, y E6)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO G

MUESTREO INICIAL Y TAMAÑO DE MUESTRA FINAL (n) PARA LAS DIMENSIONES DE UN PANEL TERMINADO

DIMENSIONES DE PANELES Y ESPESOR DE LIJADO (1 3/4 Pulgadas)											
#	X (Panel)	Y (Panel)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EL (min)	EL (max)	
1	24,062	48,125	1,765	1,763	1,762	1,765	1,768	1,760	1,760	1,768	
2	24,062	48,062	1,763	1,760	1,761	1,762	1,762	1,762	1,760	1,763	
3	24,094	48,094	1,768	1,775	1,765	1,765	1,776	1,776	1,765	1,776	
4	24,000	48,062	1,771	1,762	1,763	1,778	1,759	1,762	1,759	1,778	
5	24,000	48,125	1,759	1,763	1,761	1,762	1,770	1,761	1,759	1,770	
6	24,031	48,125	1,769	1,766	1,756	1,770	1,762	1,767	1,756	1,770	
7	24,062	48,031	1,765	1,770	1,770	1,767	1,769	1,763	1,763	1,770	
8	24,000	48,094	1,757	1,767	1,758	1,762	1,764	1,754	1,754	1,767	
9	24,000	48,125	1,747	1,758	1,759	1,768	1,767	1,759	1,747	1,768	
10	24,062	48,062	1,760	1,763	1,747	1,764	1,760	1,760	1,747	1,764	
Media	24,037	48,091							Media	1,757	1,769
S	0,035	0,035							S	0,006	0,005
% Diferencia	0,12%	0,06%							% Diferencia	0,300%	0,260%
Diferencia	0,029	0,029							Diferencia	0,005	0,005
Potencia	0,900	0,900							Potencia	0,900	0,900
Significancia	0,050	0,050							Significancia	0,050	0,050
n	18	18							n	18	19

$EL (min) = \min (E1, E2, E3, E4, E5, \text{ y } E6)$

$EL (max) = \max (E1, E2, E3, E4, E5, \text{ y } E6)$

Fuente: Elaboración propia

ANEXO H

MUESTREO INICIAL Y TAMAÑO DE MUESTRA FINAL (n) PARA EL SPP-CORTE DE UN BLOQUE DE MADERA

RENDIMIENDO DE BLOQUES DE 24 IN (192 Bft)						
Paneles de 1 3/4		Panel Sobrante		Volumen	Scrap	SPP
Cantidad	Vol. (Bft)	Espesor	Vol. (Bft)	Total (Bft)	Total (Bft)	(Bft)
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1 1/2	12	180	12	1,00
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	1	8	176	16	1,33
12	168	3/4	6	174	18	1,50
12	168	1	8	176	16	1,33

Media	1,317
S	0,123
% Diferencia	4,00%
Diferencia	0,053
Potencia	0,900
Significancia	0,050
n	59

$$SPP = \frac{192 - [(14 * Cantidad) + V_{Panel\ sobrante}]}{Cantidad}$$











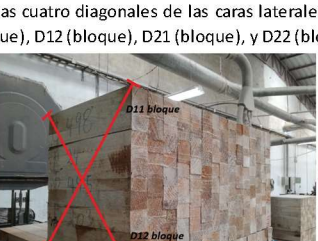


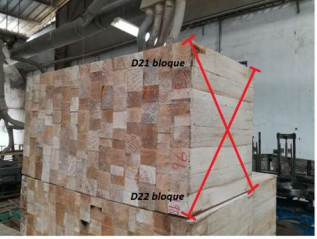
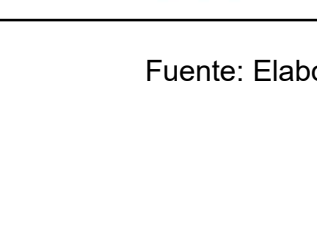
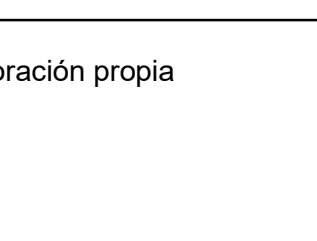
$$SPP = \frac{192 - [(14 * 12) + 8]}{12}$$

$$SPP = 1,33$$

Fuente: Elaboración propia

ANEXO I

INSTRUCTIVO PARA LA MEDICIÓN DE BLOQUES (INS-001)

INSTRUCTIVO PARA MEDICION DE BLOQUES							
CODIGO:	INS-001	INSTRUMENTO DE MEDICION:	Flexómetro	UNIDADES:	Pulgadas		
1. Medir el ancho del bloque tanto en la parte inferior como en la superior de las caras frontal y posterior del bloque. De estas cuatro medidas la de menor valor representa Y (bloque).							
							
2. Medir el alto del bloque tanto en la parte izquierda como en la derecha de las caras frontal y posterior del bloque. De estas cuatro mediciones la de menor valor representa X (bloque).							
							
3. Medir el largo del bloque en cada una de sus cuatro aristas. De estas cuatro mediciones la de menor valor representa Z (bloque).							
							
4. Medir las cuatro diagonales de las caras laterales del bloque. Estas cuatro mediciones representan $D11$ (bloque), $D12$ (bloque), $D21$ (bloque), y $D22$ (bloque).							
							

Fuente: Elaboración propia

ANEXO J


INSTRUCTIVO PARA LA MEDICIÓN DE PANELES (INS-002)

INSTRUCTIVO PARA MEDICION DE PANELES			
CODIGO:	INS-002	INSTRUMENTO MEDICION:	Flexómetro/Calibrador
UNIDADES:	Pulgadas		

1. Con la ayuda de un flexómetro medir el ancho y largo del panel, tal como se indica con las líneas rojas. El ancho del panel representa X(panel) y el largo Y(panel).



2. Con un calibrador de vernier medir el espesor del panel (dos extremos y el centro), tal como se indica en las líneas rojas. Repetir esta operación en el otro costado del panel. Registra las seis mediciones obtenidas (E1, E2, E3, E4, E5, y E6).



Fuente: Elaboración propia

ANEXO K

DATOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

ANÁLISIS DE SESGO CALIBRADOR			ANÁLISIS DE R&R CALIBRADOR			ANÁLISIS DE R&R CALIBRADOR			ANÁLISIS DE R&R CALIBRADOR			ANÁLISIS DE SESGO FLEXIOMETRO			ANÁLISIS DE R&R FLEXIOMETRO		
Parte	Referencia (mil)	Dato (mil)	# Parte	Operador	Dato (mil)	# Parte	Operador	Dato (mil)	# Parte	Operador	Dato (mil)	# Parte	Operador	Dato (mil)	# Parte	Operador	Dato (mil)
1	737	735	1	1	1882	6	2	1868	1	1	24,000	24,063	1	1	24,125		
1	737	733	1	1	1883	6	2	1871	1	1	24,000	24,000	1	1	24,000		
1	737	736	1	1	1886	6	2	1871	1	1	24,000	24,125	2	1	34,063		
1	737	737	2	1	1874	7	2	1880	1	1	24,000	24,063	2	1	33,938		
1	737	738	2	1	1872	7	2	1884	2	1	24,250	24,250	3	1	34,625		
2	1012	1009	2	1	1871	7	2	1886	2	2	24,250	24,250	3	1	34,500		
2	1012	1011	3	1	1736	8	2	1754	2	2	24,250	24,313	4	1	35,000		
2	1012	1012	3	1	1737	8	2	1750	2	2	24,250	24,188	4	1	35,000		
2	1012	1011	3	1	1734	8	2	1753	3	3	24,500	24,563	5	1	48,125		
2	1012	1013	4	1	1871	9	2	1885	3	3	24,500	24,438	5	1	47,938		
3	1380	1377	4	1	1874	9	2	1884	3	3	24,500	24,438	1	1	23,988		
3	1380	1379	4	1	1875	9	2	1883	3	3	24,500	24,500	1	2	24,063		
3	1380	1378	5	1	1875	10	2	1877	4	4	34,500	34,500	2	2	34,000		
3	1380	1383	5	1	1872	10	2	1879	4	4	34,500	34,500	2	2	34,125		
3	1380	1384	5	1	1874	10	2	1880	4	4	34,500	34,500	3	2	34,563		
4	1857	1859	6	1	1872	1	3	1885	4	4	34,500	34,563	3	2	34,438		
4	1857	1855	6	1	1874	1	3	1880	5	5	35,000	35,063	4	2	35,000		
4	1857	1856	6	1	1869	1	3	1882	5	5	35,000	35,000	4	2	34,938		
4	1857	1858	7	1	1880	2	3	1877	5	5	35,000	35,000	5	2	48,063		
5	2115	2115	7	1	1884	2	3	1873	5	5	35,000	34,938	5	2	48,063		
5	2115	2111	8	1	1752	3	3	1737	6	6	48,250	48,313	6	2	48,063		
5	2115	2113	8	1	1752	3	3	1736	6	6	48,250	48,250	6	2	48,063		
5	2115	2119	8	1	1755	3	3	1736	6	6	48,250	48,250	6	2	48,063		
5	2115	2117	9	1	1881	4	3	1876	7	7	48,500	48,500	7	2	48,063		
9			9	1	1876	4	3	1879	7	7	48,500	48,500	7	2	48,063		
9			9	1	1882	4	3	1880	7	7	48,500	48,500	7	2	48,063		
10			10	1	1875	5	3	1871	7	7	48,500	48,563	7	2	48,063		
10			10	1	1878	5	3	1873	8	8	48,750	48,688	8	2	48,063		
10			10	1	1880	5	3	1876	8	8	48,750	48,750	8	2	48,063		
1			1	2	1881	6	3	1874	8	8	48,750	48,750	8	2	48,063		
1			1	2	1877	6	3	1875	8	8	48,750	48,750	8	2	48,063		
2			2	2	1882	6	3	1868	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
2			2	2	1874	7	3	1887	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
2			2	2	1875	7	3	1890	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
2			2	2	1874	7	3	1888	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
3			3	2	1736	8	3	1756	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
3			3	2	1733	8	3	1755	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
3			3	2	1734	8	3	1753	8	8	48,750	48,875	8	2	48,063		
4			4	2	1873	9	3	1883	9	9	48,750	48,875	9	2	48,063		
4			4	2	1877	9	3	1884	9	9	48,750	48,875	9	2	48,063		
4			4	2	1875	9	3	1880	9	9	48,750	48,875	9	2	48,063		
5			5	2	1873	10	3	1880	10	10	48,750	48,875	10	3	48,063		
5			5	2	1869	10	3	1878	10	10	48,750	48,875	10	3	48,063		
5			5	2	1869	10	3	1880	10	10	48,750	48,875	10	3	48,063		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO L

MUESTRA FINAL MEDIDAS DE BLOQUES

DIMENSIONES DE BLOQUES (24 In)				DIMENSIONES DE BLOQUES (24 In)						
#	X (Bloque)	Y (Bloque)	Z (Bloque)	#	D11	D12	D11-D12	D21	D22	D21-D22
1	24,940	48,940	24,690	1	34,813	34,500	0,313	34,938	34,750	0,188
2	24,750	48,940	24,813	2	34,875	34,500	0,375	35,000	34,875	0,125
3	24,940	48,750	24,690	3	34,813	34,500	0,313	35,063	34,938	0,125
4	25,000	48,690	24,813	4	35,000	34,688	0,312	34,875	35,063	0,188
5	25,060	48,750	24,750	5	34,875	34,625	0,250	35,438	35,313	0,125
6	24,750	48,940	24,750	6	34,875	34,625	0,250	35,000	34,813	0,187
7	24,810	48,630	24,750	7	35,250	34,813	0,437	35,000	34,875	0,125
8	24,440	49,250	24,875	8	35,000	34,625	0,375	35,188	35,375	0,187
9	24,500	49,060	24,813	9	35,250	34,813	0,437	35,063	35,250	0,187
10	24,810	48,940	24,750	10	35,189	34,813	0,376	35,063	35,188	0,125
				11	34,938	35,375	0,438	34,938	35,063	0,125
				12	35,188	34,938	0,250	35,250	35,313	0,063
				13	34,938	35,313	0,375	34,500	34,688	0,188
				14	34,688	35,063	0,375	34,875	35,000	0,125
				15	34,938	35,375	0,437	35,250	35,125	0,125
				16	35,188	34,876	0,312	35,438	35,626	0,188
				17	35,250	34,813	0,437	35,063	35,188	0,125
				18	35,000	35,375	0,375	35,000	35,125	0,125
				19	34,875	35,126	0,251	35,188	35,376	0,188
				20	34,688	35,000	0,313	35,063	35,126	0,063
				21	35,250	34,875	0,375	34,500	34,625	0,125
				22	34,938	35,188	0,250	35,438	35,563	0,125
				23	34,938	35,251	0,313	35,000	35,188	0,188
				24	35,313	34,937	0,376	34,625	34,875	0,250
				25	35,250	34,937	0,313	35,063	35,188	0,125
				26	34,688	35,063	0,375	34,938	35,125	0,188
				27	35,000	35,250	0,250	35,438	35,251	0,188
				28	34,938	35,251	0,313	35,250	35,000	0,250
				29	34,625	34,938	0,313	34,938	35,063	0,125
				30	35,250	34,937	0,313	35,250	35,125	0,125
				31	35,313	34,938	0,375	34,625	34,875	0,250
				32	34,938	35,313	0,375	34,875	35,063	0,188
				33	34,813	35,251	0,438	35,188	35,376	0,188
				34	34,813	35,188	0,375	35,438	35,563	0,125
				35	34,938	34,625	0,313	34,500	34,625	0,125
				36	34,500	34,938	0,438	34,500	34,625	0,125
				37	35,188	34,813	0,375	35,000	35,188	0,188
				38	35,250	34,875	0,375	34,875	34,938	0,063
				39	34,938	34,501	0,437	35,250	35,000	0,250
				40	35,313	35,000	0,313	35,063	35,251	0,188
				41	34,938	35,313	0,375	34,938	35,125	0,188
				42	34,500	34,813	0,313	35,438	35,626	0,188
				43	35,250	34,875	0,375	35,438	35,626	0,188
				44	35,000	34,625	0,375	35,063	35,188	0,125
				45	35,313	34,876	0,437	34,938	34,750	0,188
				46	34,938	35,375	0,438	35,000	35,125	0,125
				47	34,813	35,063	0,250	34,938	35,126	0,188

Media	24,800	48,889	24,769
S	0,203	0,187	0,059

Media	0,352	Media	0,158
S	0,062	S	0,047

Fuente: Elaboración propia

ANEXO M

MUESTRA FINAL ESPESOR DE CORTE Y LIJADO

DIMENSIONES DE PANELES Y ESPESOR DE LIJADO (1 3/4 In)												
#	X (Panel)	Y (Panel)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EL (min)	EL (max)		
1	24,062	48,125	1,765	1,763	1,762	1,765	1,768	1,760	1,760	1,768		
2	24,062	48,062	1,763	1,760	1,761	1,762	1,762	1,762	1,760	1,763		
3	24,094	48,094	1,768	1,775	1,765	1,765	1,776	1,776	1,765	1,776		
4	24,000	48,062	1,771	1,762	1,763	1,778	1,759	1,762	1,759	1,778		
5	24,000	48,125	1,759	1,763	1,761	1,762	1,770	1,761	1,759	1,770		
6	24,031	48,125	1,769	1,766	1,756	1,770	1,762	1,767	1,756	1,770		
7	24,062	48,031	1,765	1,770	1,770	1,767	1,769	1,763	1,763	1,770		
8	24,000	48,094	1,757	1,767	1,758	1,762	1,764	1,754	1,754	1,767		
9	24,000	48,125	1,747	1,758	1,759	1,768	1,767	1,759	1,747	1,768		
10	24,062	48,062	1,760	1,763	1,747	1,764	1,760	1,760	1,747	1,764		
11	24,062	48,094	1,763	1,758	1,762	1,773	1,767	1,772	1,758	1,773		
12	24,031	48,062	1,769	1,761	1,770	1,762	1,765	1,768	1,761	1,770		
13	24,062	48,000	1,769	1,765	1,775	1,769	1,760	1,770	1,760	1,775		
14	24,031	48,000	1,759	1,765	1,758	1,768	1,754	1,760	1,754	1,768		
15	24,062	48,031	1,761	1,767	1,764	1,766	1,766	1,764	1,761	1,767		
16	24,094	48,062	1,755	1,754	1,750	1,767	1,761	1,764	1,750	1,767		
17	24,031	48,094	1,775	1,766	1,758	1,769	1,775	1,772	1,758	1,775		
18	24,094	48,062	1,765	1,760	1,753	1,762	1,765	1,765	1,753	1,765		
19	24,125	48,031	1,776	1,764	1,760	1,762	1,756	1,759	1,756	1,776		

Media	1,757	1,770
S	0,005	0,004

Media	24,051	48,071
S	0,036	0,040

ESPESOR DE PANELES (CORTE - 1 3/4 In)												
#	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC (min)	EC (max)				
1	1,849	1,850	1,848	1,848	1,853	1,856	1,848	1,856				
2	1,817	1,829	1,823	1,830	1,827	1,830	1,817	1,830				
3	1,826	1,823	1,821	1,845	1,838	1,843	1,821	1,845				
4	1,850	1,848	1,841	1,845	1,856	1,857	1,841	1,857				
5	1,842	1,847	1,844	1,847	1,841	1,843	1,841	1,847				
6	1,848	1,852	1,852	1,844	1,850	1,846	1,844	1,852				
7	1,859	1,862	1,862	1,848	1,855	1,853	1,848	1,862				
8	1,860	1,855	1,855	1,845	1,842	1,846	1,842	1,860				
9	1,862	1,868	1,868	1,847	1,856	1,846	1,846	1,868				
10	1,833	1,848	1,845	1,839	1,836	1,834	1,833	1,848				
11	1,847	1,845	1,854	1,848	1,845	1,847	1,845	1,854				
12	1,853	1,850	1,851	1,855	1,854	1,856	1,850	1,856				
13	1,829	1,825	1,844	1,837	1,838	1,855	1,825	1,855				
14	1,856	1,854	1,855	1,849	1,857	1,857	1,849	1,857				
15	1,829	1,830	1,836	1,835	1,838	1,828	1,828	1,838				
16	1,856	1,842	1,856	1,857	1,863	1,855	1,842	1,863				
17	1,849	1,845	1,838	1,855	1,843	1,857	1,838	1,857				
18	1,855	1,849	1,859	1,836	1,839	1,835	1,835	1,859				

Media	1,839	1,854
S	0,010	0,009

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N

MUESTRA FINAL SPP-CORTE (Bft)

RENDIMIENTO DE BLOQUES DE 24 IN (192 Bft)												
#	Panes de 1 3/4		Panel Sobrante	Volumen		SPP (Bft)						
	Cantidad	Vol. (Bft)		Total (Bft)	Total (Bft)							
1	12	168	1	8	176	16	1,33					
2	12	168	1	8	176	16	1,33					
3	12	168	1 1/2	12	180	12	1,00					
4	12	168	1	8	176	16	1,33					
5	12	168	1	8	176	16	1,33					
6	12	168	1	8	176	16	1,33					
7	12	168	1	8	176	16	1,33					
8	12	168	1	8	176	16	1,33					
9	12	168	3/4	6	174	18	1,50					
10	12	168	1	8	176	16	1,33					
11	12	168	1	8	176	16	1,33					
12	12	168	1	8	176	16	1,33					
13	12	168	1	8	176	16	1,33					
14	12	168	1	8	176	16	1,33					
15	12	168	1	8	176	16	1,33					
16	12	168	1	8	176	16	1,33					
17	12	168	1 1/2	12	180	12	1,00					
18	12	168	1	8	176	16	1,33					
19	11	154	2 1/2	20	174	18	1,64					
20	12	168	1	8	176	16	1,33					
21	12	168	1	8	176	16	1,33					
22	12	168	1	8	176	16	1,33					
23	12	168	1	8	176	16	1,33					
24	12	168	1	8	176	16	1,33					
25	12	168	3/4	6	174	18	1,50					
26	12	168	1	8	176	16	1,33					
27	12	168	1	8	176	16	1,33					
28	12	168	1	8	176	16	1,33					
29	12	168	1	8	176	16	1,33					
30	12	168	1	8	176	16	1,33					

RENDIMIENTO DE BLOQUES DE 24 IN (192 Bft)												
#	Panes de 1 3/4		Panel Sobrante	Volumen		SPP (Bft)						
	Cantidad	Vol. (Bft)		Total (Bft)	Total (Bft)							
31	12	168	3/4	6	174	18	1,50					
32	12	168	1 1/4	10	178	14	1,17					
33	12	168	1	8	176	16	1,33					
34	12	168	1	8	176	16	1,33					
35	12	168	1	8	176	16	1,33					
36	12	168	1	8	176	16	1,33					
37	12	168	1	8	176	16	1,33					
38	12	168	1	8	176	16	1,33					
39	12	168	1 1/2	12	180	12	1,00					
40	12	168	1	8	176	16	1,33					
41	12	168	1	8	176	16	1,33					
42	12	168	1	8	176	16	1,33					
43	12	168	1	8	176	16	1,33					
44	12	168	1	8	176	16	1,33					
45	12	168	1	8	176	16	1,33					
46	12	168	1	8	176	16	1,33					
47	12	168	1	8	176	16	1,33					
48	12	168	1 1/4	10	178	14	1,17					
49	12	168	1	8	176	16	1,33					
50	12	168	1	8	176	16	1,33					
51	12	168	1	8	176	16	1,33					
52	12	168	1	8	176	16	1,33					
53	12	168	1	8	176	16	1,33					
54	12	168	1	8	176	16	1,33					
55	11	154	2 1/2	20	174	18	1,64					
56	12	168	1 1/4	10	178	14	1,17					
57	12	168	1	8	176	16	1,33					
58	12	168	1	8	176	16	1,33					
59	12	168	1	8	176	16	1,33					

Media	1,327
S	0,108

Fuente: Elaboración propia

ANEXO O

MUESTRA CARTA DE CONTROL CORTE 1 3/4 in

MUESTRA PARA CARTA DE CONTROL EN CORTE (PANELES DE 1 3/4 Pulg.)								
SUBGRUPO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC(min)	EC(max)
1	1,833	1,826	1,828	1,819	1,832	1,828	1,819	1,833
	1,822	1,817	1,816	1,825	1,825	1,826	1,816	1,826
	1,832	1,824	1,825	1,824	1,826	1,824	1,824	1,832
2	1,828	1,831	1,827	1,822	1,829	1,825	1,822	1,831
	1,817	1,827	1,826	1,824	1,827	1,820	1,817	1,827
	1,831	1,831	1,819	1,829	1,830	1,830	1,819	1,831
3	1,828	1,830	1,830	1,828	1,822	1,825	1,822	1,830
	1,828	1,827	1,824	1,827	1,828	1,820	1,820	1,828
	1,826	1,828	1,820	1,825	1,826	1,830	1,820	1,830
4	1,831	1,825	1,828	1,830	1,821	1,818	1,818	1,831
	1,828	1,823	1,822	1,819	1,827	1,832	1,819	1,832
	1,818	1,827	1,819	1,824	1,824	1,830	1,818	1,830
5	1,826	1,828	1,832	1,829	1,821	1,825	1,821	1,832
	1,820	1,830	1,827	1,820	1,816	1,819	1,816	1,830
	1,820	1,819	1,828	1,823	1,826	1,832	1,819	1,832
6	1,823	1,828	1,826	1,822	1,826	1,820	1,820	1,828
	1,822	1,831	1,830	1,825	1,830	1,831	1,822	1,831
	1,821	1,823	1,824	1,829	1,826	1,831	1,821	1,831
7	1,815	1,825	1,820	1,833	1,833	1,824	1,815	1,833
	1,821	1,835	1,823	1,818	1,822	1,819	1,818	1,835
	1,820	1,820	1,821	1,824	1,827	1,822	1,820	1,827
8	1,820	1,827	1,820	1,818	1,821	1,823	1,818	1,827
	1,824	1,830	1,820	1,824	1,828	1,828	1,820	1,830
	1,828	1,828	1,824	1,823	1,825	1,824	1,823	1,828
9	1,823	1,827	1,823	1,825	1,825	1,823	1,823	1,827
	1,826	1,820	1,816	1,828	1,827	1,831	1,816	1,831
	1,824	1,829	1,819	1,823	1,816	1,822	1,816	1,829
10	1,827	1,828	1,829	1,820	1,824	1,829	1,820	1,829
	1,825	1,818	1,822	1,828	1,822	1,819	1,818	1,828
	1,821	1,827	1,824	1,821	1,817	1,828	1,817	1,828
11	1,826	1,822	1,831	1,824	1,822	1,821	1,821	1,831
	1,823	1,831	1,830	1,828	1,824	1,827	1,823	1,831
	1,832	1,822	1,832	1,817	1,832	1,830	1,817	1,832
12	1,828	1,830	1,820	1,830	1,830	1,822	1,820	1,830
	1,826	1,828	1,825	1,826	1,822	1,828	1,822	1,828
	1,830	1,826	1,830	1,830	1,821	1,832	1,821	1,832
13	1,825	1,823	1,819	1,821	1,830	1,822	1,819	1,830
	1,824	1,825	1,823	1,822	1,825	1,821	1,821	1,825
	1,831	1,831	1,834	1,820	1,819	1,820	1,819	1,834
14	1,824	1,824	1,826	1,830	1,820	1,832	1,820	1,832
	1,820	1,833	1,829	1,819	1,831	1,828	1,819	1,833
	1,821	1,822	1,831	1,820	1,820	1,825	1,820	1,831
15	1,829	1,831	1,830	1,831	1,825	1,822	1,822	1,831
	1,822	1,828	1,828	1,819	1,824	1,829	1,819	1,829
	1,818	1,828	1,827	1,830	1,817	1,826	1,817	1,830
16	1,817	1,830	1,829	1,830	1,824	1,829	1,817	1,830
	1,826	1,829	1,818	1,823	1,828	1,824	1,818	1,829
	1,828	1,823	1,818	1,819	1,828	1,823	1,818	1,828
17	1,821	1,824	1,825	1,826	1,819	1,827	1,819	1,827
	1,818	1,825	1,823	1,830	1,823	1,825	1,818	1,830
	1,830	1,821	1,828	1,827	1,832	1,830	1,821	1,832
18	1,824	1,827	1,825	1,827	1,830	1,827	1,824	1,830
	1,825	1,820	1,831	1,833	1,832	1,820	1,820	1,833
	1,827	1,822	1,826	1,821	1,822	1,822	1,821	1,827
19	1,822	1,819	1,819	1,819	1,835	1,828	1,819	1,835
	1,829	1,822	1,830	1,825	1,822	1,817	1,817	1,830
	1,823	1,828	1,821	1,823	1,828	1,823	1,821	1,828
20	1,823	1,828	1,820	1,836	1,822	1,828	1,820	1,836
	1,823	1,823	1,828	1,829	1,826	1,819	1,819	1,829
	1,830	1,818	1,830	1,825	1,822	1,827	1,818	1,830

Fuente: Elaboración propia