

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Profesor guía:

Iván Santelices Malfanti

Ingeniero Supervisor:

Verónica Suazo Bueno



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS
MOLDURAS CON DEFECTO DE FIBRA O VETA
LEVANTADA**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil Industrial

CONCEPCIÓN, ENERO 2006

MARÍA CAROLINA VAN RYSSELBERGHE GUTIERREZ

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por darme la oportunidad de llegar a concretar mi sueño de ser profesional y nunca dejarme sola.

A mi querida y amada madre quien siempre estuvo a mi lado apoyándome en todo momento, dándome ese inmenso amor, comprensión y protección durante toda mi vida, y por los sacrificios que nunca me he dado oportunidad de agradecerle.

A mi papá que desde el cielo sé que siempre ha estado a mi lado cuidándome y dándome fuerzas para levantarme de mis fracasos.

A mi querida hermana Elizabeth y abuela M^a Isabel que se fueron con Dios, pero que siempre estarán en mi corazón.

A mi hermano Rafael a quien quiero demasiado.

Y a Claudio E. quien me acompañó durante estos últimos años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Para Remanufactura Viñales por darme la oportunidad de trabajar con ellos y poder realizar mi proyecto de título.

Para Verónica Suazo por el recibimiento, apoyo y enseñanzas que me proporcionó durante mi estadía en la planta y a todas aquellas personas que me ayudaron con el estudio, gracias por su apoyo y sus consejos.

Para cada uno de los profesores que tuve durante mi permanencia en la Universidad, especialmente a mi profesor guía Iván Santelices Malfanti.

Para el profesor del Departamento de Maderas de la Universidad del Bio Bio José Navarrete.

Para la familia Araya Carrillo por el apoyo incondicional que me brindaron en la vida tanto personal como académica, especialmente a mi amigo Rodrigo.

A todos ellos nuevamente, muchas gracias.

RESUMEN

En Remanufactura Viñales ubicada en la ciudad de Constitución se realizó un estudio de fibra y de veta levantada para aquellos perfiles que poseían mayor problema de este tipo de defectos.

Se quiso minimizar el porcentaje de piezas defectuosas con fibra levantada de los perfiles llamados WM 356 y SJ-Hembra y minimizar el porcentaje de defectos de veta levantada para los perfiles WM 623 y SJ-Macho.

Lo primero fue obtener el porcentaje de piezas con defecto en planta para cada uno de los perfiles estudiados para así calcular el tamaño muestral que se utilizaría más adelante para muestrear las piezas de los distintos tratamientos generados a partir de los factores determinados a través de una encuesta realizada al personal que se encontraba directa o indirectamente involucrado en el proceso productivo. Se consideró como pieza defectuosa aquella en que la longitud del defecto de fibra levantada era mayor o igual a 5cm. Y para el defecto de veta levantada se consideró como pieza defectuosa cuando la suma de la longitud de defecto a lo largo de la ella era mayor o igual a 10cm.

Se realizaron cuatro experimentos, uno para cada pieza en estudio, realizados en forma independiente. En el muestreo se analizaron cerca de 15000 piezas de estos perfiles para este estudio.

Los datos se procesaron en los software Design Expert 6.0.11 y Statgraphic Centurion XV, luego se analizaron los resultados los cuales fueron en la mayoría favorables para este estudio en donde el objetivo principal era optimizar los procesos productivos. Se pudo minimizar el porcentaje de piezas con defecto para el WM 356, WM653 y para SJ-

Hembra, en cambio para el SJ-Macho quién poseía defectos de veta levantada no se logró una mejora.

Finalmente se realizó una evaluación de los costos y a cuanto bajarían aplicando la optimización encontrada en este estudio. Los costos en los que se incurre al producir un lote con defectos de fibra levantada son los siguientes:

Reclasificado, Reparado, HH administrativos, Materiales para reparación, Línea de pintura.

Los costos de producir un lote con defecto de veta levantada son los siguientes:

Reproceso, Reclasificación, HH administración.

INDICE

	Pág.
CAPITULO I: INTRODUCCION	1
CAPITULO II: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	3
2.1. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEFECTOS DE FIBRA Y VETA LEVANTADA ACTUALES EN LA PLANTA	3
2.1.1. Perfiles en estudio	4
2.1.2. Método de muestreo	4
2.1.3. Obtención del tamaño muestral	5
2.1.4. Cuantificación de los defectos de fibra y veta levantada actuales	5
2.2. DETERMINACIÓN DE AQUELLAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA APARICIÓN DE LOS DEFECTOS EN LOS PERFILES QUE INTERESA ESTUDIAR	6
2.2.1. Criterios para identificar los factores	6
2.2.2. Variables o factores definitivos utilizados en el estudio	7
2.3. MUESTREO DE DEFECTOS	9
2.3.1. Muestreo	12
2.4. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL	13
CAPITULO III: METODOLOGÍA ESTADÍSTICA	16
3.1. Los modelos estadísticos utilizados	19
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	22

4.1. PASOS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. DEFECTO: FIBRA LEVANTADA	24
4.2.1. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de WM 356	24
4.2.1.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo	27
4.2.1.2. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)	28
4.2.1.3. Normalidad de los residuos	29
4.2.1.4. Puntos atípicos	30
4.2.1.5. Optimización del modelo (WM 356)	31
4.2.2. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de SJ-Hembra.	41
4.2.2.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo	43
4.2.2.2. Análisis de Heterocedasticidad	44
4.2.2.3. Normalidad de los residuos	45
4.2.2.4. Puntos atípicos	46
4.2.2.5. Optimización del modelo (SJ-Hembra)	47
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. DEFECTO: VETA LEVANTADA	53
4.3.1. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de SJ Macho	53

4.3.1.2. Análisis de Multicolinealidad para el modelo	56
4.3.1.3. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)	56
4.3.1.4. Normalidad de los residuos	57
4.3.1.5. Puntos atípicos	58
4.3.1.6. Optimización del modelo (SJ-Macho)	59
4.3.2. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de WM 623	61
4.3.2.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo	64
4.3.2.2. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)	65
4.3.2.3. Normalidad de los residuos	66
4.3.2.4. Puntos atípicos	67
4.3.2.5. Optimización del modelo (WM 623)	68
CAPITULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA	74
5.1. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL WM 356	74
5.2. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL SJ-HEMBRA	75
5.3. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL WM 623	76
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	77
6.1. DEFECTO: FIBRA LEVANTADA	77
6.1.1. Perfil: WM 356	77

6.1.2. Perfil: SJ-Hembra	80
6.2. DEFECTO: VETA LEVANTADA	82
6.2.1. Perfil: SJ-Macho	82
6.2.2. Perfil: WM 623	83
6.3. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	89

CAPITULO I: INTRODUCCION

La planta Remanufactura Viñales permanece constantemente preocupada por la aparición repetida de defectos de veta y fibra levantada en el área de molduras, dado que estos defectos incrementan los costos de fabricación y un aumento en la cantidad de productos defectuosos en los productos finales. Además las exigencias de calidad por parte de los clientes van en aumento y con ello los rechazos. Debido a esto el departamento de calidad ha ido aumentando los controles para detectar oportunamente los defectos y evitar que lleguen los lotes a su destino con algún tipo de estos defectos. Por esta razón se le suman a los costos de fabricación costos de calidad que se asocian a la detección de estos defectos.

En el presente estudio se determinó el porcentaje de defectos en planta para poder determinar el tamaño muestral de cada tratamiento y también poder comparar los resultados óptimos de este estudio con los que se presentan hoy en día en la planta.

Se determinaron aquellas variables más relevantes que incidirían en la aparición de estos dos tipos de defectos para luego construir experimentos en donde se quiso minimizar el porcentaje de piezas con fibra levantada para el WM 356 y SJ-Hembra y minimizar el porcentaje de piezas con veta levantada en el SJ-Macho y WM623.

Los software estadísticos utilizados fueron Design Expert 6.0.11 y Statgraphic Centurion XV.

El objetivo general es minimizar el porcentaje de piezas con defecto de fibra levantada en los perfiles WM 356 y SJ Hembra, y con defecto de veta levantada para los perfiles WM 623 y SJ Macho. Además identificar los factores más relevantes que aportan a la aparición de los defectos a estudiar.

Los objetivos específicos son:

- ❖ Determinar el porcentaje de piezas defectuosas en planta.
- ❖ Identificar aquellas posibles variables que puedan incidir en la aparición de los defectos para luego construir los experimentos.
- ❖ Obtener cuatro modelos de predicción que permitan predecir los efectos de las variables más importantes para poder optimizar el proceso productivo.

CAPITULO II: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Primero se determinó el porcentaje de defectos de fibra y veta levantada actuales en la planta, con estos valores se pudo determinar el tamaño muestral para el estudio.

Luego mediante una encuesta se determinó aquellas posibles variables que pudieran incidir en la aparición de estos defectos.

El paso siguiente, previamente identificadas las variables, fue realizar cuatro experimentos con sus respectivos tratamientos para cada perfil, cuantificando finalmente los porcentajes de piezas defectuosas según el tratamiento aplicado y de manera independiente para cada perfil.

Finalmente se realizó un análisis estadístico en donde se encontraron cuatro modelos que permiten predecir los efectos más importantes y así optimizar el proceso productivo.

2.1. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEFECTOS DE FIBRA Y VETA LEVANTADA ACTUALES EN LA PLANTA

Se realizó una evaluación y cuantificación de los defectos de fibra y veta levantada, de esta forma se obtuvo los niveles actuales de defectos en la planta.

2.1.1. Perfiles en estudio

Se definieron perfiles más representativos aquellos que presentan los problemas mayores con estos tipos de defectos, con la ayuda de el área de control de calidad se pudieron obtener las muestras y evaluaciones necesarias.

Para el estudio de fibra levantada, se estudiaron los perfiles WM 356 y SJ Hembra. Para el estudio de veta levantada se estudiaron “familias” de 3 ¼ y 5 ¼ (similares al perfil WM 623 al que se quiere optimizar su proceso productivo) y SJ Macho.

2.1.2. Método de muestreo

Se realizó un muestreo preliminar lo más representativo posible y aleatorio para obtener los niveles actuales de defectos en la planta:

- ❖ El muestreo se realizó en la línea de molduras, estas fueron 5 diferentes moldureras.
- ❖ No existió discriminación entre un operador u otro. Se trabajó con la mayoría de ellos y en distintos turnos.
- ❖ Se muestreó a diferentes turnos con un tamaño muestral de 200 piezas cada uno. La muestra total se estableció como el conjunto de todas estas submuestras.
- ❖ El análisis se realizó después de que la pieza salía por la moldurera y pasaba por la mesa de clasificación.
- ❖ Cada análisis se realizó de manera independiente, se consideró un muestreo para el defecto de fibra levantada y otro para la veta levantada.

2.1.3. Obtención del tamaño muestral

En la actualidad en la planta existe poca información de estos defectos. Se decidió utilizar un tamaño muestral superior al de los controles rutinarios por los inspectores de calidad a fin de obtener una mejor base de datos que pudiera representar de buena forma el porcentaje de defectos en planta. Este tamaño fue aproximadamente de 200 piezas. Se muestrearon para el defecto de veta levantada un total de 1501 piezas (macho: 816 pzas. y familias: 685) y para la fibra levantada 1236 piezas (WM 356: 721 pzas. y SJ Hembra: 515 pzas.).

2.1.4. Cuantificación de los defectos de fibra y veta levantada actuales

Después de realizar los correspondientes muestreos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Defectos de veta levantada

SJ Macho : 27,1%

Familias 3 ¼ y 5 ¼ : 22.6%

Defectos de fibra levantada

WM 356 : 11.8%

SJ Hembra : 58.1%

2.2. DETERMINACIÓN DE AQUELLAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA APARICIÓN DE LOS DEFECTOS EN LOS PERFILES QUE INTERESA ESTUDIAR

Las posibles variables que influyen en la aparición del defecto de veta levantada son:

1. *Madera*: madera con acumulación de presiones, densidad y humedad.
2. *Presiones*: rodillos (poliuretano o vulcanizados), cargadores (quiebra virutas).
3. *Cuchillos*: Material, Jointeo, Tiempo de uso (Desgaste).
4. *Operación*: Velocidad de avance.

Las variables que influirían en la aparición del defecto de fibra levantada:

1. *Madera*: humedad.
2. *Cuchillos*: Jointer, desgaste, ángulos (de ataque, del filo, de salida y desahogo lateral).
3. *Operación*: Velocidad de avance, número de cuchillos, material cuchillos.

2.2.1. Criterios para identificar los factores

Para determinar las variables definitivas que se utilizarían en el estudio se procedió a realizar entrevistas. Las personas a quienes se les pidió su opinión fueron supervisores de producción, jefe taller de afilado, jefe de investigación y desarrollo, operadores de moldureras, jefa departamento control de calidad, ellos conviven diariamente con estos defectos y conocen el tema.

Para elegir las variables, gracias a la información entregada por estas personas, se utilizaron aquellas variables que fueron mencionadas reiteradamente por ellos, ya que sería verdaderamente muy difícil considerar todos aquellos factores “posibles” causales de los defectos, para efecto de realizar los tratamientos, se producía un total de tratamientos con un nivel factorial 2^n muy excesivo.

2.2.2. Variables o factores definitivos utilizados en el estudio

❖ Para el defecto de fibra levantada

Perfil: WM 356

1. Jointeo de cuchillos: Su objetivo principal es igualar la órbita de giro de todos los cuchillos montados en un cabezal, así se obtiene una mayor duración de las herramientas y una mejor calidad. Los niveles de jointeo utilizados fueron 0.7 mm y 1.6 mm.
2. Material de cuchillos: Se trabajó con dos tipos de material, estos fueron Pillana 6% W, Wisconcin 18% W.
3. Ángulo de desahogo: Para evitar el roce excesivo en la herramienta de corte y la madera. Se utiliza en perfiles muy cerrados. Se trabajó en dos niveles; con un ángulo de 10° y otro de 20° .
4. Velocidad de avance: Velocidad de trabajo de las moldureras. Se trabajó a 60 m/min. y 80 m/min.

Perfil: SJ Hembra

1. Jointeo de cuchillos: Los niveles de jointeo utilizados fueron 0.7 mm y 1.6 mm.
2. Material de cuchillos: Se trabajó con tres tipos de material, estos fueron Pillana 6% W, Supersource 6% W y Stark.
3. Ángulo Stop: Se utilizaron dos ángulos, uno de 92° y otro de 93°.
4. Velocidad de avance: Se trabajó a 50 m/min. y 70 m/min.

❖ Para el defecto de veta levantada**Perfil: WM 623**

1. Presión de rodillos de avance: Presión aplicada sobre la madera por los rodillos de avance. Esta permite un desplazamiento continuo de la madera por toda la moldurera. Se utilizaron presiones de 5 bar y 6 bar.
2. Cara de entrada a moldurera: la madera se ingresó a la moldurera por su cara externa (cepillada) y por su cara interna (rugosa por efecto del corte que le da la huincha al blank).

Se dice que la cara externa de cada blank posee una acumulación de presiones por los procesos anteriores en donde se producen cargas por efecto de los rodillos de sujeción: Ej.: cepillado, selectiva, trozado, uniones finger.
3. Tipo de rodillo: Se utilizaron dos tipos de rodillos de avance en las moldureras, estos fueron de poliuretano y vulcanizados.

Perfil: SJ Macho

1. Cara de entrada a partidora: Se utilizó una cara “normal” que es la que recibe las presiones de los rodillos en la partidora y una cara “invertida” en donde la que recibe estas presiones es la SJ Hembra y la cara del SJ Macho solo recibe el contacto de la mesa de la partidora.
2. Jointeo de cuchillos: Los niveles de jointeo utilizados fueron 0.7 mm y 1.6 mm.

2.3. MUESTREO DE DEFECTOS

Para los estudios se analizaron cuatro tipos de perfiles diferentes. Para el defecto de veta levantada se utilizó WM 623 y SJ Macho y para el estudio de fibra levantada fueron el WM 356 y SJ Hembra. Los tratamientos para cada uno se realizaron de manera independiente. Se utilizó madera no sólida, es decir, con uniones finger, estas fueron elegidas al azar durante todo el proceso de estudio.

Se utilizaron 13 variables o factores. Para el estudio de fibra levantada en el WM 356 se evaluaron 4 variables en 2 niveles, con ello se realizaron 16 tratamientos con un tamaño muestral de 160 piezas cada uno y para SJ Hembra se trabajó con 4 variables en 2 y 3 niveles, se realizaron 24 tratamientos con un tamaño muestral de 374 piezas por tratamiento.

Para el estudio de la veta levantada en el SJ Macho se evaluaron 2 variables en 2 niveles, donde se realizaron 4 tratamientos con un tamaño muestral de 303 piezas y para el WM 623 se evaluaron 3 variables en 2 niveles, aquí se realizaron 8 tratamientos con un tamaño muestral de 269 piezas cada uno.

En las Tablas 1 y 2 que se presentan a continuación se muestran los diseños de experimentos para el estudio de fibra levantada. Y para las tablas 3 y 4 los diseños de experimentos para el estudio de veta levantada.

TRAT.	JOINTER	MATERIAL CUCHILLOS	ANG. DESAHOGO	VELOCIDAD AVANCE
1	0,7	PILLANA 6% W	20	60
2	0,7	PILLANA 6% W	20	80
3	1,6	PILLANA 6% W	20	60
4	1,6	PILLANA 6% W	20	80
5	0,7	WISCONCIN 18% W	10	60
6	0,7	WISCONCIN 18% W	10	80
7	1,6	WISCONCIN 18% W	10	60
8	1,6	WISCONCIN 18% W	10	80
9	0,7	PILLANA 6% W	10	60
10	0,7	PILLANA 6% W	10	80
11	1,6	PILLANA 6% W	10	60
12	1,6	PILLANA 6% W	10	80
13	0,7	WISCONCIN 18% W	20	60
14	0,7	WISCONCIN 18% W	20	80
15	1,6	WISCONCIN 18% W	20	60
16	1,6	WISCONCIN 18% W	20	80

Tabla N° 1: Diseño de experimento con sus respectivos tratamientos para el perfil WM 356

Fuente: Elaboración propia

TRAT.	NIVEL JOINTEADO mm	MATERIAL CUCHILLOS	ANGULO STOP	VELOCIDAD AVANCE m/min
1	0,7	PILLANA 6% W	92°	70
2	0,7	SUPERSOURCE 6% W	92°	70
3	0,7	STARK	92°	70
4	1,6	PILLANA 6% W	93°	70
5	1,6	SUPERSOURCE 6% W	93°	70
6	1,6	STARK	93°	70
7	0,7	PILLANA 6% W	93°	50
8	0,7	SUPERSOURCE 6% W	93°	50
9	0,7	STARK	93°	50
10	1,6	PILLANA 6% W	92°	50
11	1,6	SUPERSOURCE 6% W	92°	50
12	1,6	STARK	92°	50
13	0,7	PILLANA 6% W	92°	50
14	0,7	SUPERSOURCE 6% W	92°	50
15	0,7	STARK	92°	50
16	1,6	PILLANA 6% W	92°	70
17	1,6	SUPERSOURCE 6% W	92°	70
18	1,6	STARK	92°	70
19	0,7	PILLANA 6% W	93°	70
20	0,7	SUPERSOURCE 6% W	93°	70
21	0,7	STARK	93°	70
22	1,6	PILLANA 6% W	93°	50
23	1,6	SUPERSOURCE 6% W	93°	50
24	1,6	STARK	93°	50

Tabla N°2: Diseño de experimento para el perfil SJ Hembra

Fuente: Elaboración propia

TRAT.	CARA DE ENTRADA	NIVEL JOINTEADO mm
1	NORMAL	0,7
2	INVERTIDA	0,7
3	NORMAL	1,6
4	INVERTIDA	1,6

Tabla N°3: Tratamientos para el perfil SJ Macho
Fuente: Elaboración propia

TRAT.	PRESION ROD.AVANCE bar	CARA DE ENTRADA	TIPO DE RODILLO
1	5	INTERNA	POLIURETANO
2	5	INTERNA	VULCANIZADOS
3	6	INTERNA	POLIURETANO
4	6	INTERNA	VULCANIZADOS
5	5	EXTERNA	POLIURETANO
6	5	EXTERNA	VULCANIZADOS
7	6	EXTERNA	POLIURETANO
8	6	EXTERNA	VULCANIZADOS

Tabla N°4: Diseño de experimentos con sus respectivos tratamientos realizados para el perfil WM 623
Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Muestreo

Cuando se emitía el programa de producción del día se averiguaba si en el existía algún tipo de perfil que se necesitara y que estuviera en condiciones de someterlo a estudio.

Una vez que se estaba seguro de poder realizar los tratamientos, se regulaban las máquinas de acuerdo a las variables que exigía cada tratamiento. La regulación de las variables las realizaba el operador de cada moldurera, estando en todo momento bajo supervisión para que el tratamiento se realizara con éxito.

Cumplíndose lo anterior, se marcaban los paquetes para posteriormente revisar el número de piezas según el tamaño muestral obtenido para cada perfil. Una vez revisado se dejaba en las mismas condiciones de como salió de la mesa de clasificación de cada moldurera.

Se revisó una a una las molduras y se registraba si poseía defecto o no (se consideraba como pieza defectuosa de veta si la suma de sus longitudes de este defecto en la pieza era mayor o igual a 100 mm y para el caso del defecto de fibra si la suma de longitudes a lo largo de la pieza era mayor o igual a 50 mm.) También se registraron las longitudes de cada defecto en cada pieza.

Se obtuvo el porcentaje de piezas defectuosas, que es la variable que se quiere minimizar.

2.4. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL

Utilizando la teoría de un intervalo de confianza para una proporción, donde “**p**” correspondería al porcentaje de piezas con defectos.

Supongamos que se toma una muestra aleatoria de tamaño “**n**” de una población grande (posiblemente finita) y que $X(\leq n)$ observaciones de esta muestra pertenecen a una clase de interés. $P^{\wedge} = X/n$ es un estimador puntual de la proporción de la población **p** que

pertenece a esta clase. “**n**” y “**p**” son los parámetros de una distribución binomial, y se sabe que la distribución de muestreo de “**P**^” es aproximadamente normal con media **p** y varianza **p(1-p)/n**, si **p** no está muy próximo a 0 o 1 y si **n** es relativamente grande (Montgomery, 1996).

Puesto que **P**^ es un estimador puntual de **p**, se puede definir el error de estimar **p** por **P**^ como

E = |p-P^|. Nótese que se tiene una confianza aproximada del **100(1- α)** por ciento de que este error es menor que **Z_{α/2} (p(1-p)/n)**. Si se hace **E = Z_{α/2} (p(1-p)/n)** y se resuelve para **n**, el tamaño apropiado de la muestra será:

$$n = (Z_{\alpha/2}/E)^2 * p(1-p)$$

para este caso se requiere una estimación de **p**. Una alternativa satisfactoria es tomar una muestra preliminar, calcular **p**^, y luego utilizar la ecuación mencionada anteriormente, reemplazando **p**^ por **p** (Montgomery, 1996).

Utilizaremos un nivel de confianza del 95% (**Z=1,96**).

En la primera parte del estudio se determinó el porcentaje de piezas defectuosas en planta y fueron para el SJ Macho de 27.1%, para las familias 3 ¼ y 5 ¼ de 22.6%, para el WM 356 un 11.8% y para SJ Hembra un 58.1%.

Por lo tanto, los tamaños de las muestras fueron los siguientes:

Perfil	Tamaño muestral
SJ Macho	303 piezas
WM 623	269 piezas
WM 356	160 piezas
SJ Hembra	374 piezas

CAPITULO III: METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

En el estudio se generaron diversos tratamientos a partir de 4 experimentos factoriales de 2, 3 y 4 factores, trabajados en 2 y 3 niveles:

Defecto: Fibra Levantada

1. Perfil: WM356

Para construir los tratamientos del perfil WM 356 se consideraron 4 factores y cada uno de ellos en 2 niveles como muestra la siguiente tabla:

Perfil	Factor	Niveles
WM 356	Jointeado	0.7mm.
		1.6mm.
	Material de cuchillos	PILLANA 6% W
		WISCONCIN 18% W
	Angulo de desahogo	10°
		20°
	Velocidad de avance	60m/min
		80m/min

2. Perfil :SJ-Hembra

Al estudiar y construir el experimento para el perfil SJ-Hembra se consideraron 4 factores y cada uno de ellos con 2 niveles, exceptuando el material de los cuchillos el cual posee 3 niveles como se observa en la tabla siguiente:

Perfil	Factor	Niveles
SJ-Hembra	Jointeado	0.7mm.
		1.6mm.
	Material cuchillos	PILLANA 6% W
		SUPERSOURCE 6% W
		STARK
	Ángulo stop	92°
		93°
	Velocidad de avance	50m/min
		70m/min

Defecto: Veta Levantada**3. Perfil: SJ-Macho**

Al construir el experimento para el perfil SJ-Macho se tomaron en cuenta 2 factores donde cada uno de estos se estudiaron en 2 niveles, la tabla siguiente detalla esta información:

Perfil	Factor	Niveles
SJ-Macho	Cara de entrada a partidora	Normal
		Invertida
	Jointeado	0.7mm.
		1.6mm.

4. Perfil: WM623

Para realizar los tratamientos del experimento correspondiente al perfil WM 623 se consideraron 3 factores o variables donde se aplicaron en este estudio 2 niveles cada uno en 2 niveles. Observar la siguiente tabla en donde se muestra lo explicado anteriormente:

Perfil	Factor	Niveles
WM 623	Presión rodillos de avance	5 bar
		6 bar
	Cara de entrada a moldurera	Interna
		Externa
	Tipo de rodillo	Poliuretano
		Vulcanizados

Al identificar las variables del estudio, como variable respuesta se consideró el porcentaje de piezas con fibra levantada para el WM356 y SJ-Hembra y el porcentaje de piezas con veta levantada para el SJ-Macho y WM623.

3.1. Los modelos estadísticos utilizados

Para evaluar el porcentaje de piezas con veta en el SJ Macho es:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde Y es la variable respuesta porcentaje de piezas defectuosas con veta levantada, μ es la media global, α es el efecto de la cara de entrada a la partidora, β es el efecto del nivel de jointeado, $\alpha\beta$ es la interacción de segundo orden entre estos factores, ε es el error experimental.

❖ Para evaluar el porcentaje de piezas con veta en WM 623 es:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\beta\theta)_{jk} + (\alpha\beta\theta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde Y es la variable respuesta porcentaje de piezas defectuosas con veta levantada, μ es la media global, α es el efecto de la presión de los rodillos de avance, β es el efecto de la cara de entrada a la moldurera, θ es el efecto del tipo de rodillo, $\alpha\beta$, $\alpha\theta$, $\beta\theta$

son las interacciones de segundo orden entre los distintos factores, $\alpha\beta\theta$ es la interacción de tercer orden entre los distintos factores, ε es el error experimental.

❖ Para evaluar el porcentaje de piezas con fibra levantada para WM 356 es:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\alpha\gamma)_{il} + (\beta\theta)_{jk} + (\beta\gamma)_{jl} + (\theta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\theta)_{ijk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijl} + (\alpha\theta\gamma)_{ikl} + (\beta\theta\gamma)_{jkl} + (\alpha\beta\theta\gamma)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde Y es la variable respuesta porcentaje de piezas defectuosas con fibra levantada, μ es la media global, α es el efecto del nivel de jointeado, β es el efecto del material de los cuchillos, θ es el efecto del ángulo de desahogo, γ es el efecto de la velocidad de avance, $\alpha\beta$, $\alpha\theta$, $\alpha\gamma$, $\beta\theta$, $\beta\gamma$, $\theta\gamma$ son las interacciones de segundo orden entre los distintos factores, $\alpha\beta\theta$, $\alpha\beta\gamma$, $\alpha\theta\gamma$, $\beta\theta\gamma$ son las interacciones de tercer orden entre los distintos factores, $\alpha\beta\theta\gamma$ denota la interacción de cuarto orden entre los distintos factores, ε es el error experimental.

❖ Para evaluar el porcentaje de piezas con fibra levantada en SJ Hembra es:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\alpha\gamma)_{il} + (\beta\theta)_{jk} + (\beta\gamma)_{jl} + (\theta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\theta)_{ijk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijl} + (\alpha\theta\gamma)_{ikl} + (\beta\theta\gamma)_{jkl} + (\alpha\beta\theta\gamma)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde Y es la variable respuesta porcentaje de piezas defectuosas con fibra levantada, μ es la media global, α es el efecto del nivel de jointeado, β es el efecto del material de los cuchillos, θ es el efecto del ángulo en el stop, γ es el efecto de la velocidad de avance, $\alpha\beta$, $\alpha\theta$, $\alpha\gamma$, $\beta\theta$, $\beta\gamma$, $\theta\gamma$ son las interacciones de segundo orden entre los distintos factores, $\alpha\beta\theta$, $\alpha\beta\gamma$, $\alpha\theta\gamma$, $\beta\theta\gamma$ son las interacciones de tercer orden entre los distintos factores, $\alpha\beta\theta\gamma$ denota la interacción de cuarto orden entre los distintos factores, ε es el error experimental.

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se mencionaran los pasos a seguir en forma secuencial para llevar a cabo el análisis estadístico realizado en este estudio el cual concluirá cuando se logre optimizar el proceso productivo de cada una de los perfiles estudiados.

4.1. PASOS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1. Obtener el porcentaje de contribución de todas las variables y sus interacciones.
2. El modelo elegido sería aquel que este conformado por aquellas variables y/o interacciones con un porcentaje de contribución mayor para la aparición del defecto en estudio.
3. El punto anterior se podrá visualizar en la gráfica de probabilidad normal en donde la mayor parte de las variables con mayor porcentaje de contribución y/o interacciones se encuentren alejados de la línea.
4. Analizar la tabla de análisis de varianza aquí podemos observar aquellas variables significativas (valor- $p < 0.1$).
5. Observar el coeficiente de determinación ajustado el cual nos muestra en cuando (porcentaje) me están explicando las variables de mi modelo a la variabilidad de mi porcentaje de piezas defectuosas.
6. Analizar la multicolinealidad del modelo gracias al criterio del VIF (valor de inflación de la varianza).

7. Analizar la heterocedasticidad del modelo (varianza no constante), podemos detectar este problema en la gráfica de residuos.
8. En el gráfico de probabilidad normal de los residuos observar la tendencia de los errores en él.
9. Analizar posibles puntos atípicos en los gráficos de Outlier T y distancia de Cook's.
10. Observar, gracias a gráficos entregados por el software, los distintos efectos de las interacciones de variables y sus variaciones, en ellos se puede visualizar aquellas interacciones que favorecen más la aparición de defectos y viceversa.
11. También se podrá utilizar graficas de contorno y gráficas de cubo para verificar lo que nos muestran los gráficos de interacciones.
12. Con el modelo encontrado construir un ranking de defectos según la combinación de factores.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. DEFECTO: FIBRA LEVANTADA

4.2.1. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de WM 356.

Término	Estimación del efecto	Suma de cuadrados	% Contribución
A	1,6625	11,055625	1,07
B	3,8875	60,450625	5,88
C	6,5125	169,650625	16,52
D	3,2625	42,575625	4,14
AB	0,6125	1,500625	0,15
AC	-2,5625	26,265625	2,56
AD	6,5375	170,955625	16,64
BC	8,1625	266,505625	25,94
BD	2,5125	25,250625	2,46
CD	-4,9625	98,505625	9,59
ABC	2,3375	21,855625	2,13
ABD	1,3375	7,155625	0,7
ACD	5,1625	106,605625	10,38
BCD	2,1375	18,275625	1,78
ABCD	-0,3875	0,600625	0,06

Tabla N° 1: Estimaciones de los efectos del experimento

En la tabla N° 1 se observa la contribución porcentual para explicar la variabilidad del porcentaje de piezas con fibra levantada, donde:

A : Nivel de Jointeado

B : Material de Cuchillos

C : Ángulo de desahogo

D : Velocidad de avance.

Los factores A,B, C,D, y las interacciones CD,AC,AD,BC,ACD en conjunto explican en un 92.73% a la variabilidad de la variable respuesta Y: porcentaje de piezas defectuosas.

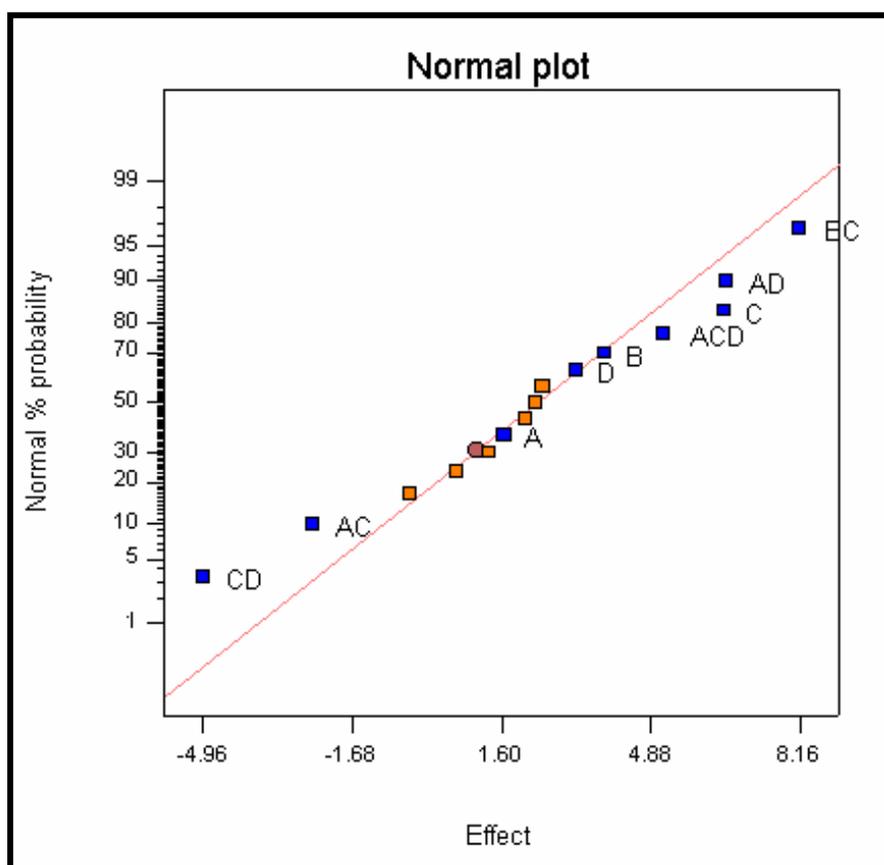


Figura N°1: Gráfica de probabilidad normal de los defectos.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Esta gráfica muestra que los mayores efectos son provocados por el factor C y las interacciones CD, AC, AD, BC y ACD.

	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Valor-p
Modelo	952,570625	9	105,841181	8,50827597	0.0085
A	11,055625	1	11,055625	0,88873072	0.3822
B	60,450625	1	60,450625	4,85945638	0.0697
C	169,650625	1	169,650625	13,6377384	0.0102
D	42,575625	1	42,575625	3,42253521	0.1138
AC	26,265625	1	26,265625	2,11142001	0.1964
AD	170,955625	1	170,955625	13,7426437	0.0100
BC	266,505625	1	266,505625	21,4236405	0.0036
CD	98,505625	1	98,505625	7,91859121	0.0306
ACD	106,605625	1	106,605625	8,56972752	0.0264
Residual	74,63875	6	12,4397917		
Total	1027,20938	15			

Tabla N°2.: Análisis de Varianza (ANOVA)

En la tabla ANOVA se observa que tanto los efectos individuales B y C y las interacciones AD, BC, CD, ACD son significativas, dado que su valor-p < 0.1 (10%), de aquí se desprende que las pendientes que acompañan a estas variables estarían presentes en el modelo de predicción el cual se observa a continuación:

$$Y=12.49+ 0.83A+ 1.94B+ 3.26C+ 1.63D- 1.28AC+ 3.27AD+ 4.08BC- 2.48CD+ 2.58ACD$$

Los factores A (Nivel de jointeado), B (Material de cuchillos), C (Ángulo de desahogo), D (Velocidad de avance) asumen para sus niveles mínimos según sea el caso el valor -1 y para sus valores máximos $+1$, para el factor material de cuchillos se determinó al momento de procesar los datos en el software el valor mínimo para Pillana y el valor máximo para Wisconcin.

El coeficiente de determinación ajustado de 81.83% indica que el cambio en los niveles de los factores explican en este porcentaje a la variabilidad de la variable Y.

4.2.1.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo

Factor	VIF
A-Jointer	1
B-Material Cuchillos	1
C-Angulo Desahogo	1
D-Veloc Avance	1
AC	1
AD	1
BC	1
CD	1
ACD	1

Tabla N°2: Factores de inflación de varianza.

La Tabla N°2 muestra que existe multicolinealidad, pero este problema no es severo, se pueden trabajar los datos ya que este $VIF < 10$.

4.2.1.2. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)

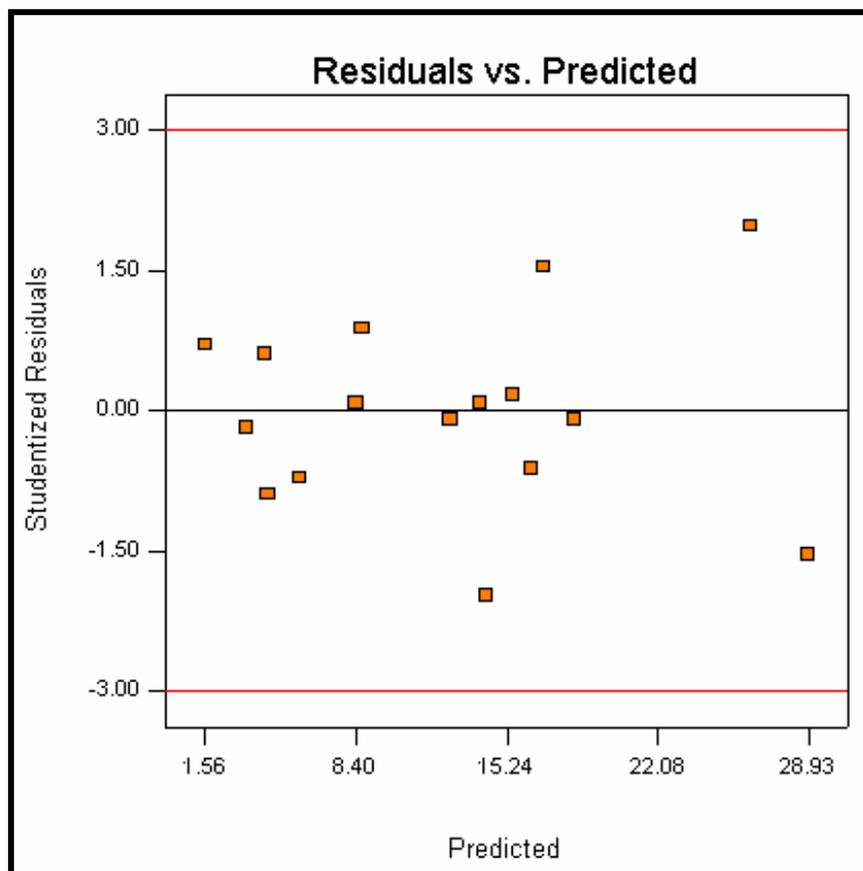


Figura N°2: Gráfico de residuales v/s Y estimado.

Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°2 muestra que las observaciones se encuentran dispersas en forma aleatoria y no se reconoce ningún patrón donde se presente este problema, por lo tanto se trabajó con la varianza constante (homocedasticidad) que es lo adecuado.

4.2.1.3. Normalidad de los residuos

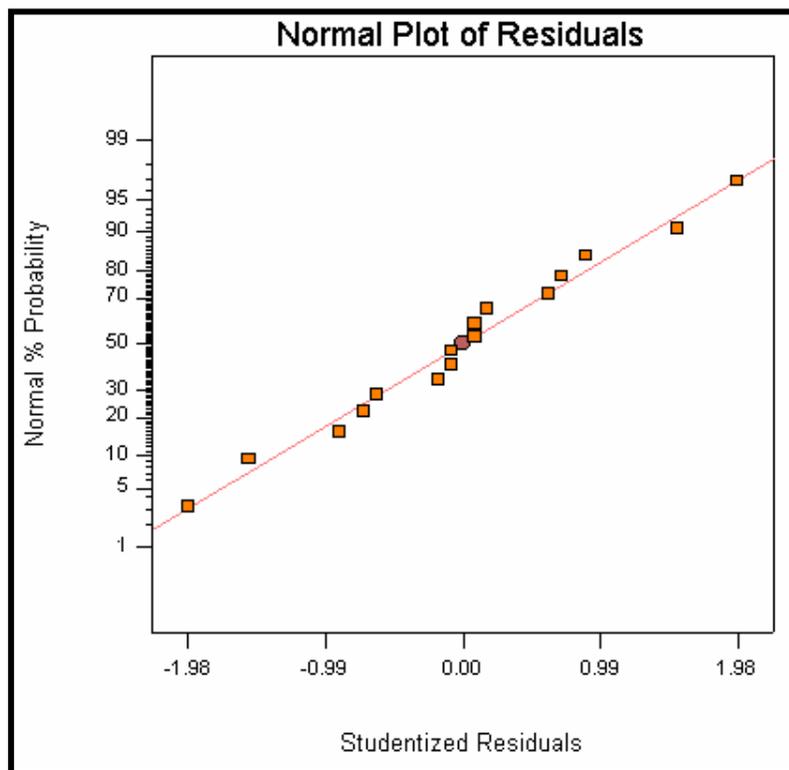


Figura N°3: Gráfica de probabilidad normal de los residuos.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°3 se observa que la distribución fundamental de los errores es normal ya que se ve claramente que la gráfica tiene una tendencia lineal.

4.2.1.4. Puntos atípicos

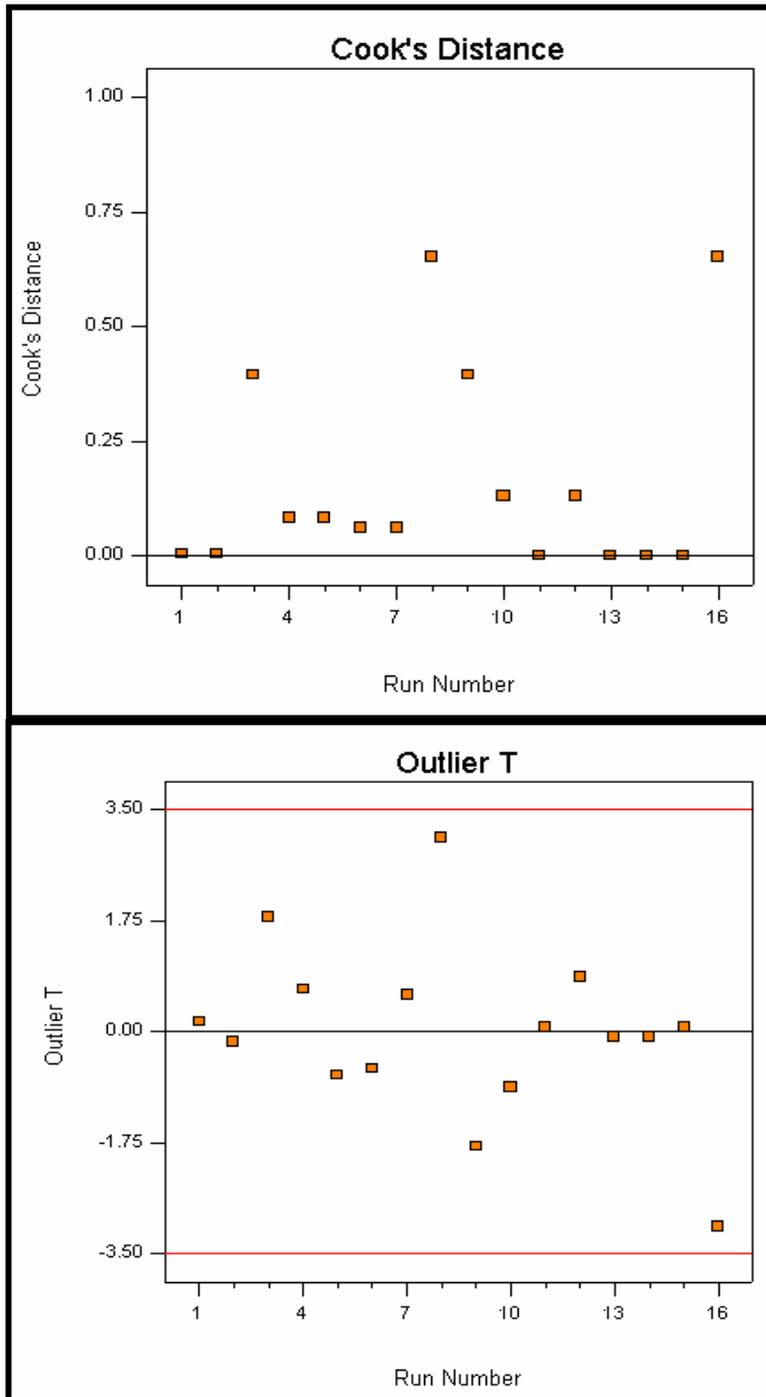


Figura N°4: Gráficas de distancia de Cook's y Outlier T.
Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°4 muestra que según estas gráficas obtenidas en la distancia de Cook's son inferiores a 1 y la distribución de los puntos en la gráfica de Outlier T que se encuentran dentro de los rangos establecidos [-3.5;3.5], se asegura que no existen puntos atípicos. También se verifica esto en la gráfica de residuales donde las observaciones no sobrepasan los límites de esta.

4.2.1.5. Optimización del modelo (WM 356)

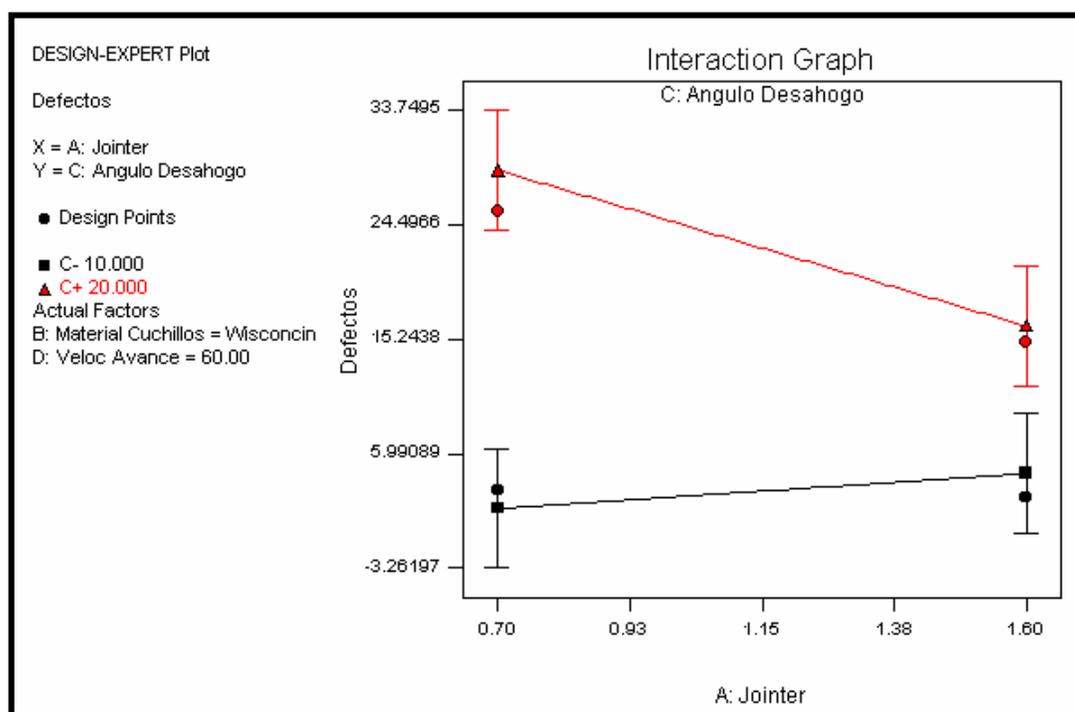


Figura N°5: Interacción Nivel de Jointeado y Ángulo de Desahogo utilizando un material de cuchillos Wisconcin y una velocidad de avance de 60m/min.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°5 se observa que existe una gran diferencia en los resultados de defectos obtenidos usando un nivel de jointeado de 0.7mm al trabajar con un ángulo de

desahogo de 10° y un ángulo de 20°. La diferencia no es tan significativa al usar un nivel de jointeado de 1.6mm.

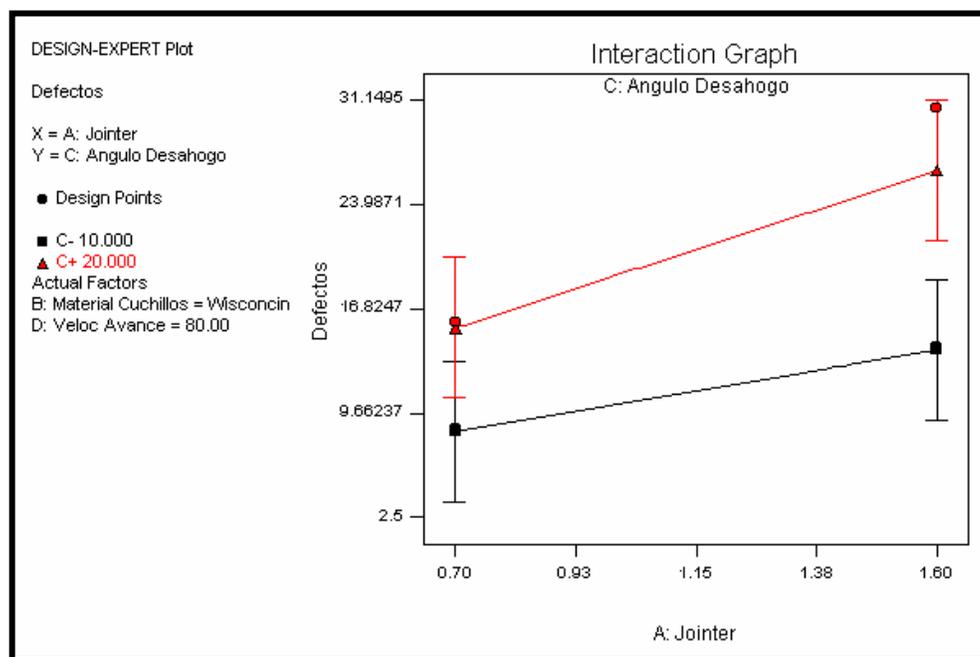


Figura N°6: Interacción Nivel de Jointeado y Ángulo de desahogo utilizando el material Wisconcin y una velocidad de avance de 80m/mm.

Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°6 muestra que al aumentar la velocidad conviene trabajar con un ángulo de desahogo de 10° y especialmente con un jointer de 0.7mm. No se recomienda usar un jointer de 1.6mm y un ángulo de 20° a la vez.

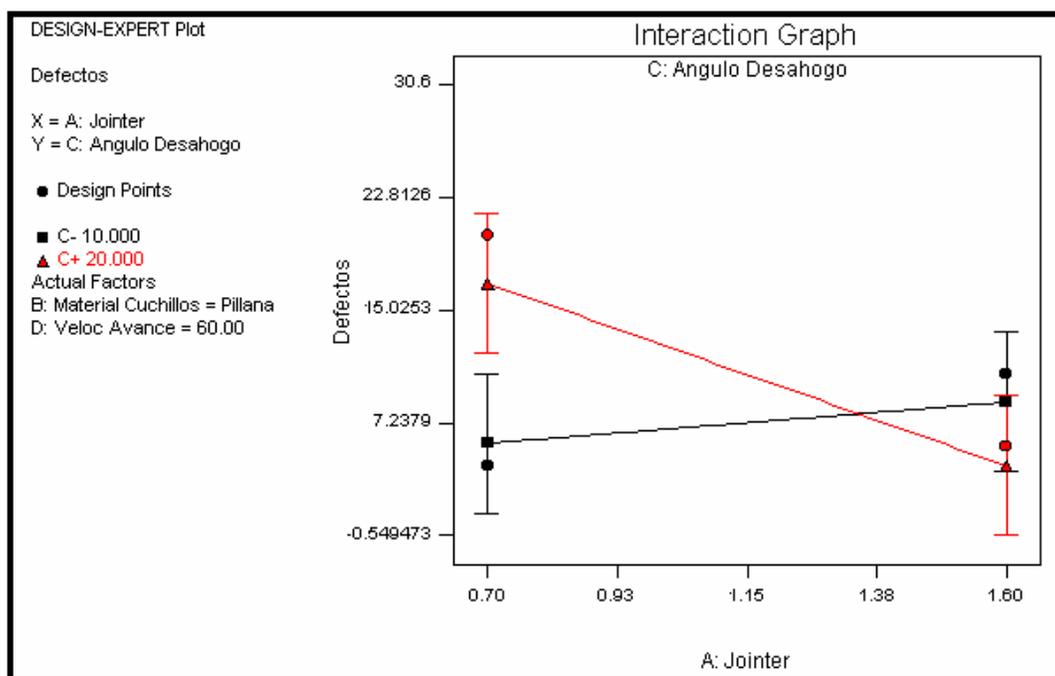


Figura N°7: Interacción Nivel de Jointeado y Ángulo de desahogo utilizando el material Pillana y una velocidad de avance de 60m/min.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la figura N°7 se puede apreciar que usando un ángulo de desahogo de 10° con un jointer de 0.7mm se obtienen menos defectos que al aumentar este nivel a 1.6mm. Ocurre lo contrario al utilizar un ángulo de desahogo de 20° donde con un nivel de jointeado de 1.6mm se obtendrá menos defectos que al disminuirlo a 0.7mm. Se generan resultados similares al utilizar un jointer de 0.7mm con un ángulo de 10°, un jointer de 1.6mm. y un ángulo de desahogo de 20°.

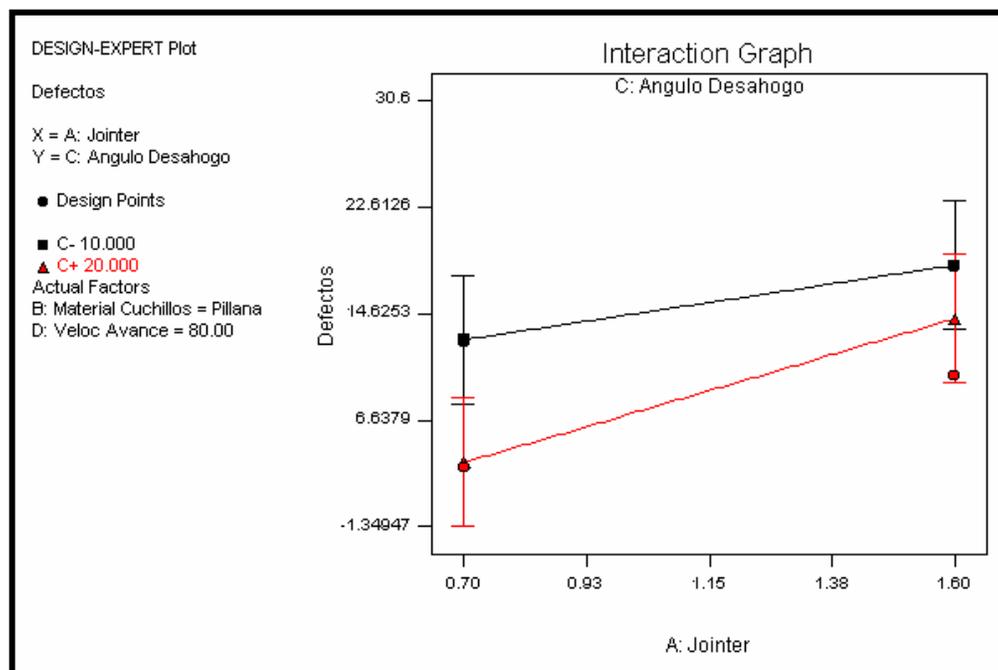


Figura N°8: Interacción Nivel de Jointeado y Ángulo de Desahogo utilizando el material Pillana a una velocidad de avance de 80m/min.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Se observa en la Figura N°8 que se minimiza bastante el defecto al trabajar con un nivel de jointeado de 0.7mm y con un ángulo de desahogo de 20°, independiente del ángulo que se utilice, si se aumenta el nivel de jointeado a 1.6mm. los defectos se incrementan.

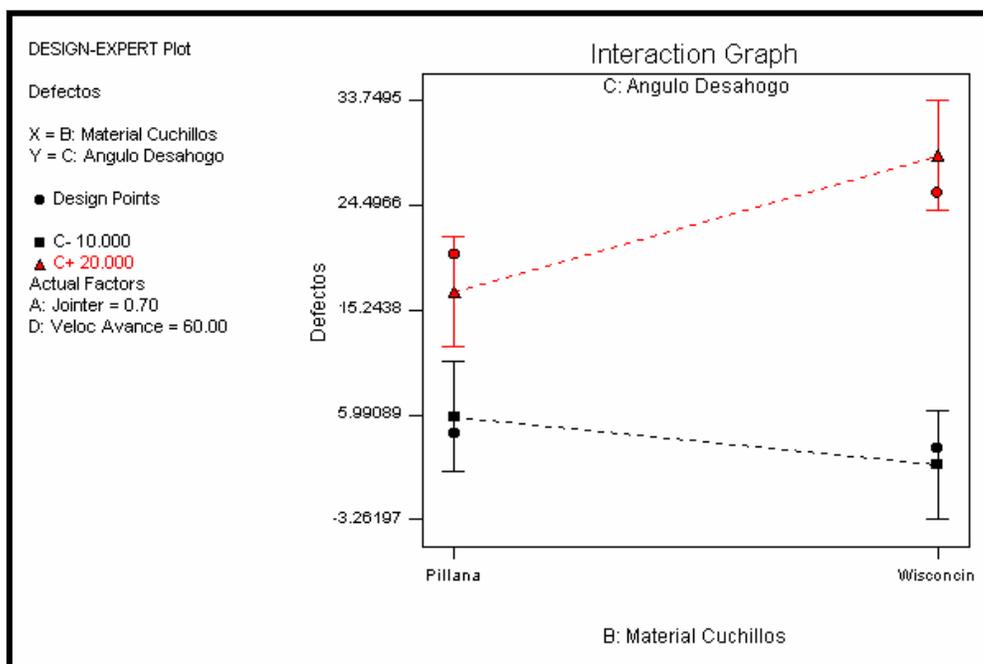


Figura N°9: Interacción Material de Cuchillos y Ángulo de Desahogo utilizando un jointer de 0.7mm y una velocidad de avance de 60m/min.

Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°9 muestra que al utilizar el material Wisconcin con un ángulo de 10° se puede minimizar los defectos, no así si se utiliza un ángulo de 20° donde el defecto crece de manera muy significativa. Al utilizar el material Pillana con un ángulo de desahogo de 10° también se obtiene un porcentaje de piezas defectuosas bajas.

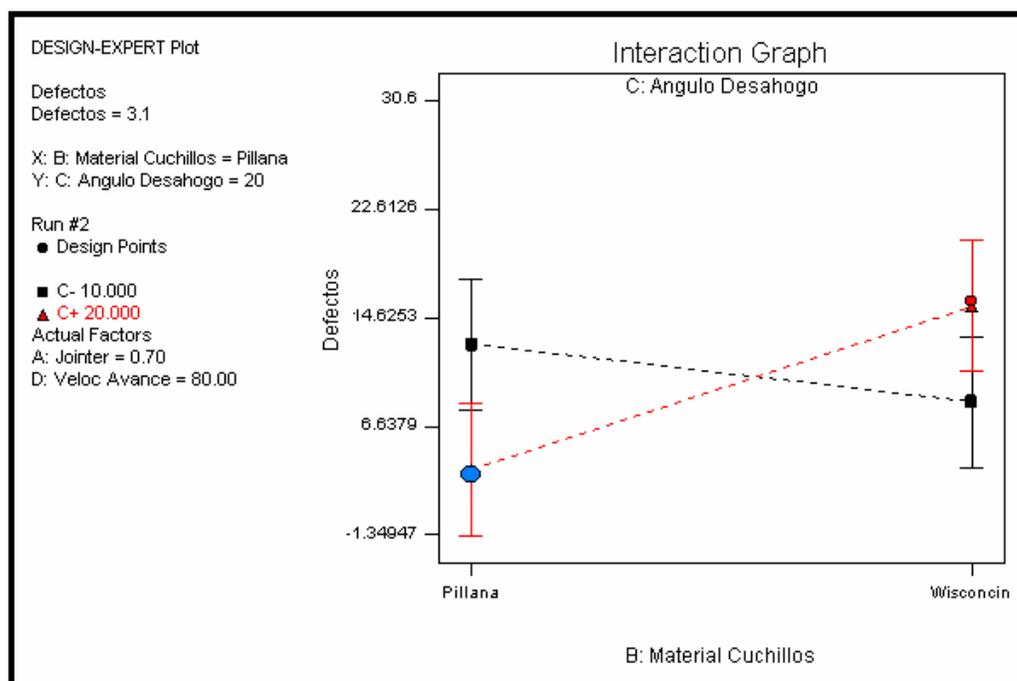


Figura N°10: Interacción Material de Cuchillos y Ángulo de Desahogo usando un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 80m/min.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°10 se observa que el valor más bajo de defectos se obtiene trabajando con el material Pillana y un ángulo de desahogo de 20°, pero si se trabaja en estas mismas condiciones, pero cambiando de material a Wisconcin el nivel de defectos se incrementa de manera considerable.

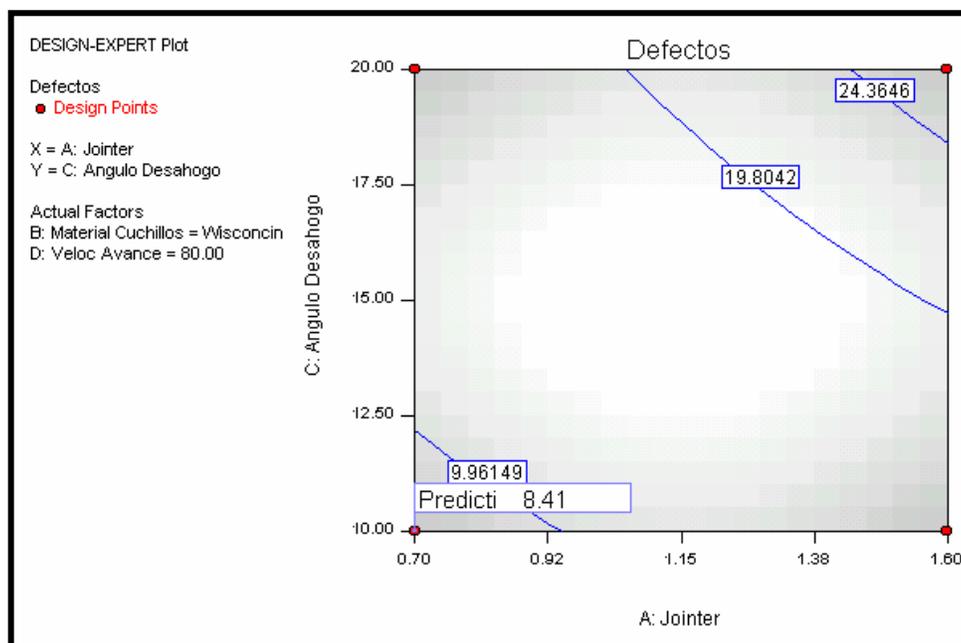


Figura N° 11: Gráfica de contorno.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°11 se observa que al trabajar con el material Wisconcin y una velocidad de avance de 80m/min se obtiene un nivel mínimo de defectos de 8.41% con un nivel de jointeado de 0.7mm y un ángulo de desahogo de 10°, si nos vamos al otro extremo se ve que con un ángulo de 20° y un nivel de jointeado de 1.6mm se obtiene un nivel mayor de defectos.

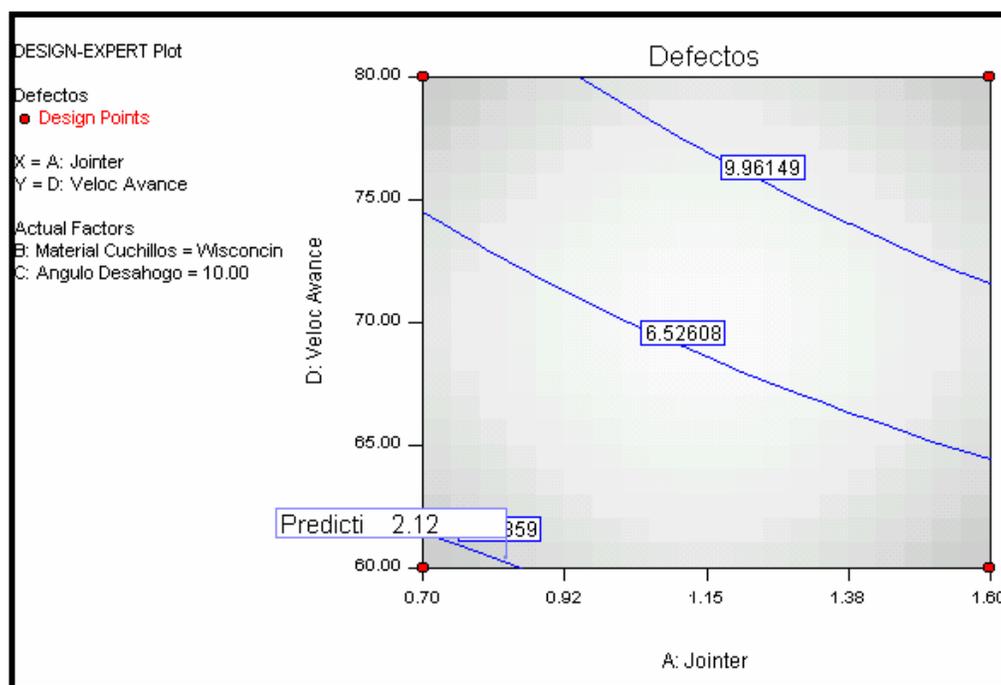


Figura N°12: Gráfica de contorno.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N° 12 se observa que utilizando el material Wisconcin y un ángulo de 10° se obtendrá un porcentaje mínimo de defectos con un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 60m/min. Se incrementa este porcentaje al aumentar el nivel de jointeado a 1.6mm y la velocidad a 80m/min.

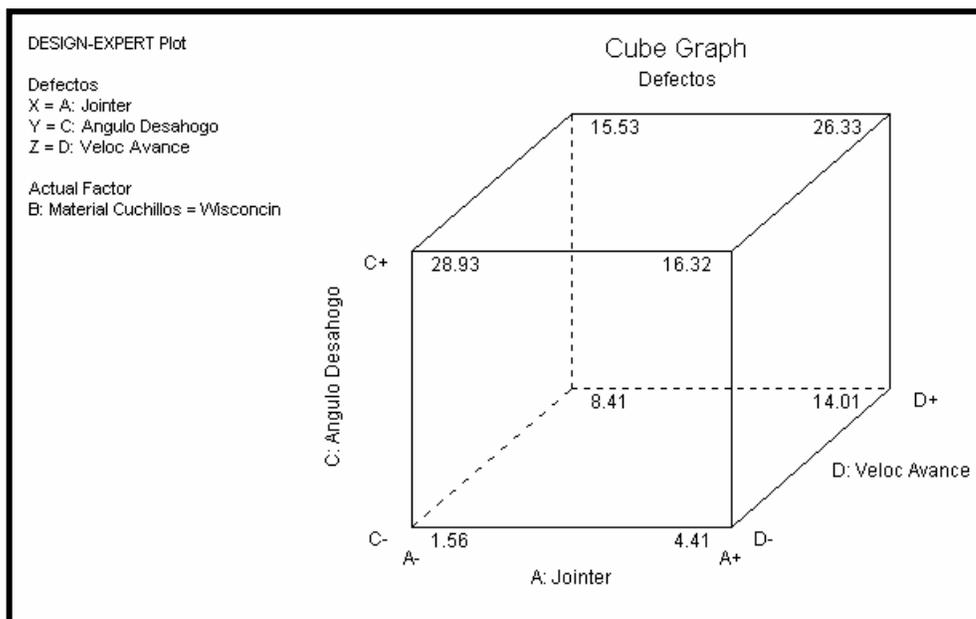


Figura N°13: Gráfica de cubo.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°13 vemos que se minimiza el porcentaje de piezas con fibra levantada al trabajar con nivel de jointeado de 0.7mm (-1), un ángulo de desahogo de 10 (-1), una velocidad de avance de 60m/min (-1) y un material de cuchillos Wisconcin, con estos niveles de factores se podrá obtener un 1.56% de defectos.

Jointer	Material Cuchillos	Angulo Desahogo	Veloc Avance	%Defectos
0.70	Wisconcin	10.00	60.00	1.56
0.70	Pillana	20.00	80.00	3.47
1.60	Pillana	20.00	60.00	4.27
1.60	Wisconcin	10.00	60.00	4.41
0.70	Pillana	10.00	60.00	5.83
0.70	Wisconcin	10.00	80.00	8.41
1.60	Pillana	10.00	60.00	8.68
0.70	Pillana	10.00	80.00	12.68
1.60	Wisconcin	10.00	80.00	14.01
1.60	Pillana	20.00	80.00	14.27
0.70	Wisconcin	20.00	80.00	15.52
1.60	Wisconcin	20.00	60.00	16.32
0.70	Pillana	20.00	60.00	16.87
1.60	Pillana	10.00	80.00	18.28
1.60	Wisconcin	20.00	80.00	26.32
0.70	Wisconcin	20.00	60.00	28.92

Tabla N°3: Ranking de defectos según modelo predictivo.

En la Tabla N°3 se observa que las mejores condiciones de trabajo para minimizar el porcentaje de piezas con fibra levantada en el WM356 es un nivel de jointeado de 0.7mm, material de cuchillos Wisconcin, ángulo de desahogo 10°, velocidad de avance 60m/min obteniendo un 1.56% de defectos.

4.2.2. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de SJ-Hembra.

Término	Suma de cuadrados	% Contribución
B	621,37	10,41
AB	578,37	9,69
AC	733,720417	12,29
BC	814,203333	13,64
ABC	1488,69333	24,95
ABD	495,57	8,31
BCD	398,043333	6,67

Tabla N°4: Estimaciones de los efectos del experimento.

En la Tabla N°4 se observa la contribución porcentual para explicar la variabilidad del porcentaje de piezas con fibra levantada, donde:

A : Nivel de Jointeado

B : Material de Cuchillos

C : Ángulo Stop

D : Velocidad de avance.

En conjunto explican en un 85,97% a la variabilidad de la variable respuesta Y: porcentaje de piezas con fibra levantada.

	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Valor-p
Modelo	5129.97	13	394.61	4.72	0.0095
B	621.37	2	310.68	3.71	0.0622
AB	578.37	2	289.18	3.46	0.0723
AC	733.72	1	733.72	8.77	0.0143
BC	814.20	2	407.10	4.87	0.0334
ABC	1488.69	2	744.35	8.90	0.0060
ABD	495.57	2	247.79	2.96	0.0977
BCD	398.04	2	199.02	2.38	0.1429
Residual	836.61	10	83.66		
Total	5966.58	23			

Tabla N°5: Análisis de Varianza.

En la tabla ANOVA se observa que tanto el efecto individual B y las interacciones mencionadas anteriormente son significativas, menos la interacción BCD donde su valor-p < 0.1 (10%), de aquí se desprende que las pendientes que acompañan a estas variables e interacciones significativas están presentes en el modelo de predicción el cual se determinará a continuación:

$$Y = 66.34 - 4.67B + 6.7AB + 5.53AC - 6.16BC + 2.23ABC + 6.43ABD + 2.08BCD$$

Los factores A (Nivel de jointeado), B (Material de cuchillos), C (Ángulo Stop), D (Velocidad de avance) asumen para sus niveles mínimos según sea el caso el valor -1 y

para sus valores máximos +1, para el factor material de cuchillos en donde tenemos 3 niveles se usó al momento de procesar los datos el valor (-1) para Pillana, (0) para Supersourse y (+1) para Stark.

El coeficiente de determinación ajustado de 67.7% indica que el cambio en los niveles de los factores explican en este porcentaje a la variabilidad de la variable Y.

4.2.2.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo

Término	VIF
B	1
AB	1
AC	1
BC	1
ABC	1
ABD	1
BCD	1

Tabla N°6: Factores de inflación de varianza.

La Tabla N°6 muestra que existe multicolinealidad, pero este problema no es severo, se pueden trabajar los datos ya que este $VIF < 10$.

4.2.2.2. Análisis de Heterocedasticidad

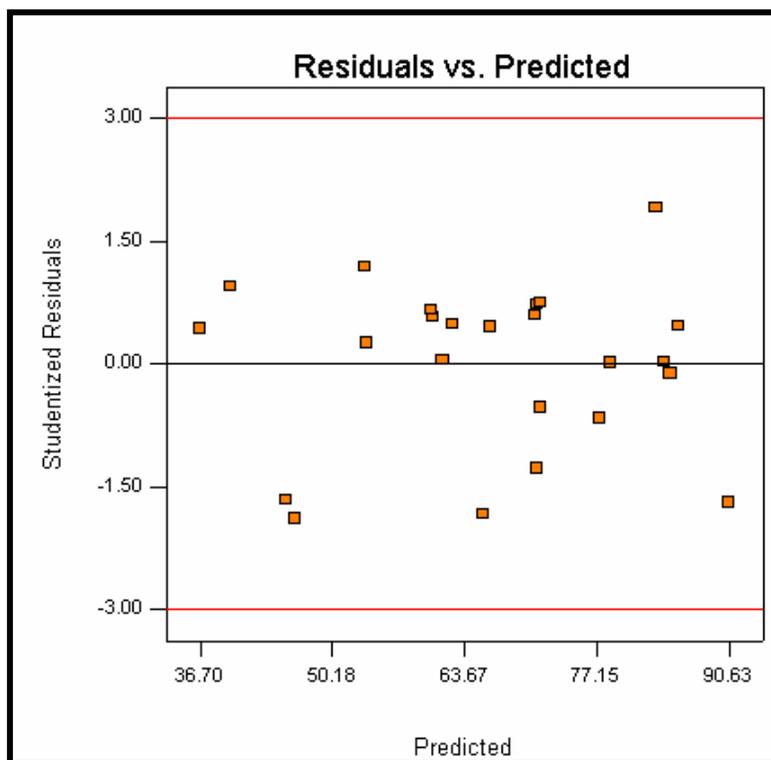


Figura N°14: Gráfico de Residuales v/s Y estimado.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°14 muestra que las observaciones se encuentran dispersas en forma aleatoria y no se reconoce ningún patrón donde se presente el problema de la heterocedasticidad, por lo tanto la varianza es constante (homocedasticidad) que es lo adecuado.

4.2.2.3. Normalidad de los residuos

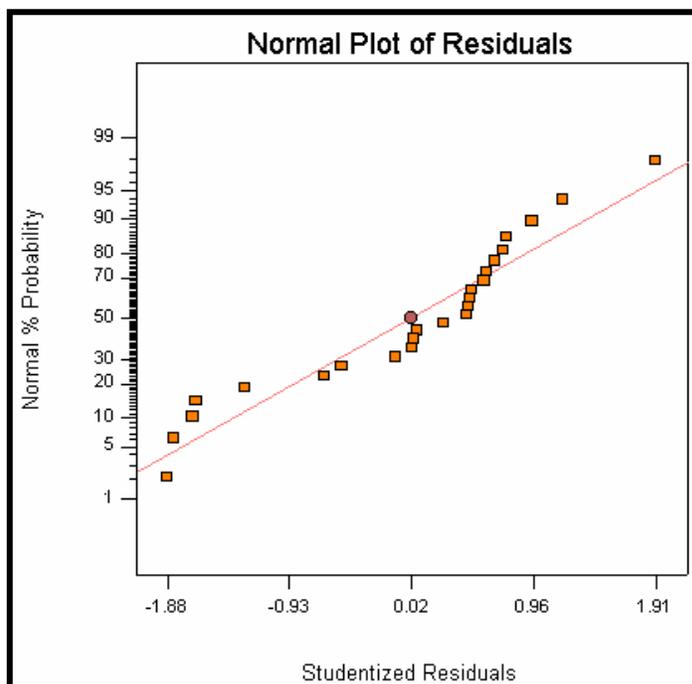


Figura N°15: Gráfica de probabilidad normal de los residuos.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°15 se observa que la distribución fundamental de los errores es normal ya que se ve claramente en la gráfica que los datos forman una línea recta.

4.2.2.4. Puntos atípicos

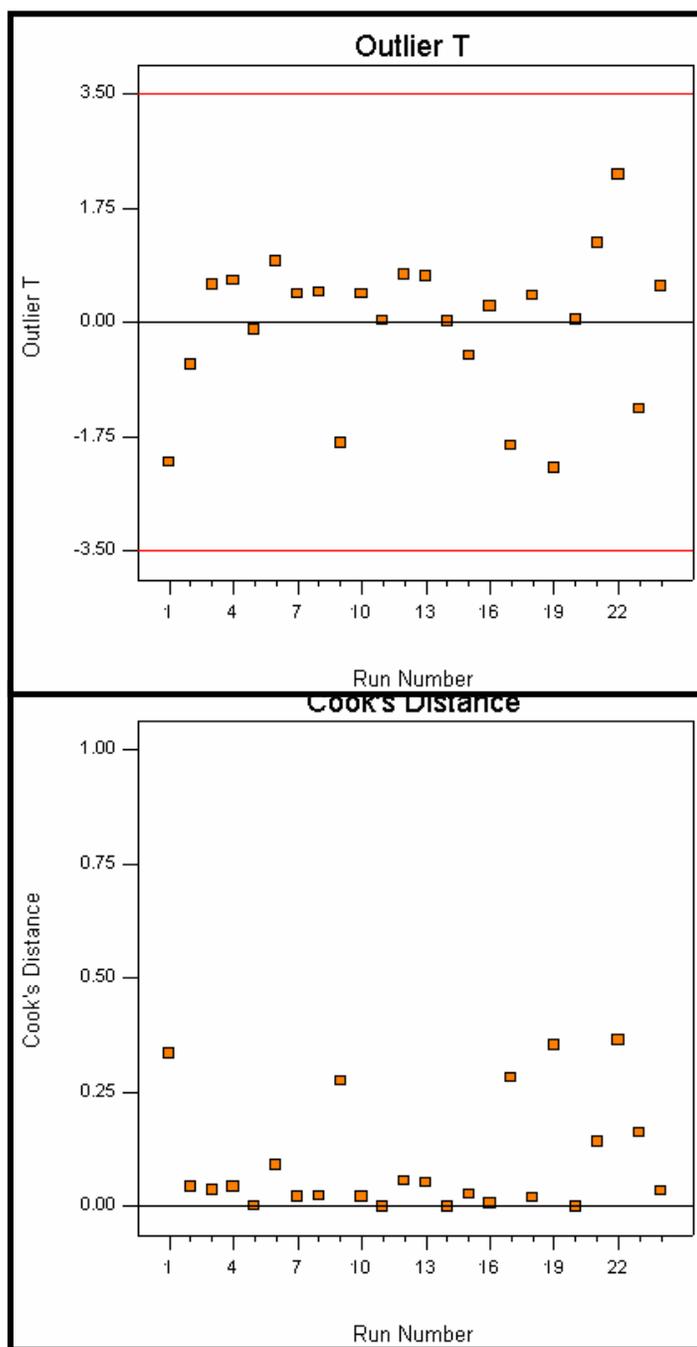


Figura N°16: Gráficas de distancia de Cook's y Outlier T.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°16 se observa que la distancia de Cook's son inferiores a 1 y la distribución de los puntos en la gráfica de Outlier T que se encuentran dentro de los rangos establecidos [-3.5;3.5], se asegura que no existen puntos atípicos. Se puede verificar también esto en la gráfica de residuales donde las observaciones no sobrepasan los límites de esta.

4.2.2.5. Optimización del modelo (SJ-Hembra)

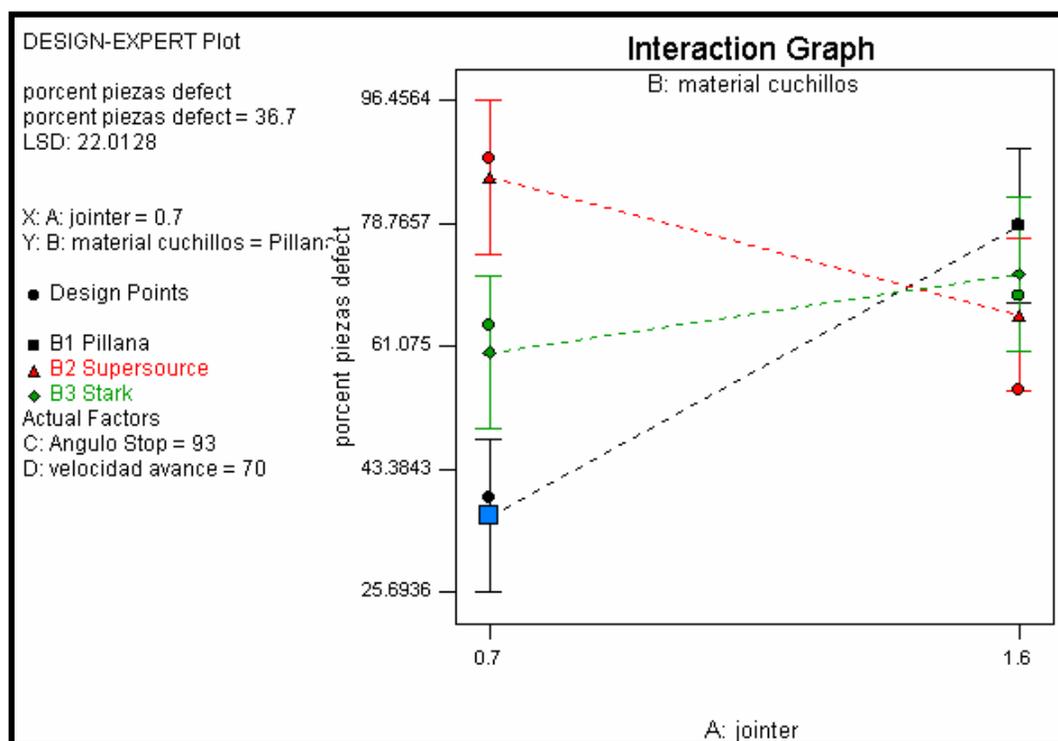


Figura N° 17: Interacción Nivel de Jointeado y Material de Cuchillos usando un ángulo de 93° y una velocidad de avance de 70m/min.

Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°17 se aprecia que al utilizar el material Pillana con un jointeado de 0.7mm, se minimiza el porcentaje de defectos a 36,7%, y a las mismas condiciones, pero

cambiando al material Supersource este porcentaje se incrementa de manera significativa a 85,45%.

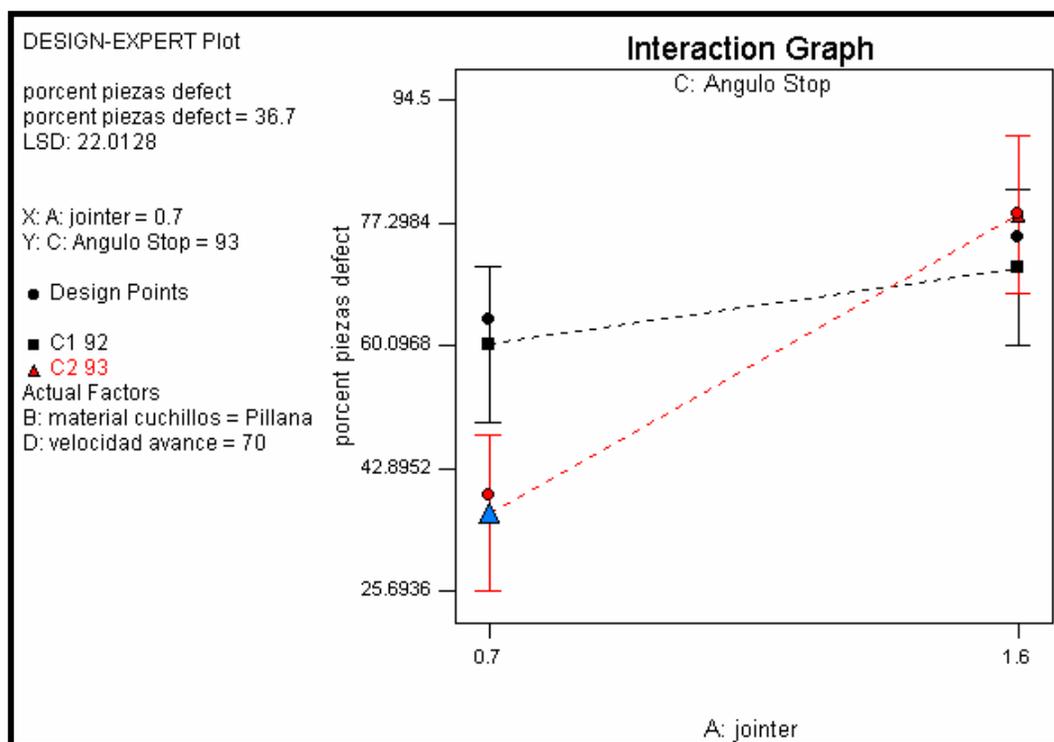


Figura N° 18: Interacción Nivel de Jointeado y Angulo de Stop.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Se ve claramente en la Figura N° 18 que con una ángulo de 93° y un nivel de jointeado de 0,7 mm, utilizando el material Pillana y una velocidad de 70 m/min se minimiza el porcentaje de fibra levantada en la SJ Hembra, pero con un ángulo de 92° este porcentaje se incrementa a 60.37%.

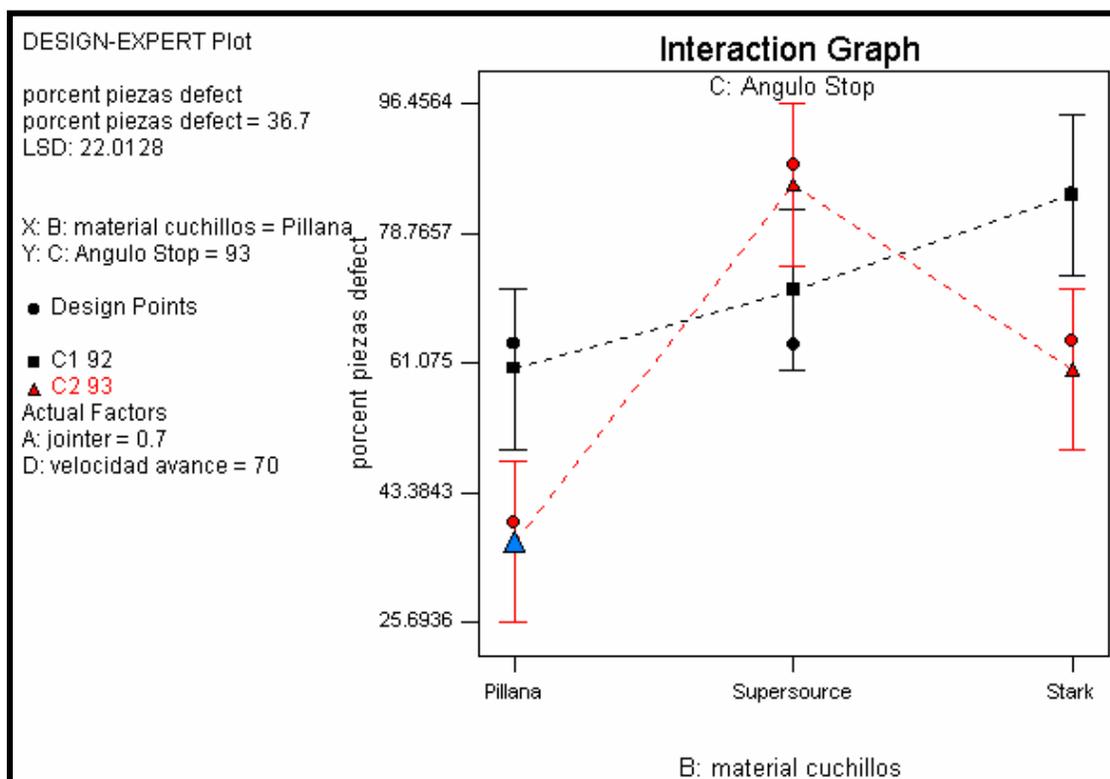


Figura N° 19: Interacción Material de Cuchillos y Angulo del Stop con un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 70 m/min.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Se observa en la Figura N° 19 que existen grandes diferencias en los resultados obtenidos al utilizar un tipo de material a un ángulo determinado.

Aquí se obtienen resultados similares, pero no los deseados al utilizar un material Pillana con un ángulo de 92° y un material Stark con un ángulo de 93°. La misma situación ocurre al utilizar un ángulo de 93° con el material Supersource y un ángulo de 92° en Stark. Pero lo ideal sigue siendo el material Pillana a un ángulo de 93°.

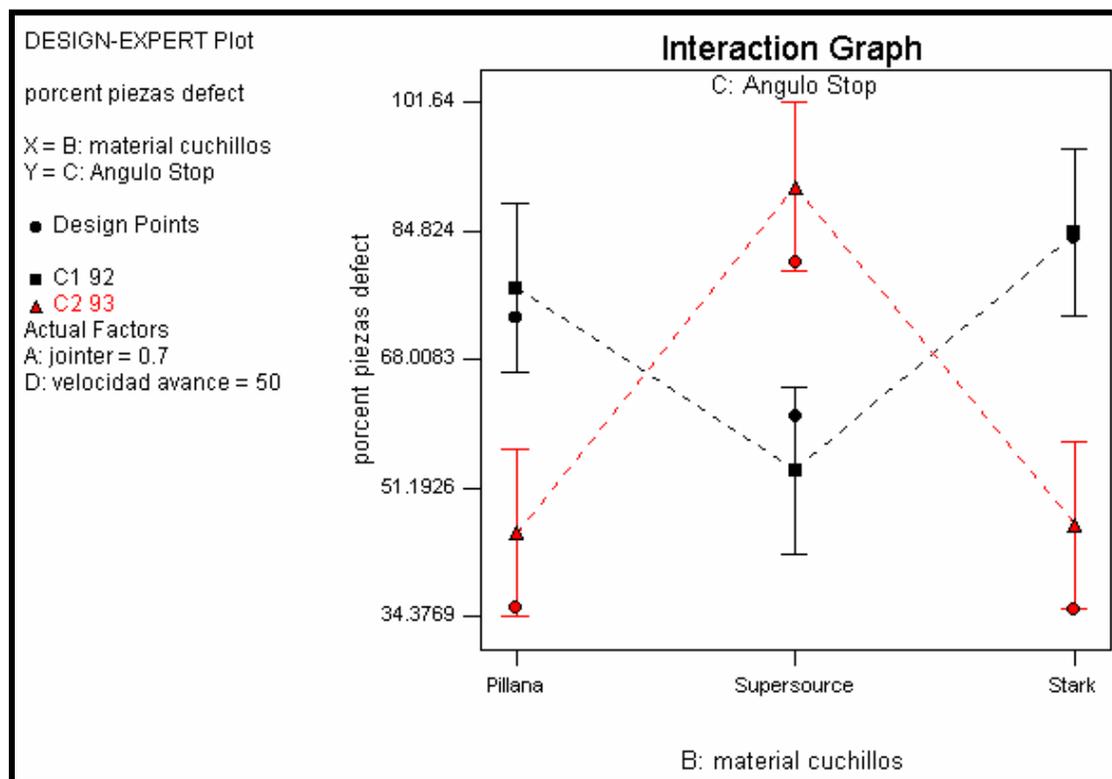


Figura N°20: Interacción Material de Cuchillos y Ángulo del Stop.

Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N° 20 se puede observar que a un jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 50 m/min el utilizar el material Pillana o Stark a un ángulo de 93° los resultados son similares (alrededor de un 45% de piezas defectuosas). Pero estos resultados se incrementan de manera considerable en los dos tipos de material mencionados al trabajar con un ángulo de 92°.

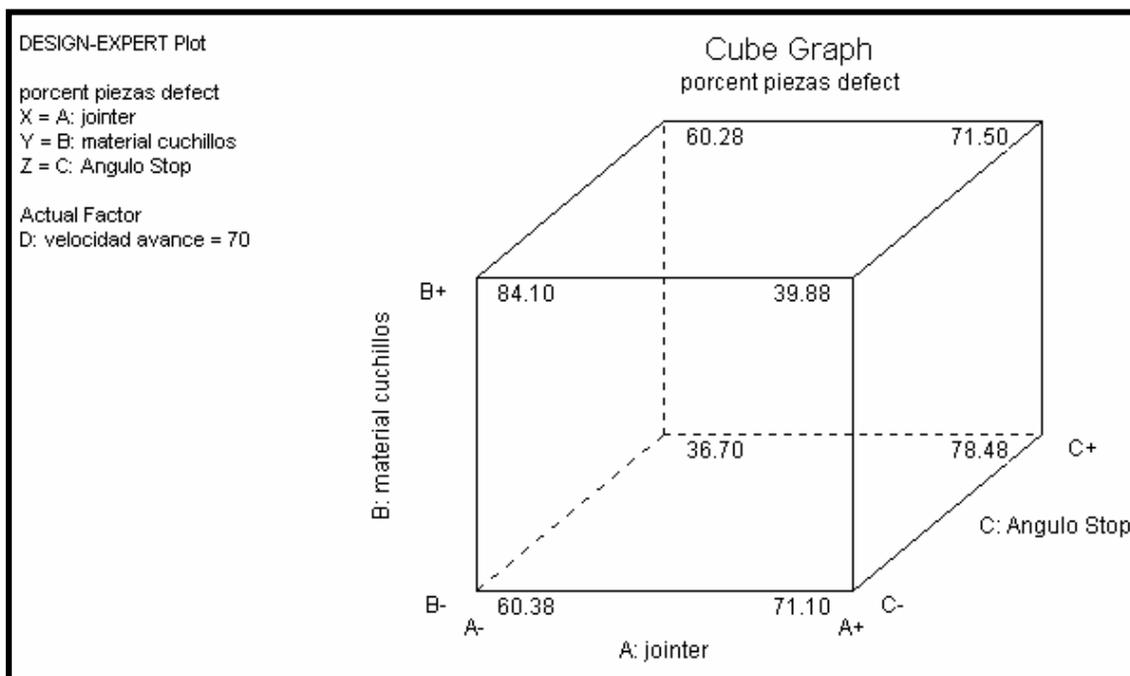


Figura N° 21: Gráfico de cubo.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

En el Figura N°21 se encuentran graficados los distintos resultados obtenidos al trabajar con una velocidad de 70m/min, variando los distintos factores. Se observa que lo ideal es trabajar con un jointeado de 0.7mm, un ángulo de stop de 93°, el material Pillana y una velocidad de 70m/min, así se minimiza el porcentaje de piezas defectuosas a un 36.7%. Se debe evitar es trabajar con una nivel de jointeado de 0.7mm, un ángulo del stop de 92° , una velocidad de 70 m/min y el material Stark donde se espera obtener un alto porcentaje de defectos (84,1%).

Nivel de Junteado	Material Cuchillos	Angulo Stop	Velocidad Avance	% Piezas Defectuosas
0.7	Pillana	93	70	36.70
1.6	Stark	92	70	39.87
0.7	Pillana	93	50	45.38
0.7	Stark	93	50	46.40
0.7	Supersource	92	50	53.54
1.6	Stark	92	50	53.74
0.7	Stark	93	70	60.27
0.7	Pillana	92	70	60.37
1.6	Pillana	93	50	61.45
1.6	Pillana	92	50	62.41
1.6	Supersource	93	70	65.62
1.6	Supersource	92	50	66.26
1.6	Stark	93	50	70.93
1.6	Pillana	92	70	71.10
0.7	Supersource	92	70	71.12
1.6	Supersource	92	70	71.45
1.6	Stark	93	70	71.50
0.7	Pillana	92	50	77.39
1.6	Pillana	93	70	78.47
1.6	Supersource	93	50	83.20
0.7	Stark	92	70	84.10
0.7	Stark	92	50	84.6667
0.7	Supersource	93	70	85.45
0.7	Supersource	93	50	90.6333

TablaN°7: Ranking de defectos según modelo estadístico.

En la Tabla N°7 se puede ver que la mejor condición de trabajo para minimizar el porcentaje de fibra levantada en el SJ-Hembra es Jinter de 0.7mm, Material de Cuchillos Pillana, Ángulo de Stop 93° y una velocidad de 70m/min.

Lo que se debe evitar es trabajar con un Jinter de 0.7mm, Material de Cuchillos Supersource, un Ángulo de Stop de 93° y una velocidad de 50m/min aquí se obtiene el más alto porcentaje de defectos.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. DEFECTO: VETA LEVANTADA

4.3.1. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de SJ Macho.

Término	Estimación del efecto	Suma de cuadrados	% Contribución
A	0,45	0,2025	0,10668704
B	-13,45	180,9025	95,3084046
AB	-2,95	8,7025	4,58490839

Tabla N° 8: Estimaciones de los efectos del experimento

En la Tabla N°8 se observa cual es la contribución porcentual para explicar la variabilidad del porcentaje de piezas con fibra levantada, donde:

A : Cara de entrada a partidora.

B : Nivel de Jointeado

Se ve que sólo el nivel de jointeado explica en un gran porcentaje (95,3%) casi la totalidad de la variabilidad del porcentaje de piezas defectuosas, le sigue, pero en un porcentaje mucho menor la interacción entre estos dos factores, y sólo un 0.1 % la cara de entrada, es decir, el factor cara de entrada a partidora no esta aportando casi nada a explicar la variabilidad de el porcentaje de defectos.

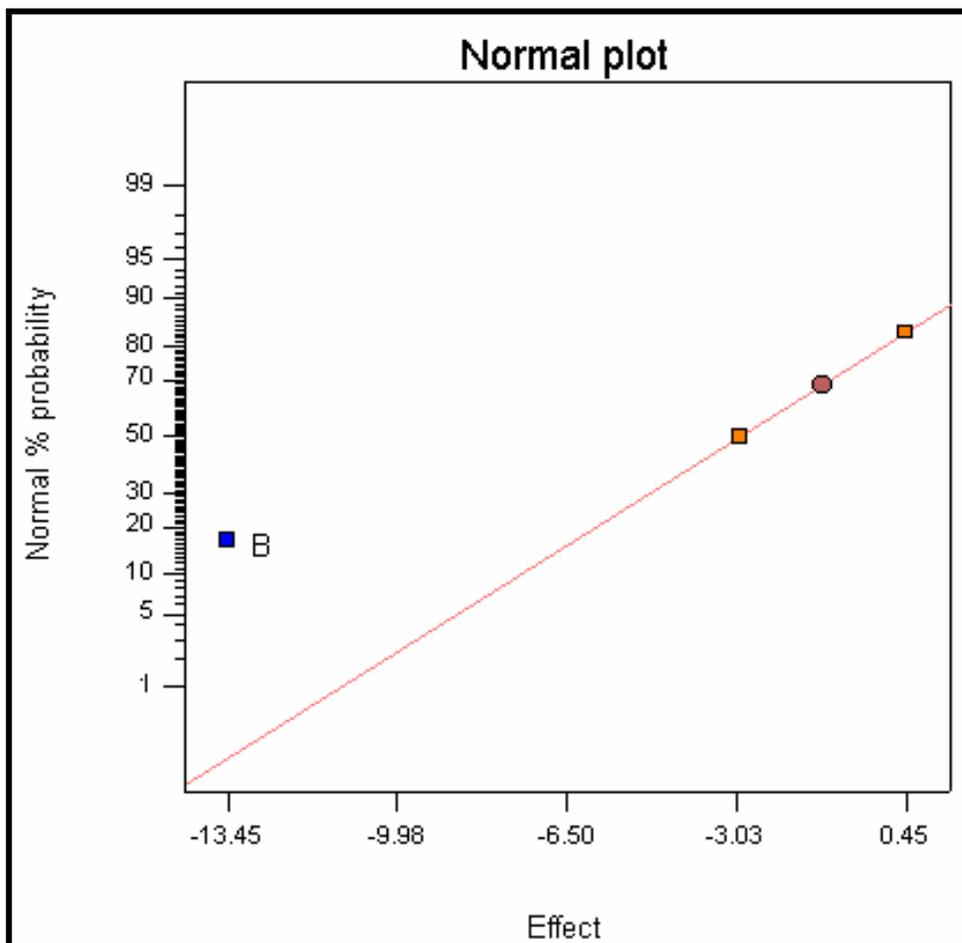


Figura N° 22: Gráfica de probabilidad normal de los efectos.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Esta gráfica de la Figura N°22 muestra que los mayores efectos son provocados por el factor B (nivel de jointeado).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Valor-p
Modelo	180,9025	1	180,9025	40,6294217	0.0237
B	180,9025	1	180,9025	40,6294217	0.0237
Residual	8,905	2	4,4525		
Total	189,8075	3			

Tabla N°9: Análisis de Varianza (ANOVA)

En la tabla ANOVA se observa que efectivamente tanto el efecto individual B es significativo, dado que su valor-p < 0.1 (10%), es decir, la pendiente que acompaña a este factor es distinta de cero, por lo tanto el nivel de jointeado está presente en el modelo de predicción el cual se determinará a continuación:

$$Y = 35,88 - 6,76B$$

El factor B (nivel de jointeado) asume para su niveles mínimo (-1) y para su nivel máximo (+1).

El coeficiente de determinación de 95,31% nos indica que la variabilidad del porcentaje de defectos de veta levantada para el SJ macho es explicada en un 95,31% por el factor nivel de jointeado.

4.3.1.2. Análisis de Multicolinealidad para el modelo

Factor	VIF
B-Jointeado	1

Tabla N°10: Factor de inflación de varianza.

La Tabla N°10 muestra que existe multicolinealidad, pero este problema no es severo, se pueden trabajar los datos ya que este $VIF < 10$.

4.3.1.3. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)

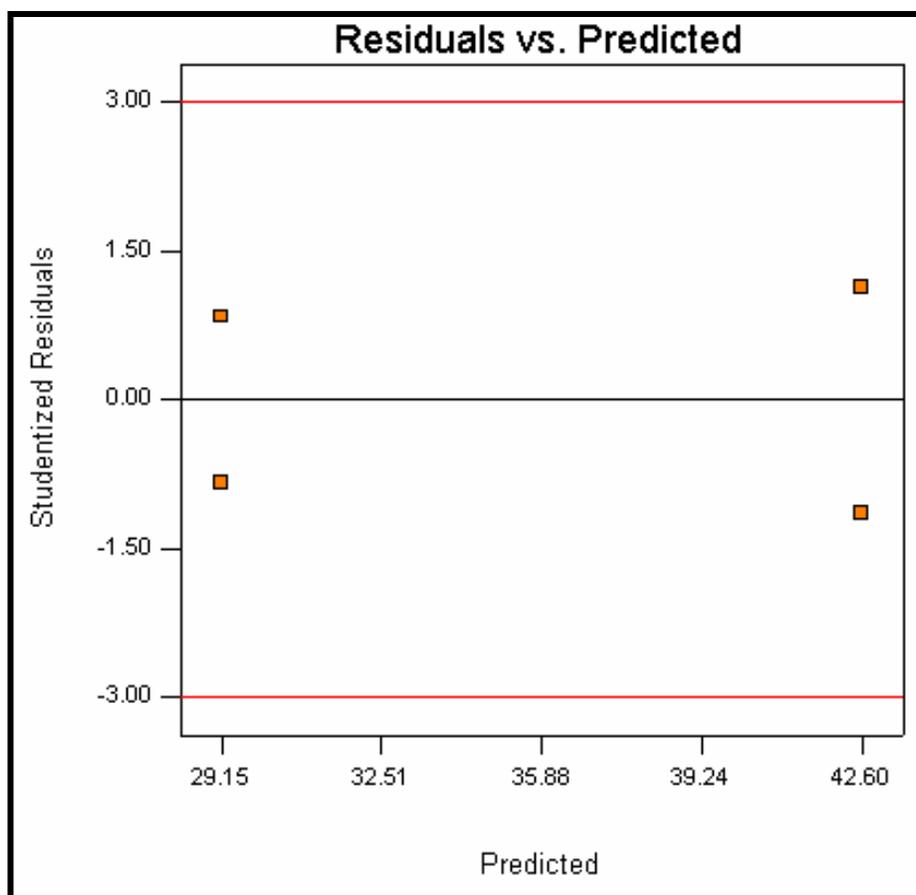


Figura N°23: Gráfica de residuos v/s porcentaje de defectos estimados.
Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°23 muestra que las observaciones se encuentran dispersas en forma aleatoria y no se reconoce ningún patrón donde se presente este problema de la heterocedasticidad, por lo tanto se trabajó con la varianza constante que es lo adecuado.

4.3.1.4. Normalidad de los residuos

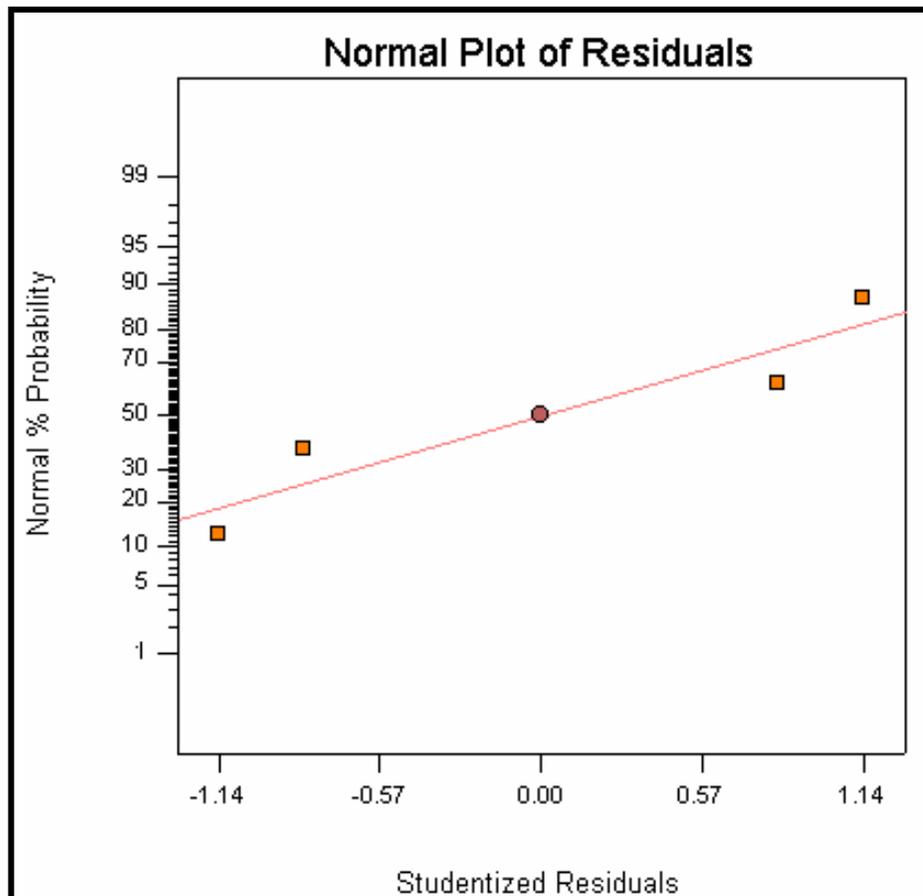


Figura N°24: Gráfica de probabilidad normal de los residuos.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°24 se observa que la distribución fundamental de los errores es normal ya que se ve en la gráfica una tendencia lineal.

4.3.1.5. Puntos atípicos

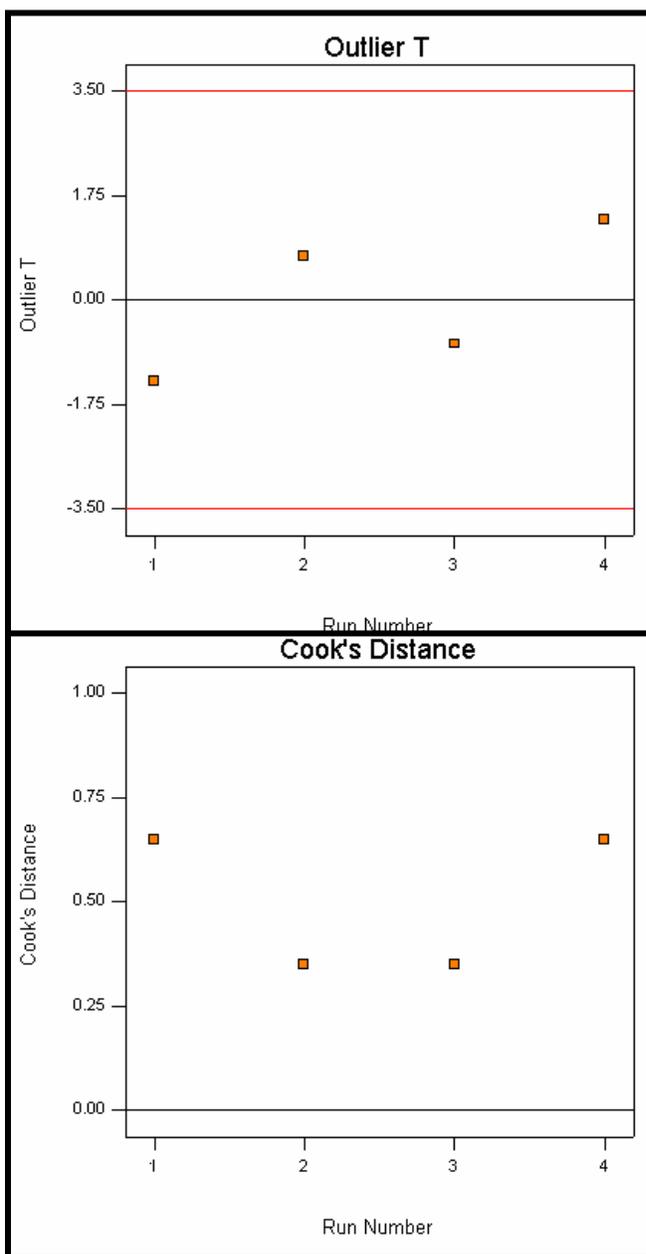


Figura N°25: Gráficas de distancia de Cook's y Outlier T.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°25 muestra en las gráficas obtenidas en la distancia de Cook's que la distribución de los puntos son inferiores a 1 y la distribución de los puntos en la gráfica de Outlier T se encuentran dentro de los rangos establecidos $[-3.5;3.5]$, por lo tanto no existen

puntos atípicos. También se puede dar cuenta de esto en la gráfica de residuales (figura N° 23) donde las observaciones no sobrepasan los límites de esta.

4.3.1.6. Optimización del modelo (SJ-Macho)

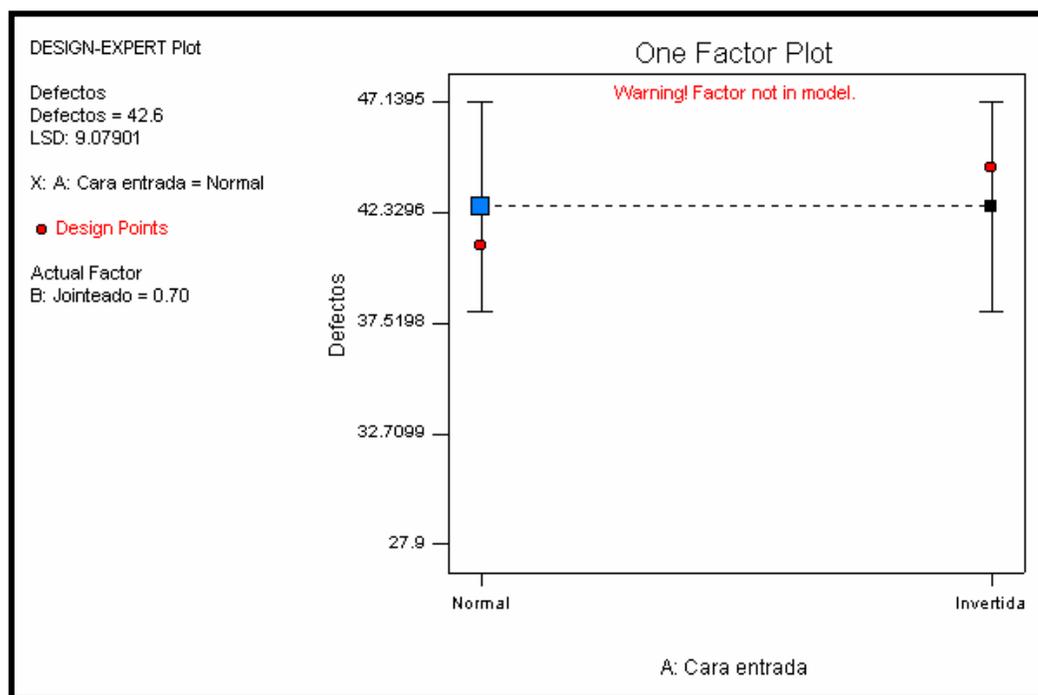


Figura N° 26
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N° 26, si bien nuestro modelo está compuesto sólo del factor nivel de jointeado, aquí en esta gráfica se ve que la cara de entrada no influye si se utiliza un jointer de 0.7mm.

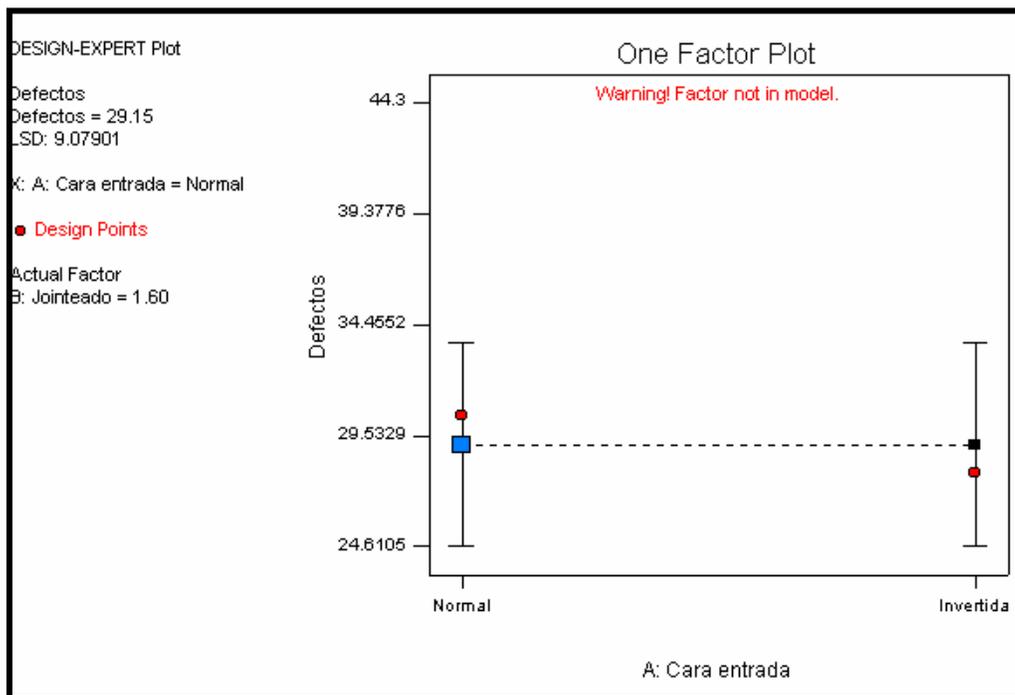


Figura N° 27
 Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°27 se ve la misma situación anterior, pero la diferencia está en que al utilizar un nivel de jointeado de 1.6mm el porcentaje de piezas disminuye.

Cara entrada	Jointeado	Defectos
Normal	1.60	29.15
Invertida	1.60	29.15
Invertida	0.70	42.6
Normal	0.70	42.6

Tabla N°11: Ranking de defectos según modelo predictivo.

En la Tabla N° 11 se observa que el nivel de jointeado es el factor principal en la aparición del defecto, por lo tanto se debe trabajar a un nivel de 1.6mm. Sin embargo, no es lo optimo ya que los niveles de defecto en planta son de 27.1% y con el modelo propuesto se logra obtener un nivel mínimo de defectos de 29.15%, se deben estudiar otras variables que puedan lograr minimizar este porcentaje ya que sólo el nivel de jointeado aunque es un factor importante no logra minimizar los defectos como se desea.

4.3.2. Determinación del Modelo estadístico de Predicción para el porcentaje de piezas defectuosas de WM 623.

Término	Estimación de efecto	Suma de cuadrados	% Contribución
A	-12,425	308,76125	7,27
B	-16,175	523,26125	12,32
C	-34,425	2370,16125	55,81
AB	11,925	284,41125	6,69
AC	6,275	78,75125	1,85
BC	18,225	664,30125	15,64
ABC	-2,875	16,53125	0,38

Tabla N° 12: Estimaciones de los efectos del experimento

En la Tabla N°12 se observa además de la estimación de los efectos la contribución porcentual de cada factor para explicar la variabilidad del porcentaje de piezas con fibra levantada, donde:

A : Presión Rodillos de Avance

B : Cara de entrada a moldurera

C: Tipo de Rodillo

Se ve que los factores A,B;C y las interacciones AB y BC contribuyen a explicar altamente (97,75%) a la variabilidad del porcentaje de piezas defectuosas.

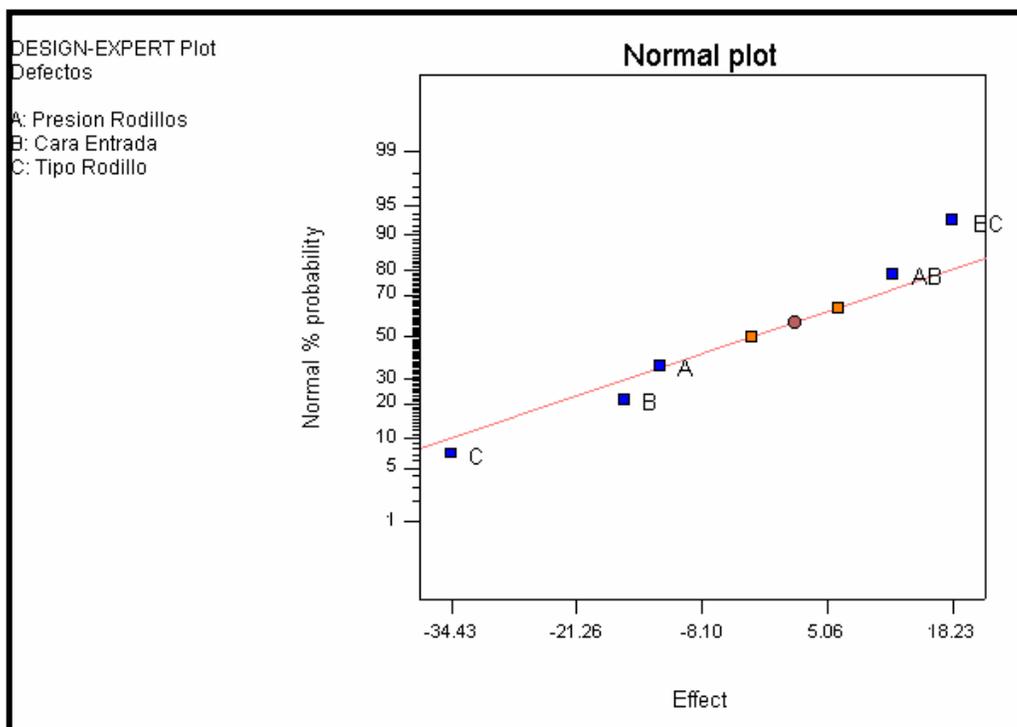


Figura N° 28: Gráfica de probabilidad normal de los efectos.

Fuente: Design Expert 6.0.11

Esta gráfica de la Figura N°28 muestra que los mayores efectos son provocados por los factores B,C y BC y al parecer la interacción AB y el factor A tienen un efecto más débil.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Valor-p
Modelo	4150,89625	5	830,17925	17,4256395	0.0552
A	308,76125	1	308,76125	6,4809645	0.1258
B	523,26125	1	523,26125	10,9833653	0.0802
C	2370,16125	1	2370,16125	49,7501902	0.0195
AB	284,41125	1	284,41125	5,96985281	0.1345
BC	664,30125	1	664,30125	13,9438249	0.0648
Residual	95,2825	2	47,64125		
Total	4246,17875	7			

Tabla N°13: Análisis de Varianza (ANOVA)

En la tabla ANOVA se observa que el modelo es significativo, tanto los efectos individuales B,C y la interacción BC son significativos, dado que su valor-p < 0.1 (10%), es decir, la pendiente que acompaña a este factor es distinta de cero, por lo tanto la cara de entrada, el tipo de rodillo y la interacción entre ambos factores deberían estar presentes en el modelo predictivo. Por lo tanto se puede predecir el porcentaje de piezas defectuosas a través del siguiente modelo:

$$Y = 46.94 - 6.21A - 8.09B - 17.21C + 5.96AB + 9.11BC$$

Los factores asumen valores -1 y +1.

El factor A (Presión Rodillos) asume para su nivel mínimo (-1) y para su nivel máximo (+1), para el factor B (Cara de Entrada) su nivel mínimo es la interna(-1) y su nivel máximo es la externa (+1) y para el factor C (Tipo de Rodillo) su valor mínimo (-1) será el de poliuretano y el máximo (+1) el Vulcanizado.

El coeficiente de determinación ajustado para este modelo múltiple es de 92.15%, es decir, la variabilidad de la variable respuesta se encuentra explicada en este porcentaje por los factores presentes en el modelo.

4.3.2.1. Análisis de Multicolinealidad para el modelo

Factor	VIF
A-Presion Rodillos	1
B-Cara Entrada	1
C-Tipo Rodillo	1
AB	1
BC	1

Tabla N°11: Factor de inflación de varianza.

La Tabla N°14 muestra que existe multicolinealidad, pero este problema no es severo, se pueden trabajar los datos ya que este $VIF < 10$.

4.3.2.2. Análisis de Heterocedasticidad (varianza no constante)

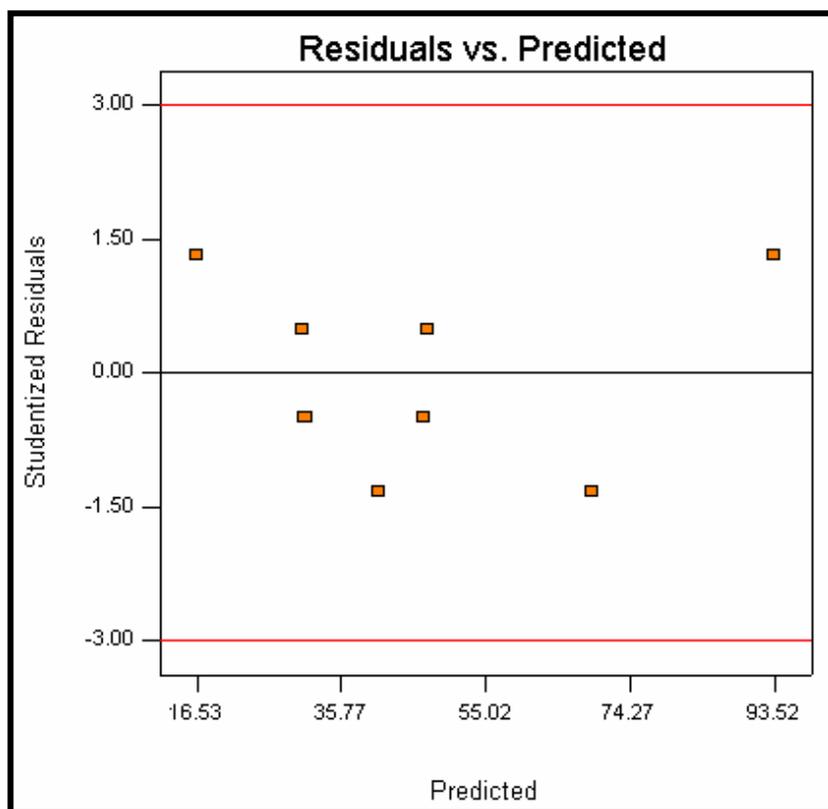


Figura N°29: Gráfica de residuos v/s porcentaje de defectos estimados.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°29 se observa que los datos se encuentran dispersos en forma aleatoria y no se reconoce ningún patrón donde se presente este problema de la heterocedasticidad, por lo tanto la varianza es constante que es lo adecuado.

4.3.2.3. Normalidad de los residuos

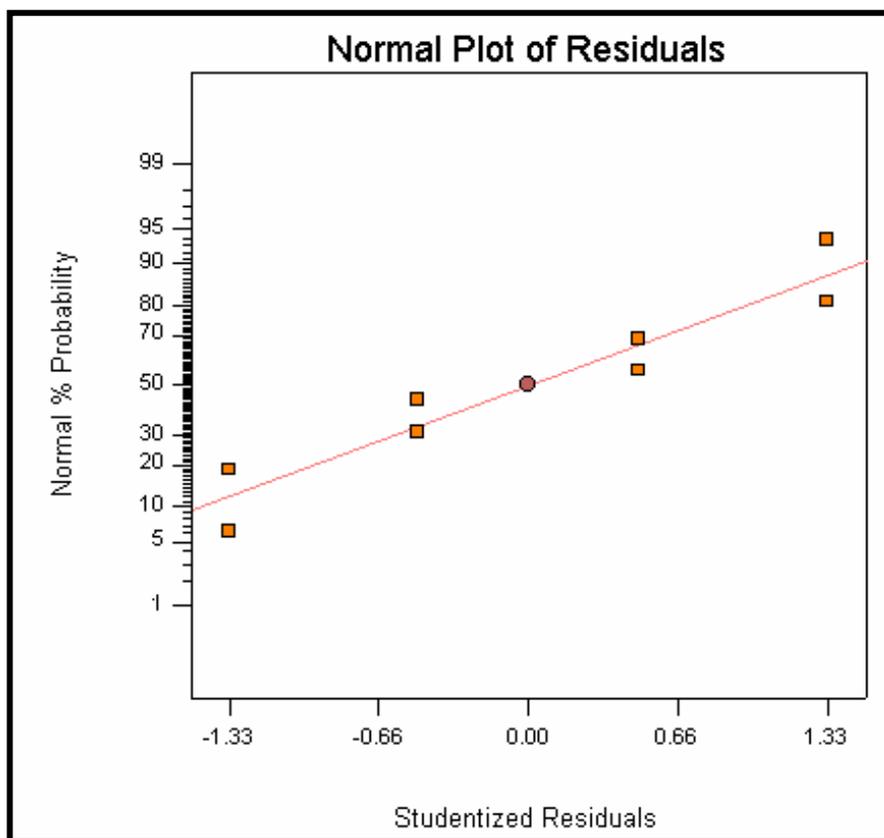


Figura N°30: Gráfica de probabilidad normal de los residuos.

Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°30 se observa que la distribución fundamental de los errores es normal ya que se aprecia en la gráfica una tendencia lineal.

4.3.2.4. Puntos atípicos

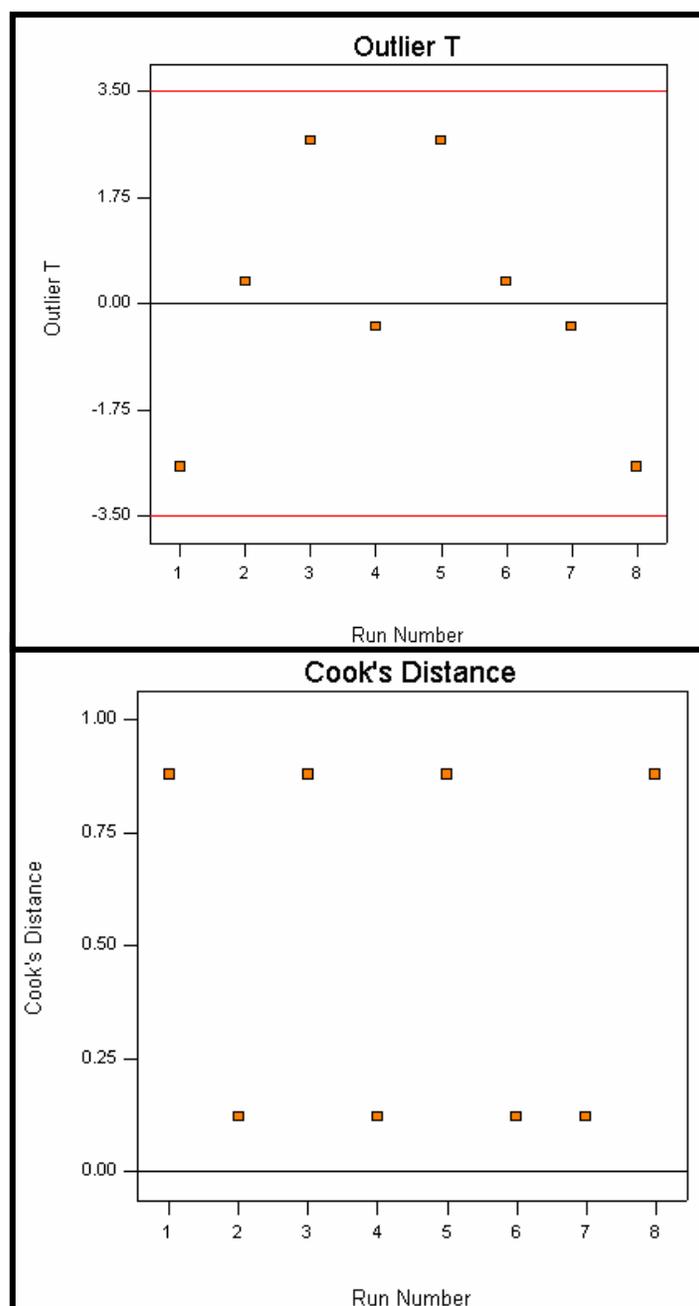


Figura N°31: Gráficas de distancia de Cook's y Outlier T.
 Fuente: Design Expert 6.0.11

La Figura N°31 muestra en las gráficas obtenidas en la distancia de Cook's son inferiores a 1 y la distribución de los puntos en la gráfica de Outlier T se encuentran dentro

de los rangos establecidos [-3.5;3.5], por lo tanto no existen puntos atípicos. También se puede ver esto en la gráfica de residuales (figura N° 29) donde las observaciones no sobrepasan los límites de este gráfico.

4.3.2.5. Optimización del modelo (WM 623)

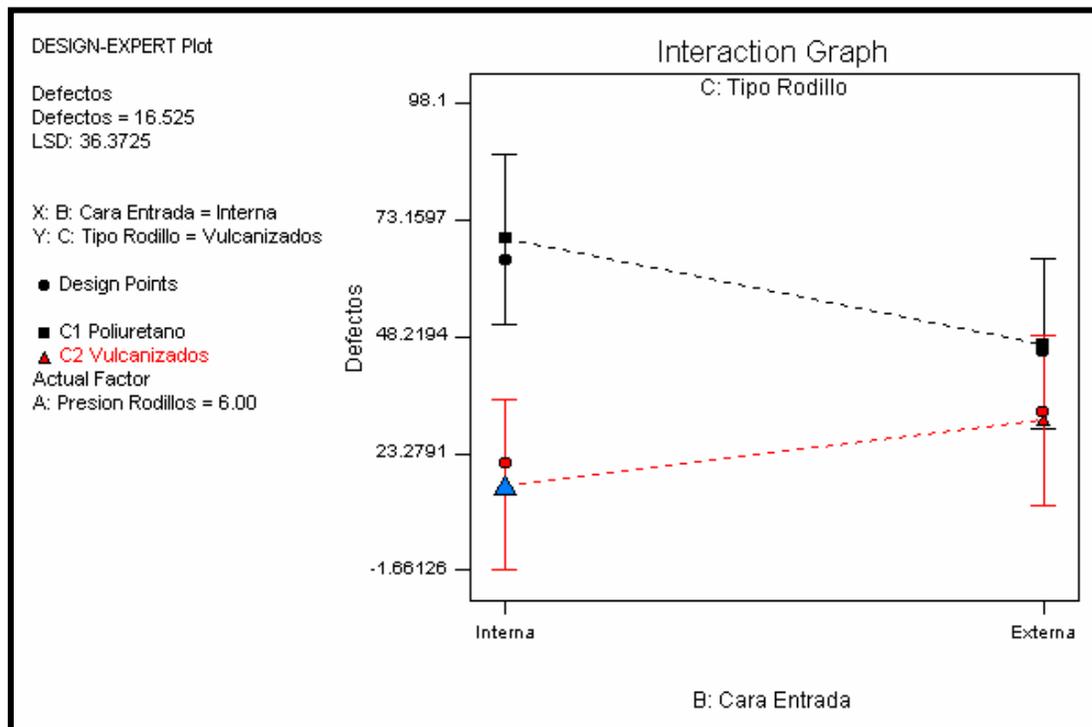


Figura N°32: Interacción Cara de Entrada y Tipo de Rodillo.
Fuente: Design Expert 6.0.11

Se aprecia en la figura N°32 que se puede minimizar bastante el porcentaje de piezas defectuosas a un 16.5% trabajando a una presión de 6 bar, Rodillos vulcanizados, e ingresando el blank a la moldurera por su cara interna (corte guincha). Pero si se utiliza rodillos de Poliuretano este porcentaje de defectos se incrementa de manera importante.

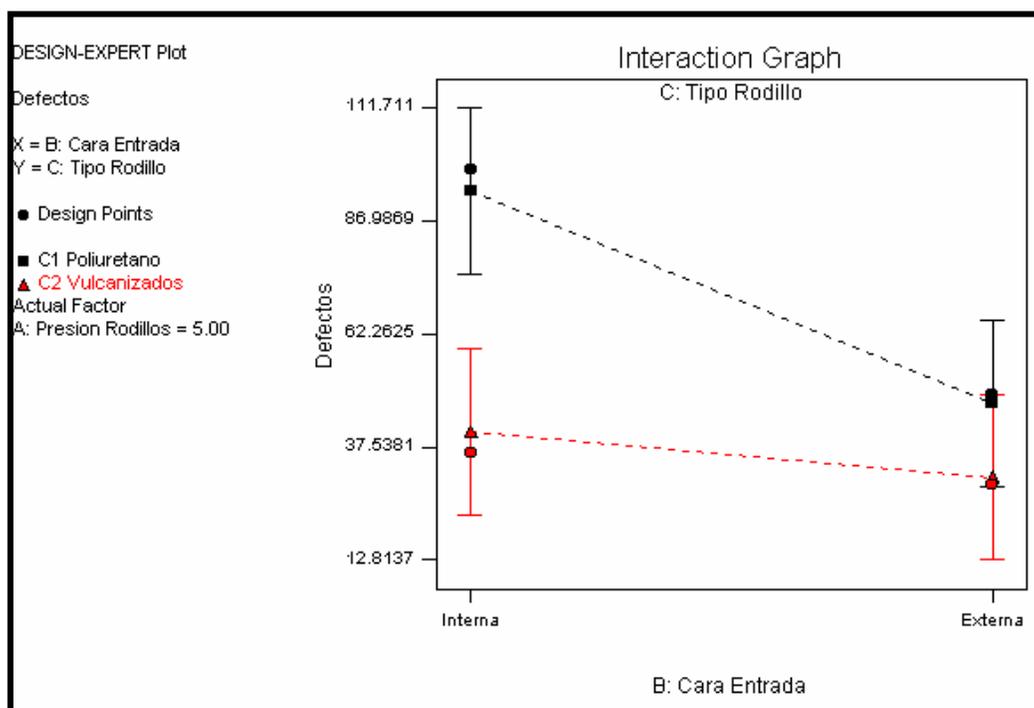


Figura N°33: Interacción Cara de entrada a moldurera y Tipo de Rodillo a una presión de 5 bar.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la gráfica de la Figura N°33 se muestra que se incrementa bastante el defecto al utilizar rodillos de poliuretano ingresando el blank a la moldurera tanto por su cara externa y más aun por su cara interna.

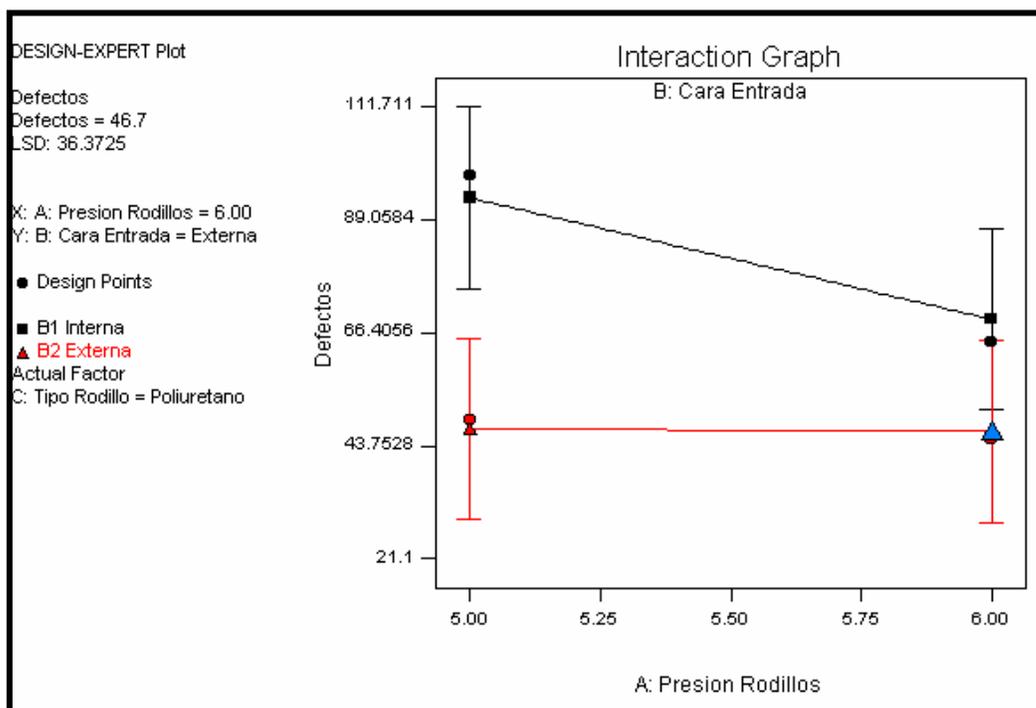


Figura N° 34: Interacción Presión Rodillos y Cara de entrada utilizando rodillos de poliuretano.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la gráfica de la Figura N°34 se observa que no hay mucha diferencia al usar presiones de 5 o de 6 bar ingresando el blank por su cara externa, se obtiene un porcentaje de defectos alrededor de un 46%. Donde si hay diferencias es al ingresarlo por su cara interna donde utilizando una presión de 5 bar el defecto se incrementa en demasía.

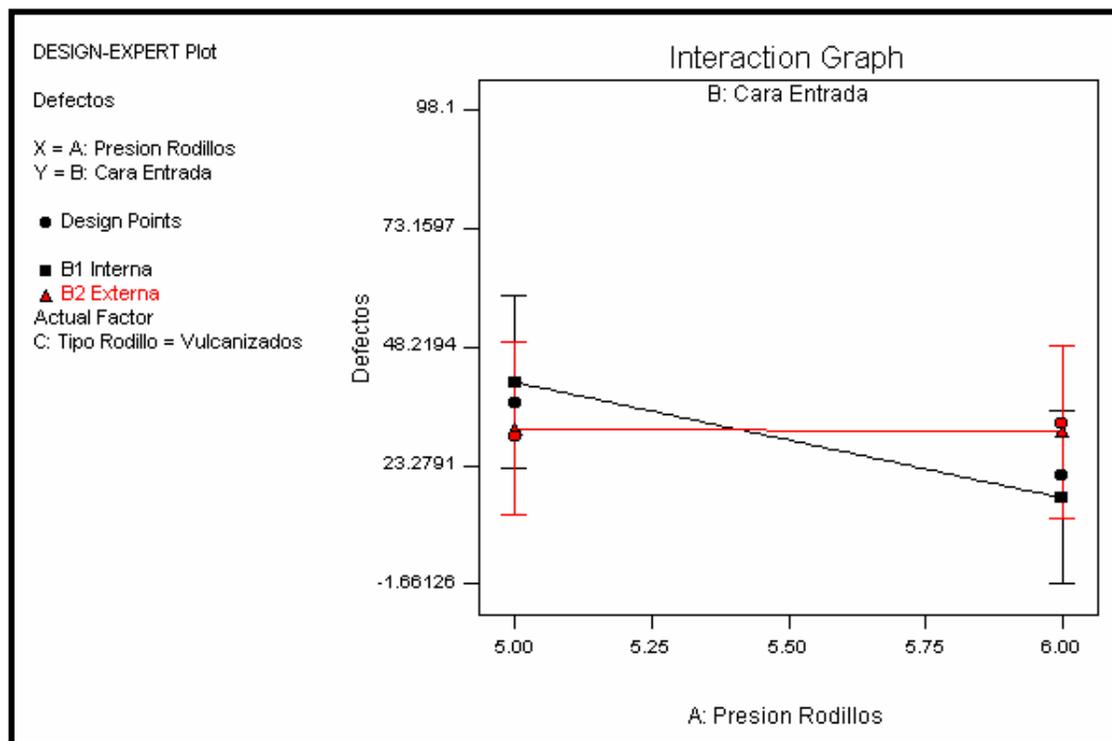


Figura N°35: Interacción Presión de Rodillos y Cara de Entrada a moldurera utilizando rodillos vulcanizados.
Fuente: Design Expert 6.0.11

En la Figura N°35 se ve que ingresando el blank por su cara interna, a mayor presión menor es el porcentaje de defectos y viceversa. Pero al ingresarlo por su cara externa la diferencia entre las presiones no varía mucho el resultado.

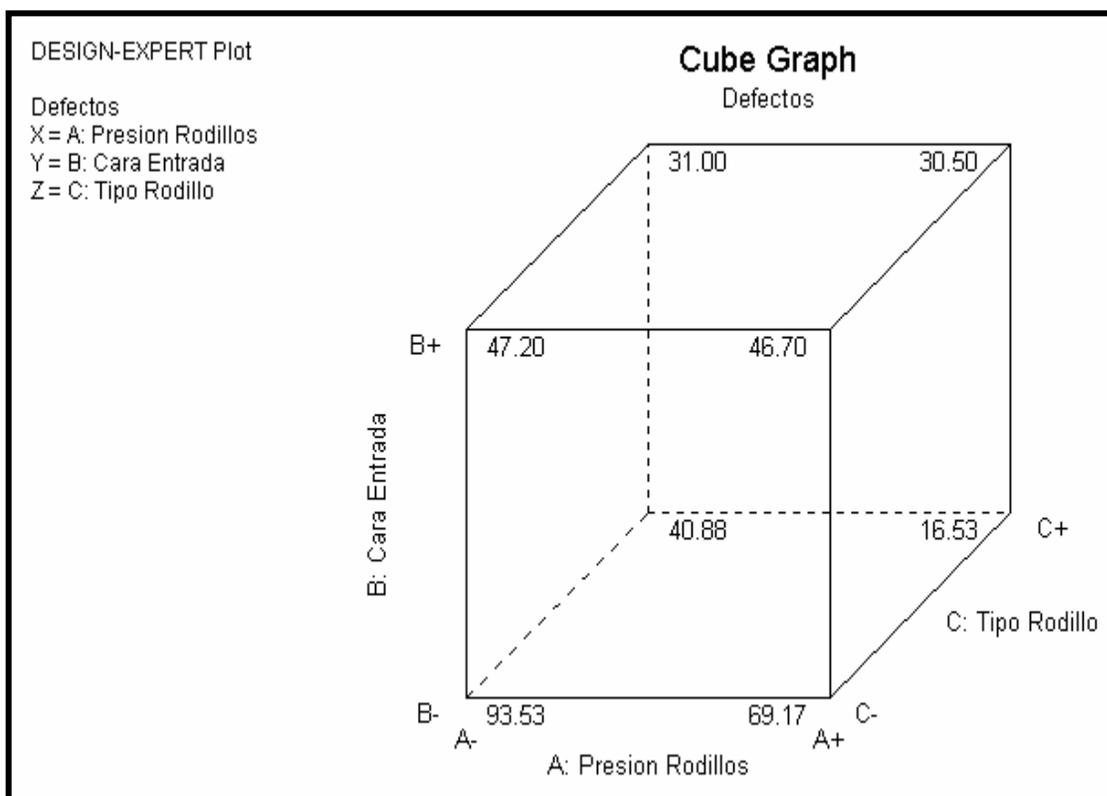


Figura N° 36: Gráfico de cubo.
Fuente: Design Expert 6.0.11

El gráfico de cubo ilustra bien los tipos de situaciones que se pueden presentar con sus distintas respuestas. Aquí se ve que conviene utilizar el tipo de Rodillo en su nivel máximo (Vulcanizado), una presión de 6 bar (+1) y la cara de entrada en su nivel mínimo (-1) interna, así se minimiza bastante el porcentaje de defectos a un 16.5%. Lo que se debe evitar es utilizar una presión de 5 bar (-1), ingresar el blank por su cara interna(-1), rodillo de poliuretano (-1) obteniendo un 93.53% de piezas defectuosas. Se puede ver que la diferencia la marca bastante el tipo de rodillo y la presión de estos.

Presión Rodillos	Cara Entrada	Tipo Rodillo	Defectos
6.00	Interna	Vulcanizados	16.52
6.00	Externa	Vulcanizados	30.50
5.00	Externa	Vulcanizados	31
5.00	Interna	Vulcanizados	40.87
6.00	Externa	Poliuretano	46.70
5.00	Externa	Poliuretano	47.20
6.00	Interna	Poliuretano	69.17
5.00	Interna	Poliuretano	93.52

Tabla N°15: Ranking de defectos según modelo predictivo.

En la Tabla N°15 claramente se ve una alta diferencia en los porcentajes de defectos al utilizar un tipo de rodillo u otro, donde el vulcanizado genera un marcado menor porcentaje de defectos a diferencia del poliuretano. Para obtener mínimos defectos se debe trabajar con una presión de los rodillos de 6 bar, ingresar el blank a la moldurera por la parte interna, es decir, donde la guincha le hace el corte y utilizar rodillos de poliuretano así se podrá obtener alrededor de un 16.5% de defectos.

CAPITULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA

Finalmente, concluido el análisis y luego de haber obtenido los modelos predictivos que optimizan el proceso productivo correspondiente, se procederá a realizar un análisis de los costos, es decir, estimar en cuanto la empresa se beneficiaría al realizar los arreglos pertinentes de acuerdo a estos análisis y sus resultados logrados en este estudio.

5.1. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL WM 356

A continuación se presentan los costos al producir un lote defectuoso a la salida de la moldurera:

Costos	\$/lote
Reclasificado	2499
Reparado	4643
HH Administrativos	1468
Materiales para reparación	2721
Línea de pintura	42187
Total	53518

Tabla N° 1

Antes	6315
Ahora	835
Ahorro	5480

Tabla N° 2

La Tabla N° 1 se encuentra detallado los costos para el perfil WM 356. Un lote contiene 1248 piezas.

La Tabla N° 2 muestra que la planta por lote defectuoso incurre en un costo de \$6315 y al optimizar la producción estos costos disminuirían a \$835. Lo que generaría un ahorro de \$5480 por lote defectuoso.

5.2. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL SJ-HEMBRA

Aquí se detallaran los costos en que se incurren al producir un lote con defecto de fibra levantada del perfil SJ-Hembra y luego el ahorro en pesos al optimizar la producción según este estudio.

Costos	\$/lote
Reclasificado	1442
Reparado	2678
HH Administrativos	847
Materiales para reparación	1568
Línea de pintura	24744
Total	31279

Tabla N° 3

Antes	\$18173
Ahora	\$11479
Ahorro	\$6694

Tabla N° 4

En la tabla N° 3 se observa los costos para el perfil SJ-Hembra el cual contiene 720 piezas por lote al salir de la moldurera.

En la tabla N° 4 se encuentra los costos que la planta tiene antes del estudio el cual es de \$18173 por lote y con la optimización se esperaba disminuir estos costos en \$6694 por lote defectuoso.

5.3. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL PERFIL WM 623

A continuación se detallarán los costos que se generan al producir un lote defectuoso a la salida de la moldurera y el ahorro que se obtendría al optimizar la producción según este estudio.

Costos	\$/lote
Reproceso	965260
Reclasificación	23949
HH Administración	988
Total	990197

Tabla N° 5

Antes	223785
Ahora	163383
Ahorro	60402

Tabla N° 6

La Tabla N° 5 detalla los costos en que se incurre al producir un lote defectuoso. Cabe señalar que el defecto de veta levantada no se puede reparar por lo que la solución ante la presencia de este defecto es el reproceso del perfil a uno más pequeño. El lote del WM 623 contiene 840 piezas.

Al observar la Tabla N° 6 vemos que al optimizar el proceso productivo de acuerdo a este estudio se esperaría ahorrar \$60402 por lote con defecto de veta levantada.

Observación: No se realizó el análisis para el SJ-Macho ya que no se logró minimizar el porcentaje de piezas con defecto de veta levantada.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Con el transcurso del estudio, y ya finalizado este, se pudo determinar cual es la mejor condición de trabajo para lograr minimizar en la mayoría de los perfiles estudiados el porcentaje de defectos en planta, además de encontrar la menos favorable condición de trabajo. Además, se cumplieron los objetivos específicos planteados ya que se determinó el porcentaje de piezas defectuosas en la planta, se identificaron aquellas posibles variables que pudieran incidir en la aparición de los defectos. Se obtuvieron cuatro modelos de predicción que permiten predecir los efectos de las variables más importantes para poder optimizar el proceso productivo.

También se estimó el ahorro en costos al optimizar los procesos productivos.

6.1. DEFECTO: FIBRA LEVANTADA

6.1.1. Perfil: WM 356

A continuación se explicaran los resultados de este estudio, aquí se verá cuales variables inciden mayormente en la aparición del defecto, también cual es la mejor forma de trabajo para minimizar significativamente la cantidad de defectos y la forma de trabajo que se debe evitar.

- ❖ Los factores Jointer (A) , Material de cuchillos (B), ángulo de desahogo (C), Velocidad de avance (D), y las interacciones CD, AC, AD, BC, ACD en conjunto explican en un 92.73% a la variabilidad de la variable respuesta.

- ❖ La interacción entre el material de los cuchillos y el ángulo de desahogo es uno de los factores principales que incide en la aparición del defecto en el WM356 con un 25.94% en su contribución.
- ❖ La interacción entre el nivel de jointeado y la velocidad de avance es el segundo factor que contribuye con un 16.64%.
- ❖ También el ángulo de desahogo es un factor importante en la producción de este defecto contribuyendo en un 16.51%.
- ❖ No existen problemas de multicolinealidad, heterocedasticidad o existencia de puntos atípicos en los datos.
- ❖ En la interacción Material de Cuchillos y Ángulo de Desahogo, utilizando un jointer de 0.7mm y una velocidad de avance de 60m/min, si usamos un material Wisconcin con un ángulo de 10° se podrá minimizar los defectos a un 1.56% no así si se utiliza un ángulo de 20° donde el defecto crece de manera muy significativa aun 28.9%. Al utilizar el material Pillana con un ángulo de desahogo de 10° también entrega un porcentaje de piezas defectuosas bajas 5.83% y si aumentamos el ángulo a 20° obtenemos 16,87%.
- ❖ Si se utiliza el material Wisconcin y un ángulo de 20° al tener un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de 80m/min se obtendrá un 15,5% de defectos y con la misma

velocidad , pero aumentando el jointer a 1.6mm se obtendrá un 26.3% de piezas defectuosas. Si se baja la velocidad a 60m/min y se trabaja con un nivel de jointeado de 0.7mm se obtendrá un 28.9% de defectos y con un jointer de 1,6mm disminuye este porcentaje a 16,32%.

- ❖ Utilizando el material Pillana ocurre lo mismo sólo que los niveles de defectos en sus valores más altos disminuyen en un 50% aproximadamente y en sus valores más bajos en un 75%.
- ❖ El valor del coeficiente de determinación ajustado es de un 81.8% y resulta bastante confiable el modelo de predicción que se obtuvo para poder minimizar los defectos de este perfil.
- ❖ Para poder minimizar el porcentaje de piezas de WM 356 con fibra levantada se debe trabajar con un nivel de jointeado de 0.7mm , un ángulo de desahogo de 10° , una velocidad de avance de 60m/min y un material de cuchillos Wisconcin, de esta forma se obtendría un 1.56% de defectos.
- ❖ Si se trabaja con el material Wisconcin, un nivel de jointeado de 0.7mm, un ángulo de desahogo de 20° y una velocidad de avance de 60m/min se lograría el mayor porcentaje de piezas defectuosas de 28.9%.
- ❖ El defecto en planta en estos momentos es de un 11.8%.

- ❖ Se espera obtener un ahorro de \$5587 por lote defectuoso al optimizar el proceso de producción.

6.1.2. Perfil: SJ-Hembra

A continuación se explicaran que variables que interactúan entre si producen la mayor contribución a la aparición del defecto. También se logrará apreciar cual es la mejor forma de trabajo para minimizar en forma exitosa el porcentaje de piezas con defectos.

- ❖ El factor individual material de cuchillos (B), y las interacciones AB, AC, BC, ABC, ABD, BCD tienen grandes efectos que en su conjunto explican en un 85.97% la variabilidad del porcentaje de piezas defectuosas.
- ❖ La interacción ABC (nivel de jointeado-material de cuchillos-ángulo del stop) produce una contribución de un 24.95%, la más alta de todas y que incide en la aparición de este defecto.
- ❖ Usando un ángulo de 93° y una velocidad de avance de 70m/min, al utilizar el material Pillana con un jointeado de 0.7mm, se minimiza el porcentaje de defectos a 36,7%, y a las mismas condiciones, pero cambiando al material Supersource este porcentaje se incrementa de manera significativa a 85,45%.

- ❖ Con las siguientes condiciones, un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 50 m/min, el utilizar el material Pillana o el material Stark a un ángulo de 93° los resultados son similares (alrededor de un 45% de piezas defectuosas). Pero estos resultados se incrementan de manera considerable en los dos tipos de material mencionados al trabajar con un ángulo de 92° alrededor de un 80% de piezas defectuosas. El material Supersource a estas mismas condiciones, pero con un ángulo de 93° produce un 90.1% de piezas defectuosas.

- ❖ A un con un nivel de jointeado de 0.7mm y una velocidad de avance de 70 m/min, existen grandes diferencias en los resultados obtenidos al utilizar un tipo de material a un ángulo determinado. Pero se obtienen resultados similares, pero no los deseados al utilizar un material Pillana con una ángulo de 92° y un material Stark con un ángulo de 93° (60.3% y 60.2% respectivamente). La misma situación ocurre al utilizar un ángulo de 93° con el material Supersource y un ángulo de 92° en Stark (85.45 % y 84.1% respectivamente). Pero lo ideal sigue siendo el material Pillana a un ángulo de 93° con un 36.7% de piezas defectuosas.

- ❖ El coeficiente de determinación ajustado es de un 67.7%, lo que indica que la variación del porcentaje de piezas con fibra levantada es explicado en este porcentaje por los factores presentes en el modelo estadístico determinado.

- ❖ Para minimizar el porcentaje de piezas con fibra levantada se debe trabajar con un jointeado de 0.7mm, un ángulo de stop de 93°, velocidad de avance de 70 m/min, material Pillana, así se minimiza el porcentaje de piezas defectuosas a un 36.7%

- ❖ Se debe evitar es trabajar con un Jointer de 0.7mm, Material de Cuchillos Supersource, un Ángulo de Stop de 93° y una velocidad de 50m/min aquí se obtiene el más alto porcentaje de defectos un 90.6%.

- ❖ El defecto en planta en estos momentos es de un 58.1%

- ❖ Se espera minimizar los costos optimizando el proceso de producción en \$6694 por lote defectuoso salido de la moldurera.

6.2. DEFECTO: VETA LEVANTADA

6.2.1. Perfil: SJ-Macho

A continuación se mencionaran los resultados de los análisis hechos a partir de la información entregada por los software. Se explicará cual variable es la que aporta más a la aparición de este defecto y los efectos que se producen al variar este factor en sus niveles. Además visualizar cual no incide de manera significativa a la aparición del defecto de veta levantada en este perfil.

- ❖ Sólo el nivel de jointeado explica en un gran porcentaje (95,3%) a la variabilidad del porcentaje de piezas defectuosas, este es el factor principal que incide en la aparición de la Veta.
- ❖ Al aumentar el nivel de jointeado se minimiza el porcentaje de defectos.
- ❖ El modelo estadístico predictivo permitiría optimizar el proceso productivo ya que su valor del coeficiente de determinación es de un 95.31%, es decir, el factor nivel de jointeado es capaz de explicar en un 95.31% a la variabilidad del porcentaje de piezas con veta levantada.
- ❖ En base al modelo estadístico se puede decir que trabajando con un nivel de jointeado de 1,6mm obtendremos un 29.15% de piezas defectuosas.
- ❖ El efecto de la cara de entrada a la partidora no es muy significativo.
- ❖ El defecto en planta en estos momentos es de un 27.1%, lo que nos indica que el modelo utilizado no logra optimizar este proceso, habrá que utilizar otros factores que puedan afectar de manera considerable la aparición de este defecto.

6.2.2. Perfil: WM 623

Aquí se presentan los resultados de los análisis hechos, se muestra aquellas variables que contribuyen más a la aparición del defecto, además se explica cual es la mejor

y la peor condición de trabajo en donde se obtendría el más bajo y el más alto porcentaje de piezas con veta levantada respectivamente.

- ❖ Los factores presión de rodillos de avance(A), cara entrada a moldurera(B), Tipo de rodillo (C) y las interacciones AB y BC contribuyen a explicar altamente (97,75%) a la variabilidad del porcentaje de piezas defectuosas.
- ❖ El tipo de rodillo produce una contribución porcentual de un 55.81% por esto es el factor principal que incide en la aparición de la veta.
- ❖ Le sigue en segundo lugar con una contribución porcentual de un 15.64% la interacción que se produce entre la cara de entrada y el tipo de rodillo.
- ❖ A una presión de 5 bar se incrementa bastante el defecto al utilizar rodillos de poliuretano e ingresando el blank a la moldurera tanto por su cara externa (47.2% de defectos) y más aun por su cara interna (93.5%).
- ❖ Utilizando rodillos vulcanizados e ingresando el blank por su cara interna, a mayor presión (6 bar) menor es el porcentaje de defectos (16.5%) y viceversa (40.8% utilizando una presión de 5 bar). Pero al ingresarlo por su cara externa la diferencia entre las presiones no varía mucho el resultado (31% aproximadamente utilizando presiones de 5 y 6 bar). A una presión de 5.4 bar aprox. no hay diferencias en los

porcentajes de defectos obtenidos al ingresar el blank por su cara interna o por su cara externa (30% defectos aprox.).

- ❖ El coeficiente de determinación ajustado es de un 92.15% lo que nos dice que el modelo estadístico es confiable para predecir el porcentaje de piezas con veta levantada, ya que además no existen problemas de multicolinealidad y heterocedasticidad.
- ❖ Se recomienda utilizar el tipo de Rodillo Vulcanizado, una presión de 6 bar y la cara de entrada a moldurera por la parte interna (donde se produce el corte de la guincha), así espera minimizar los defectos a un 16.5%.
- ❖ Existe una alta diferencia en los porcentajes de defectos al utilizar un tipo de rodillo u otro, donde el vulcanizado genera un marcado menor porcentaje de defectos a diferencia del poliuretano.
- ❖ Se debe evitar utilizar una presión de 5 bar, ingresar el blank por su cara interna y rodillo de poliuretano ya que se espera obtener un 93.5% el mayor porcentaje de piezas defectuosas.
- ❖ El defecto en planta en estos momentos es de un 22.6%
- ❖ Al optimizar el proceso productivo se espera ahorrar \$60402 por lote defectuoso.

6.3. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES

Para el perfil WM 356 se obtuvieron satisfactorios resultados ya que se cumplieron los objetivos planteados en este estudio, minimizando de buena forma el porcentaje de piezas defectuosas en la planta e identificando aquellas variables que inciden en la aparición del defecto en este perfil.

Para el perfil SJ-Hembra se cumplieron los objetivos planteados, también se pudo detectar aquellas variables e interacciones que aportan mayormente a la aparición de este defecto. Se pudo obtener la combinación de factores de trabajo que producen el mayor porcentaje de piezas defectuosas y así poder evitarlo.

Para este perfil SJ-Macho no se cumplió el objetivo de minimizar el porcentaje de piezas defectuosas. Se debió considerar un mayor número de factores ya que con los utilizados en este estudio no fue posible tener éxito.

Para el perfil WM 623 se logró cumplir con los objetivos planteados de encontrar la mejor forma de trabajo minimizando el porcentaje de piezas con defecto de veta levantada y encontrar aquellas variables que inciden en la aparición del defecto.

Se realizó una evaluación de los costos de acuerdo a la optimización obtenida, aquí se pudo apreciar que gracias a la optimización lograda para el perfil WM 356 se logra ahorrar \$5480 por lote defectuoso obteniendo un costo de solo \$834, para el caso de la SJ-Hembra se lograría un ahorro de \$6694 por lote con el 36.7% de sus piezas con defectos la salida de la moldurera y para el perfil WM 623 se logra un ahorro de \$ 60402 por lote con el 16.5% de sus piezas defectuosas a la salida de la moldurera. Para el caso del SJ-Macho

no se realizó este análisis ya que no se logro minimizar el porcentaje de piezas con defectos.

BIBLIOGRAFÍA

MONTGOMERY DOUGLAS C., 1996. Probabilidad y estadística aplicada a la Ingeniería. Mexico, McGraw-Hill. 1008p.

MONTGOMERY DOUGLAS C., 2003. Diseño y análisis de experimentos. 2ª ed. Mexico, Limusa. 686p.

RAMOS MALDONADO M., 2002. Procesos de corte: apuntes del curso” Concepción, Universidad del Bio Bio. Departamento de Ingeniería Maderas. 106 p.

MYERS, RAYMOND H, 2002. Response surface methodology: process and product optimization using design experiments. 2ª ed. N Y. John Wiley. 798 p.

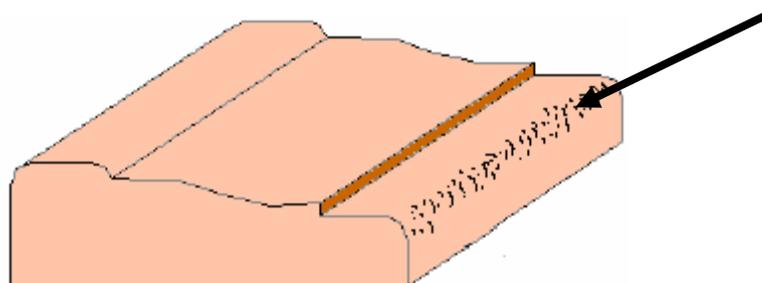
GUJARATI DAMODAR, 1992. Econometría. 2ª ed. Española. Mexico, McGraw-Hill. 597p.

ANEXOS

ANEXO A: LOCALIZACIÓN DEL DEFECTO

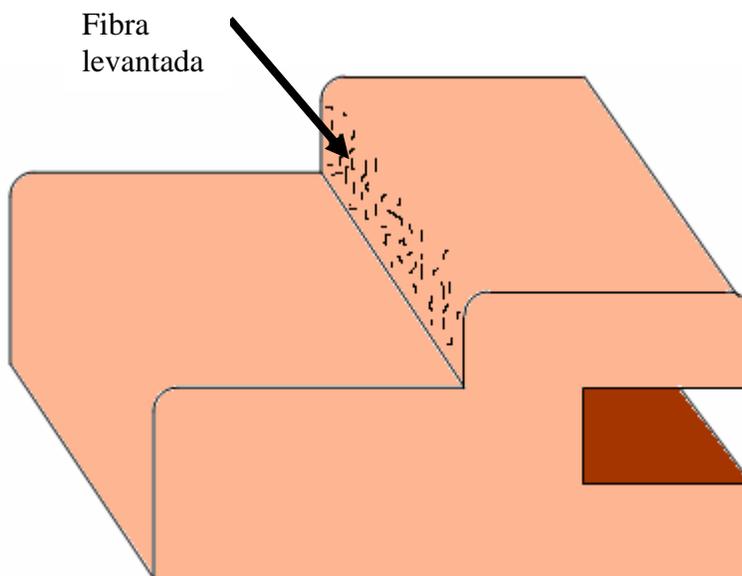
DEFECTO: FIBRA LEVANTADA

Perfil: WM 356



Fibra
levantada

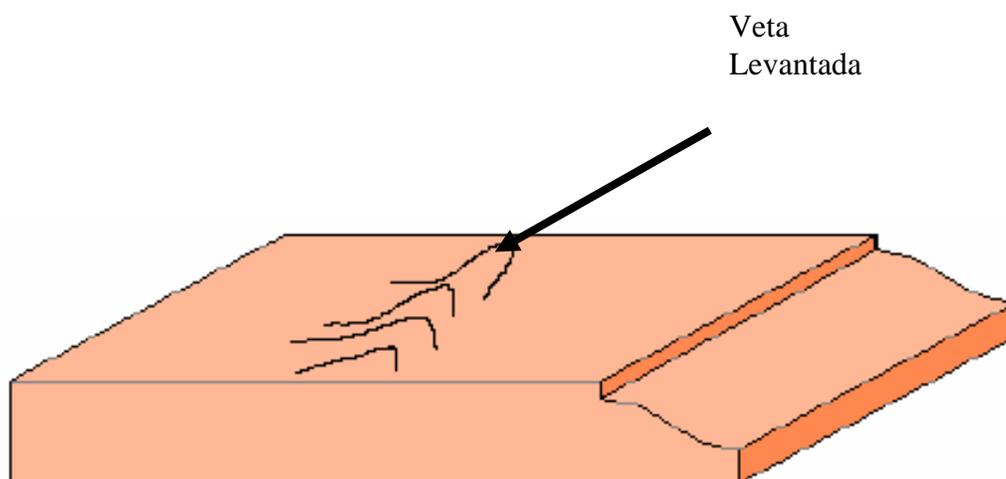
Perfil: SJ-Hembra



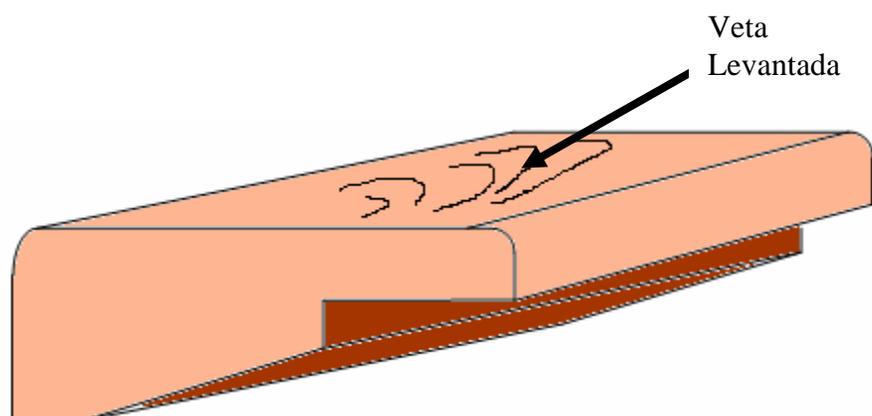
Fibra
levantada

DEFECTO: VETA LEVANTADA

Perfil: WM 623



Perfil: SJ- Macho



ANEXO B: RESULTADOS DE EXPERIMENTOS**Perfil: WM 356**

TRAT.	JOINTER	MATERIAL CUCHILLOS	ANG. DESAHOGO	VELOCIDAD AVANCE	% PZAS. DEFECTUOSAS
1	0,7	PILLANA 6% W	20	60	20,2
2	0,7	PILLANA 6% W	20	80	3,1
3	1,6	PILLANA 6% W	20	60	5,6
4	1,6	PILLANA 6% W	20	80	10,0
5	0,7	WISCONCIN 18% W	10	60	3,1
6	0,7	WISCONCIN 18% W	10	80	8,6
7	1,6	WISCONCIN 18% W	10	60	2,5
8	1,6	WISCONCIN 18% W	10	80	14,2
9	0,7	PILLANA 6% W	10	60	4,3
10	0,7	PILLANA 6% W	10	80	12,5
11	1,6	PILLANA 6% W	10	60	10,6
12	1,6	PILLANA 6% W	10	80	18,1
13	0,7	WISCONCIN 18% W	20	60	25,6
14	0,7	WISCONCIN 18% W	20	80	15,9
15	1,6	WISCONCIN 18% W	20	60	15,0
16	1,6	WISCONCIN 18% W	20	80	30,6

Perfil: SJ-Hembra

TRAT.	NIVEL JOINTEADO	MATERIAL CUCHILLOS	ANGULO	VELOCIDAD AVANCE	%PZAS. DEFECTUOSAS
1	0,7	PILLANA 6% W	92°	70	63,8
2	0,7	SUPERSOURCE 6% W	92°	70	63,6
3	0,7	STARK	92°	70	84,3
4	1,6	PILLANA 6% W	93°	70	78,6
5	1,6	SUPERSOURCE 6% W	93°	70	54,8
6	1,6	STARK	93°	70	68,4
7	0,7	PILLANA 6% W	93°	50	35,6
8	0,7	SUPERSOURCE 6% W	93°	50	80,7
9	0,7	STARK	93°	50	35,3
10	1,6	PILLANA 6% W	92°	50	65,3
11	1,6	SUPERSOURCE 6% W	92°	50	69,0
12	1,6	STARK	92°	50	55,3
13	0,7	PILLANA 6% W	92°	50	73,5
14	0,7	SUPERSOURCE 6% W	92°	50	60,6
15	0,7	STARK	92°	50	84,0
16	1,6	PILLANA 6% W	92°	70	75,4
17	1,6	SUPERSOURCE 6% W	92°	70	75,9
18	1,6	STARK	92°	70	45,5
19	0,7	PILLANA 6% W	93°	70	39,3
20	0,7	SUPERSOURCE 6% W	93°	70	88,2
21	0,7	STARK	93°	70	64,2
22	1,6	PILLANA 6% W	93°	50	61,8
23	1,6	SUPERSOURCE 6% W	93°	50	94,5
24	1,6	STARK	93°	50	74,5

Perfil: SJ-Macho

TRAT.	CARA DE ENTRADA	NIVEL JOINTEADO	%PZAS. DEFECTUOSAS
1	NORMAL	0,7	40,9
2	INVERTIDA	0,7	44,3
3	NORMAL	1,6	30,4
4	INVERTIDA	1,6	27,9

Perfil: WM 623

TRAT.	PRESION ROD. AVANCE	CARA DE ENTRADA	TIPO DE RODILLO	% PIEZAS DEFECTUOSAS
1	5	INTERNA	POLIURETANO	98,1
2	5	INTERNA	VULCANIZADOS	36,3
3	6	INTERNA	POLIURETANO	64,6
4	6	INTERNA	VULCANIZADOS	21,1
5	5	EXTERNA	POLIURETANO	48,9
6	5	EXTERNA	VULCANIZADOS	29,3
7	6	EXTERNA	POLIURETANO	45,0
8	6	EXTERNA	VULCANIZADOS	32,2

ANEXO C: CÁLCULO PARA OBTENER TAMAÑO MUESTRAL

SJ Macho:

$$n=(1.96/0.05)^2*0.271(1-0.271) = 303 \text{ piezas}$$

WM 623:

$$n=(1.96/0.05)^2*0.226(1-0.226) = 269 \text{ piezas}$$

WM 356:

$$n=(1.96/0.05)^2*0.118(1-0.118) = 160 \text{ piezas}$$

SJ Hembra:

$$n=(1.96/0.05)^2*0.581(1-0.581) = 374 \text{ piezas}$$

ANEXO D: VERIFICAR DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS PARA OBTENER TAMAÑO MUESTRAL

Perfil: WM 356

Ajuste distribución

<i>Normal</i>
Media = 0,110953
Desviación estándar = 0,0520272

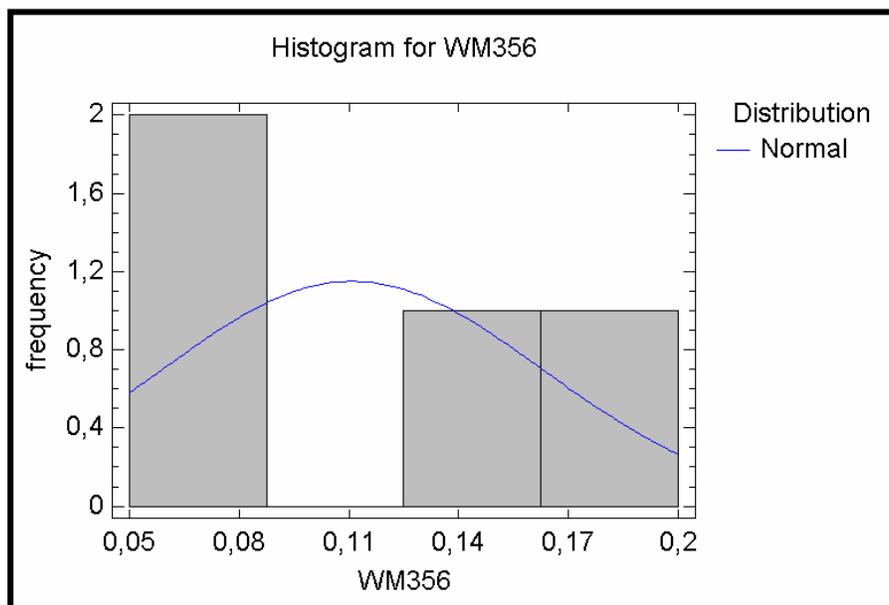


Gráfico N°1. Histograma del porcentaje de los niveles de defectos en planta del perfil WM356.
Fuente: Statgraphics Centurion XV

Test Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DPLUS	0,247983
DMINUS	0,243131
DN	0,247983
P-Value	0,966466

Aquí se muestran los resultados de pruebas para determinar si los datos obtenidos del perfil WM356 se pueden ajustar adecuadamente por una distribución normal. Puesto que el valor-P es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea que WM356 viene de una distribución normal con la confianza del 95%.

Perfil: SJ-Hembra

Ajuste distribución

<i>Normal</i>
Media = 0,580794
Desviación standar = 0,0863604

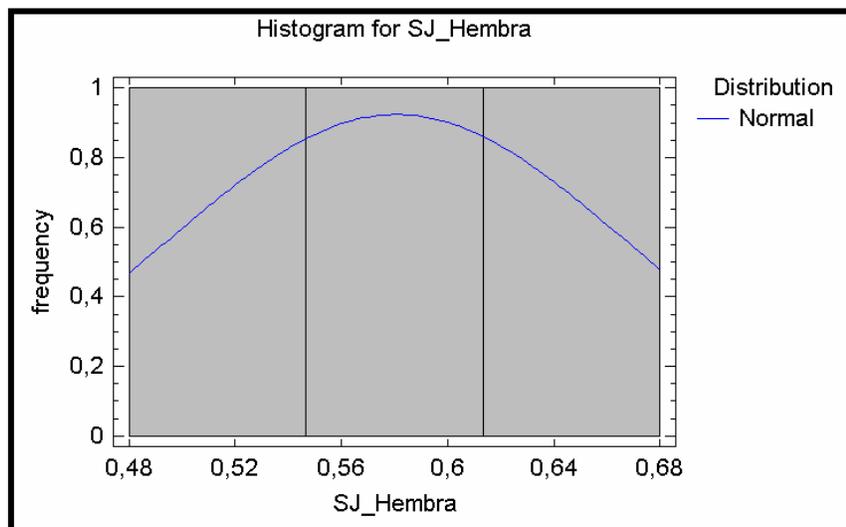


Gráfico N°2. Histograma del porcentaje de piezas con defecto en la planta de SJ-Hembra.
Fuente: Statgraphics Centurion XV

Test Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DPLUS	0,186781
DMINUS	0,211304
DN	0,211304
P-Value	0,999315

Aquí se muestran los resultados de pruebas realizadas en el statgraphics para determinar si los datos obtenidos del perfil SJ-Hembra se pueden ajustar adecuadamente por una distribución normal. Puesto que el valor-P es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea que el porcentaje de piezas con defectos del SJ-Hembra viene de una distribución normal con la confianza del 95%.

Perfil: SJ- Macho

Ajuste distribución

<i>Normal</i>
Media = 0,263287
Desviación standar = 0,265293

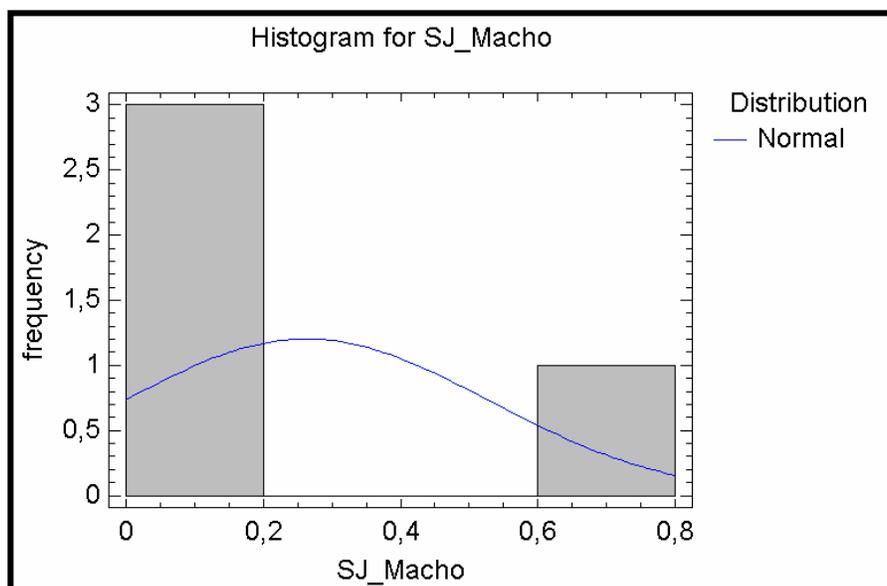


Gráfico N°3. Histograma del muestreo de porcentaje de piezas defectuosas de SJ-Macho en planta.
Fuente: Statgraphics Centurion XV

Test Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DPLUS	0,358824
DMINUS	0,199987
DN	0,358824
P-Value	0,681692

Los resultados demuestran que como el valor-P es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea que SJ_Macho viene de una distribución normal con la confianza del 95%.

Perfil: WM 623

Ajuste distribución

<i>Normal</i>
mean = 0,265434
standard deviation = 0,229776

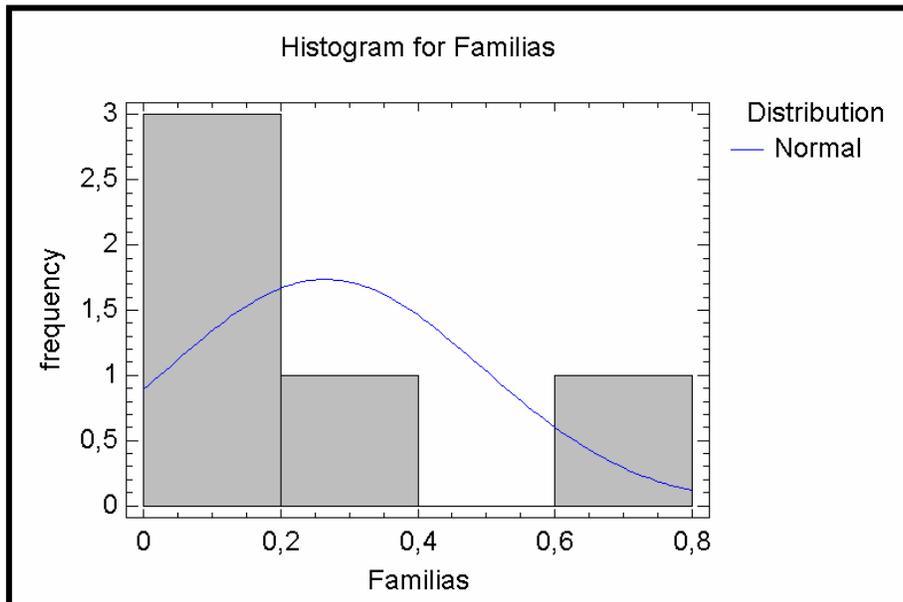


Gráfico N°4. Histograma para el porcentaje de piezas defectuosas en la planta de la familias de 3 ¼ y 5 ¼.
Fuente: Statgraphics Centurion XV

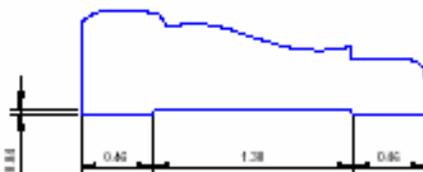
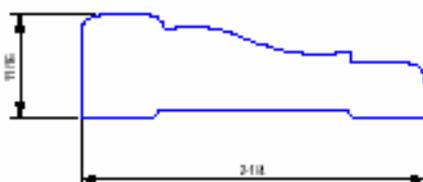
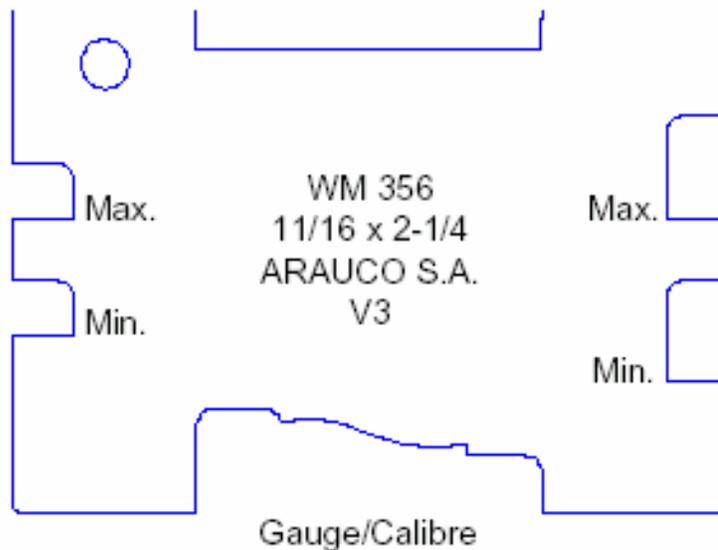
Kolmogorov-Smirnov Test

	<i>Normal</i>
DPLUS	0,248805
DMINUS	0,165065
DN	0,248805
P-Value	0,916302

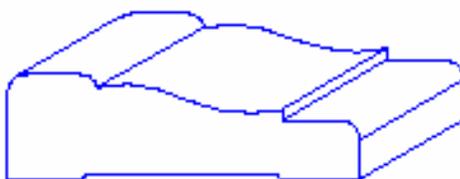
Al analizar los resultados nos damos cuenta que el valor P es mayor a 0.05, por lo tanto, se puede modelar adecuadamente por una distribución normal, no se puede rechazar la idea que los niveles de defectos en la planta para las Familias de 3 ¼ y 5 ¼ tiene una distribución normal con la confianza del 95%.

ANEXO E: CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS PERFILES ESTUDIADOS

Perfil: WM 356



Profile/Perfil

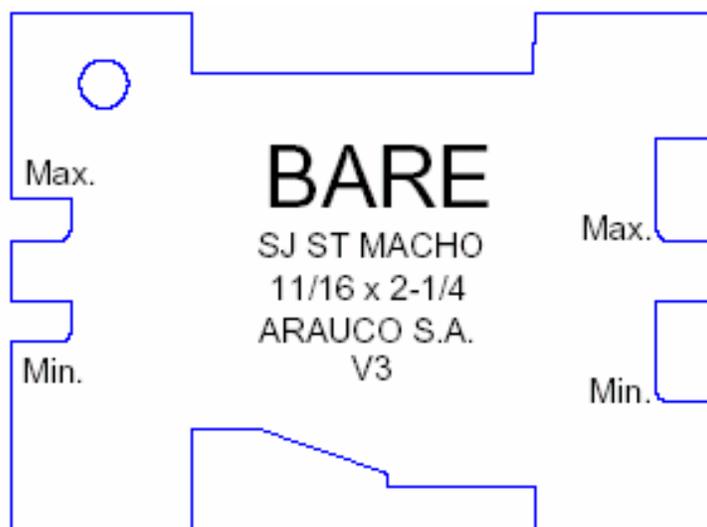


Isometric/Isometrico

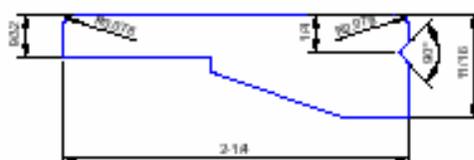


ARAUCO S.A.					
Part/Profile	WM 356	Factor / Wend Factor	5/4 x 2-3/8	Escala/Scale	1:1
Client/Customer	WM	Patron / Type of Sample	ARCH.CAD	Modulo / Dimension Usm	+/- 1/32
Mdcl. Nominal / Invoicing Dimension	11/16 x 2-1/4	Fecha / Drawing Date	06/09/04	Numero/Number	29

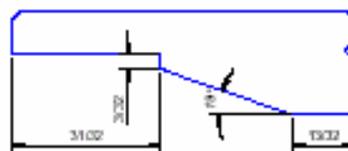
Perfil: SJ-Macho



Gauge/Calibre



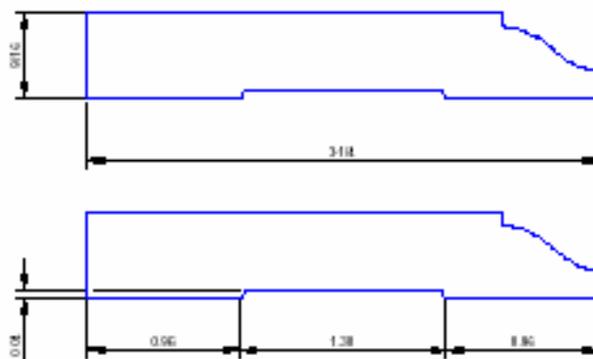
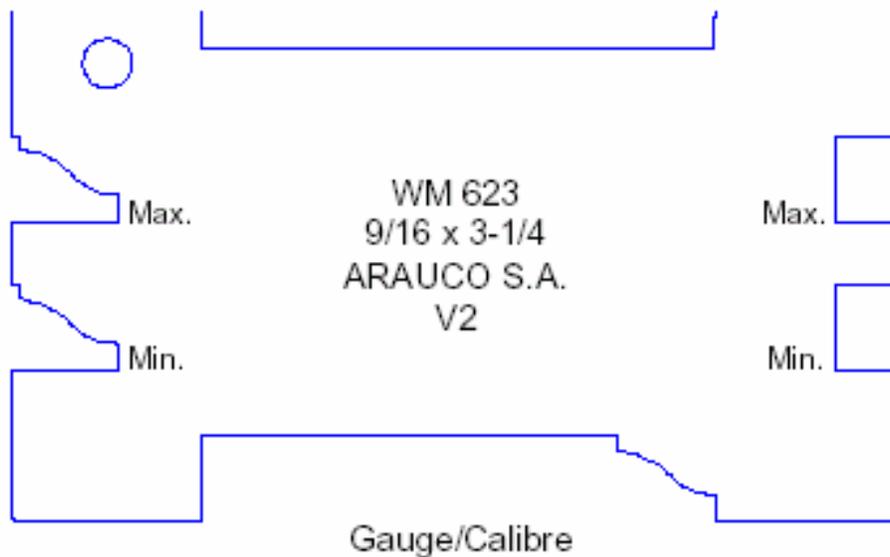
Profile/Perfil



	V3
REV : RRRVERAG	
FECHA: 26/08/04	

ARAUCO S.A.					
Perfil/Profile	SJ ST MACHO	Factor / Wend Factor	5/4 x 2-3/8	Escala/Scale	1 : 1
Cliente/Customer	STANDARD	Patron / Type of Sample	FAX CLIENTE	Medida / Dimension Uom	PULG.
Mod. Nominal / Invoking Dimension	11/16 x 2-1/4	Fecha / Drawing Date	26/08/04	Numero/Number	7

Perfil: WM 623



Profile/Perfil

	V2
REV : R.RIVERA G	
FECHA: 06/09/04	



Isometric/Isometrico

ARAUCO S.A.					
Perfil/Profile	WM 623	Factor / Wend factor	5/4 x 3-3/8	Escala/Scale	1:1
Cliente/Customer	WM	Patron / Type of Sample	ARCH.CAD	Medida / Dimension Unit	+/- 1/32
Med. Nominal / Invoicing Dimension	9/16 x 3-1/4	Fecha / Drawing Date	06/09/04	Numero/Number	49

