

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

---

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA PARA LA CALIDAD**



## **ACREDITACIÓN DE MATERIALES EN LA PRODUCCIÓN DE BASES PARA DECORACIÓN**

Tesis que para obtener el grado de  
**MAESTRA EN INGENIERÍA PARA LA CALIDAD**

Presenta: Marlene Lomelí Velázquez

Tutor: Dr. Rogelio López Herrera

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Agosto del 2016.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. PROBLEMÁTICA DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA DE MUEBLES Y EL CAMBIO, LA ÚNICA CONSTANTE DEL MUNDO .....	6
2.1. Justificación .....	7
3. MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO.....	9
3.1. Otros parámetros .....	12
3.2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de bases para decoración. ....	13
3.3. Tiempos y definiciones del proyecto.....	14
4. OBTENCIÓN DEL CONOCIMIENTO A TRAVÉS DEL USO ESTADÍSTICO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	15
4.1. El diseño de experimentos .....	16
4.2. Metodología de diseño de experimentos .....	16
4.3. Diseño cuadrado latino .....	17
5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL DISEÑO CUADRADO LATINO ....	22
5.1. Concepción del diseño para la problemática a investigar .....	22
5.2. Análisis de los datos .....	25
6. CONTROL .....	32
7. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES.....	33
8. REFERENCIAS.....	35
9. ANEXOS.....	36
9.1. Gráficos de comprobación de supuestos para variable costo.....	36

9.2.	Gráficos de comprobación de supuestos para la variable tiempo .....	37
9.3.	Gráficos de comprobación de supuestos para variable apariencia .....	39

## **RESUMEN**

Este trabajo presenta un estudio de acreditación de materia prima para una empresa dedicada a la fabricación de bases para decoración y muebles, localizada en Ocotlán, Jalisco. En el proyecto se utiliza el diseño experimental y la técnica estadística *cuadrado latino* para evaluar diversos atributos de los siguientes materiales: MDF (*Medium Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) y madera nacional (*triplay*) con el fin de determinar el de mejores características de trabajo. Las variables de evaluación del producto fueron: tiempo de fabricación, costo y apariencia.

## **ABSTRACT**

This paper presents a raw material accreditation study for a decoration bases and furniture company, located in Ocotlán, Jalisco. The experimental design and the statistical *latin square* technique are used to evaluate various attributes of the following materials: MDF (*Medium Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*), and domestic wood (*triplay*) in order to determine the best working characteristics. The product evaluation variables were: manufacturing time, cost and appearance.

# 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se desarrolló en una empresa familiar localizada en Ocotlán, Jalisco, que se dedica a la producción y venta de muebles para el hogar y artículos para decoración. En el año 2006, con 4 trabajadores, inició operaciones elaborando accesorios para la configuración de centros de mesa y floreros. Actualmente la empresa cuenta con 12 empleados, una gama extensa de clientes y un catálogo que incluye credenzas, telefoneras, repisas, mesas de centro, bases para decoración y muebles personalizados.

A lo largo de estos 10 años la empresa no ha mostrado un crecimiento sostenido. Aunado a esto desea incursionar en la fabricación de muebles como: recamaras, comedores, cajoneras, entre otros. Lo anterior es un motivo por lo cual la empresa busca alternativas de innovación y nuevas técnicas de trabajo que ayuden a este propósito.

Actualmente se observa una gran competencia en el mercado de muebles en esta región del Estado. Para esta empresa un estímulo es la satisfacción del cliente, ellos marcan la pauta para la creación de nuevos diseños, colores, texturas, etc., sin la aprobación del cliente, es difícil que se pueda lograr un crecimiento económico sostenido.

Actualmente usa el MDF (Tablero de densidad media) para la fabricación de sus productos, por lo que carece de diversidad de materiales para trabajar. El control estadístico en los procesos y la variedad de productos con distinta apariencia y costos para el cliente, son carencias que se deben desarrollar.

Se elaboró un esquema para realizar pruebas estadísticas y aplicarlo a una amplia variedad de procesos laborales para obtener la información necesaria, que permita identificar las condiciones, materiales y métodos de trabajo para fabricar productos exitosos.

Se aplicó la herramienta estadística de cuadrado latino (Gutiérrez, 2008), se define como cuadrado, debido a la restricción adicional de que los tres factores involucrados se prueban en la misma cantidad de niveles y es latino porque se utilizan letras latinas para denotar los tratamientos o niveles del factor de interés. Por medio de esta herramienta se evalúa y determina el material con mejores características de trabajo. El diseño de experimentos permitió ver el efecto del material, bloqueando los efectos del proveedor y operador.

## **2. PROBLEMÁTICA DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA DE MUEBLES Y EL CAMBIO, LA ÚNICA CONSTANTE DEL MUNDO**

En el mundo actual las cosas cambian rápidamente en todos los sentidos, desde los gustos de las personas, la tecnología, los materiales, procedimientos, incidiendo en que los negocios sean muy dinámicos en todos sus procesos: financieros, de manufactura, distribución, etc.

El cliente representa el papel más importante en el tema de la calidad, pues es quien demanda de la empresa los bienes y servicios que necesita para luego valorar sus resultados. Se trata de la persona que recibe los productos y de cuya aceptación depende su permanencia en el mercado. La satisfacción del cliente debe garantizarse en cantidad, calidad, tiempo y precio (Pérez, 2006).

La calidad de los productos es de crítica importancia en el mundo de los negocios porque ayuda a garantizar la satisfacción del cliente, mejora la percepción de las marcas, proporciona una ventaja competitiva importante y es un requisito indispensable para hacer negocios con los clientes.

La falta de un plan de trabajo para controlar y agilizar la producción es notable en la pequeña y mediana industria (Balay, 2013). En esta empresa mueblera en la zona de Ocotlán, Jalisco, no cuentan con estándares para seleccionar los materiales de trabajo. Se desconoce si el material con el que se trabaja (MDF) es el de mejores características de trabajo: tiempo que se tardan en producir una pieza, costo y apariencia.

En el mercado de tableros para fabricación de bases para decoración hay un extenso surtido de materiales. La empresa en la que se realiza el proyecto no ha trabajado con todos ellos porque desconoce si serán del gusto del cliente, si el costo de trabajo es favorable o si permite agilizar el proceso de fabricación.

En este proyecto se evalúan las diferentes características de los siguientes materiales: MDF (*Medium Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) y madera nacional (*triplay*) con el fin de determinar el que tiene mejores características de trabajo. Las variables de evaluación del producto son: tiempo de fabricación, costo y apariencia.

## 2.1. Justificación

La situación actual de esta empresa es crítica debido al poco desarrollo de herramientas para evaluar los materiales. El dueño no está dispuesto a invertir en éstos sin antes conocerlos, le interesa profundizar en la forma de trabajarlos, averiguando los beneficios que se obtienen al usarlos.

Se comenzó a trabajar con *MDF* por mostrar mejores características de trabajo como: trabajabilidad, tallar, cortar, atornillar, reducción del uso de tintas, pinturas y lacas comparado con el aglomerado. *MDF* es fabricado en seco, hecho con fibras lignocelulósicas (principal componente de la pared celular de las plantas), combinadas con resina, compactados por prensado en caliente. Este trabajo presenta la producción de *MDF* utilizando fibras de eucalipto y diferentes porcentajes de adhesivo poliuretano de origen natural (De Campos, 2004).

La oportunidad de evaluar los materiales previamente es una ventaja que se logra al realizar este proyecto, además de encontrar una optimización en el uso de los mismos. Al no realizar este análisis se está perdiendo la oportunidad de conocer cómo trabajar los distintos materiales, lograr mejores rendimientos, saber cuál proveedor es mejor con determinado material, que operador da mejores resultados y que material logra mejor apariencia para determinado producto.

Los métodos estadísticos son herramientas eficaces para mejorar el proceso de producción y reducir sus defectos, dando objetividad a las observaciones y no servirían si no son utilizados apropiadamente, éstos constituyen un medio efectivo para controlar la calidad en el proceso de producción.

Respecto al proceso de fabricación del mueble en esta empresa, los estándares de calidad son inexistentes y encaminados a prueba y error, nada de esto es documentado y los datos requeridos para un análisis estadístico no existen, la calidad la establece el cliente.

Al llevar a cabo un programa de control estadístico de calidad en esta empresa, se logra controlar los procesos, identificar las fallas de manera eficaz y corregirlas. Por medio de este proyecto se da a conocer cómo controlar la varianza con el uso de herramientas estadísticas y conociendo a fondo los procesos de producción.

La Asociación de fabricantes muebleros de Ocotlán (AFAMO, 1996), es una organización encargada de proporcionar a sus asociados herramientas que ayudan a sus procesos y que la empresa crezca. Esto sin bases de datos estadísticas, sino solo consiguiendo contactos de venta, dejando de lado la herramienta principal, el control estadístico de procesos, esta herramienta facilita la selección de materiales para la fabricación del mueble. Si la elección del material se hace correctamente y el procedimiento de trabajo es documentado, ayuda al proceso de trabajo con la disminución del costo y tiempo de fabricación.

El mercado de la decoración es cambiante debido a esto es que se requiere una herramienta que facilite la acreditación y el conocimiento de otros materiales.

### 3. MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO

Este proyecto verá referido su alcance en los parámetros de desempeño como son: calidad de innovación, costo y tiempo de manufactura. La calidad de innovación está enfocada al resultado de un proceso complejo que involucra un buen número de agentes y conocimientos diversos y que afectan todas las actividades de la empresa (Pérez, 2006). La innovación sin calidad lleva al caos y la calidad sin innovación a un fracaso. Desarrollar nuevos productos permite aventajar a la competencia, mostrando capacidad de fabricarlo, suministrarlo de manera regular y sistemática, para ello se necesita calidad del producto.

El proyecto es desarrollado para fabricar cubos de la medida 10x10x10cm, para hacer pruebas de tipo de material, costo y apariencia.

Se considera el costo del tablero, materiales utilizados para fabricar la pieza y que sea de un acabado acorde a lo que se trabaja actualmente. Los tiempos de fabricación se consideran desde corte, hasta el de acabado final. Para definir el costo de mano de obra se toman los tiempos de trabajo en las determinadas áreas para cada operador, se determina si las características del material requieren de todos los procesos o alguno se suprime, debido a la apariencia. Por último se agregan los costos generales de los tres tipos de materiales (MDF, OSB y madera).

Se evalúan tres tipos de materiales:

- **MDF:** Según Youngquist (1998) es un producto homogéneo, uniforme, estable, de superficie plana y lisa, que ofrece buena trabajabilidad y maquinado para encajar, tallar, cortar, atornillar, perforar y moldurar. Incluso, produce economía en cuanto a la reducción del uso de tintas, pinturas, lacas, en el consumo de adhesivo por metro cuadrado, además de presentar óptima aceptación para recibir revestimientos con diversos acabados. Al ser éste un producto derivado de la madera natural su composición básica por fibras de lignina y celulosa aglomeradas con un adhesivo sintético prensado en caliente (De Campos, 2004). El MDF tiene una densidad ligeramente menor que aquellos tableros de densidad alta, entre 0.6 y 0.8 g/cm<sup>3</sup>, que junto a la disposición homogénea de sus fibras, brinda unas características similares a la madera natural y en comparación con otros de los tableros conglomerados (Hernández, 2013).



**Ilustración 1 Tablero de MDF**

- OSB es un tablero formado por virutas de entre 5 y 10 mm de ancho y de 100 a 12mm de largo, esta longitud siempre en dirección de la fibra. El grosor oscila alrededor de los 0.4 mm, fijadas entre sí por pegamentos de diversos tipos según la resistencia al exterior que quiera darse al tablero. El aspecto del tablero de OSB es perfectamente identificable debido al tamaño de las virutas y a su orientación en la superficie del tablero. Las principales ventajas del tablero OSB residen en el campo de sus propiedades mecánicas, que están directamente relacionadas con la geometría de las virutas así como su orientación en el tablero. Su superficie puede ser mejorada cuando se lija, sin perder el aspecto estético único del OSB. Éste tablero varía en su color en función de las especie de madera utilizada en su proceso de fabricación, del sistema de pegado utilizado o de las condiciones de prensado, desde un color amarillo paja hasta un marrón suave (Vignote, 2006).



**Ilustración 2 Tablero de OSB**

- La madera es un conjunto de células que forman una masa de células, lignina, resina, almidón y azúcares que se desarrollan en los árboles. Se trata de un material orgánico, fibroso y heterogéneo. Las diferencias de colores de la madera dependen de cada especie. La madera es uno de los materiales más valorados y utilizados por el hombre a lo largo de los siglos. Su vital importancia en la fabricación de muebles es una contribución importante (Heiss, 2006). Para éste experimento se trabaja con madera de pino.



**Ilustración 3 Tablero de triplay**

### 3.1. Otros parámetros

La apariencia se determina en escala de 1 a 10 respecto al gusto del cliente, donde 1 es la valoración más baja y 10 la máxima, con la satisfacción por la pieza terminada.

El color elegido es el chocolate, ya que es el de más demanda. La medida estándar de cada tablero es de: 1.22x2.44 metros.

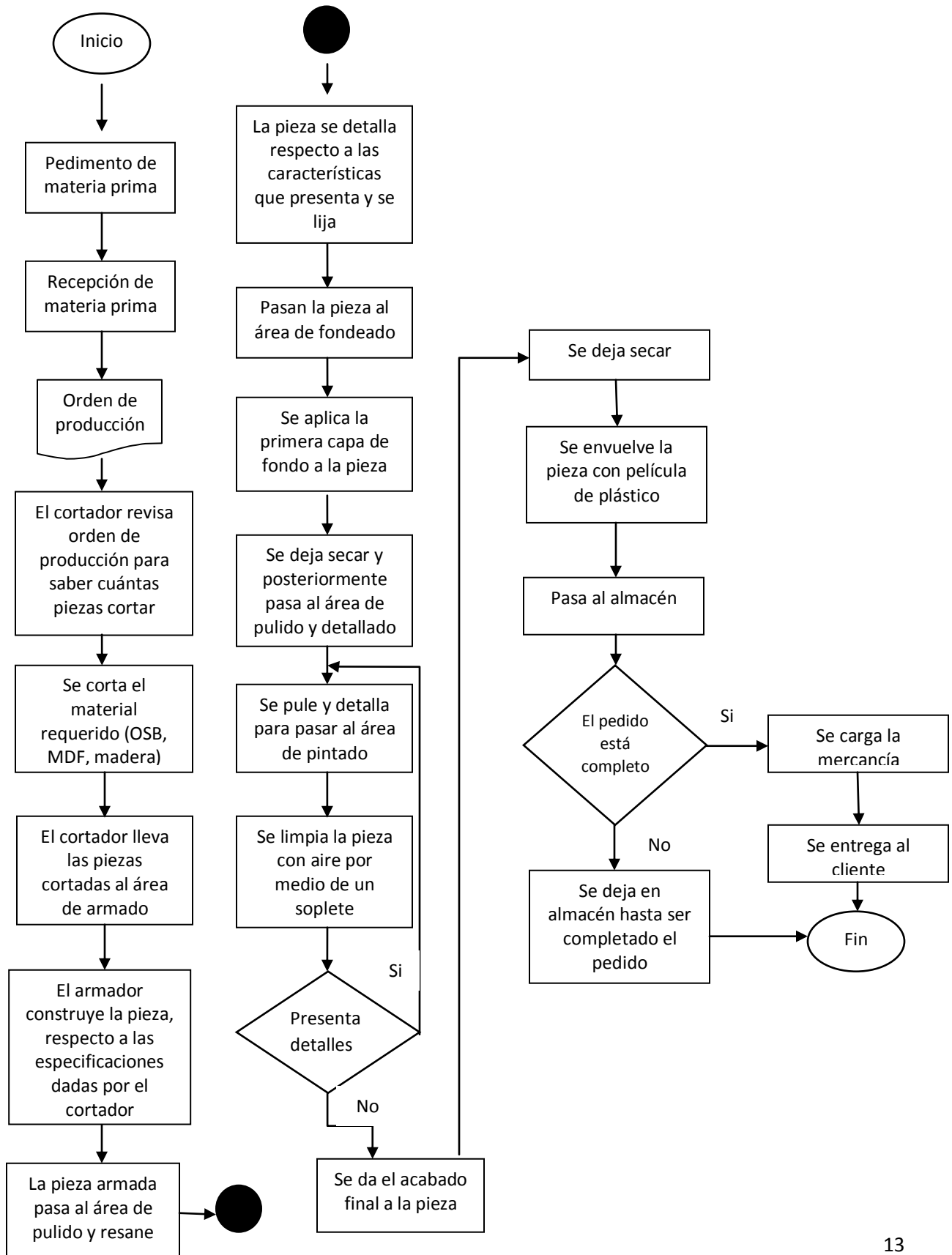
- OSB: grosor de 12mm
- MDF: grosor de 10mm
- Madera: 10mm

Los tableros utilizados son de tres proveedores, en este caso para evitar nombres, se determinan por las letras, a, b y c.

El trabajo del operador es medido mediante un cronómetro. Se organizan tres distintos grupos de trabajo, uno de la forma tradicional y otros 2 dividiendo al personal con tareas independientes. Por ejemplo: en el área de pulido y resane, hay dos personas trabajando, una realiza una tarea determinada y la otra le da seguimiento, en este caso una sola persona desarrolla todo el proceso sin ayuda de la otra, cada una está en diferente equipo y es evaluado por separado.

Los operadores son identificados por número, 1, 2, y 3. Y los materiales con A, B y C.

### 3.2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de bases para decoración.



### **3.3. Tiempos y definiciones del proyecto**

La fabricación de bases para decoración tiene comienzo con el pedimento del material. Si el producto requerido es de material distinto al MDF, se identifica al proveedor y se hace el requerimiento. Una vez realizado el pedido del material, se envía la materia prima al almacén de la empresa, donde el área de corte comienza su trabajo. Se revisa la orden de producción para saber cuántas tableros de material cortar para las piezas requeridas. Una vez cortados los tableros y todas las piezas a la medida, el material cortado pasa al área de armado. Respecto a la orden del área de corte se arman las piezas. Ya armadas pasan al área de pulido y resane donde se liján, resanan y si hay defectos, se corrigen. De aquí pasan al área de fondeado, con base a la orden de producción se determina el color, después se pintan para pasar al área de detallado donde se pulen con lija más fina y se detallan las piezas. Se da el acabado final en área de pintura, se dejan secar, empaican y son almacenadas o cargadas en el vehículo dependiendo el caso.

Los solventes, pinturas, resanes, pegamentos y materiales utilizados son los mismos para todos.

Los tiempos de cada trabajador al realizar su tarea son tomados con cronómetro, al final de la toma de tiempos son sumados y promediados para obtener el tiempo total de fabricación y éste es agregado a la evaluación del costo de fabricación.

El costo de fabricación es determinado por los tiempos, materiales y gastos indirectos usados en todo el proceso de elaboración de las piezas. Durante la fabricación se determina si todos los materiales requieren los mismos pasos o si se sustituye alguno, para que el material tenga una apariencia deseable.

Terminados los lotes con las piezas, se seleccionan al azar las nueve piezas de los distintos materiales y se realiza la evaluación con el cliente en la escala de 1 a 10 para conocer su nivel de satisfacción.

## **4. OBTENCIÓN DEL CONOCIMIENTO A TRAVÉS DEL USO ESTADÍSTICO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

En la región Ciénega donde se ha generado la mayor manufactura del mueble, Ocotlán, Jalisco ha sido una ciudad importante por su gran número de industrias muebleras, sin embargo ha surgido un gran número de pequeñas empresas productoras, que se establecen sin tener en cuenta los controles estadísticos necesarios para sus procesos.

Es el trabajo del estadístico poner en práctica todo lo siguiente (Mendenhall, 2006):

1. Especifique las preguntas a contestar e identifique la población de interés.
2. Decida cómo seleccionar la muestra.
3. Seleccione la muestra y analice la información muestral.
4. Use la información del paso 3 para hacer una inferencia acerca de la población.
5. Determine la confiabilidad de la inferencia.

Esto puede comprender preguntar al experimentador para asegurarse que la población de interés esté claramente definida, desarrollar un plan apropiado de muestreo o diseño experimental para dar máxima información al mínimo costo, analizar correctamente y sacar conclusiones usando la información muestral y por último, medir la confiabilidad de las conclusiones con base en los resultados obtenidos.

Antes de planear las pruebas y que se construya el diseño de experimentos, se decide firmemente que es lo que se busca. Esto es un aspecto esencial del estudio. La información que se necesita definir antes de iniciar la experimentación, es la información necesaria para contestar las preguntas. Finalmente revisar los recursos requeridos para las pruebas y obtener la información deseada con el menor costo.

Esta empresa no cuenta con procedimientos que faciliten la selección de materia prima para trabajar o acreditar nuevos materiales que ayuden a la reducción de costos, tiempos de fabricación, mejorar la calidad, seleccionar proveedores y buscar nuevos nichos de venta. Usar el diseño de experimentos ayuda a tener un panorama amplio para puntualizar las fallas del proceso.

Algunas causas del desarrollo de nuevos acabados en la fabricación de piezas es la falta de conocimiento que se tiene sobre nuevos materiales, innovación y tecnología y no arriesgarse a fabricar con otra materia prima diferente al MDF.

#### **4.1. El diseño de experimentos**

El diseño de experimentos ayuda a conocer la importancia de los distintos factores del proceso de manufactura y determinar la evaluación del comportamiento de los nuevos materiales. Por medio del diseño de experimentos se conoce cual proveedor es confiable respecto a la calidad, costo y servicio al adquirir el material. Al evaluar al operador, se conoce quien muestra eficiencia al trabajar, si éste tiene la rapidez y posee la capacidad para realizarlo, logrando la calidad deseada y al realizar su labor, reduce tiempo de trabajo y por ende, el costo de fabricación.

La finalidad del diseño de experimentos, es evaluar los materiales y saber cuál es el adecuado para la fabricación de muebles o bases para decoración. Identificar cuál material proporciona mejor rendimiento, apariencia, reduce el tiempo de fabricación y mejora el costo. Ya que en el diseño experimental se planea un conjunto de pruebas, de manera que los datos generados puedan ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas.

Podemos decir que el diseño de experimentos es una secuencia de pasos planeados para asegurar que los datos obtenidos sean válidos, lo que permite un análisis probabilístico y objetivo que conduce a conclusiones válidas en un porcentaje establecido de significancia del problema investigado. De esta manera ayuda a tomar la mejor decisión que brinde la mayor probabilidad de éxito, en saber con qué material trabajar en determinada tarea.

#### **4.2. Metodología de diseño de experimentos**

La metodología del diseño de experimentos ayuda a conocer las variaciones de las condiciones habituales de realización de un proceso empírico, para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos de las variables o factores que contribuyen en la respuesta principal para

el investigador; de esta manera se obtiene mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés.

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz, es fundamental que el experimento esté diseñado correctamente.

Planeación y realización del diseño de experimentos (Gutiérrez, 2008):

1. Entender y delimitar el problema u objetivo de estudio
2. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.
3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo con la supuesta influencia que tiene sobre la respuesta.
4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
5. Planear y organizar el trabajo experimental.
6. Realizar el experimento.

### **4.3. Diseño cuadrado latino**

El diseño tiene dos fuentes de variabilidad que se controlan a través de la técnica de bloqueo: una es el proveedor y la otra el operador, el factor principal es el tipo de material, se supone que no existe ninguna interacción entre ninguna pareja de factores (Gutiérrez, 2008). El número de niveles será un  $K^2$ , en este caso  $3^2$  bloques.

De este modo el diseño es creado para considerar los siguientes factores:

- Proveedor: la fuente de variabilidad es el origen de donde provienen los materiales ya que existe diferencia en las características del mismo, su calidad, textura, grosor, tiempo de entrega, costo, entre otros. Este provee tres tipos de materiales MDF (*Medium Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) y madera nacional (*triplay*).
- Operador: Para evaluar el desempeño del operador se consideran tres equipos de trabajo. El primero es el tradicional, consiste en un cortador, armador, 2 personas en el área de

pulido y resane, un pintor primera mano, una persona en detallado y un pintor de segunda mano.

Para el segundo equipo de trabajo, se considera un cortador, un armador, una persona en área de pulido y resane (operador 2), un pintor de primera mano, una persona en detallado y un pintor de segunda mano.

Para el tercer equipo tomamos de referencia el segundo equipo pero, en el área de pulido y resane (operador 3) hay una variante del proceso, se dividen los operadores y realizan tareas por separado. Normalmente en el área de pulido y resane las actividades se hacen complementarias, un operador inicia una tarea y el otro operador la termina, para el caso de los equipos dos y tres, el mismo operador inicia la tarea y la termina.

La aplicación del cuadrado latino ayuda a bloquear dos fuentes que pudieran alterar el resultado del proceso: el proveedor y el operador. Este diseño de experimentos denominado cuadrado latino, inicia su construcción como un diseño de experimentos de un factor completamente aleatorizado en los tres niveles deseados, tres tipos de material a evaluar, se le agregan dos factores del proceso que se quieren bloquear con sus tres niveles en cada factor, resultando en un cuadrado de tres columnas por tres renglones. Se completa asignando cada uno de los materiales a cada operador y proveedor, las pruebas se realizan al azar.

Al realizar el acomodo las columnas representan el operador (1, 2, 3), los renglones al proveedor (a, b, c) y de esta manera al azar se asignan los tres materiales a cada uno (A, B, C).

Estas pruebas son tomadas por la mañana antes del medio día para que las condiciones de trabajo sean similares. Se comienza a tomar el tiempo desde que el operador de corte inicia su trabajo. Las mediciones del tiempo son tomadas con un cronómetro para aumentar la precisión y éstas son registradas por la persona encargada de realizar esta tarea. Se toma un lote de piezas y se registran los tiempos de fabricación, de este lote se toma una pieza al azar para incluirse en el experimento.

Este diseño cuadrado latino tiene las siguientes características (Gutiérrez, 2008):

- 1) Se controlan tres fuentes de variabilidad, un factor principal y dos factores de bloque.
- 2) Cada uno de los factores tiene el mismo número de niveles K, tres en este caso.
- 3) Cada nivel del factor principal aparece una vez en cada fila y una vez en cada columna.
- 4) No hay interacción entre los factores.

De este modo, los diseños de experimentos cuadrado latino con los que se trabaja son los siguientes:

El Cuadro No. 1, muestra como está establecido el cuadrado latino respecto al costo de producción de la pieza considerando las variables de operador, proveedor y material. Estas mediciones se registran de 9 pruebas al azar para tomar su registro y realizar el análisis.

**Costo**

		Operador		
Proveedor		1	2	3
a		Mat A	Mat B	Mat C
b		Mat B	Mat C	Mat A
c		Mat C	Mat A	Mat B

**Cuadro No.1. Ejemplo de Cuadro Latino, para evaluar el costo de producción.**

Para el siguiente cuadro se considera el tiempo que se tardan en fabricar una pieza con los diferentes materiales, además del proveedor y operador, como se muestra en el Cuadro No. 2. Se evalúa que material requiere más tiempo de trabajo.

### Tiempo

	Operador		
Proveedor	1	2	3
a	Mat A	Mat B	Mat C
b	Mat B	Mat C	Mat A
c	Mat C	Mat A	Mat B

Cuadro No.2. Ejemplo de Cuadro Latino, para evaluar el tiempo de fabricación de una pieza.

La apariencia se evalúa en una escala de 1 a 10, donde 1 es la valoración más baja mostrando un desagrado por el cliente y 10 la máxima satisfacción por la pieza terminada. Muestra que proveedor y por cuál operador es fabricada y la evaluación final.

El cuadrado latino se realiza como se muestra a continuación:

### Apariencia

	Operador		
Proveedor	1	2	3
a	Mat A	Mat B	Mat C
b	Mat B	Mat C	Mat A
c	Mat C	Mat A	Mat B

Cuadro No.3. Ejemplo de Cuadro Latino, para evaluar la apariencia del producto terminado.

La respuesta fundamental del estudio del material que brinda mejor resultado en la manufactura y acabado de la pieza se obtiene del diseño de bloques. Para el caso del costo por medio de un análisis de varianza resultan los factores que afectan de manera positiva o negativa la variable principal, qué proveedor es el de mayor influencia en el proceso, si el operador afecta el resultado del experimento y cuál es el operador que mejor trabaja para reducir el costo de fabricación.

Para el análisis de varianza del tiempo, se obtienen los resultados de los factores proveedor, operador y material al igual que con el costo.

Para la variable apariencia, el cliente es el encargado de dar su punto de vista en una escala de 1 a 10, donde 1 muestra la valoración menor y 10 es satisfecho, siendo ésta la calificación máxima. Se evalúa a tres clientes potenciales de la empresa y se promedia la respuesta. Gracias al diseño de experimentos creado adecuadamente se conocen los factores que afectan a la variable apariencia y si este es significativo. Proveedor, ¿qué proveedor es el que da mejores beneficios?, ¿cuál operador es el que tiene mejor desempeño al realizar el trabajo? y ¿cuál de los materiales usados fue el adecuado y mostró mejores resultados para el acabado de la pieza?

## **5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL DISEÑO CUADRADO LATINO**

La empresa no cuenta con un modelo estadístico para la certificación de nuevos y existentes materiales. Se diseñó un modelo de bloques cuadrado latino, para obtener los resultados que se buscan. Teniendo dos factores de bloqueo y un factor de tratamiento, se tienen cuatro fuentes de variabilidad que pueden afectar la respuesta observada, éstas son: los tratamientos (tiempos de manufactura, costo y apariencia), bloque I (proveedores), bloque II (operadores) y el error no explicable o de las variables no consideradas en el diseño (Gutiérrez, 2008).

Se revisaron los datos para completar el experimento y analizarlo. Los datos que se tenían no eran suficientes, por lo que se realizaron las pruebas faltantes. Los datos existentes son de materiales con los que ya se trabaja y con los proveedores actuales. Las nuevas mediciones se llevan a cabo con nuevos proveedores y materiales para llevar a cabo el experimento.

Para completar el experimento se trabajó con otros proveedores, materiales y operadores distintos. Se explicó a los trabajadores la finalidad del proyecto, para que colaboraran e hicieran sus comentarios o propusieran alguna mejora en el proceso. Al completar los datos, se continuó con el análisis del diseño cuadrado latino.

### **5.1. Concepción del diseño para la problemática a investigar**

La regla general dice “bloquear lo que se puede; aleatorizar lo que no se puede”, el bloqueo se utiliza para eliminar los efectos de algunas de las variables más importantes que alteran el proceso. La aleatorización se utiliza para reducir los efectos contaminantes de las variables restantes que alteran el proceso. Para las variables importantes que alteran el proceso, el bloqueo dará mayor importancia a las variables de interés en la aleatorización (Handbook, 2003).

El diseño de experimento cuadrado latino nos permite bloquear dos factores que tienen efecto sobre la variabilidad del resultado el proveedor de material y los operadores, los cuales son

bloqueados y el factor a evaluar calidad de material se realizan aleatoriamente. Se obtuvieron los datos para el cuadro latino como se muestra a continuación.

La descripción de las letras latinas para los materiales se muestra en el cuadro 4, así como el grosor del material que se utilizó para la fabricación de la base.

### Material

		Grosor en Milímetros
A =	MDF	9
B =	OSB	12
C =	Triplay nacional	9

**Cuadro No.4. Especificaciones de materiales y descripción de las letras latinas**

Tabla de costos resultantes del experimento, donde las cantidades están mostradas en pesos mexicanos.

### Costo

		Operador		
Proveedor		1	2	3
a	A	10.16	11.97	13.65
b	B	11.76	12.92	10.17
c	C	12.59	10.72	12.40

**Cuadro No.5. Cuadro Latino con los costos de fabricación**

Cuadro No. 6 los tiempos de fabricación para la base cubo 10x10x10 cm están dados en minutos, son calculados por lotes, ya que fabricar solo una pieza requiere más tiempo y altos costos de fabricación. Los tiempos son tomados en los siguientes procesos de fabricación: área de corte, armado, resane y pulido, fondeado, pulido y detallado, pintado y empackado. El tiempo de secado no es considerado dentro de los tiempos de fabricación ya que éste no genera un costo para la empresa.

## Tiempo

Proveedor	Operador		
	1	2	3
a	A 5.5	B 6.9	C 6.8
b	B 6.2	C 6.3	A 5.8
c	C 5.9	A 6.2	B 7.1

Cuadro No.6. Cuadro Latino con los tiempos de fabricación

Cuadro No. 7 corresponde a la evaluación de la apariencia de las piezas terminadas, donde tres clientes potenciales evalúan las piezas terminadas en una escala de 1 a 10 y las tres cantidades se promedian, para obtener una cantidad final.

## Apariencia

Proveedor	Operador		
	1	2	3
a	A 10	B 8	C 3
b	B 8	C 5	A 10
c	C 6	A 10	B 9

Cuadro No.7. Cuadro Latino con datos de apariencia de la pieza terminada

## Formulario para obtener el ANOVA (Gutiérrez, 2008)

### Análisis de varianza del diseño de cuadrado latino

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F <sub>0</sub>	P-Value
Tratamientos	$SS_{TRAT} = \frac{\sum T^2_j}{k} - C$	k-1	$\frac{SS_{TRAT}}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F>F <sub>0</sub> )
Filas	$SS_F = \frac{\sum T^2_i}{k} - C$	k-1	$\frac{SS_F}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_F}{CM_E}$	P(F>F <sub>0</sub> )
Columnas	$SS_C = \frac{\sum T^2_k}{k} - C$	k-1	$\frac{SS_C}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_c}{CM_E}$	P(F>F <sub>0</sub> )
Error	$SSE = SS_T [SS_C + SS_R + SS_{TRAT}]$	(k-2)(k-1)	$\frac{SS_E}{(k-2)(k-1)}$		
Total	$SST = \sum_i \sum_j \sum_k y^2_{ijk} - C$	k <sup>2</sup> -1			

## 5.2. Análisis de los datos

### Costos

Una vez obtenidos los datos se formula las hipótesis a probar, para conocer si el experimento aprueba o rechaza ésta. En este caso interesa saber si los factores involucrados tienen algún efecto positivo o negativo en el costo.

Ho: El efecto del material no es significativo

Ha: El efecto del material es significativo

Se calculan los grados de libertad para la fuente de variación y  $\alpha$ , el nivel de significancia que establecemos es de 5%. Por lo tanto sí el valor de  $p$  es menor que  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula y se decide que esa variable es significativa.

## Análisis de Varianza para el Costo

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F <sub>0</sub>	P-Value
A:Operador	0.500689	2	0.250344	1.53	0.3952
B:Proveedor	0.178822	2	0.0894111	0.55	0.6466
C:Material	11.1955	2	5.59774	34.21	0.0284
Error	0.327222	2	0.163611		
TOTAL	12.2022	8			

Para dar respuesta a la hipótesis planteada anteriormente se tiene que:

- En este caso se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que por lo menos uno de los materiales tiene influencia significativa en la variación del costo  $P_{\text{material}} (0.0284) < 0.05$

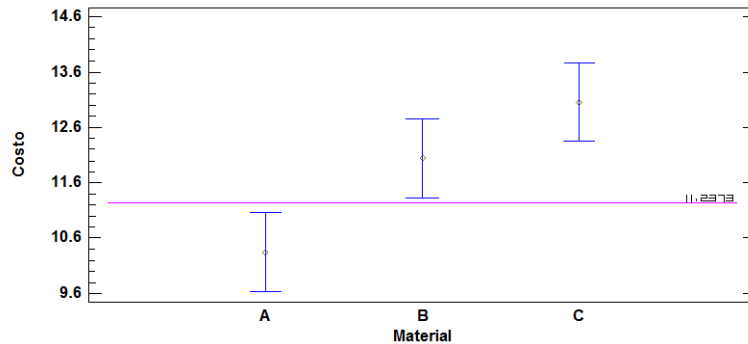


Figura 1. Gráfica de medias con intervalos LSD para el material

El material A (MDF) no se traslapa con los otros dos materiales, por lo que representa una diferencia significativa en el costo, en este caso menor, comparado con el material B y C donde sus medias son diferentes, pero se traslapan, concluimos que no muestra gran diferencia pero el material C impacta con un costo más elevado.

**Nota:** las gráficas de normalidad, con frecuencia, los tamaños pequeños de muestras ( $n \leq 16$ ) producen gráficas de probabilidad normal que se desvían bastante de la linealidad. Para muestras mayores de ( $n \geq 32$ ), las gráficas se comportan mejor. Por lo general se requieren unos 20 puntos

para producir gráficas de probabilidad suficientemente estables para interpretarse con facilidad (Montgomery, 2011).

### Normal Probability Plot

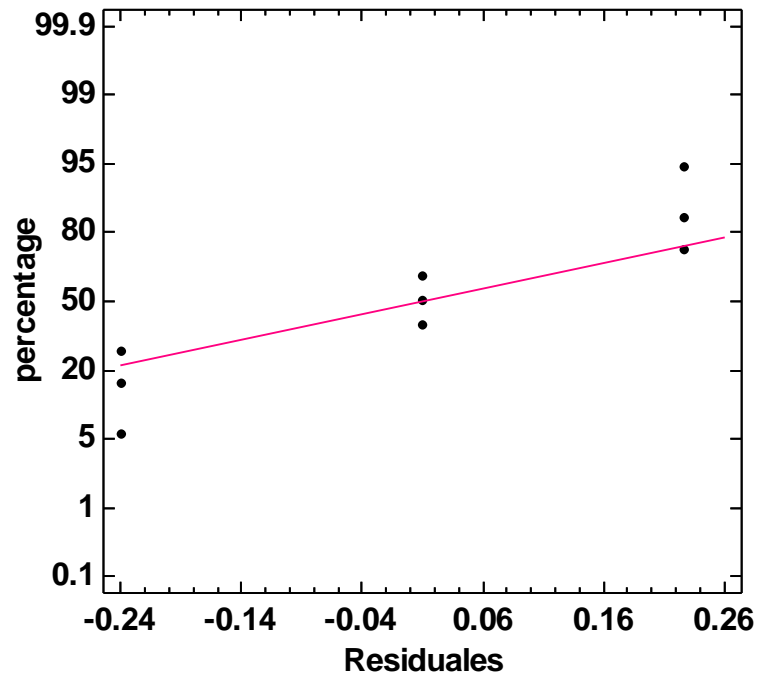


Figura 2. Gráfica de Probabilidad normal

Debido al poco número de muestras, la gráfica tiene un comportamiento diferente a como se acostumbra a ver la gráfica de normalidad, pero aun así el supuesto de normalidad es válido.

### Tiempo

Para realizar el análisis del *tiempo*, se formuló la hipótesis a contestar, saber si los factores involucrados tienen algún efecto positivo o negativo en el tiempo de fabricación de la pieza.

Ho: El efecto del material no es significativo

Ha: El efecto del material es significativo

Con un nivel de significancia del 5%.

## Análisis de Varianza para el Tiempo

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F <sub>0</sub>	P-Value
A:Operador	0.915556	2	0.457778	21.68	0.0441
B:Proveedor	0.142222	2	0.0711111	3.37	0.2289
C:Material	1.12889	2	0.564444	26.74	0.0361
Error	0.0422222	2	0.0211111		
TOTAL	2.22889	8			

Para dar respuesta a la hipótesis planteada se tiene que:

- Se rechaza la hipótesis nula lo que indica que por lo menos uno de los materiales tiene influencia en la variación del tiempo, al ser  $P_{material}(0.0361) < 0.05$
- Indica además que por lo menos uno de los operadores tiene influencia en la variación del tiempo al ser  $P_{operador}(0.0441) < 0.05$

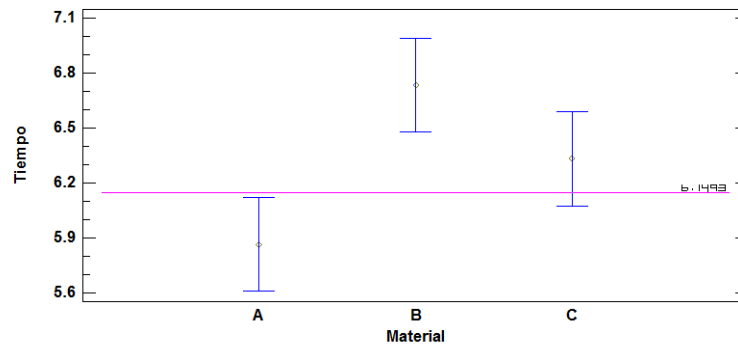


Figura 3. Gráfica de medias con intervalos LSD para material

El material A (*MDF*) aunque se traslapa un poco con el material C (*triplay*), da un mejor rendimiento al momento de trabajar logrando un tiempo menor, comparando el material B y C donde sus medias son diferentes pero se traslapan, se concluye que no muestra gran diferencia, el material B tiene un tiempo de trabajo más elevado que todos los demás, esto debido a la manera del corte y armado donde se lleva más tiempo, comparado con los otros dos materiales.

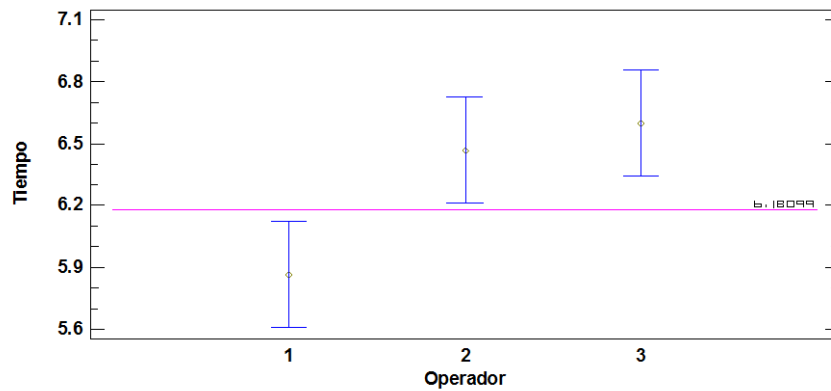


Figura 4. Gráfica de medias con intervalos LSD para el operador

Para el factor operador también hay variación significativa, ésta la representa el operador 1, con un tiempo de fabricación diferente a los operadores 2 y 3, donde muestra un tiempo de armado menor, por lo tanto un mejor rendimiento al momento de realizar el armado de la pieza.

### Normal Probability Plot

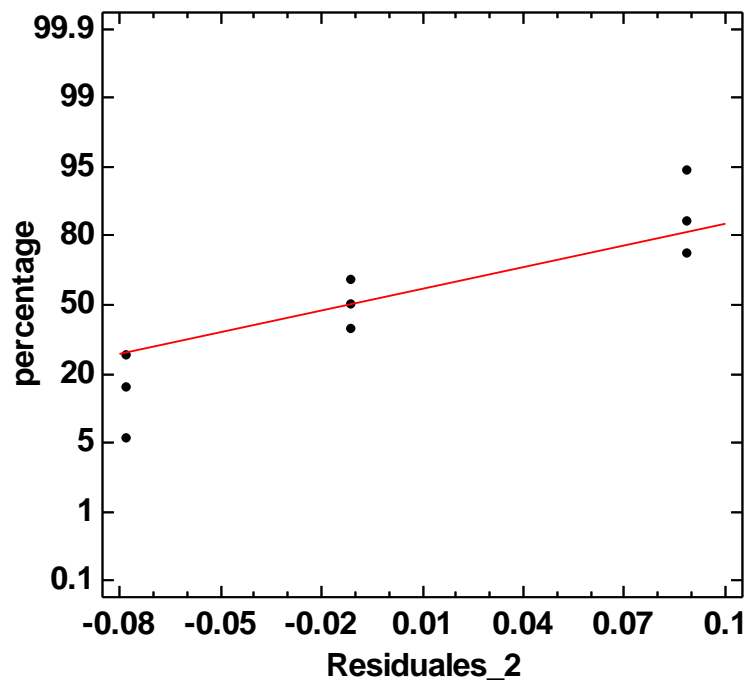


Figura 5. Gráfica de probabilidad normal con residuales de tiempo

El gráfico de normalidad indica que es válido y se cumple el supuesto de normalidad.

## Apariencia

Para realizar el análisis de apariencia, se formuló la hipótesis a contestar, si el experimento aprueba o rechaza ésta hipótesis, con un nivel de significancia del 5%. En este caso interesa saber si los factores involucrados tienen algún efecto positivo o negativo en la apariencia de la fabricación de la pieza.

Ho: El efecto del material no es significativo

Ha: El efecto del material es significativo

## Análisis de Varianza para la apariencia

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F <sub>0</sub>	P-Value
A:Operador	0.666667	2	0.333333	0.33	0.75
B:Proveedor	2.66667	2	1.33333	1.33	0.4286
C:Material	44.6667	2	22.3333	22.33	0.0429
Error	2	2	1		
TOTAL	50	8			

Para comprobar la hipótesis nula se tiene que:

- Se rechaza la hipótesis nula lo que indica que por lo menos uno de los materiales tiene influencia en la variación de la apariencia, al ser  $P_{material} (0.0429) < 0.05$ .

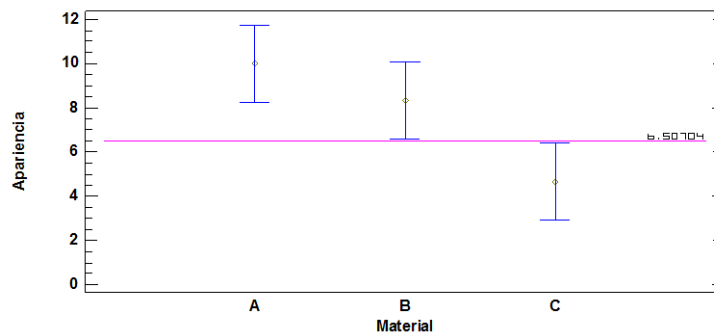
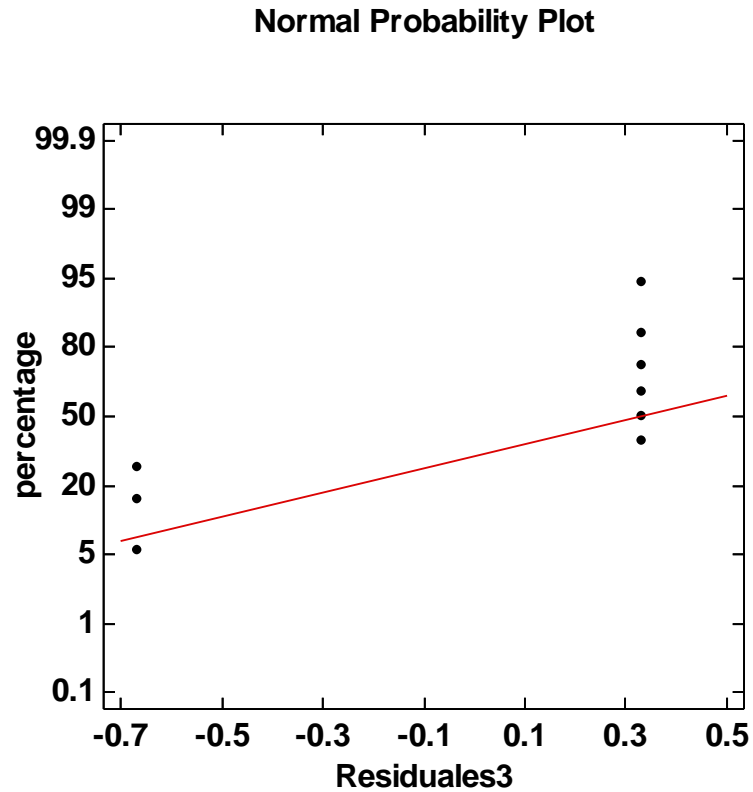


Figura 6. Gráfica de medias con intervalos LSD para material

Respecto a la opinión y gusto del cliente se tiene que la base fabricada con el material A y B tienen mejor aceptación, mientras la fabricada con el material C muestra impacto sobre la apariencia y fue menos aceptada.



**Figura 7. Gráfica de probabilidad normal, con los residuales de la variable Apariencia**

*Ver Anexo 9.1, 9.2, 9.3, para comprobación de los demás supuestos.*

A pesar de que el gráfico de normalidad muestra dos colas, esto debido al poco número de muestras que se grafican, se cumple el supuesto de normalidad.

Este análisis es útil para obtener resultados concisos de cómo el material afecta o no en las diferentes variables de costo, tiempo y apariencia. Esto ayuda a probar otros materiales, a realizar distintas pruebas e identificar factores que causan variabilidad en el proceso.

## 6. CONTROL

Después de haber realizado todas las pruebas necesarias para el experimento e implementado el modelo estadístico para el cálculo del cuadrado latino, los resultados obtenidos son mostrados y explicados al dueño de la empresa, de cómo se afecta el proceso con determinado material y de qué manera afectan los factores involucrados. Se le explicó que hay otros elementos cuando el proceso muestra alta variabilidad, se debe dar seguimiento para lograr estabilizar el proceso disminuyendo la variabilidad y los errores.

Resultó que existe diferencia de tiempo entre operadores. Al *operador A* le llevó menos tiempo realizar el armado de la base. Es importante identificar el método de trabajo del *operador A* y capacitar a los demás con el mismo método. Se mostró la forma correcta de trabajar con cada material, como ahorrar tiempo al momento de realizar su tarea; con esto buscar la mejora continua en los procesos y el desarrollo del personal involucrado en la fabricación de bases para decoración.

Se realiza un listado de distintos proveedores para la compra del material que cumplen con el parámetro de costo y calidad. De esta manera al seleccionar los mejores, se disminuye el tiempo de fabricación, adquirir material con mejores características de trabajo y se reducen las materias primas utilizadas, dando así un mejor rendimiento en el proceso.

Se continúa realizando evaluaciones con la participación de los clientes para la utilización de nuevas texturas, materiales y colores en la fabricación de bases.

## 7. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Como ocurre en algunos experimentos existe la incertidumbre respecto a los resultados, esto debido a distintas razones, algunas de ellas son: si la manera en que se obtuvieron los datos fue la adecuada, las condiciones ambientales fueron similares en todos los casos, el operador, las máquinas, los materiales, entre otros. Por lo que al realizar un experimento es necesario minimizar el error, para asegurar que los resultados obtenidos sean exactos, considerando a su vez el costo beneficio del mismo.

Se deben respetar las especificaciones de trabajo al fabricar el producto, ya que éste va enfocado al cliente el cual, es uno de los más importantes personajes en la fabricación de productos de madera, de ahí la importancia de respetar los estándares de calidad y seleccionar los materiales adecuados.

Al realizar este diseño de experimentos cuadrado latino, da la oportunidad de evaluar diferentes materiales-proveedores con los que no se había trabajado e interactuar con la diversidad de las líneas de trabajo en la empresa. Se dio a conocer que hay diferentes maneras de trabajar, los operadores pueden reducir tareas en su rutina y con diferentes grupos de trabajo se realiza mejor y en menor tiempo el trabajo.

Los distintos materiales tienen diferente calidad de: acabados, texturas, tiempos de trabajo, costos, etc., y estos logran ser del agrado del cliente. Esta empresa comienza a trabajar innovando para obtener mayores ventas y usar diversidad de materiales al fabricar los productos.

El mejor material para trabajar en este caso es el A, el cual mostró un bajo costo respecto al material B y C. Fabricar bases con este material reduce el tiempo de fabricación debido a sus características, además de ser del agrado del cliente, con una mejor calificación en su acabado. Se obtienen resultados aceptables y verídicos que ayudan a tomar decisiones a favor de la empresa.

Otro punto importante es que no solo esta empresa puede usar esta metodología, sino que cualquier empresa mueblera o la cual necesite validar nuevos o actuales materiales, considerando los factores que causan variabilidad en el proceso. La empresa desarrolla productos fabricados

con nuevos materiales, que presentan diferentes acabados, que ayuda a entrar en nuevos mercados y a incrementar sus ventas.

## 8. REFERENCIAS

- Gutiérrez, H. y De la Vera, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: McGraw Hill. pp. 7-8, 86, 92-96.
- Pérez, V. (2006). *Calidad total en la atención al cliente: Pautas para garantizar la excelencia en el servicio*. España: Ideas Propias. pp. 2-3.
- Balay R.S. (2013). *Hacia la excelencia. Sector del mueble y afines*. Alicante, España: Club Universitario. pp. 26-27.
- De Campos, C., & Rocco, F. (2004). *Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano natural*. Julio 01, 2016, de Universidad de Sao Paulo Sitio web: <http://www.scielo.cl>.
- AFAMO. (1996). *Asociación de Fabricantes de Muebles de Ocotlán*. Noviembre 01, 2015, de AFAMO Sitio web: <http://www.afamo.com.mx>.
- Pérez, V. (2006). *Calidad total en la atención al cliente: Pautas para garantizar la excelencia en el servicio*. España: Ideas Propias. pp. 7-11.
- Vignote, S., & Martínez, I. (2006). *Tecnología de la madera*. México: Ediciones Mundi-Prensa. p. 288.
- Heiss, G. (2006). *Carpintería: mesas y sillas*. Buenos Aires, Argentina: Grupo imaginador de Ediciones. p. 5.
- Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2011). *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*. México: Grupo Editorial Patria. pp. 124-126.
- Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2006). *Introducción a la probabilidad y estadística*. México: Cengage Learning. pp. 4-5.
- Hernández, C. (2013). *El MDF como material escultórico: estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de fibras de densidad media*. Septiembre 14, 2012, de Universidad de Granada Sitio web: <http://digibug.ugr.es>.
- Engineering Statistics Handbook. (2003). Process Improvement. April, 2012, of NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods Site web: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>

## 9. ANEXOS

### 9.1. Gráficos de comprobación de supuestos para variable costo

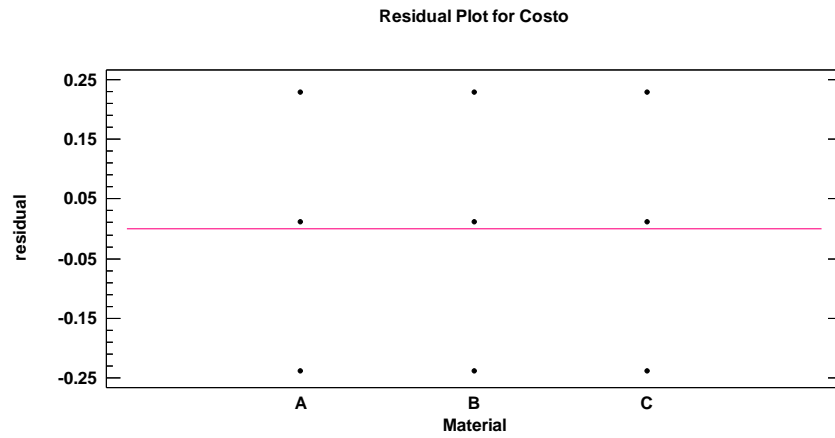


Figura 8. Gráfica de residuales para Material

Al no mostrar ningún comportamiento, indica que no se tienen datos anómalos.

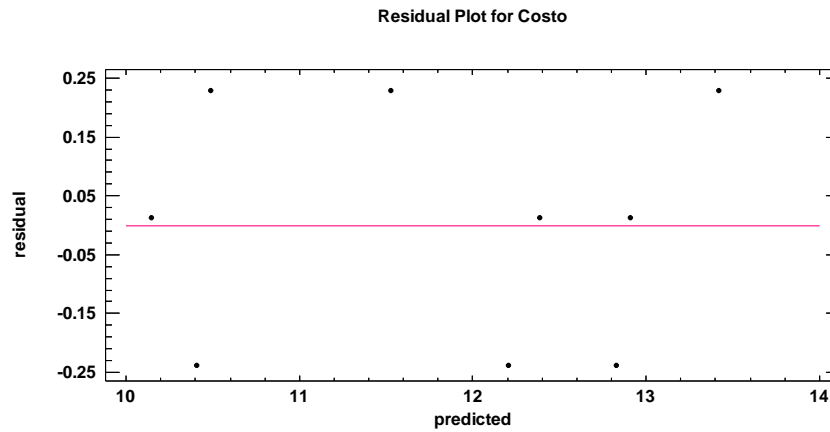


Figura 9. Gráfica de valores predichos

Al no mostrar ninguna forma de cono creciente, se cumple el supuesto de igualdad de varianzas.

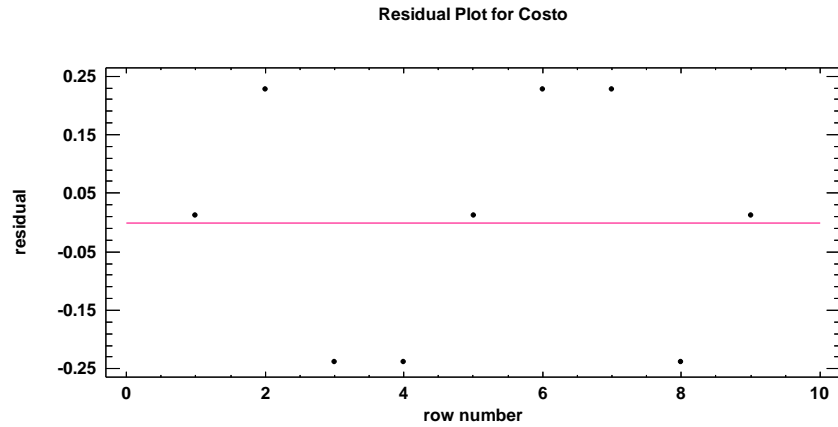


Figura 10. Gráfica con valores de número de fila

Al no mostrar ningún patrón de comportamiento, se cumple el supuesto de independencia de errores.

## 9.2. Gráficos de comprobación de supuestos para la variable tiempo

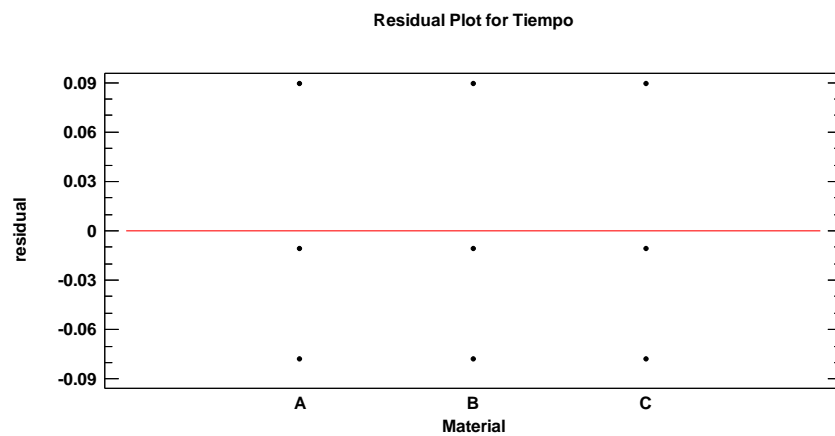


Figura 11. Gráfica de residuales para Material

Al no mostrar ningún comportamiento, indica que no se tienen datos anómalos

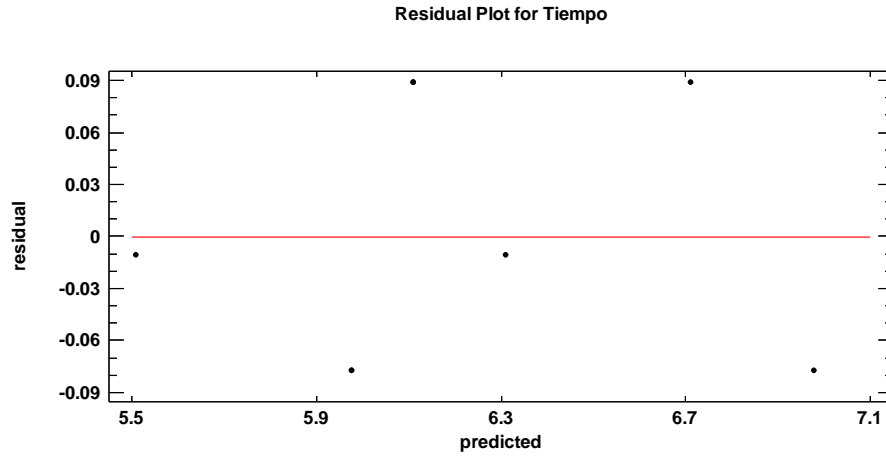


Figura 12. Gráfica de valores predichos

Al no mostrar ninguna forma de cono creciente, se cumple el supuesto de igualdad de varianzas

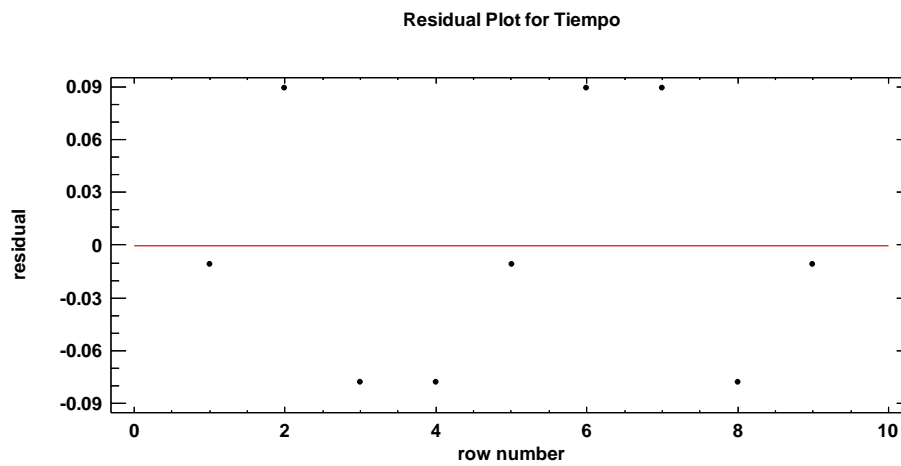


Figura 13. Gráfica con valores de número de fila

Al no mostrar ningún patrón de comportamiento, se cumple el supuesto de independencia de errores.

### 9.3. Gráficos de comprobación de supuestos para variable apariencia

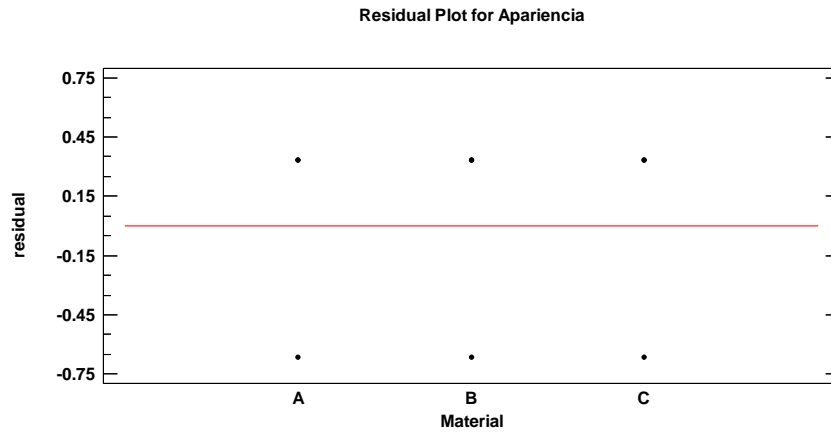


Figura 14. Gráfica de residuales para Material

Al no mostrar ningún comportamiento, indica que no se tiene datos anómalos

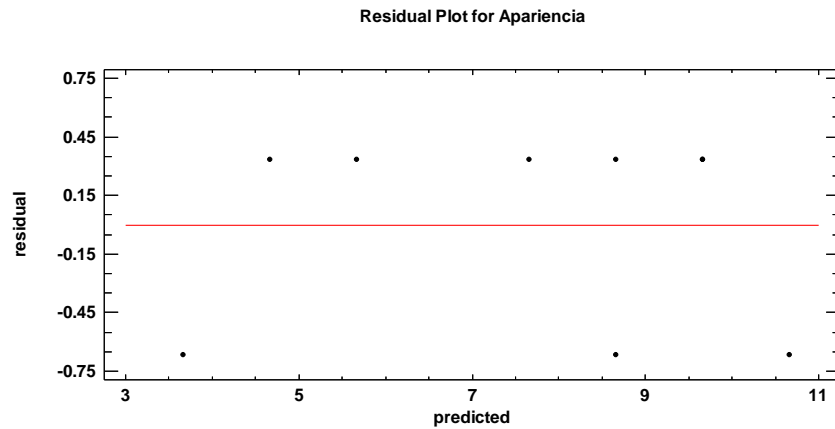
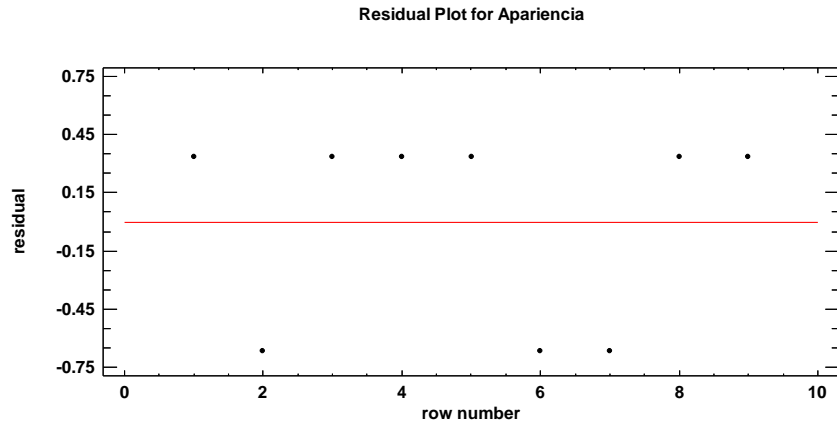


Figura 15. Gráfica de valores predichos

Al no mostrar ninguna forma de cono creciente, se cumple el supuesto de igualdad de varianzas



**Figura 16. Gráfica con valores de número de fila**

Al no mostrar ningún patrón de comportamiento, se cumple el supuesto de independencia de errores.