



Universidad Michoacana de San  
Nicolás de Hidalgo

División de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la  
madera

Optimización del proceso de aserrío para el incremento  
de utilidades.

Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera.

Carlos Ernesto Moya Lara

Director de Tesis:  
M. C. Héctor Manuel Sosa Villanueva

Co-Director:  
M.C. Roberto Calderón Muñoz

Morelia, Michoacán, Febrero 2012.

# INDICE.

	Página
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	4
OBJETIVOS	8
• GENERAL	
• PARTICULARES	
CAPITULO 1.	
La variabilidad en el proceso de producción.	9
1.1 ¿Qué es la Variabilidad?	10
1.2 La variabilidad en el proceso de aserrío	17
1.2.1 Materia Prima	17
1.2.2 Proceso de Transformación	17
1.2.3 Producto	19
1.3 Herramientas básicas para el control de la variabilidad en el proceso de aserrío.	19
1.3.1 Graficas de dispersión	20
1.3.2 Cartas de control	21
1.3.3 Diagramas de causa-efecto (Ishikawa)	26
1.3.4 Diagramas de Pareto (80-20)	29
1.3.5 Desempeño del aserradero (Sawmill performance)	30
1.3.6 Control del dimensionado de la madera (LSC).	31
1.3.7 Capacidad de proceso	33

## CAPITULO 2.

Metodología para diagnosticar la variabilidad en el proceso de producción de un aserradero.	36
2.1 Trocería (Materia prima).	37
2.1.1 Características de la trocería	37
2.1.2 Variabilidad en diámetros y Longitudes	
2.2 Aserrío (Proceso).	37
2.2.1 Características del aserradero	37
2.2.2 Análisis de tiempos por centro de maquinas	38
2.2.2.1 Tiempo muerto	38
2.2.2.2 Capacidad de cortes por minuto	38
2.2.2.3 Tiempos y movimientos en la sierra principal	39
2.3 Madera Aserrada (Producto).	39
2.3.1 Control del dimensionado de la madera aserrada	39

## CAPITULO 3.

Resultado De La Aplicación De La Metodología En Un Aserradero Convencional En El Estado De Michoacán.	41
3.1 Trocería	42
3.2 Aserrío	46
3.3 Madera aserrada	67

## CAPITULO 4.

Evaluación De Los Resultados Obtenidos.	71
---	----

CAPITULO 5.

Conclusiones y recomendaciones.

76

BIBLIOGRAFIA

79

ANEXOS

82

# Introducción.

Al igual que la mayoría de las industrias en México, la industria forestal ha sido afectada a partir de las aperturas comerciales iniciadas a finales de los 80s y principios de los 90s, el mercado de la madera y de los productos forestales ha sufrido por ese efecto dos grandes impactos. Por un lado, el consumidor ha resultado beneficiado, pues ahora tiene acceso a mas productos, los cuales son más baratos y de una mejor calidad que los nacionales, por el contrario el productor nacional se ha visto desplazado del mercado por no poder competir en precios y calidad contra los productos que llegan de importación.

En los años 80s el sector forestal en México sufrió un cambio drástico ocasionado por la liberación de las concesiones que mantenía el gobierno sobre los terrenos forestales nacionales, a partir de ahí los encargados del aprovechamiento de los bosques fueron algunos pequeños propietarios y en su mayoría comunidades y ejidos<sup>1</sup>. La falta de preparación, equipo y maquinaria de los nuevos encargados del manejo y aprovechamiento de los recursos forestales origino que se crearan algunos programas gubernamentales para tratar de subsanar esos problemas y fortalecer la industria forestal. Años después y debido a la poca competitividad<sup>2</sup> del sector a principios del mandato del presidente Vicente Fox (2000 - 2006), la política forestal es modificada para apoyar a los productores y con ello tratar de mejorar la competitividad en el mercado nacional de sus productos, para ello se crean en el año del 2001 los programas federales de PRODEFOR (Programa de desarrollo forestal) y PRODEPLAN (Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales). En el año 2007 surge el proárbol creado por el presidente Felipe Calderón (2006 - 2012), con el objeto de brindar continuidad a los programas y políticas forestales que se iniciaron a principios de la década. A raíz del surgimiento de estos programas los productores forestales han sido beneficiados con subsidios que año con año se han mantenido, pero los resultados han sido escasos o nulos ya que el sector no ha crecido como se tenía previsto, y cada vez es menos competitivo contra sus mas fuertes competidores extranjeros.

A pesar de estos esfuerzos para reforzar el sector, es evidente que las políticas forestales

---

<sup>1</sup> Las comunidades y ejidos son dueñas del 80% de los terrenos preferentemente forestales del país, un 15% pertenece a pequeños propietarios, y el 5% restante es considera propiedad federal (FAO, 2005).

<sup>2</sup> La competitividad se entiende como la capacidad de una empresa de generar un producto o servicio de mejor manera que sus competidores. Esta capacidad resulta fundamental en un mundo de mercados globalizados, en donde un cliente por lo general puede elegir de entre varias opciones, lo que necesita. Un punto de partida básico es saber que los elementos significativos para la satisfacción del cliente y con ello para la competitividad de una empresa, están determinadas por la calidad del producto, el precio y la calidad del servicio (en donde se incluye en tiempo de entrega de los productos o servicios). (Gutiérrez, 2008).

que se han implementado en el país han fracasado pues la dependencia del mercado de la madera<sup>3</sup> es cada vez mas así los productos de importación, este fracaso se debe en gran partes a que los programas gubernamentales están diseñados para cumplir metas y no objetivos. Por otro lado, no se han atacado los problemas de fondo de la industria forestal, que son los altos costos de la materia prima (trocería) y la poca confianza que tiene el consumidor hacia los productos nacionales, la cual ha sido ocasionada por la mala calidad histórica que estos han tenido. Otro de los principales problemas del sector es la maquinaria usada para la extracción y procesamiento de la materia prima, puesto que lo más común en las industrias de aserrío del país, es encontrar instalaciones de baja productividad con maquinaria y equipo viejo de bajo nivel tecnológico<sup>4</sup> que se caracterizan por el escaso rendimiento en el procesamiento de la materia prima. Esto se traduce en coeficientes de aprovechamiento de 50%, lo cual hace que el proceso de aserrío sea poco rentable por los altos costos de producción y extracción, dejando al sector en desventaja contra la competencia extranjera que cuenta con aprovechamientos muy altos, y menores costos.

Aunado a toda esta problemática se encuentran la baja capacidad técnica de las administraciones en la industria forestal, que es quizá el mayor de los problemas a los que se enfrenta el sector, ya que estas no han sabido enfrentar los altos costos de la materia prima, los tiempos muertos, los obsoletos sistemas de producción y extracción, la baja tecnologización de los procesos, la falta de políticas adecuadas, etc. Además, en muchos casos estas administraciones han sido responsables de la adquisición de maquinaria y equipo sin hacer los estudios adecuados para comprobar la viabilidad de la misma, teniendo como consecuencia maquinaria con tecnología de punta pero con poca capacidad para el aprovechamiento de la materia prima existentes en México. Es por eso, que la rentabilidad de los procesos de aserrío es apenas viable y muy poco competitiva lejos de la región donde se encuentran los aserraderos.

Con el propósito de atacar esta ultima problemática, surge el presente proyecto. El cual, consta de un análisis del estado actual de una industria modelo<sup>5</sup> en el sector forestal

---

<sup>3</sup> Según la DGF (1999), en el periodo 1990-1997, la producción forestal nacional de maderables cubrió en promedio el 63% del consumo nacional, pues en 1990 dicha producción aportó el 72% del consumo, descendiendo a 56% en 1993 y alcanzando la cifra de 58% del consumo para 1997. De seguir esta tendencia a la baja, se estimó que para el año 2000 la producción nacional sólo cubrirá el 57% de la demanda de madera para la industria, en tanto que para el año 2010 se reducirá al 42%, ya que se estima una demanda para ese año de 20.5 millones de metros cúbicos. (Jaimes, 2002)

<sup>4</sup> Aunado a esto, están los tiempos muertos causados por las constantes fallas de la maquinaria causadas por el poco mantenimiento que se les da.

<sup>5</sup> La Industria Forestal de la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro ha sido reconocida con varios premios nacionales e internacionales, es por ello, que es tomada en cuenta Nacionalmente como Comunidad Modelo.

nacional, así como de una serie de recomendaciones que permitirían controlar e incrementar el rendimiento y los beneficio económico obtenido en el aserrío haciendo con ello una empresa más competitiva. Para ello, se usaron algunas de las técnicas y herramientas de diagnostico y control más importantes a nivel de industria forestal, las cuales han venido siendo comúnmente usadas desde hace muchas décadas en los países líderes en la producción de madera aserrada a nivel mundial (Estados Unido de Norteamérica, Canadá, Chile, Japón, Finlandia, etc).

## Antecedentes.

En la facultad de ingeniería y tecnología de la madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo se han realizado varios estudios enfocados en el análisis de la industria forestal, principalmente en la región del estado de Michoacán. Algunos de los estudios más relevantes son los encontrados en las tesis de licenciatura como la de Juárez (1987)

Rendón (1989) quien hizo uso de herramientas estadísticas para su aplicación en las tareas de control de calidad en el proceso de aserrío, analizando las diferentes graficas de control tanto por variables como por atributos, así como sus características constructivas y sus principales aplicaciones.

Sosa Villanueva (1990) que describe y habla de las principales herramientas que se usan en la industria para lograr el control de calidad total. Además, explica el uso de dichas herramientas y su aplicación en una industria forestal tipo de la región de Ciudad Hidalgo, determinando que con simples métodos de control se pueden tener grandes beneficios económicos en la recuperación de pies tabla.

Estrada (1992) realiza un estudio de rendimiento de las operaciones de aserrío en un aserradero del estado de Michoacán y otro en el estado de Jalisco. Determina, que en el aserradero de Michoacán únicamente el 40% de la materia prima llega a la desorilladora, mientras que en Jalisco el porcentaje es del 70%. En el primero, se obtienen tiempos productivos de un 60%, en el segundo su tiempo de producción es de 70%.

Castro Álvarez (1992) hace la determinación del coeficiente de aserrío de la empresa "Productora Forestal Acuitzio-Villa Madero", obteniendo como resultado un 57.61% para los productos comerciales tradicionales de largas dimensiones, mientras que de cortas dimensiones obtuvo 1.55%; en lo que respecta a los productos obtenidos de tiras, costeras y cabeceado representó un porcentaje de 21.62%, productos susceptibles de aprovechamiento hasta de un 60%; además, muestra los procedimientos legales y técnicas para la cubicación de madera en rollo y aserrada.

Serrato Rodríguez (1995) calcula el coeficiente de aserrío de una empresa forestal, obteniendo: 58 y 60.06% para los productos de largas dimensiones; 4.21 y 4.54% para productos de cortas dimensiones en base a volúmenes totales de trocería de lotes con corteza de 43.864 y 74.495 m<sup>3</sup> de pino y oyamel respectivamente. Por otro lado, en cuanto a tiras, costeras y recortes, obtuvo un porcentaje de 37.63 y 25.36%.



Méndez (1996) determina que el coeficiente de aserrío en el aserradero “El Fresno”, del ejido de las Estancia, municipio de Morelia, obteniendo como resultado 59.18% a partir de un lote de 107 trozas de pino con corteza, y 58.67% de un lote de una muestra de 10 trozas, encontrando que no existía mucha diferencia en virtud de la poca diferencia en dimensiones de la trocería empleada.

Vegas (2007) hace una evaluación para demostrar como las características de la trocería influyen en los porcentajes del coeficiente de aprovechamiento y la calidad de la madera aserrada. Para ello utiliza una muestra de 132 trozas de 4ª y 5ª calidad. Los resultados indican que el coeficiente de aserrío real es de 67% y el nominal de 55%. Determina que existe una relación directa entre la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada.

Algunos trabajos de tesis hechos en otros estados son el de Moya Lara (2007) quien analiza y determina el coeficiente de aserrío de 4 aserraderos de la Sierra de Juárez del estado de Oaxaca. Obtiene como resultados un coeficiente de aserrío de estos aserraderos de 42% en su medida nominal y 56% en su medida real, otorgando un 14% de refuerzo. Además, determina que los porcentajes de los productos secundarios fueron de 4% de costera, 10% de tira seleccionada, 3% de corteza, y finalmente un 22% de leña y aserrín. Hace especial énfasis en que los 4 aserraderos en los cuales se realizó el estudio cuentan con una certificación por buen manejo forestal otorgado por el FSC (forest stewardship council).

Con respecto al postgrado de la facultad solamente se encuentra un trabajo de este tipo el de Contreras (2007) quien hace un análisis sobre la eficiencia del aserradero del Tarahumar y Bajíos del Tarahumar con la finalidad de incrementar su productividad. Para ello determina los coeficientes de aserrío nominal y real de una muestra de 171 trozas, obteniendo como resultado 50.81% para el primero y 67.71% para el segundo. Además, señala que la clasificación para la trocería se divide en 5 categorías (Mejo, 2ª, 3ª, 4ª y 5ª) de *Pinus durangensis* y *P. arizonica* especies con las que frecuentemente se trabaja en el aserradero. Las longitudes comerciales encontradas fueron de 12, 16 y 20 pies. Determina que el diámetro y calidad de la trocería no influye de forma negativa en el coeficiente de aserrío. El espesor nominal más común en las tablas aserradas correspondió al de 7/8”, mismo que represento el 49.97% del volumen total de madera aserrada, los espesores de 5/4” y 6/4” representaron el 46.88% y 3.15% respectivamente.

Además, en la web se pueden consultar diversos artículos y estudios como el de Dobie (1973) que presenta un artículo donde establece la metodología para determinar el

coeficiente de aserrío, así como los factores y la eficiencia hombre – maquinaria.

Zavala Z., D. y Hernández C., L. (2000) analizan el rendimiento y utilidad del proceso de trocería de pino en el aserradero de la comunidad forestal de San Pedro el Alto, Oaxaca. Hacen una publicación donde analizan el rendimiento y la utilidad de los procesos de para la trocería de pino.

García R., J. D. y Morales Q., L. (2001), determinan que el coeficiente de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. El tamaño de muestra se determinó con base en la variación de volumen de una premuestra de 60 trozas, considerando un 95% de confiabilidad. El resultado fue el siguiente: coeficiente nominal de 44.58% y real de 61.72, con una producción promedio por hora de 2.95 m<sup>3</sup>.

Romero (2005). Realiza un análisis económico de la cadena de aprovechamiento, transformación y comercialización de madera aserrada proveniente de bosques nativos en la región centro-sur de la Amazonia ecuatoriana. Presenta un estudio donde se analizan los costos y problemáticas de las cadenas productivas forestales de la zona centro-sur de la región amazónica ecuatoriana. El estudio determina que los actores más beneficiados con los actuales sistemas de aprovechamientos son los dueños o poseedores del monte.

Hernandez., R y Wiemann M. (2006) Efectúan un estudio de la industria forestal en cuatro aserraderos tipo de Durango y Oaxaca, México. A raíz del estudio realizado determinan que las dos especies más usadas en los aserraderos de estas dos regiones son *Pinus pseudostrobus* y *P. patula* (Pinos de alta densidad .50 - .55<sup>6</sup>). En la región de Durango la trocería es clasificada por largos (para postes) y por diámetros, En Oaxaca no hay ninguna clasificación para la trocería. Hacen un énfasis en la diferencia entre los modos de producción de México con respecto a Estados Unidos<sup>7</sup>, y finalmente realizan las siguientes recomendaciones:

- ⤴ La trocería debe ser por lo menos clasificada por diámetro, ya que esto permitiría al operador tomar un menor número de decisiones en la búsqueda de sacar el mayor beneficio de madera de clase.
- ⤴ El descortezado de la trocería debe ser considerado por las ventajas que ello ofrece como el hacer visibles los defectos, extender el tiempo de servicio de la sierra

---

<sup>6</sup> Tabla FITECMA. (Sotomayor, 2005)

<sup>7</sup> En México la madera de pino es aserrada buscando obtener el mayor porcentaje de madera de calidad visual, cosa que en estados unidos hacen pero para las maderas duras (mayor beneficio en cuanto a costo), las maderas de coníferas son aserrada con fines constructivos y de aplicaciones utilitarias.

cinta<sup>8</sup>, el descortezado acelera el secado, y finalmente la corteza puede ser vendida como un producto<sup>9</sup>.

- ⤴ El secado de la madera debe ser bien manejado ya que ello le da valor a los productos finales
- ⤴ La clasificación de la trocería permitiría dirigir a otro mercado la trocería de baja calidad (pulpa, astilla, tarimas, embalaje, etc.)
- ⤴ Existe un gran potencial en el aprovechamiento del encino, en los estados unidos los encinos son usados principalmente para muebles y pisos de alto valor comercial.
- ⤴ Finalmente la recomendación más importante fue la de tener un mejor conocimiento del mercado norteamericano en cuanto al procesamiento de la materia prima, clasificación y cumplimiento de las normatividad, ya que existen especies mexicanas con mucha potencialidad de comercialización en el sector de la construcción.

---

<sup>8</sup> Lo que traería como consecuencia una disminución en los tiempos muertos y un aumento en el volumen diario de madera aserrada.

<sup>9</sup> \$ Beneficios de recuperación.

# Objetivos.

## General.

Implementar una metodología de análisis y control con la cual se pueda detectar, comprender, reducir y finalmente controlar la variabilidad del proceso de producción de un aserradero, todo esto con el objetivo de ayudar al incremento de las utilidades, y así obtener como resultado una empresa más competitiva y rentable.

## Particulares.

- ☞ Evaluar la trocería con lo que usualmente se trabaja en el aserradero.
- ☞ Efectuar un levantamiento de datos acerca de la maquinaria y equipo existentes en el aserradero, así como de sus características y estado actual.
- ☞ Elaborar un diagramas de flujo (layout) del proceso de transformación de la madera en rollo a madera aserrada.
- ☞ Hacer un análisis de la variabilidad de los proceso de producción:
  - Determinar los tiempos productivos/muertos y la capacidad de producción por minuto en los distintos centros de maquinas del proceso de producción.
  - Hacer un estudio de tiempos y movimientos en la sierra principal.
  - Elaborar un LSC (control del dimensionado de la madera aserrada)
- ☞ Determinar mediante los resultados del estudio la variabilidad presente en el proceso de producción del aserradero.
- ☞ Determinar puntos de mejora de los procesos productivos mediante los diagramas de Causa-Efecto (Ishikawa), Pareto-Estratificación, Cartas de control X-R, Histograma y Capacidad de proceso (Cp)
- ☞ Integrar un documento en el cual se presente una metodología de mejora industrial del proceso de aserrío, que sirva como una base para la capacitación de los poseedores del recurso forestal, ejidatarios y comuneros.

# *Capítulo 1.*

---

**La variabilidad en el proceso de producción.**

Ningún proceso productivo es constante cuando se repite una y otra vez debido a múltiples causas que afectan la producción de dicho producto, por ejemplo: el medio, los métodos, la mano de obra, la maquinaria, la materia prima, etc.

Partiendo de que las causas son múltiples y no todas controlables al 100%, es importante examinar aquellas causas principales con el objetivo de reducir la variabilidad y solo entonces entrar en la mejora de la eficacia y de la eficiencia del proceso. Es más, el objetivo de cualquier mejora de un proceso debe incluir la disminución de su variabilidad.

### 1.1 ¿Qué es la variabilidad?

Son cambios inevitables que modifican el proceso (ya sean pequeños, casi imperceptibles o muy grandes) y que acaban afectando posteriormente al producto que se produce. Todo proceso de producción (o de servicio) tiende a generar una variabilidad propia y esta variabilidad se puede medir estadísticamente. A la hora de intentar mejorar u optimizar un proceso es importante medir y controlar esta variabilidad ya que ésta puede perjudicar la calidad del producto.

Debido a que en un proceso interactúan materiales, maquinas, mano de obra, mediciones, medio ambiente y métodos. Estos 6 elementos, las 6M, determinan de manera global todo el proceso, y cada uno aporta parte de la variabilidad (y de la calidad) de los resultados del proceso (fig. 1)

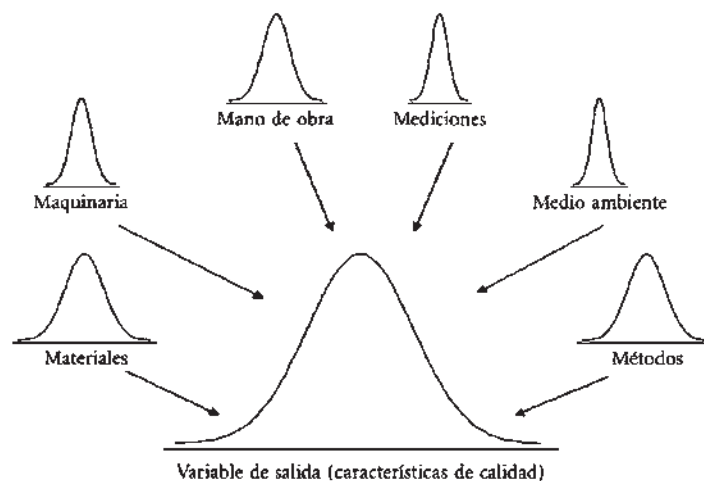


Figura 1. Las 6M<sup>1</sup> que intervienen en el proceso.

<sup>1</sup> No necesariamente cada una de las M contribuye con una parte igual al proceso, cada una de ellas tiene y aporta su propia variación; por ejemplo, no todos los operadores tienen las mismas capacidades y capacitación, la materia prima no es idéntica. Pero además, con el tiempo, van ocurriendo cambios en las 6M, con la llegada de una materia prima con características distintas a la comúnmente usada (mayor o menor densidad, diámetro, longitud, etc.), descuidos u olvidos de los operadores, desajustes y desgaste de la maquinaria y herramientas, etc.

La existencia de la variabilidad es inobjetable, a pesar de que en este proceso se lleve a cabo la misma operación, el mismo método de trabajo, la misma herramienta, la misma maquinaria e inclusive el mismo operador nunca existirán dos artículos iguales. Tal vez a simple vista sean iguales, incluso al sacar la mediciones de cada pieza, pero no son completamente iguales, aunque para el caso sean útiles ambas. Esto se debe a la variabilidad natural de proceso, es importante saber que esta no puede ser eliminada por completos, pero si puede ser controlada, tal vez no de forma perfecta pero si lo suficiente para cumplir con las expectativas requeridas.

La estadística ha demostrado que no hay dos cosas exactamente idénticas, inclusive las piernas o bien las manos de una misma persona. Pero además nos ha demostrado que las variaciones de un producto o un proceso pueden medirse con lo cual podemos determinar el comportamiento del proceso o el lote de productos o los tiempos de atención en el servicio. Las mediciones obtenidas de un proceso o un lote de productos varían según una figura bien definida, que en procesos normales tiene forma de campana (Fig. 2), ya que generalmente de esas mediciones un buen número de ellas tiende a agruparse alrededor de su valor promedio con lo cual la forma de la curva puede ser calculada. Esto es lo que se conoce como una distribución normal en donde la frecuencia de las mediciones va disminuyendo hacia los extremos conforme se va alejando del promedio.

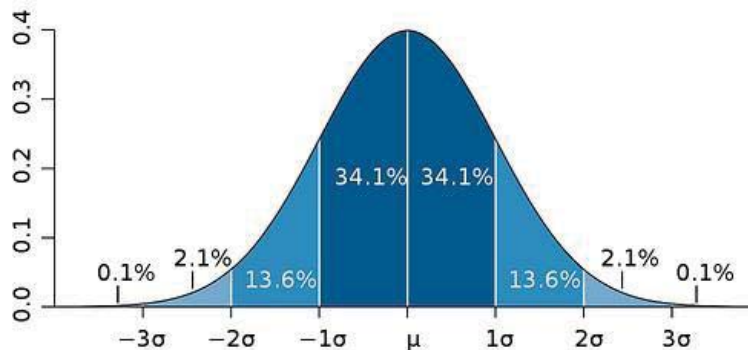


Figura 2. Proceso bajo una distribución normal

Es justo por la posibilidad permanente de que ocurran estos tipos de cambios y desajustes, por lo que es necesario monitorear constantemente las variables de un proceso. Sin embargo, no todos los cambios en las 6M se manifiestan en una variación significativa en el proceso, ya que hay algunos que son propios al funcionamiento del proceso mismo (causas comunes); y habrá otros cambios que se deben a una situación particular y atribuible (causas especiales). Por ello, es necesario que el monitoreo se realice en forma continua, objetiva y eficaz. Una forma de llevar esto a cabo es

apoyándose en las técnicas del control estadístico, para así poder decidir cuál es la reacción o acción más adecuada de acuerdo al tipo de cambio; es decir, desde no hacer ningún cambio o ajuste, realizar cambios menores o incluso generar un proyecto de mejora para lograr los resultados deseados.

En un primer nivel de clasificación las variables pueden ser cualitativas o cuantitativas. Las variables cualitativas, nominales o de atributos, son aquellas en donde las características que se estudian no son numéricas. Por ejemplo, tipo de producto, el producto está armado o no, nombre de los clientes, etc. Mientras que las variables cuantitativas son aquellas cuyas características pueden registrarse numéricamente. Por ejemplo, peso de un lote, número de clientes atendidos, número de productos defectuosos.

Las variables cuantitativas se clasifican como discretas o continuas. Las discretas sólo pueden adquirir ciertos valores y casi siempre hay "brechas" entre esos valores.

Por ejemplo: número de clientes atendidos (0, 1, 2, 3, . . . , etc.), número de artículos defectuosos por lote, número de quejas, número de servicios de mantenimiento. Por su parte, las variables continuas pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo específico. Por ejemplo, el tiempo en que un cliente es atendido. Intuitivamente las variables de tipo continuo son aquellas que requieren un instrumento de precisión para medirse, tal como peso, volumen, voltaje, longitud, resistencia, temperatura, humedad, tiempo, dimensiones varias, etcétera.

Por otro lado, como ya se dijo, en un proceso hay variables de salida y de entrada. Las de salida características de calidad, o variables de respuesta, las Y), son las variables en las que se reflejan los resultados obtenidos por el proceso. A través de los valores que toman estas variables se evalúa la eficacia del proceso. Por lo general son características de la calidad del producto que se obtiene con el proceso, así como variables objetivo de un proceso; en ocasiones también se les conoce como variables de respuesta o variables dependientes.

Por lo general, las variables de salida tienen especificaciones o tolerancias, ya que los valores que deben tomar generalmente están delimitados o acotados. Por ejemplo, en un proceso que produce piezas metálicas que van a ser ensambladas, las dimensiones de estas piezas deben caer dentro de cierto rango o especificaciones, de lo contrario no ensamblarán. Cuando se satisfacen estos requerimientos se dice que el proceso cumple las especificaciones de calidad. Existen tres tipos de variables de salida o características de calidad, de acuerdo al tipo de especificaciones que deben de cumplir:

Entre más pequeña mejor. Son variables o características de calidad cuya única exigencia es que no excedan un cierto valor máximo tolerado o una especificación superior (ES), y entre más pequeño sea su valor es mejor. Por ejemplo, el porcentaje de impurezas en una sustancia o la cantidad de sustancias tóxicas en un producto alimenticio.



Entre más grande mejor. Son variables o características de calidad a las que se les exige que sean mayores que un valor mínimo o que una cierta especificación inferior (EI), y entre más grande sea el valor de la variable es mejor. Por ejemplo, la resistencia de una pieza de plástico inyectado o la "blancura" de una tela de color blanco.

Valor nominal es el mejor. Variables que deben tener un valor específico, y que por lo tanto, no deben ser menores que una especificación inferior (EI), pero tampoco mayores que una superior (ES). Ejemplos de este tipo de características de calidad con doble especificación son el diámetro interior de una tuerca y la longitud de una pieza para ensamble.

Por su parte, las variables de entrada del proceso (las X), por lo general definen las condiciones de operación del proceso, y del valor de ellas depende la eficacia del proceso. Pueden ser las variables de control del proceso, tales como temperatura, velocidad, presión, cantidad y/o características de algún insumo o material, etc. Pero también, bajo ciertas condiciones, entre las variables de entrada se consideran a aquellas que aunque normalmente no están controladas, influyen en los resultados de un proceso, como la humedad relativa en el medio ambiente, la habilidad de un operario, el método de trabajo, etcétera.

Se espera que los cambios en estas variables, también llamadas variables independientes, se reflejen en las variables de salida. Por lo que es frecuente que cuando un proceso tiene problemas se deba a algún cambio en una o más variables de entrada.

Usualmente son dos tipos de causas las que causan la variación en los procesos de operación: Estas son las causas comunes y las especiales.

Las causas comunes son: El punto crítico al controlar procesos es comprender si la variación es debida a causas comunes o especiales. Esto es crítico porque la estrategia para tratar las causas comunes es diferente que la usada para tratar causas especiales. El problema fundamental es que la mayoría de las veces se trata toda variación como si ésta fuera especial. Si hace esto, solo provocará una mayor cantidad de variación, defectos y errores.

Por causas comunes de variación se entienden aquellas fuentes de variación en un proceso que están bajo control estadístico. Esto significa que todas las mediciones se encuentran dentro de los límites de variación normal, los cuales se determinan sumando y restando tres desviaciones estándar al promedio de esas mediciones.

Las causas comunes de variación se comportan como un sistema constante de causas totalmente aleatorias. Aún cuando los valores individualmente medidos son todos diferentes, como grupo, ellos tienden a formar un patrón que puede describirse como una distribución.

Cuando en un sistema sólo existen causas comunes de variación, el proceso forma una distribución que es estable a través del tiempo y además predecible.

Conocer que un sistema solo está variando por causas comunes es normalmente simple a través de técnicas estadísticas. Sin embargo, identificar esas causas requiere un análisis más detallado por parte de quienes operan el sistema. La solución o eliminación de estas causas comunes normalmente requiere la intervención de la gerencia para tomar acciones sobre el sistema o proceso como un todo, ya que las variaciones comunes son propias o inherentes a cada proceso.

Las causas especiales son: Las causas especiales de variación frecuentemente son llamadas causas asignables. Se refiere a cualquier factor o factores que causan variación en relación con una operación específica o en un momento particular en el tiempo.

Solo si todas las causas especiales de variación son identificadas y corregidas, ellas continuarán afectando la salida del proceso de una manera impredecible. Si hay causas especiales de variación, la salida del proceso no es estable a través del tiempo y por supuesto tampoco es predecible.

Cuando en el proceso existen causas especiales de variación, la distribución del proceso toma cualquier forma y es por lo tanto impredecible. En general se acepta que el 85% de la variación es originada por causas comunes y el 15% por causas especiales. Un antídoto para reducir la variación es la normalización o documentación del proceso como requiere ISO 9000.

La calidad de un producto depende mucho de la variabilidad. Se establecen límites de variabilidad, esto para evitar deformas, defectos o diferencias entre un producto y otro. Por lo que podríamos concluir que “a menor variabilidad tendremos una mejor calidad en el producto o servicio ofrecido”.

Los usos y aplicaciones que podemos darle a la variabilidad son meramente productivos, pues el hecho de que hagamos alguna especie de cambio para mejorar el proceso de la producción será posteriormente obtener resultados favorables en el producto o servicio. No basta con solo mejorar el proceso, pues eso no nos garantiza que el producto será mejor, sino que nos daremos cuenta de que los cambios realizados en el proceso son verdaderamente positivos cuando obtengamos resultados de la misma índole en el producto, resultados mejores en el producto.

Un sistema ideal de control de variabilidad pretende conocer con una cierta exactitud cómo cada variable del proceso afecta cada característica de calidad de un determinado producto o servicio, además de que le permite, tener la posibilidad de manipular o ajustar esas variables y ser capaces de predecir con exactitud los cambios en las características de calidad con motivo de los ajustes realizados en las variables del proceso.

La variable de un proceso ocasionará cambios en la calidad del proceso, para esto es este sistema, para lograr lo más cercano a la perfección del producto mediante sistemas y métodos de trabajo que proporcionen adelantos productivos a la calidad.

Una vez que se sabe que el producto o servicio responde a las necesidades del cliente la preocupación básica es tener el proceso bajo control. En este punto, en realidad, lo que se busca es reducir la variabilidad que caracteriza al proceso en análisis. En ocasiones, es necesario usar los datos sobre la variabilidad del producto como una medida indirecta de la capacidad del proceso ya que en términos generales el producto habla del proceso.

“El enemigo de todo proceso es la variación”. Un administrador exitoso es aquel que logra controlarla. La teoría de la variabilidad es una de las cuatro que el Dr. Deming propuso a los japoneses dentro de su filosofía del Conocimiento Profundo, otra teoría que complementa la anterior es la "teoría de la causalidad", en donde plantea que todo efecto tiene una causa, todo defecto también. El control de la variación, solo puede darse en sus causas, principalmente en el control de su causa raíz. Kaoru Ishikawa decía que el 85% de los problemas en un proceso son responsabilidad de la gerencia, el comentario no fue bien recibido por esta. Su afirmación se basa en que las variaciones de un proceso generalmente se atribuyen a causas normales, según su capacidad diseñada, la cual es responsabilidad de la gerencia. El operario actúa dentro de lo que el proceso le permite. Esto lleva a plantear uno de los mejores beneficios en el control de la variación: definir cuándo ésta es propia del proceso, algo normal, originada por causas normales o comunes y cuando obedece a causas anormales o externas.

Si se entiende el concepto de variabilidad y se mide por medio de la desviación estándar<sup>2</sup> se pueden establecer los límites inferiores y superiores aceptados en el proceso (usualmente se utilizan límites de 2 sigmas ó de 3 sigmas alrededor del promedio), una vez fijados esos límites se puede entregar con toda tranquilidad el proceso a manos de los subalternos, haciéndoles hincapié en que es su responsabilidad mantener el proceso bajo control utilizando las herramientas básicas para ello (Cartas de control y graficas de dispersión). Si los colaboradores no entienden cómo controlar la variabilidad de un proceso, no hay procedimiento o instrucción que lo salve, aunque estén certificados. De nada sirven los premios y los castigos si un proceso está variando dentro de sus causas normales. El premio o el castigo se convierten en una causa anormal, ajena al proceso, en donde luego que pasa su efecto, se regresa al estado anterior.

---

<sup>2</sup> La desviación estándar es muy importante pues es una de las formas más sencillas de identificar y controlar la variabilidad, llámese dimensiones, densidades, ventas, productos, tiempos de entrega, etc. Por medio de la desviación estándar se pueden analizar encuestas a clientes y determinar que tan concluyentes son las respuestas, se puede inferir la probabilidad de que se alcancen las metas, que los productos estén dentro de los límites de calidad establecidos, que un empleado llegue tarde, que un estudiante no logre la nota mínima etc.

Para la industria existen controles o registros que podrían llamarse "herramientas para asegurar el control y reducción de la variabilidad en el proceso de producción de una fábrica", esta son las siguientes:

1. Cartas de control.
2. Histograma
3. Diagrama de Pareto
4. Diagrama de causa efecto (Ishikawa)
5. Estratificación
6. Graficas de dispersión
7. Gráficas de control

La experiencia de los especialistas en la aplicación de esta metodología ó herramientas estadísticas de control, señala que bajo una correcta aplicación y utilizando un método estandarizado para la solución de los problemas se puede ser capaz de resolver hasta el 95% de estos problemas.

En la práctica estas herramientas de control requieren ser complementadas con otras técnicas cualitativas y no cuantitativas como son:

- Lluvia de ideas
- Encuestas
- Entrevistas
- Diagramas de flujo (layout)
- Selección de problemas, etc.

Hay quienes se inclinan por el uso de metodologías más sofisticadas y tienden a menospreciar estas siete herramientas básicas debido a que aparentemente parecen simples y sencillas, pero la realidad es que es posible resolver la mayor parte de los problemas de variación con el uso combinado de estas herramientas en cualquier proceso de producción industrial. Estas siete herramientas nos dan la posibilidad de ser usadas para:

- Detección de problemas
- Delimitación del área problemática

- Estimación de los factores que probablemente causan el problema
- Determinar si el efecto tomado como problema es verdadero o falso
- Prevenir errores debido a omisiones, rapidez o descuido
- Confirmar los efectos positivos de las mejoras efectuadas
- Detecta la variabilidad del proceso (Determinar si el proceso está bajo control)

## **1.2 La variabilidad en el proceso de aserrío.**

Cada aserradero tiene particularidades individuales que lo hacen ser único, ya que hasta en aserraderos de un mismo dueño suelen variar las maquinas, la materia prima (especies, diámetros ó longitudes diferentes), el personal, he inclusive hasta la metodología empleada usados para la transformación de la madera en rollo a madera escuadrada. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta que la variabilidad natural del proceso de aserrío será mayor o menor dependiendo de las características intrínsecas de cada aserradero.

### **1.2.1 Materia prima.**

La materia prima correspondiente a la industria del aserrío primario es la madera en rollo. Esta varía en términos de especie, calidad, volumen por anualidad, diámetro y diámetro. Factores correspondientes a la especie tales como las condiciones de crecimiento, edad, si se trata de arbolado maduro, arbolado juvenil o de plantaciones forestales (Si esta es manejada o no, si el manejo silvícola ha sido bien aplicado). Todos estos factores determinaran la calidad de la trocería que será cortada, ya que estos afectan la calidad de la troza (densidad, índice de crecimiento, nudosidad, flexibilidad) y su forma (rectitud y ahusado). La certeza del volumen por anualidad (Debe también ser contemplada la variabilidad de los volúmenes y de los diámetros) determina la capacidad del aserradero y la inversión necesaria para este.

### **1.2.2 Proceso de Transformación**

García et al. (2002) expresa que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos.

En los aserraderos, aunque es recomendable que la operación de elaboración se complemente con la de secado en cámaras de los productos obtenidos, no tienen por qué incluir necesariamente esta última. Generalmente, los productos finales de aserrado, tablones, tablas, vigas y viguetas se venden con una humedad del 15 al 20 %.

Reciben el nombre de aserríos porque los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos exclusivamente por sierras.

Los dos tipos de aserraderos que pueden presentarse en esta industria son:

- Instalaciones fijas
- Instalaciones móviles

Las instalaciones fijas (Figura. 3), son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea.

Así como los mismos productos para la tabla, viga o viguetas. Su producción puede necesitar o no de la reaserradora.

Las instalaciones móviles (Figura. 4), montadas sobre chasis pueden desplazarse hasta las mismas fuentes de abastecimiento de materias primas. Sus productos elaborados suelen ser generalmente tablones, tablas, viguetas y vigas en bruto. Generalmente necesitan de la industria reaserradora.

La principal ventaja y el origen de las instalaciones móviles es que los residuos y desperdicios quedan en el mismo lugar de elaboración, y lo que se transporta en lugar de ser madera en rollo es producto elaborado o semielaborado, con la consiguiente economía de transporte. La integración de la industria aserradora con la de tableros de partículas anula, en un cierto porcentaje, esta ventaja.



Figura 3. Aserraderos fijo



Figura 4. Aserradero móvil horizontal. Fuente: Okay. 2001.

### 1.2.3 Producto

Los ciclos de producción de un aserradero suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

- Tablón, en bruto
- Tablón canteado y cabeceado
- Tablón canteado, cabeceado y calibrado
- Tablón canteado, cabeceado, calibrado y clasificado
- Tablón canteado, cabeceado, calibrado, secado y clasificado.

### 1.3 Herramientas básicas para el control de la variabilidad en el proceso de aserrío.

Los métodos estadísticos son fundamentales para calcular la variabilidad y detectar los valores anormales (determinados en funciones de los límites de variación que se hayan establecido o que se consideren razonables). Estos valores anormales son una fuente importante de información.

Para resolver las variaciones y mejorar el control del proceso, es necesario basarse en hechos y no dejarse guiar solamente por el sentido común, la experiencia o la audacia. Basarse en estos tres elementos puede ocasionar que en caso de fracasar nadie quiera asumir la responsabilidad. De allí la conveniencia de basarse en hechos reales y objetivos. Además es necesario aplicar un conjunto de herramientas estadísticas siguiendo un procedimiento sistemático y estandarizado de solución de problemas. Debido a esto, se han creado algunas herramientas básicas que han sido históricamente usadas en las



actividades de mejora y control de los procesos productivos, además estas han sido utilizadas como soporte para el análisis y solución de problemas operativos en los más distintos contextos que conforman una empresa.

En el caso de la industria forestal las herramientas para detectar la variabilidad mas comúnmente usadas son las siguientes.

### **1.3.1 Graficas de dispersión.**

Un diagrama de dispersión es un tipo de diagrama matemático que utiliza las coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos.

Los datos se muestran como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical.<sup>1</sup> Un diagrama de dispersión se llama también gráfico de dispersión.

Un diagrama de dispersión se emplea cuando existe una variable que está bajo el control del experimentador. Si existe un parámetro que se incrementa o disminuye de forma sistemática por el experimentador, se le denomina parámetro de control o variable independiente = eje de x y habitualmente se representa a lo largo del eje horizontal. La variable medida o dependiente = eje de y usualmente se representa a lo largo del eje vertical. Si no existe una variable dependiente, cualquier variable se puede representar en cada eje y el diagrama de dispersión mostrará el grado de correlación (no causalidad) entre las dos variables.

Un diagrama de dispersión puede sugerir varios tipos de correlaciones entre las variables con un intervalo de confianza determinado. La correlación puede ser positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas). Se puede dibujar una línea de ajuste (llamada también "línea de tendencia") con el fin de estudiar la correlación entre las variables. Una ecuación para la correlación entre las variables puede ser determinada por procedimientos de ajuste. Para una correlación lineal, el procedimiento de ajuste es conocido como regresión lineal y garantiza una solución correcta en un tiempo finito.

Uno de los aspectos más poderosos de un gráfico de dispersión, sin embargo, es su capacidad para mostrar las relaciones no lineales entre las variables. Además, si los datos son representados por un modelo de mezcla de relaciones simples, estas relaciones son visualmente evidentes como patrones superpuestos.

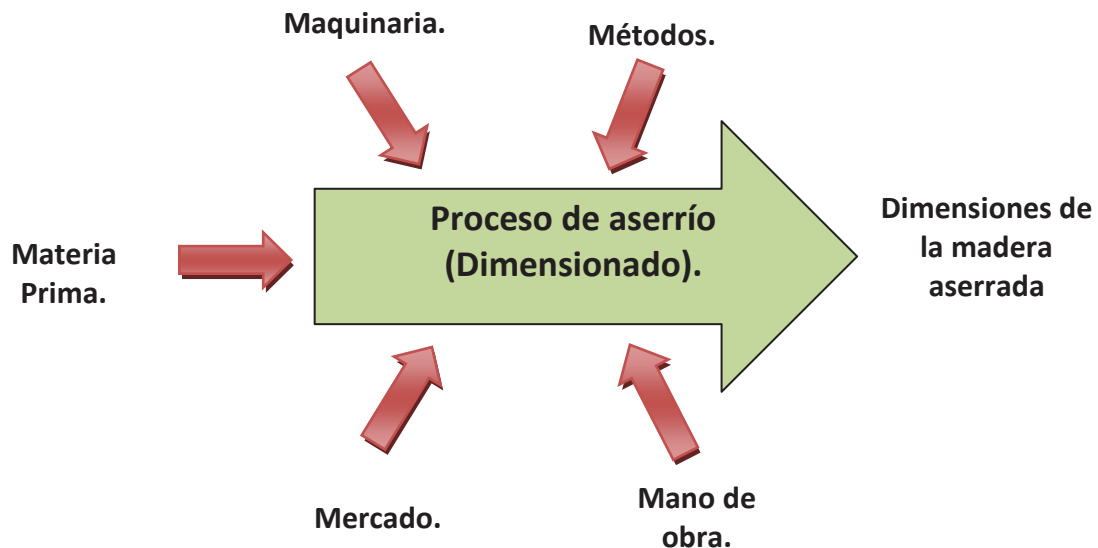
El diagrama de dispersión es una de las herramientas básicas de control de calidad, que incluyen además el histograma, el diagrama de Pareto, la hoja de verificación, los gráficos de control, el diagrama de Ishikawa y el (diagrama de flujo).



### 1.3.2 Cartas de control.

Las cartas de control son la herramienta más poderosa para analizar y controlar la variación en la mayoría de los procesos. Básicamente, una Carta de Control es un gráfico en el cual se representan los valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso continuo, y que sirve para controlar dicho proceso. Ejemplo: La industria del aserrío necesita trocería de longitudes comerciales (8, 10, 16, 20, 22 pies, etc.). Entonces, una característica importante de la trocería sería el control de la variabilidad de la longitud, ya que a partir de esta se determina la longitud de la madera aserrada. Si la trocería no llega a la medida comercial estandarizada la madera aserrada sufrirá una reducción de longitud lo que generara perdida de materia prima y de utilidades, si el tamaño excede en exceso la medida estándar, el costo de producción se encarece ya que se estará consumiendo más materia prima de la necesaria. El hecho de controlar la variabilidad en la longitud de la trocería nos permitiría asegurar la longitud de la madera aserrada y reducir el desperdicio resultante del proceso de dimensionado.

Todo proceso de fabricación funciona bajo ciertas condiciones o variables que son establecidas por las personas que lo manejan para lograr una producción satisfactoria.



Es una herramienta estadística que detecta la variabilidad, consistencia, control y mejora de un proceso.

La gráfica de control se usa como una forma de observar, detectar y prevenir el comportamiento del proceso a través de sus pasos vitales.

Así mismo nos muestra datos en una forma estática, tienen por supuesto sus aplicaciones, y es necesario saber sobre los cambios en los procesos de producción, la naturaleza de

estos cambios en determinado período de tiempo y en forma dinámica, es por esto que las gráficas de control son ampliamente probadas en la práctica.

### **Características Generales de las Gráficas de Control.**

El termino consistencia se refiere a la uniformidad en la salida del proceso; es preferible tener un producto de un proceso consistente, que tener uno con calidad superior, pero de un proceso intermitente.

Una gráfica de control se inicia con las mediciones considerando, sin embargo que las mediciones dependen tanto de los instrumentos, como de las personas que miden y de las circunstancias del medio ambiente, es conveniente anotar en las gráficas de control observaciones tales como cambio de turno, temperatura ambiente.

### **Tipos de Gráfica y Características Principales.**

Para construir una gráfica de control, es importante distinguir el tipo de datos a graficar pueden ser. Datos continuos, datos discretos, dicha gráfica dependerá del tipo de datos.

Para la utilización de las gráficas se requiere un procedimiento específico:

- Decidir la gráfica de control a emplear
- Construir gráficas de control para el control estadístico del proceso
- Controlar el proceso, si aparece una anomalía sobre la gráfica de control, investigar inmediatamente las causas y tomar acciones apropiadas.

## **GRÁFICAS DE VARIABLES**

Una grafica de control X-R, en realidad son dos gráficas en una, una representa los promedios de las muestras de la (gráfica X) y la otra representa los rangos (gráfica R), deben construirse juntas, ya que la gráfica X, nos muestra cualquier cambio en la media del proceso y la gráfica R nos muestra cualquier cambio en la dispersión del proceso, para determinar las X y R de las muestras, se basan en los mismos datos.

El uso particular de la grafica X-R es que nos muestra los cambios en el valor medio y en la dispersión del proceso al mismo tiempo, además es una herramienta efectiva para verificar anomalías en un proceso dinámicamente.

Algunos puntos importantes a considerar previo a la elaboración de esta gráfica son:

- Propósito de la gráfica

- Variable a considerar
- Tamaño de la muestra
- Tener un criterio para decidir si conviene investigar causas de variación del proceso de producción.
- Familiarizar a l personal con el uso de esta gráfica.

El proceso que se debe seguir para construir una grafica es:

La construcción de una gráfica de rangos y promedio resulta de formar una unidad, tanto de la gráfica de promedios como de la de rangos.

Consta de dos secciones, parte superior se dedica a los promedios, y la parte inferior a los rangos.

En el eje vertical se establece la escala, a lo largo del eje horizontal se numeran las muestras.

En la gráfica se relacionan estos promedios con los intervalos durante los cuales se tomaron las muestras. En el eje vertical se indican los valores correspondientes a los valores de muestras. En el eje horizontal se señalan los periodos de tiempo en los que se toman las muestras a semejanza que la de promedios.

La interpretación de esta grafica de promedio y rango seria que a partir de los datos de la grafica de promedios y rangos, podemos determinar el valor central del proceso y su aplicación.

Mediante este proceso está bajo control cuando no muestra ninguna tendencia y además ningún punto sale de los límites.

Se describen los distintos tipos de tendencia, que son patrones de comportamiento anormal de los puntos (inestabilidad o proceso fuera de control estadístico)

### **GRAFICA DE MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR**

Esta gráfica es el instrumento estadístico que sirve para estudiar el comportamiento de un proceso de manufactura, considerando como indicador la desviación estándar.

La estructura general, está constituida por dos porciones, una se destina al registro de los promedios de la característica de calidad en consideración y otra para controlar la variabilidad del proceso.

La ventaja de usar esta gráfica es que para estos valores de n la desviación estándar es más sensible a cambios pequeños que el rango.

Dentro del procedimiento de construcción para dicha grafica incluye cálculos de límites de control para las dos partes que constituyen la gráfica y la graficación de los promedios y desviaciones estándar obtenidos en cada subgrupo.

Es importante la variabilidad del proceso de control, al iniciar la construcción de la gráfica, si el proceso no muestra estabilidad estadística, entonces la parte correspondiente a los promedios no será confiable dado que los límites de control de  $\bar{X}$  dependen del valor medio de  $s$ .

### **GRAFICAS DE MEDIANAS Y RANGOS**

Es la herramienta estadística que permite evaluar el comportamiento del proceso a partir de la mediana y del rango. La estructura es la común a todas las gráficas de control para variables.

La parte superior registra el valor medio de las características de calidad en estudio, y la parte inferior indica la variabilidad de la misma.

El cálculo de la mediana, es muy sencillo, de modo que utilizar esta gráfica para monitorear el proceso es atractivo para el usuario.

El uso de esta gráfica en procesos que actualmente muestren estabilidad estadística. Como toda gráfica de control, el usuario obtendrá, de una manera continua, información rápida y eficiente del proceso en estudio; para verificar que el proceso continua en control o bien para reconocer la aparición de causas especiales de variación.

Para el procedimiento de construcción de esta gráfica es muy similar al de la gráfica de medias y rangos; estos es calculando los límites de control, luego se grafican los puntos y se integran los límites de control y líneas centrales, por último se efectúa la lectura de la gráfica, a fin de ver si el proceso continua estable o bien percibir alguna situación de anormalidad.

### **GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS**

Las características de calidad que no pueden ser medidas con una escala numérica, se juzga a través de un criterio más o menos subjetivo.

Los datos se presentan con periodicidad a la gerencia y con ellos se integran números índices, que son muy importantes en el desarrollo de una empresa, estos pueden referirse al producto, desperdicio rechazo de materiales.

Dentro de la clasificación de las características calidad por atributos se requiere:

- De un criterio

- De una prueba
- De una decisión

El criterio se establece de acuerdo con las especificaciones.

La prueba consiste en la operación que se realiza para averiguar la existencia o no del criterio establecido.

La decisión determina qué título debe darse a los productos, es decir si pasó o no pasa.

### **TIPOS DE GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS**

P Porcentaje de Fracción Defectiva

$np$  Número de Unidades Defectivas por muestra constante.

U Proporción de Defectos

C Número de Defectos por unidad

### **GRAFICAS P PORCENTAJE DE FRACCIÓN DEFECTIVA**

El porcentaje de artículos defectivos se expresa como fracción decimal para el cálculo de los límites de control.

La fracción sin embargo, se convierte generalmente en porcentaje cuando se transcribe en la gráfica y se usa en la presentación general de los resultados.

Las muestras que se utilizan para elaborar esta gráfica son de tamaño variable. Las muestras de tamaño grande permiten evaluaciones más estables del desarrollo del proceso y son más sensibles a cambios pequeños.

Se utiliza cuando no podemos tener el tamaño de muestra ( $n$ ) constante, en la práctica es muy común.

El defectivo son aquellas piezas que no cumplen con especificaciones y es causa de rechazo.

Los principales objetivos de la gráfica P son:

Poner a la atención de la dirección cualquier cambio en el nivel medio de calidad.

Descubrir los puntos fuera de control que indican modelos de inspección relajados.

Proporcionar un criterio para poder juzgar si lotes sucesivos pueden considerarse como representativos de un proceso.

Esto puede influir convenientemente en la severidad del criterio de aceptación.

## **GRÁFICA np NÚMERO DE UNIDADES DEFECTIVAS POR MUESTRA**

Esta gráfica es el instrumento estadístico que se utiliza cuando se desea graficar precisamente las unidades disconformes, y no el porcentaje que éstas representan, siendo constante el tamaño de la muestra.

Es necesario establecer la frecuencia para la toma de datos, teniendo en cuenta que los intervalos cortos permiten una rápida retroalimentación del proceso.

Los principales objetivos de la gráfica np son:

Conocer las causas que contribuyen al proceso

Obtener el registro histórico de una o varias características de una operación con el proceso productivo.

## **GRAFICA C NÚMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD**

La gráfica c estudia el comportamiento de un proceso considerando el número de defectos encontrados al inspeccionar una unidad de producto.

La gráfica hace uso del hecho de que artículo es aceptable aunque presente cierto número de defectos.

Los objetivos de la gráfica c son:

Reducir el costo relativo al proceso

Informar a los supervisores de producción y a la administración acerca del nivel de calidad.

Determinar qué tipo de defectos no son permisibles en un producto informar de la probabilidad de ocurrencia de los defectos en una unidad.

Estas gráficas deben utilizarse solo cuando el área de oportunidad de encontrar defectos permanece constante.

### **1.3.3 Diagramas de causa-efecto (Ishikawa).**

El Diagrama Causa-Efecto (Figura 6) es llamado usualmente Diagrama de "Ishikawa" porque fue creado por Kaoru Ishikawa, experto en dirección de empresas interesado en mejorar el control de la calidad; también es llamado "Diagrama Espina de Pescado" porque su forma es similar al esqueleto de un pez: Está compuesto por un recuadro (cabeza), una línea principal (columna vertebral), y 4 o más líneas que apuntan a la línea principal formando un ángulo aproximado de 70° (espinas principales). Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (espinas), y así sucesivamente (espinas menores), según sea necesario.

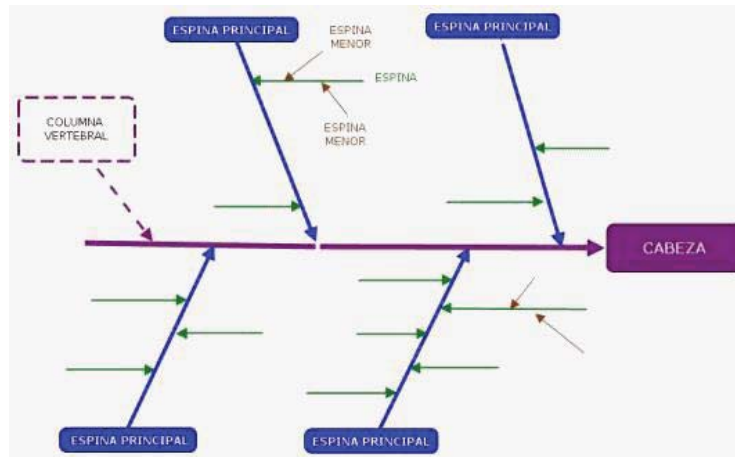


Figura 6. Diagrama de Ishikawa (Espinado de pescado, causa-efecto)

El Diagrama Causa-Efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como diagrama de Ishikawa (por su creador, el Dr. Kaoru Ishikawa, 1943), ó diagrama de Espina de Pescado y se utiliza en las fases de Diagnóstico y Solución de la causa.

El Profesor Dr. Kaoru Ishikawa nació en el Japón en el año 1915 y falleció en 1989. Se graduó en el Departamento de Ingeniería de la Universidad de Tokio. Obtuvo el Doctorado en Ingeniería en dicha Universidad y fue promovido a Profesor en 1960. Obtuvo el premio Deming y un reconocimiento de la Asociación Americana de la Calidad. Falleció el año 1989.

Fue el primer autor que intentó destacar las diferencias entre los estilos de administración japonés y occidentales. Precursor de los conceptos sobre la calidad total en el Japón. Posteriormente tuvo una gran influencia en el resto del mundo, ya que fue el primero en resaltar las diferencias culturales entre las naciones como factor importante para el logro del éxito en calidad. Era gran convencido de la importancia de la filosofía de los pueblos orientales.

Ishikawa estaba interesado en cambiar la manera de pensar de la gente respecto a su trabajo. Para él, la calidad era un constante proceso que siempre podía ser llevado un paso más. Hoy es conocido como uno de los más famosos "Gurús" de la calidad mundial. Todos quienes están interesados en el tema de la calidad deben estudiar a Ishikawa, pero no solamente de manera superficial, repasando sus planteamientos, sino analizando profundamente su concepción del trabajo y sobre todo aplicándola cada quien a su propio entorno.

El control de calidad, término tan usado hoy en día en todos los círculos académicos, fue un planteamiento de Ishikawa, más de 50 años atrás, en el Japón de la post guerra. El control de la calidad en pocas palabras fue definido por él como "Desarrollar, Diseñar, Manufacturar y Mantener un producto de calidad". Es posible que la contribución más importante de Ishikawa haya sido su rol en el desarrollo de una estrategia de calidad

japonesa. El no quería que los directivos de las compañías se enfocaran solamente en la calidad del producto, sino en la calidad de toda la compañía, incluso después de la compra. También predicaba que la calidad debía ser llevada más allá del mismo trabajo, a la vida diaria.

Fue fundador de la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (Union of Japanese Scientists and Engineers, UJSE ), entidad que se preocupaba de promover la calidad dentro de Japón durante la época de la post-guerra.

Ishikawa hizo muchas aportaciones, entre las cuales se destacan:

- Creación del diagrama causa-efecto, o espina de pescado de Hishikawa, o en inglés "Fishbone Diagram"
- Demostró la importancia de las 7 herramientas de calidad.
- Ttrabajó en los círculos de calidad.

Su concepción conceptual al concebir su Diagrama Causa-Efecto (Espina de Pescado de Ishikawa) se puede resumir en que cuando se realiza el análisis de un problema de cualquier índole y no solamente referido a la salud, estos siempre tienen diversas causas de distinta importancia, trascendencia o proporción. Algunas causas pueden tener relación con la presentación u origen del problema y otras, con los efectos que este produce.

El diagrama de Ishikawa ayuda a graficar las causas del problema que se estudia y analizarlas. Es llamado "Espina de Pescado" por la forma en que se van colocando cada una de las causas o razones que a entender originan un problema. Tiene la ventaja que permite visualizar de una manera muy rápida y clara, la relación que tiene cada una de las causas con las demás razones que inciden en el origen del problema. En algunas oportunidades son causas independientes y en otras, existe una íntima relación entre ellas, las que pueden estar actuando en cadena.

La mejor manera de identificar problemas es a través de la participación de todos los miembros del equipo de trabajo en que se trabaja y lograr que todos los participantes vayan enunciando sus sugerencias. Los conceptos que expresen las personas, se irán colocando en diversos lugares. El resultado obtenido será un Diagrama en forma de Espina de Ishikawa.

Ideado en 1953 se incluye en él los siguientes elementos:

El problema principal que se desea analizar, el cual se coloca en el extremo derecho del diagrama. Se aconseja encerrarlo en un rectángulo para visualizarlo con facilidad.

Las causas principales que a nuestro entender han originado el problema.



Gráficamente está constituida por un eje central horizontal que es conocida como "línea principal o espina central". Posee varias flechas inclinadas que se extienden hasta el eje central, al cual llegan desde su parte inferior y superior, según el lugar adonde se haya colocado el problema que se estuviera analizando o descomponiendo en sus propias causas o razones. Cada una de ellas representa un grupo de causas que inciden en la existencia del problema. Cada una de estas flechas a su vez son tocadas por flechas de menor tamaño que representan las "causas secundarias" de cada "causa" o "grupo de causas del problema".

El Diagrama que se efectúe debe tener muy claramente escrito el nombre del problema analizado, la fecha de ejecución, el área de la empresa a la cual pertenece el problema y se puede inclusive colocar información complementaria como puede ser el nombre de quienes lo hayan ejecutado, etc.

#### **Elementos claves del pensamiento de Ishikawa:**

- La calidad empieza con la educación y termina con la educación.
- El primer paso a la calidad es conocer lo que el cliente requiere.
- El estado ideal de la calidad es cuando la inspección no es necesaria.
- Hay que remover la raíz del problema, no los síntomas.
- El control de la calidad es responsabilidad de todos los trabajadores.
- No hay que confundir los medios con los objetivos.
- Primero poner la calidad y después poner las ganancias a largo plazo.
- El comercio es la entrada y salida de la calidad.
- Los altos ejecutivos de las empresas no deben de tener envidia cuando un obrero da una opinión valiosa.
- Los problemas pueden ser resueltos con simples herramientas para el análisis.
- Información sin información de dispersión es información falsa.

La teoría de Ishikawa era manufacturar todo a bajo costo. Postuló que algunos efectos dentro de empresas que se logran implementando el control de calidad es la reducción de precios, bajar los costos, establecer y mejorar la técnica, entre otros.

No es en vano que a Ishikawa se le deba mucha gratitud por sus ideas que revolucionaron el mundo de la industria, la administración, el comercio y los servicios. De su capacidad y sus teorías se nutrió el Japón y llegó a ser lo que todos vemos hoy día.

#### **1.3.4 Diagramas de Pareto (80-20).**

Wilfredo Pareto (Paris 1848 – Turín 1923) economista italiano, realizó un estudio sobre la riqueza y la pobreza. Descubrió que el 20% de las personas controlaba el 80% de la riqueza en Italia. Pareto observó muchas otras distribuciones similares en su estudio.

A principios de los años 50, el Dr. Joseph Juran descubrió la evidencia para la regla de "80-20" en una gran variedad de situaciones. En particular, el fenómeno parecía existir sin excepción en problemas relacionados con la calidad. Una expresión común de la regla 80/20 es que "el 80% de nuestro negocio proviene del 20% de nuestros clientes."

Por lo tanto, el Análisis de Pareto es una técnica que separa los "pocos vitales" de los "muchos triviales". Una Gráfica Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar.

El Diagrama de Pareto (Fig. 7) consiste en un gráfico de barras similar al histograma que se conjuga con una ojiva o curva de tipo creciente y que representa en forma decreciente el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores que afectan a un proceso, operación o resultado.

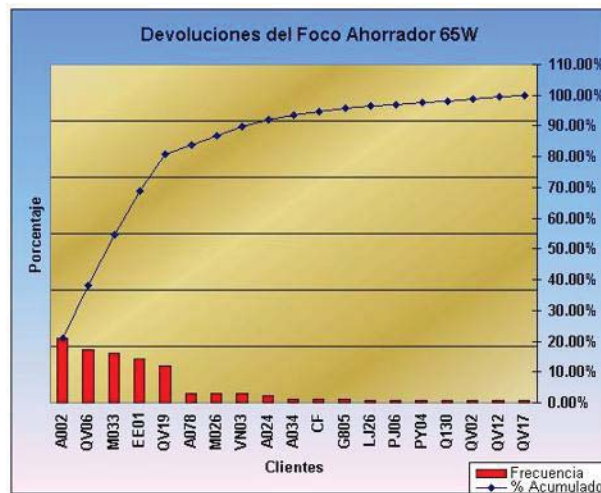


Figura 7. Diagrama de Pareto

### 1.3.5 Desempeño del aserradero (Sawmill Performance).

Son una serie de metodologías estadísticas que ayudan a determinar el estado actual del desempeño del aserradero. Las técnicas que se usan para este son:

- Toma de tiempos muertos
- Capacidad de cortes por minuto
- Tiempos y movimientos en la sierra principal
- Grado de recuperación de fibra

### 1.3.6 Control del dimensionado de la madera (LSC)

La razón por la cual los costos de producción se incrementan o disminuyen en la madera aserrada es derivada de la precisión del tamaño sobre todo en el grueso<sup>3</sup> del producto aserrado, si la precisión se deteriora y la exactitud de alimentación se hace más pobre, el resultado será un incremento de consumo de materia prima. Entre más alto sea el costo de la materia prima, más importante será este punto de vista, ya que cambios muy pequeños deciden si un aserradero muestra un beneficio financiero o una pérdida.

Por ello el objetivo primordial de cualquier programa de control de calidad será minimizar la suma de tres rubros: ancho de diente, variación de asierre (desviación estándar) y aspereza. Es muy importante entender la variación de asierre y como éste y otros factores determinan el tamaño meta áspero verde.

A fin de poder obtener el tamaño neto terminado demandado de madera seca cepillada (aún cuando el mercado nacional no utiliza toda la madera seca, ésta debe contener el mismo " refuerzo" en general), el aserrío debe ser realizado con un cierto exceso de tamaño, dependiendo de la pérdida por cepillado, pérdida por encogimiento y pérdidas debidas a variaciones de aserrío.

Un tamaño meta correctamente calculado puede significar considerables ahorros para el aserradero. Un tamaño meta excesivo resulta en pérdidas considerables durante el cepillado y un tamaño meta demasiado pequeño significa que muchas piezas se queden fuera de grado con la consiguiente pérdida. Una medida primaria es determinar estadísticamente un tamaño meta que sea realmente necesario y después verificar los cambios en precisión del tamaño, así como tratar de mejorarlo.

#### A) CEPILLADO.

Superficies más lisas en los productos aserrados pueden significar reducción de pérdidas por cepillado. Entre mas áspera sea la superficie, requerirá una mayor cantidad de cepilladas. En forma de ejemplo puede mencionarse que en la mayoría de los aserraderos las mejoras pueden realizarse reducciones en la variación permisible en el ancho del diente dado por el suaje.

El cuidado de la sierra es fundamental para la obtención de superficies regulares y lisas, ya que el desafilado, la pérdida de tensionado, ó una baja velocidad de alimentación pueden provocar rugosidades e irregularidades sobre la superficie de la madera dimensionada. Actualmente se acostumbra dar un ancho de diente equivalente a 1/8" (0.125 pulg.) en general para el asierre de coníferas aún cuando este podría reducirse un poco, para ello

---

<sup>3</sup> El corte en el grueso es en donde más pérdida de madera (aserrín) se genera, para poder obtener una pieza dimensionada con un ancho de 12 pulgadas es necesario realizar dos cortes en los cuales se pierde 1 pie tabla (1/8 de pulgada de grueso por 12 pulgadas de ancho por 8 pies de largo) en cada uno de ellos.

sería necesario contar con un igualado más preciso en los dientes, así como dar una mayor tención a la sierra una vez puesta en la maquina.

Para establecer un tamaño meta áspero verde, suficiente madera debe agregarse al tamaño final para permitir el cepillado. Cuando se evalúan los tamaños meta desde el punto de vista estadístico, el cepillado permitido será la cantidad total de fibra removida por los cabezales de la cepilladora, ya sea estas de las caras o de los lados. Se asume que la cantidad de fibra removida será igual en cada cara o en las orillas, si los tamaños meta son evaluados estadísticamente el cepillo deberá ajustarse de manera que, del total permitido por cepillado, aproximadamente la mitad sea tomado de cada lado y de arriba a abajo.

## B) ENCOGIMIENTO.

Cuando el árbol está en pie esta almacena el agua dentro de los tejidos de la madera de tres formas distintas, el agua libre ocupa los lúmenes de las fibras, por lo tanto cuando esta es desplazada la cavidad es llenada de aire lo cual no afecta el tamaño de las células, pero el agua de saturación forma parte de la pared celular, así que cuando esta comienza a perderse empiezan a ocurrir cambios dimensionales en las paredes de las fibras, cabe señalar que este es un proceso reversible la madera tiene la capacidad de perder o absorber humedad (es un material higroscópico<sup>4</sup>) inclusive esto después de que haya sido tratada y puesta en servicio.

Una vez derribado el árbol la madera comienza a perder humedad. Cuando la madera llega a estar por debajo de aproximadamente un 30% de contenido de humedad (PSF<sup>5</sup>), empieza a encogerse<sup>6</sup>. Esta continúa encogiéndose en forma esencialmente lineal hacia abajo hasta 0% de contenido de humedad. Es por esto que se debe incluir una cantidad adicional de madera para compensar la pérdida por encogimiento en los cálculos para determinar el tamaño meta áspero verde.

Para poder estimar la cantidad de encogimiento que puede ocurrir durante el secado, debe conocerse el contenido de humedad final aproximado al cual será secada la madera.

---

<sup>4</sup> Es la capacidad de algunos materiales de absorber o ceder humedad al medioambiente

<sup>5</sup> El punto de saturación de la fibra se da cuando la fibra ha perdido toda la humedad de los lúmenes y únicamente quedan en ellas el agua de saturación y la de constitución.

<sup>6</sup> En términos de cambios de volumen, la madera se contrae aproximadamente un 11% (este porcentaje varía de 7 a 14% dependiendo de la especie) desde su punto de saturación de la fibra (PSF) hasta un estado completamente anhidro. Los cambios dimensionales obedecen al carácter anisotrópico de la madera y estos no se dan equitativamente, el eje longitudinal es el que menores cambios presenta, alrededor de 0.3 a 0.1% de contracción (tomando en cuenta desde el PTS hasta estado anhidro). Las contracciones más grandes y significativas se dan en el eje tangencial que van alrededor de 7%, mientras que en el eje radial son de 4.5 a 5% esto dependiendo de la especie.

Se acostumbra utilizar el encogimiento longitudinal como la base para determinar la cantidad de encogimiento que ocurrirá debido a que la madera encoge más en esta dirección.

Después de secada la madera, debe ser suficientemente gruesa o ancha de manera que pueda ser cepillada sin perder las dimensiones comerciales debido a su delgadez o baja de tamaño y continuar siendo del tamaño final requerido. Una cantidad igual a la que se va a perder en grosor durante el secado debe ser agregada a la suma del tamaño final más la tolerancia para cepillado.

### C) VARIACION DE ASIERRE

La madera dimensionada puede variar en el grosor tanto como una pulgada (cuando una sierra "ondulea") hasta tan poco como unas pocas milésimas de pulgada. Evaluar la cantidad de variación en asierre que ocurre durante el proceso de aserrío es esencial, no sólo para determinar el tamaño meta áspero verde sino también para evaluar la ejecución del centro de máquinas.

La madera puede variar en grosor a lo largo de su longitud. Esto es comúnmente llamado "Variación de asierre dentro de la tabla" (Sd). La madera puede también variar en grosor o ancho de una tabla a otra. Esto es comúnmente conocido como "variación de asierre entre tablas" (Se). Juntas Sd y Se hacen lo que se conoce como " variación total de aserrío " (St).

Para poder estimar el grosor meta (tamaño meta final) se necesita conocer el tamaño final<sup>7</sup> (F), requerimiento de cepillado (C), por ciento de encogimiento (E), variación de asierre (St) y un factor de subtamaño (Z) basado en el porcentaje de dispersión, permitido. Combinando todos estos factores ya explicados antes, el tamaño meta (M) puede ser estimado mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{F + C}{1 - \frac{E}{100}} + (Z \times St)$$

#### 1.3.7 Capacidad de proceso.

La Capacidad del proceso es una propiedad medible de un proceso que puede calcularse por medio de índices (Cp, Cpk, K, Cpm). Estos índices muestran el control que se tiene sobre la variabilidad de la producción, además ayudan a visualizar la necesidad de mejoras para reducir dicha variabilidad.

El producto resultante de un proceso suele tener, al menos, una o más características medibles que se usan para especificar el resultado. Estas pueden analizarse de forma

---

<sup>7</sup> Este definido por las características comerciales que debe de llevar el producto dimensionado, por ejemplo ¾, 1¼, 1½, 2 pulgadas, etc

estadística, si los datos del resultado muestran una distribución normal. Solo entonces tiene sentido buscar un valor intermedio y una desviación estándar.

Se debe establecer un proceso con un control adecuado. Un análisis del proceso se usa para determinar si el proceso está bajo control estadístico. Si el proceso no está bajo control estadístico entonces no tiene sentido hacer cálculos sobre su capacidad. La capacidad del proceso solo involucra una variación de causas comunes y no variaciones de causas especiales.

Para poder medir la capacidad de un proceso es necesario obtener el promedio del proceso y la desviación estándar, estas se calculan a partir de las mediciones tomadas a este. Con una distribución normal las colas pueden extenderse mucho más allá de las desviaciones de más/menos 3 veces la desviación estándar, pero este intervalo debería contener alrededor del 99.73% de los resultados de producción. Por ello, para una distribución normal de los datos, la capacidad del proceso a menudo se describe como la relación entre seis desviaciones estándar y la especificación requerida.

#### **Índice de Capacidad del proceso (Cp).**

También llamado **ratio de capacidad del proceso**, es un cálculo estadístico que se realiza para determinar la capacidad del proceso para producir un resultado dentro de unos límites predefinidos (ES, límite ó extremo superior y EI, límite inferior).

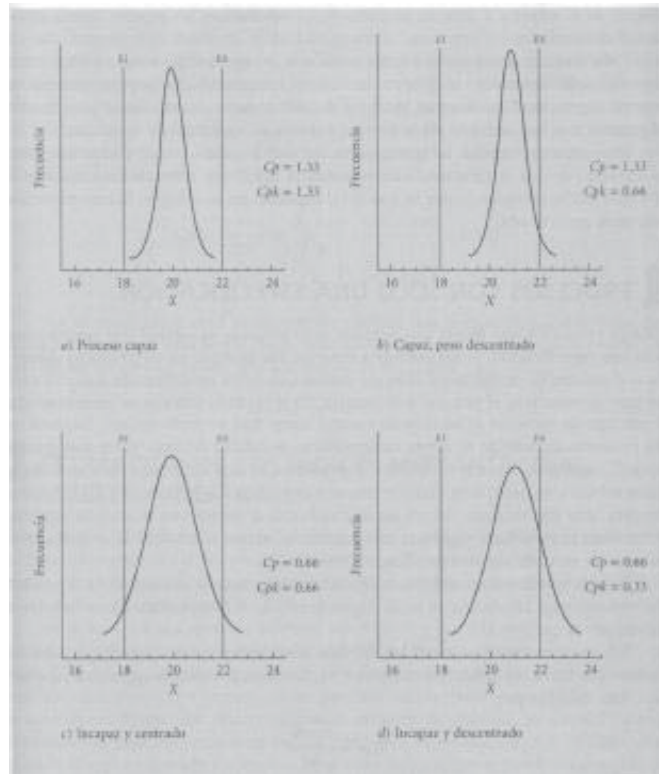
$$Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

La letra  $\sigma$  representa la desviación estándar de las características de calidad que se miden al producto.

El Cp compara el rango de variación de las especificaciones con la amplitud de la desviación estándar del proceso medida esta última a través de una característica<sup>8</sup> de calidad del producto. Si la variación del proceso es mayor que el rango de variación de las especificaciones el Cp será menor que 1. De esta forma, si el valor de Cp es menor que 1 es evidencia de que no se está cumpliendo con las especificaciones. Por el contrario, si el índice Cp es mayor que 1, entonces se tendrá la certidumbre de que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones. En la tabla xx se muestran los valores establecidos y aceptados a nivel mundial para determinar el estado de capacidad de un proceso.

---

<sup>8</sup> En una amplitud de  $6\sigma$  ( $\mu \pm 3\sigma$ ) se encuentran el 99.73% de los valores de una característica de calidad que presenta una distribución normal.



Si al analizar el resultado del proceso se encuentra que su capacidad no es igual o cercana a las tolerancias, existen tres acciones que se pueden seguir: modificar el proceso, ampliar los límites de tolerancia del proceso (ES y EI) o la menos recomendable que sería inspeccionar el 100% de los productos. Por otro lado, si hay capacidad excesiva, ésta puede ser aprovechada, por ejemplo vendiendo la precisión (brindar el servicio de aserrío garantizando bajos costos de transformación), vendiendo la capacitación

## *Capítulo 2.*

---

Metodología para diagnosticar la variabilidad en el proceso de producción de un aserradero.



## **2.1 Trocería (Materia prima).**

### **2.1.1 Características de la trocería.**

Para la determinación de las características de la materia prima se consultaron los programas de manejo forestal autorizados por la SEMARNAT, así como la información de los encargados del aserradero. Además, se realizó una inspección visual de las trozas para determinar su calidad, conicidad y curvaturas.

### **2.1.2 Variabilidad en diámetros y longitudes**

#### Dispersión diamétrica.

Para ello se realizó la selección y medición de 125 trozas de 3 de las longitudes más usadas en el aserradero (8, 10, 16)

#### Longitud.

Para la longitud se seleccionaron 105 trozas de 10 y de 16 pies respectivamente.

## **2.2 Aserrío (Proceso).**

### **2.2.1 Características del aserradero.**

Para conocer las características del aserradero se llenaron dos formatos. En el primero de ellos (Anexos: Formato 1) se recopilaron los datos de la maquinaria existente en el aserradero, como tipo de máquina, ancho de sierra usada, calibre de la sierra, diámetro de las poleas de los motores, caballaje de los motores. etc. En el segundo de los formatos (Anexos: Formato 2) se recolectó la información referente al número de personal que intervienen en el aserradero, así como de las actividades y responsabilidades que estos tienen.

Además, se elaboró un diagrama de flujo (Diagrama de Ishikawa del tipo flujo del proceso) para mostrar de forma gráfica la forma en la que normalmente se lleva a cabo el proceso de aserrío en el aserradero analizado.

Material y equipo que se usó:

- λ Formatos
- λ Flexometro
- λ Vernier
- λ Cámara digital

## **2.2.2 Análisis de tiempos por centro de maquinas**

La variabilidad natural de un proceso de producción es la suma de la variabilidad individual de cada uno de los centro de maquinas que intervienen en dicho proceso, por ello, es importante estudiar de forma individual cada uno de estos centros, para detectar de forma más precisa el origen u orígenes de esta variación.

Los centros de maquinas que se analizaron en el aserradero fueron la Sierra Principal, la Reaserradora, la Desorilladora y el Péndulo

### **2.2.2.1 Tiempo muerto.**

Para este estudio se midieron tiempos en cada uno de los centros de maquinas analizados, el lapso de tiempo medido fue de periodos de 40 minutos, en cada uno de los minutos que duro la toma de datos se registrara si la maquina estaba en operación, si esta se detenía se registraba la causa por la cual se estaba generando el tiempo muerto. Estas mediciones se hicieron por lo menos dos veces al día. Esto se hizo durante los 9 meses que duro el estudio, eligiendo aleatoriamente la semana, la hora y el día en que se elaboraron los registros. Los datos que se registraran fueron los siguientes (Anexos. Formato 5):

1. Maquinaria está produciendo (funcionamiento normal)
2. Causa del tiempo muerto-maquinaria
3. Causas del tiempo muerto-operador
4. Improductividad debido a la baja capacidad de la maquina ó viceversa (Improductividad por la alta capacidad de la maquinaria-cuello de botella).

En el caso de que la maquinaria se detuviera por algún motivo se debían indicar las razones por las cuales había ocurrido el tiempo muerto (Esto para los pasos 2,3 y 4).

Material y equipo que se uso:

- λ Formatos
- λ Cronometro

### **2.2.2.2 Capacidad de cortes por minuto**

Para ello se uso la misma metodología del punto anterior, al mismo tiempo que se tomaban los datos correspondientes a si la maquina se encontraba operando o no se iban contando el numero de cortes producidos en cada uno de los minutos y apuntandolo en el formato en el recuadro correspondiente, esto durante el tiempo en el cual era analizada la estación de trabajo.

### 2.2.2.3 Tiempos y movimientos en la sierra principal

En todo proceso de producción existe una o varias estaciones de trabajo que dictan el ritmo de producción del proceso, en el caso del aserrío la maquinaria que lleva este ritmo es la sierra principal, ya que de la velocidad y tipo de cortes que esta haga dependerá la carga de trabajo que reciban los centros de maquinas siguientes (reaserradora, desorilladora y péndulo).

Para poder realizar el análisis de los tiempos y movimientos de la sierra principal se seleccionaron 125 trozas de las 3 longitudes (8, 10 y 16 pies respectivamente) más comúnmente usadas en el aserradero. Los datos que se registraron fueron los siguientes (Anexos: Formato xx):

1. Diámetro de la trocería
2. Tiempo de carga de la troza en el carro.
3. Tempo de volteo (en cada una de las caras)
4. Tiempo total por carga y volteo
5. Tiempo de corte<sup>1</sup>
6. Tiempo total de aserrío de la troza
7. Número de cortes hechos

En este estudio fue necesario el uso de un cronometro adicional. El primero se uso para tomar los tiempos de carga y volteo, el segundo fue usado para llevar el tiempo total de aserrío de la troza.

Material y equipo que se uso:

- λ Formatos
- λ Flexometro
- λ Vernier
- λ Cámara digital
- λ Dos cronómetros

## 2.3 Madera Aserrada (Producto)

### 2.3.1 Control del dimensionado de la madera aserrada.

Para la evaluación del control del dimensionado se midió el grosor de 40 piezas de los 4 productos<sup>2</sup> que comúnmente comercializa el aserradero.

---

<sup>1</sup> El tiempo de corte se obtiene restando el tiempo total por carga y volteo al tiempo total de aserrío de la troza

<sup>2</sup> Madera aserrada de:

1 pulgada de grueso por 10 pies de longitud

1 pulgada de grueso por 16 pies de longitud

1.5 pulgadas de grueso por 16 pies de longitud

A cada una de las piezas de la muestra se le hicieron mediciones en el grueso con el vernier a cada 2' pies como se muestra en la figura 8. La información fue anotada en el formato creado para este propósito (Anexos. Formato 4). Estas mediciones se realizaron únicamente en la madera aserrada proveniente de la sierra principal.

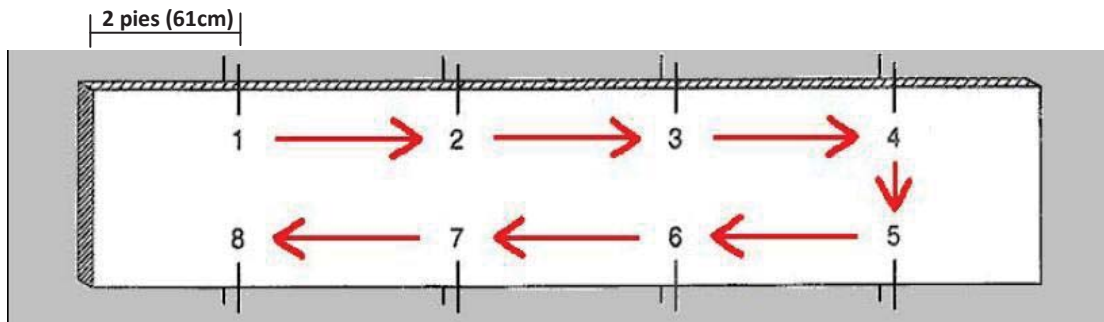


Figura 8. Con esta metodología puedes ver la variabilidad dentro de la tabla (Sd) y la variabilidad entre piezas (Se)

Material y equipo que se usara:

- λ Formatos
- λ Flexometro 5mts
- λ Vernier de 6 y 12"
- λ Cámara digital
- λ Calculadora
- λ Pintura de aceite (Aerosol)

---

1 pulgada de grueso por 20 pies de longitud

## *Capítulo 3*

---

**Resultados De La Aplicación De Las Metodología En  
Un Aserradero Convencional En El Estado De  
Michoacán.**

### 3.1 Trocería.

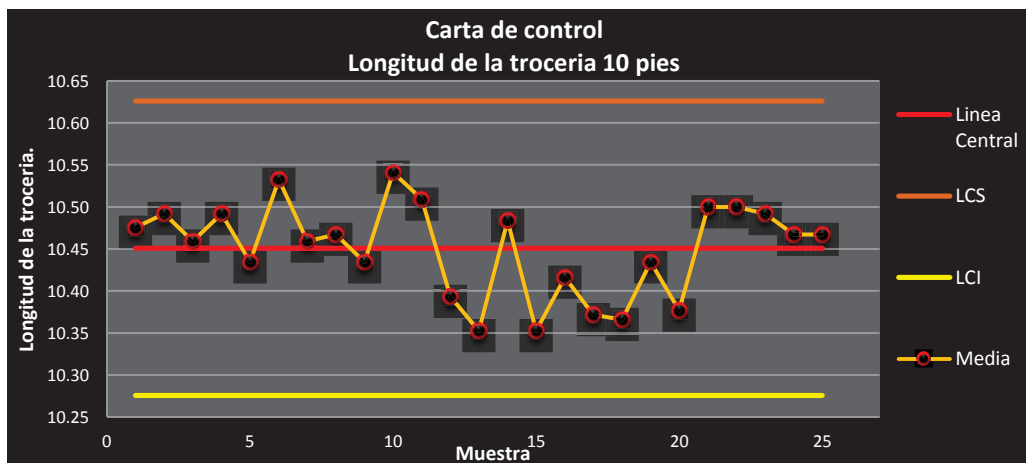
#### Características.

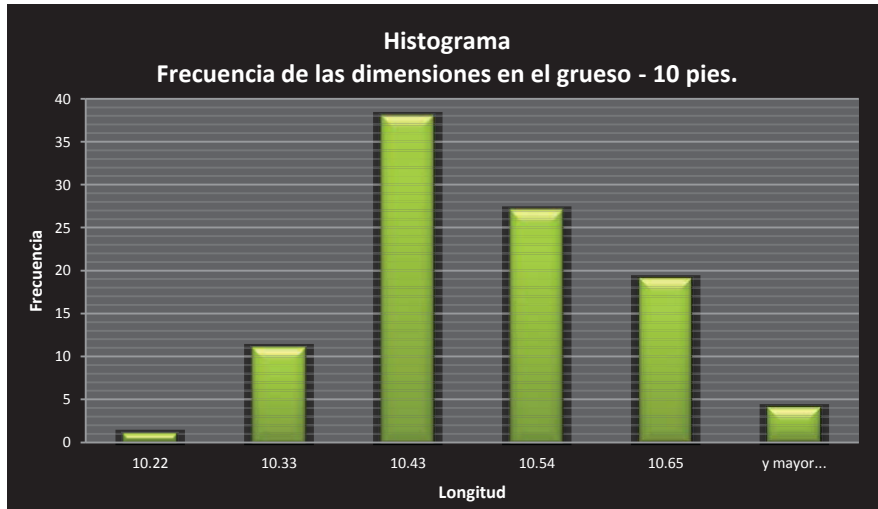
Se encontró una mezcla homogénea de trocería de *Pinus spp*, en la cual se encontraron las siguientes especies: Pino canis (*Pinus Pseudostrobus*), Pino lacio (*P.michoacana*), Pino lacio (*P. montezumae*), y Oyamel en longitudes de 20 pies (*Abies religiosa*).

Debido a que la comunidad de San Juan Nuevo cuenta una industria para la obtención de brea y aguarrás la mayor parte de las zonas de manejo y aprovechamiento forestal se encuentran bajo resinación, lo que provoco que la calidad de la trocería analizada en el aserradero de la comunidad se viera afectada considerablemente por este hecho, pues en algunos casos (sobre todo en trocería de 8 pies) la trocería existente en el patio del aserradero presentaba 4 canales de resinación en los cuales a veces el tamaño del canal de resinación era del tamaño de la longitud de la troza. En general las trozas estudiadas presentaron poca conicidad y poca curvatura.

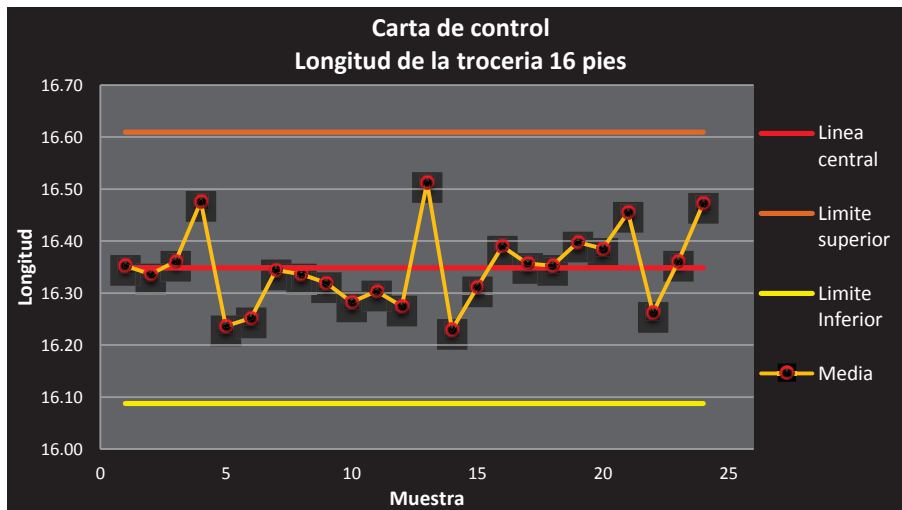
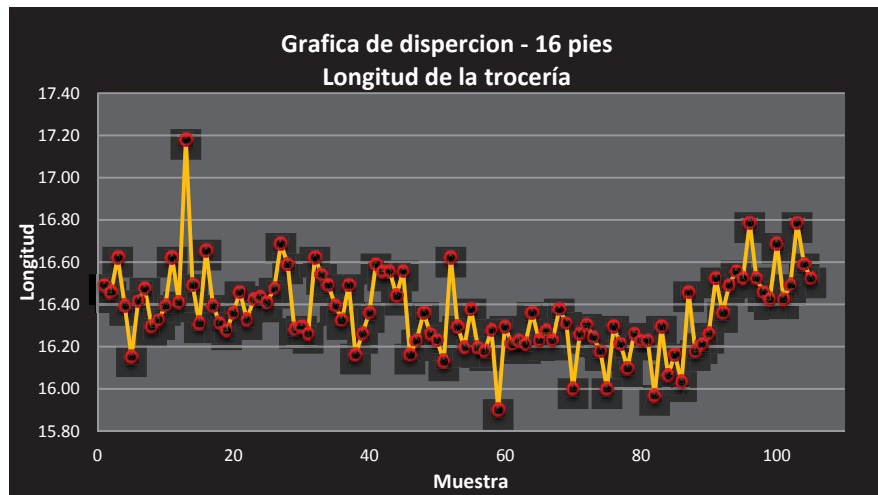
#### Variabilidad de longitudes.

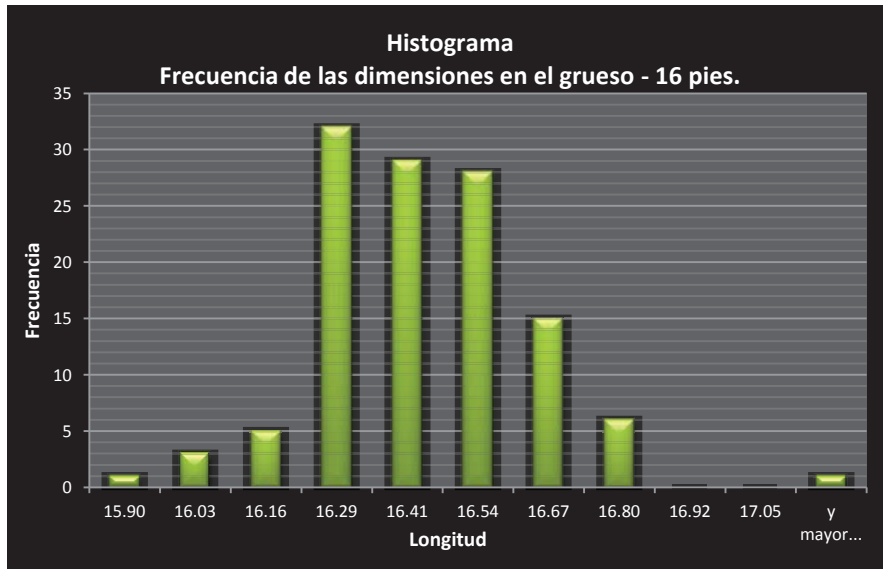
Se encontraron en el aserradero 4 longitudes distintas, siendo las más constantes la de 10 y 16 pies, las otras dos longitudes encontradas fueran en 8 y 20 pies.





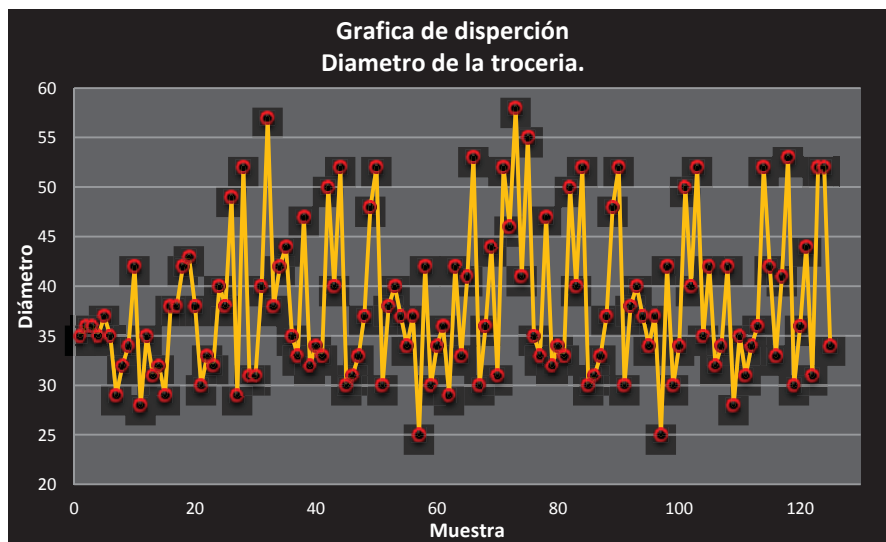
Para 16 pies:



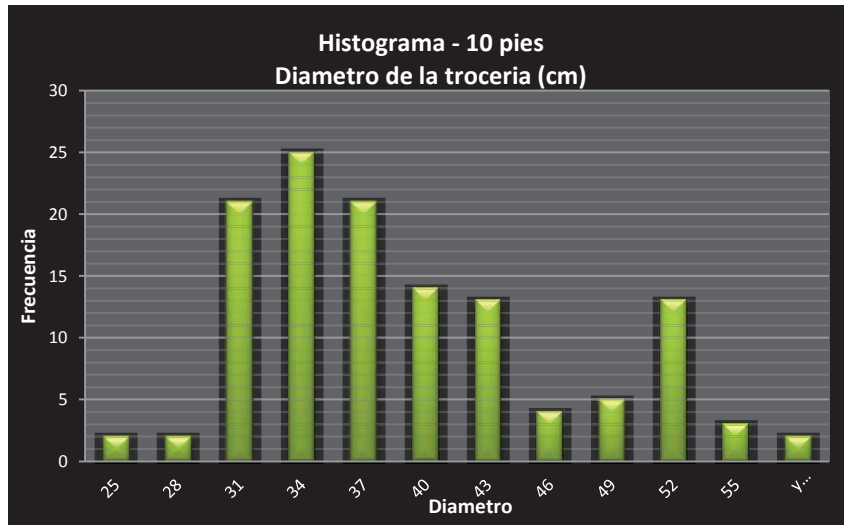


### Variabilidad diamétrica.

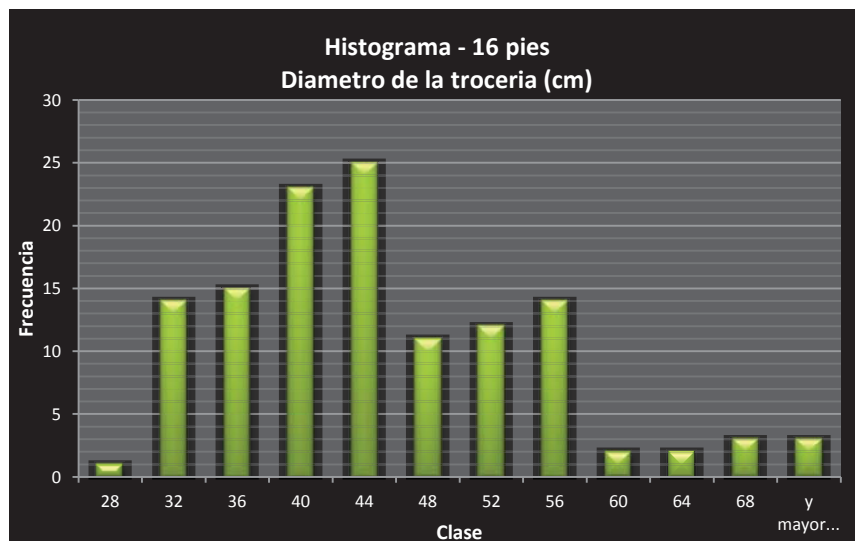
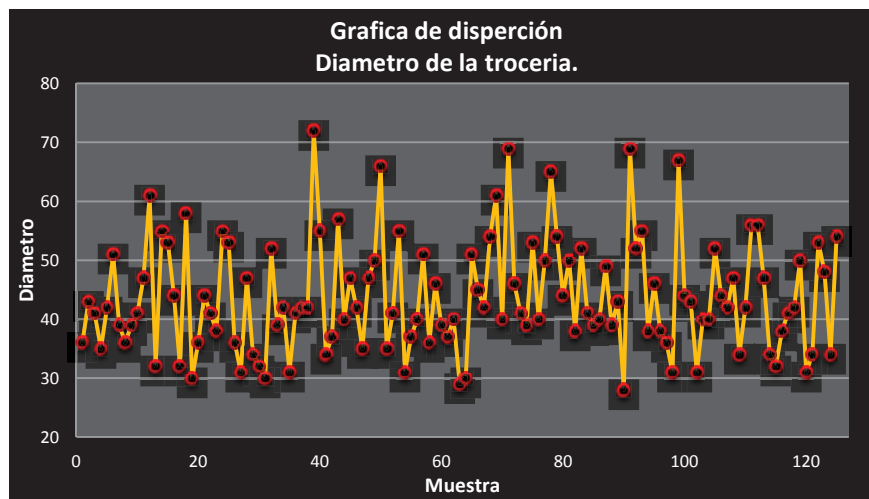
Para 10 pies los resultados arrojaron un diámetro promedio de 38.22







En 16 pies el diámetro promedio fue de 43.7



### 3.2 Aserrío.

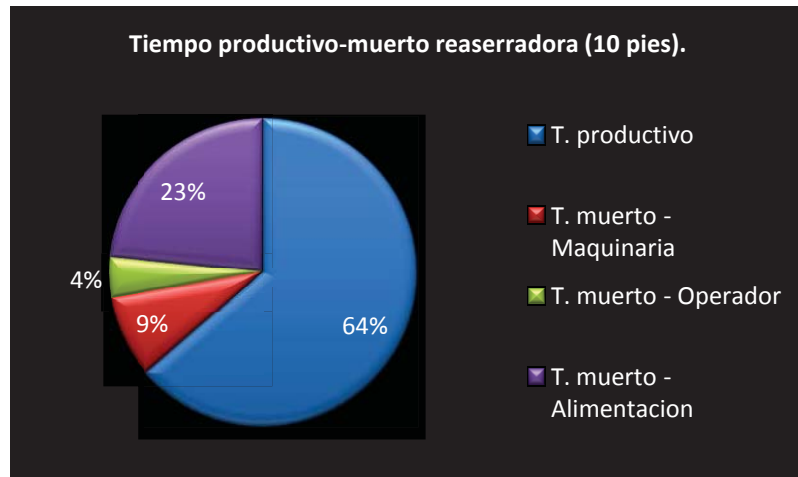
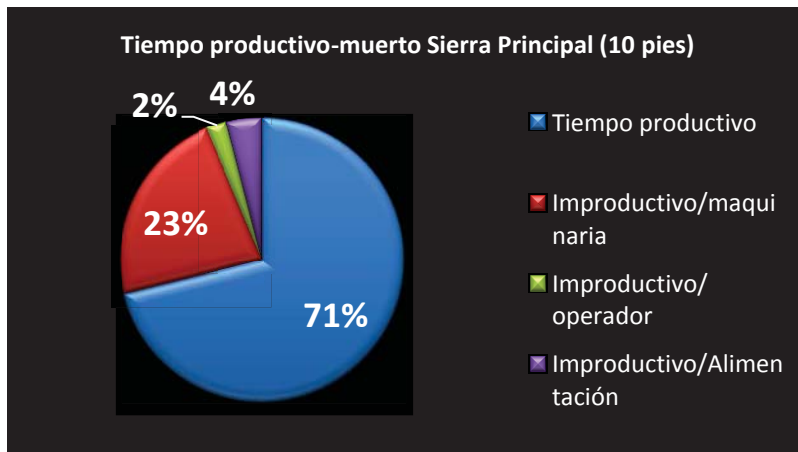
#### Características del aserradero.

Aserradero convencional con torre de 5 pulgadas, volantes de 1 metro de diámetro y carro porta troza con capacidad de carga de hasta 20 pies.

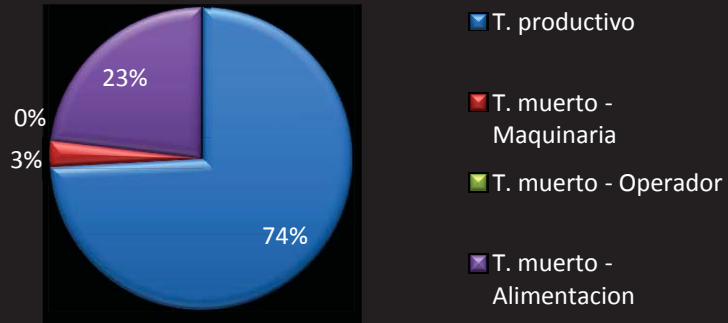
#### Análisis de tiempos por centro de maquinas:

#### Tiempos muertos.

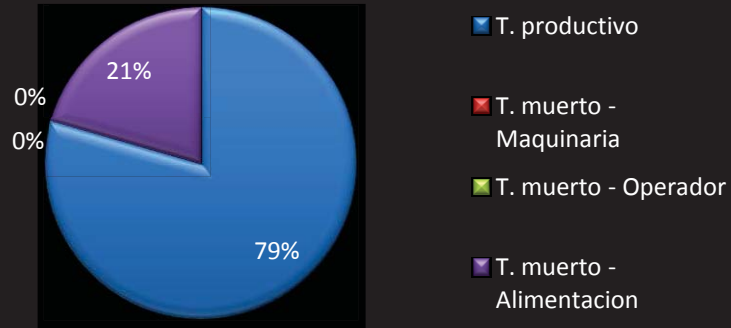
Para 10 pies



Tiempo productivo-muerto desorilladora (10 pies).



Título del gráfico

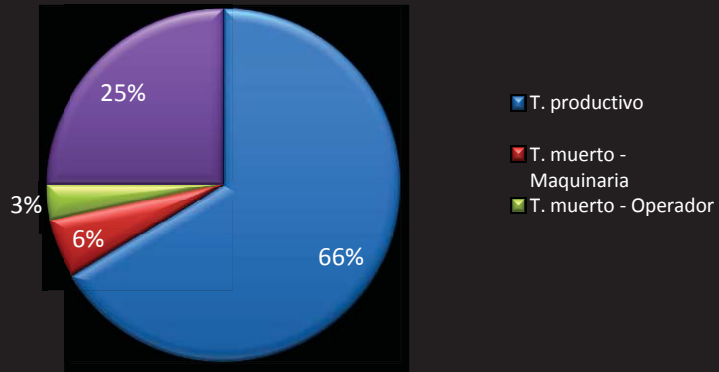


Para 16 pies.

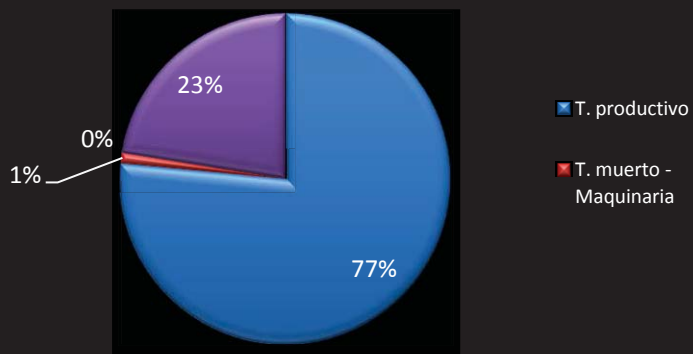
Tiempo productivo-muerto Sierra principal (16 pies).



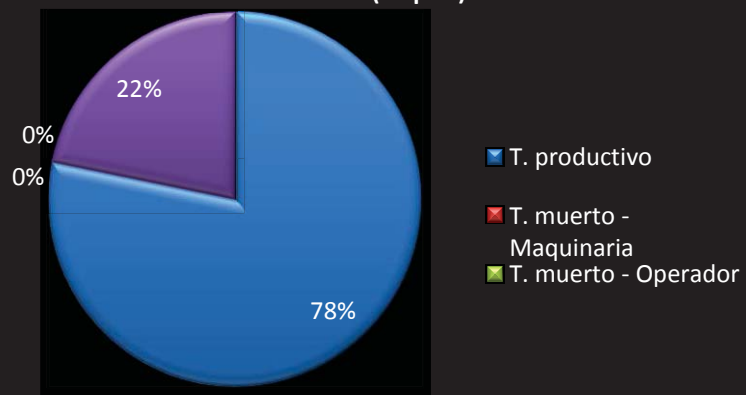
Tiempo productivo-muerto  
Reaserradora (16 pies).



Tiempo productivo-muerto  
Desorilladora (16 pies).



Tiempo productivo-muerto  
Pendulo (16 pies).

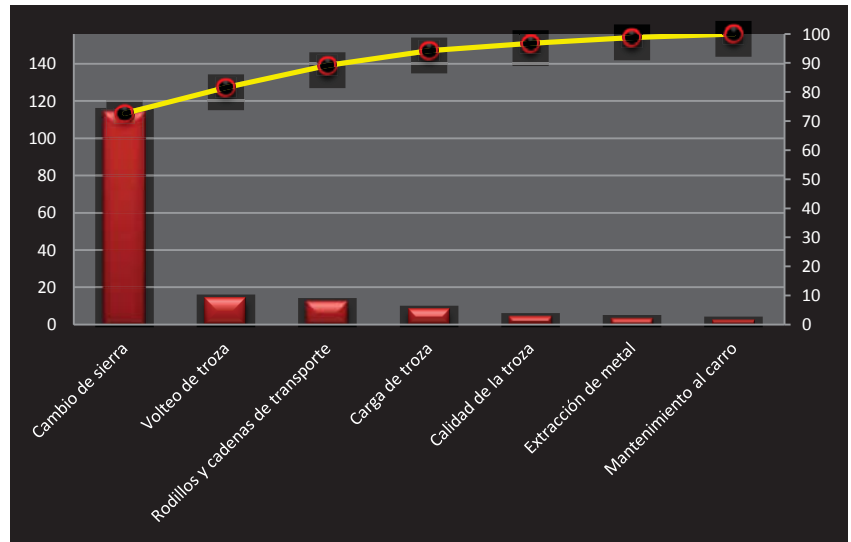


## Diagramas de Pareto.

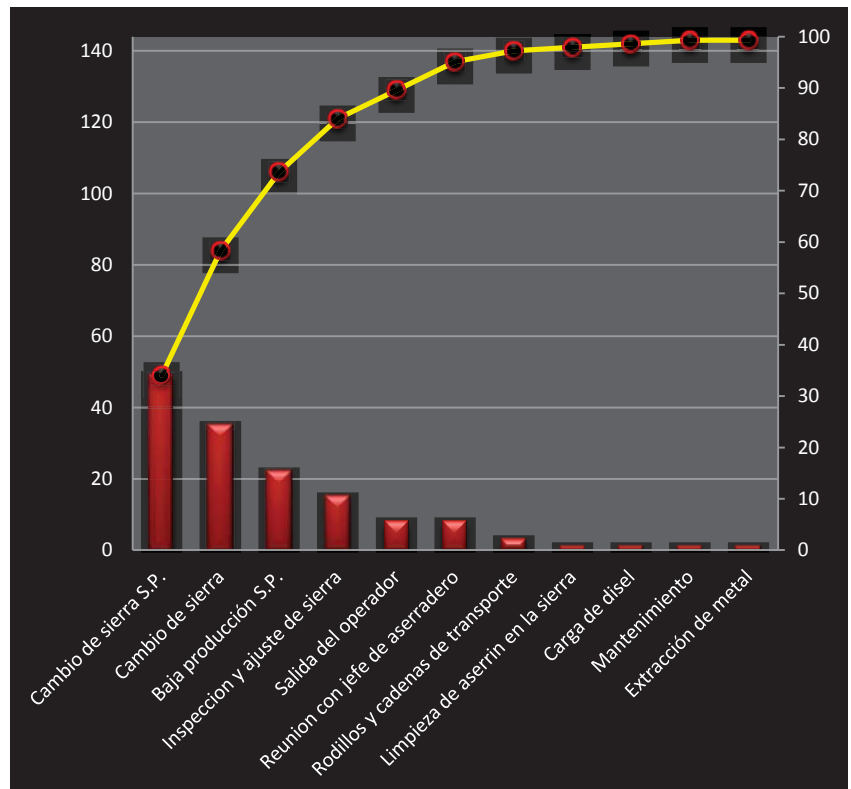
La metodología del diagrama de Pareto se aplico en 4 estaciones de trabajo (Sierra principal, Reaserradora, Desorilladora y Péndulo), en las dos longitudes de trocería más comunes del aserradero.

### 10 pies.

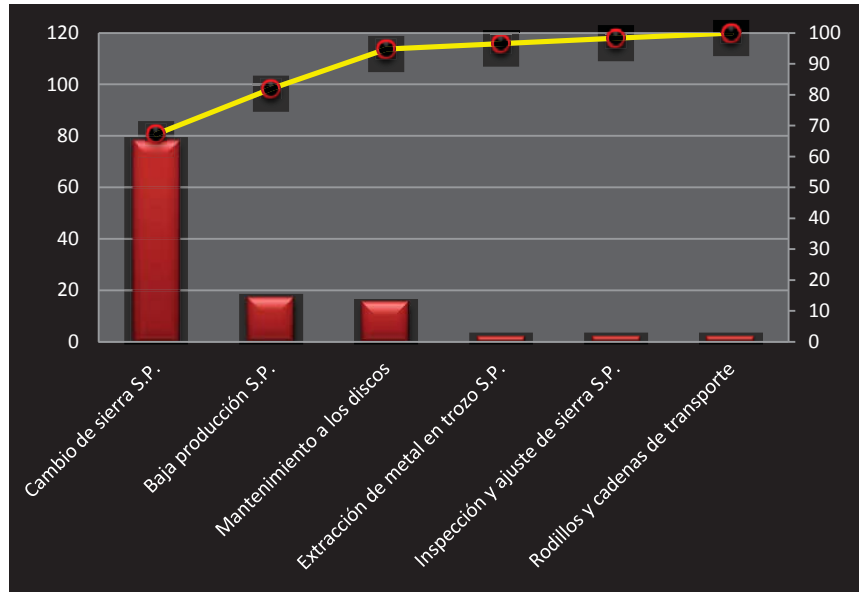
Sierra Principal.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra	114	73	72.61
Volteo de troza	14	82	8.92
Rodillos y cadenas de transporte	12	89	7.64
Carga de troza	8	94	5.10
Calidad de la troza	4	97	2.55
Extracción de metal	3	99	1.91
Mantenimiento al carro	2	100	1.27



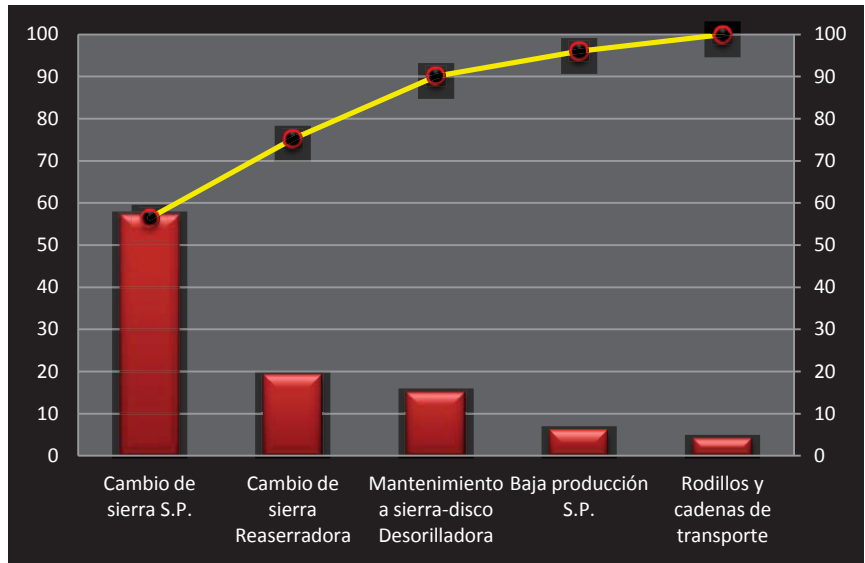
Reaserradora.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra S.P.	49	34	34.03
Cambio de sierra	35	58	24.31
Baja producción S.P.	22	74	15.28
Inspección y ajuste de sierra	15	84	10.42
Salida del operador	8	90	5.56
Reunión con jefe de aserradero	8	95	5.56
Rodillos y cadenas de transporte	3	97	2.08
Limpieza de aserrín en la sierra	1	98	0.69
Carga de diesel	1	99	0.69
Mantenimiento	1	99	0.69
Extracción de metal	1	99	0.69



Desorilladora.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra S.P.	78	67	67.24
Baja producción S.P.	17	82	14.66
Mantenimiento a los discos	15	95	12.93
Extracción de metal en trozo S.P.	2	97	1.72
Inspección y ajuste de sierra S.P.	2	98	1.72
Rodillos y cadenas de transporte	2	100	1.72

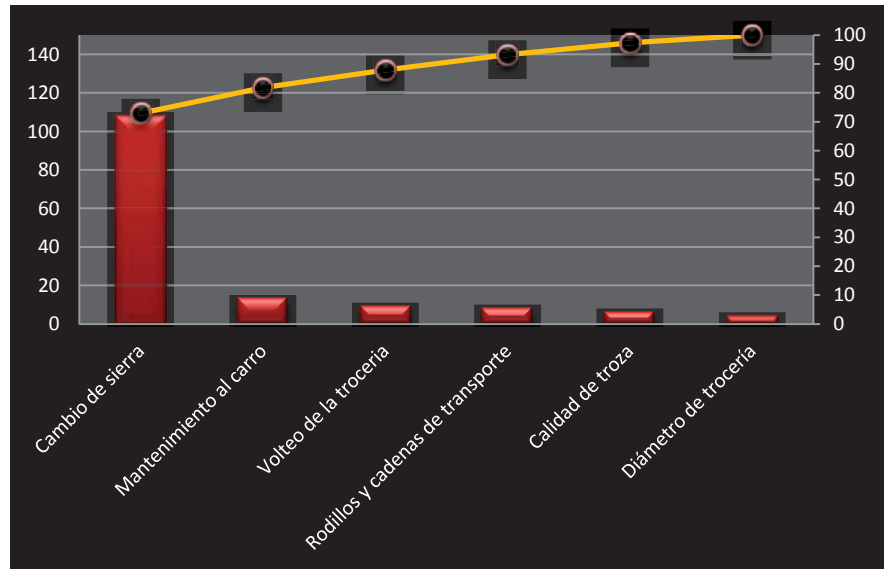


Péndulo.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra S.P.	57	56	56
Cambio de sierra Reaserradora	19	75	19
Mantenimiento a sierra-disco Desorilladora	15	90	15
Baja producción S.P.	6	96	6
Rodillos y cadenas de transporte	4	100	4

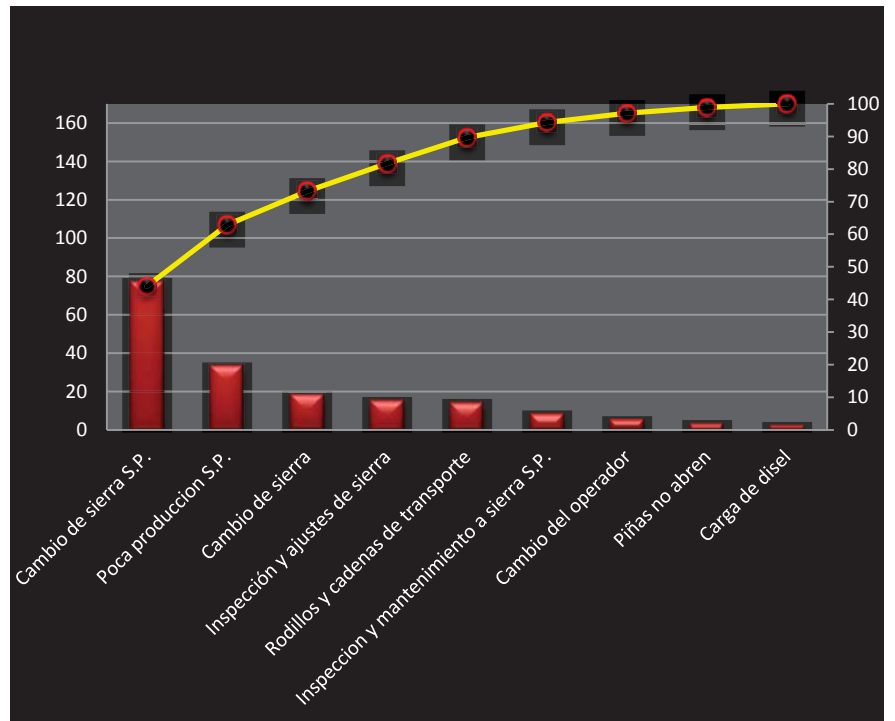


16 pies.

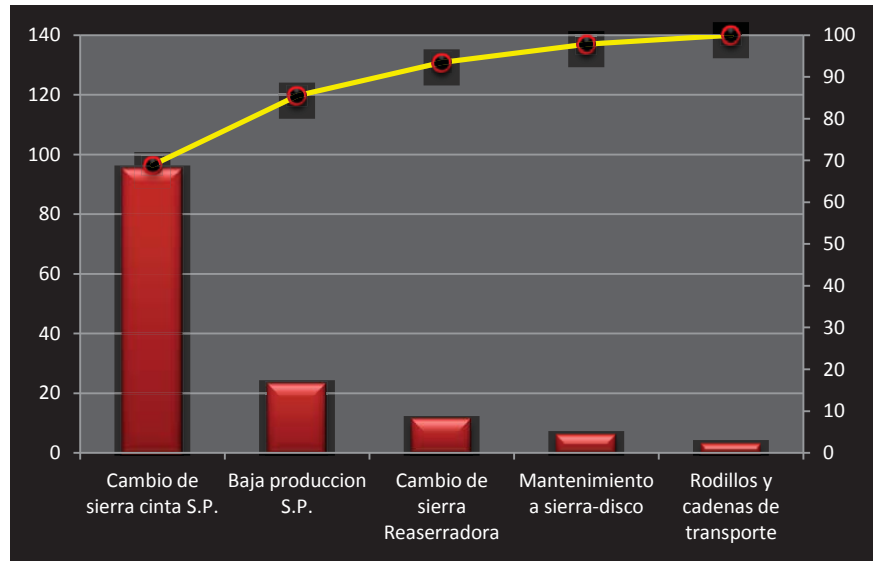
Sierra principal.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra	108	73	72.97
Mantenimiento al carro	13	82	8.78
Volteo de la trocería	9	88	6.08
Rodillos y cadenas de transporte	8	93	5.41
Calidad de troza	6	97	4.05
Diámetro de trocería	4	100	2.70



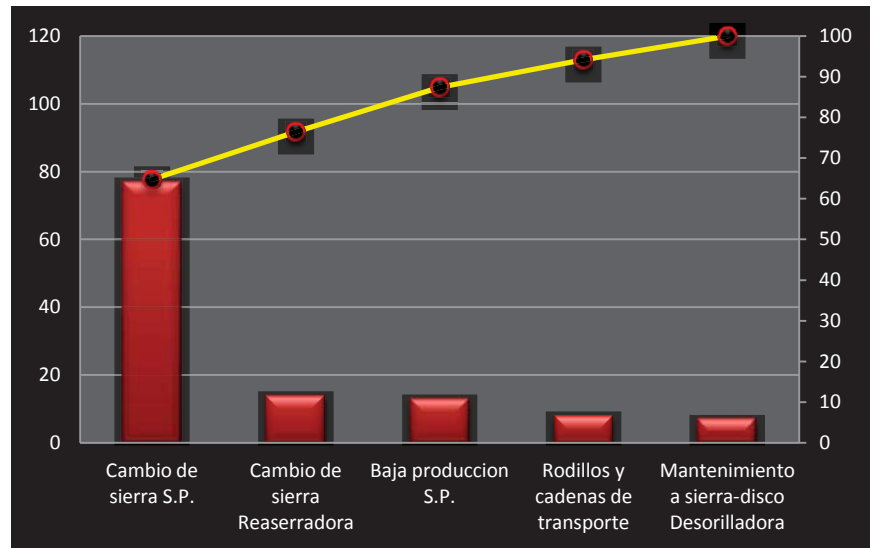
Reaserradora.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra S.P.	77	44	44
Poca producción S.P.	33	63	19
Cambio de sierra	18	73	10
Inspección y ajustes de sierra	15	82	9
Rodillos y cadenas de transporte	14	90	8
Inspección y mantenimiento a sierra S.P.	8	94	5
Cambio del operador	5	97	3
Piñas no abren	3	99	2
Carga de diesel	2	100	1



Desorilladora.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra cinta S.P.	95	69	69
Baja producción S.P.	23	86	17
Cambio de sierra Reaserradora	11	93	8
Mantenimiento a sierra-disco	6	98	4
Rodillos y cadenas de transporte	3	100	2

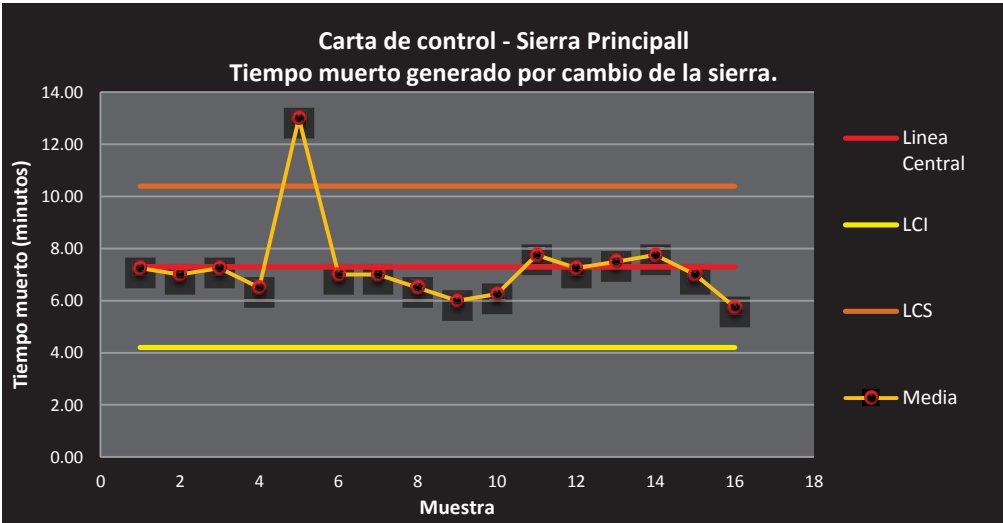
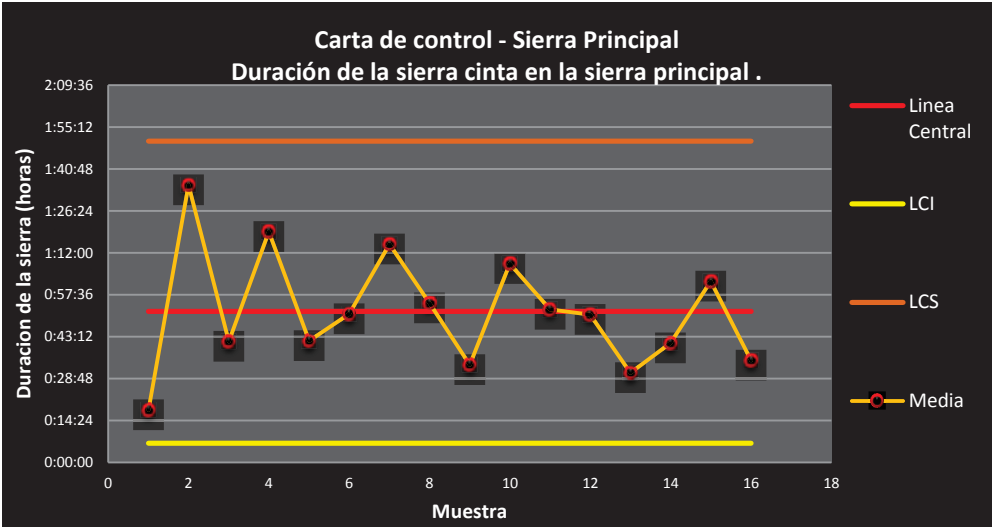


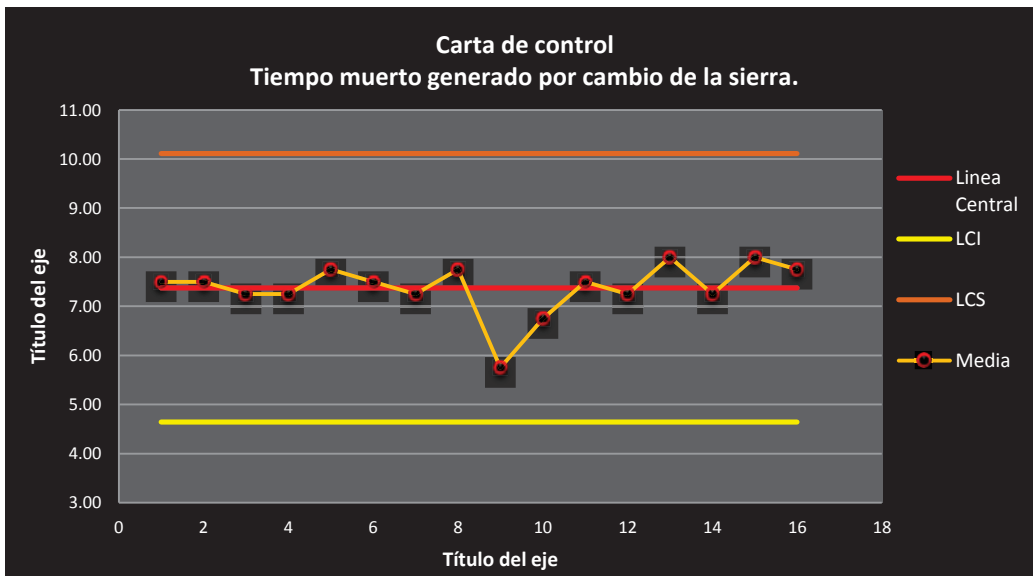
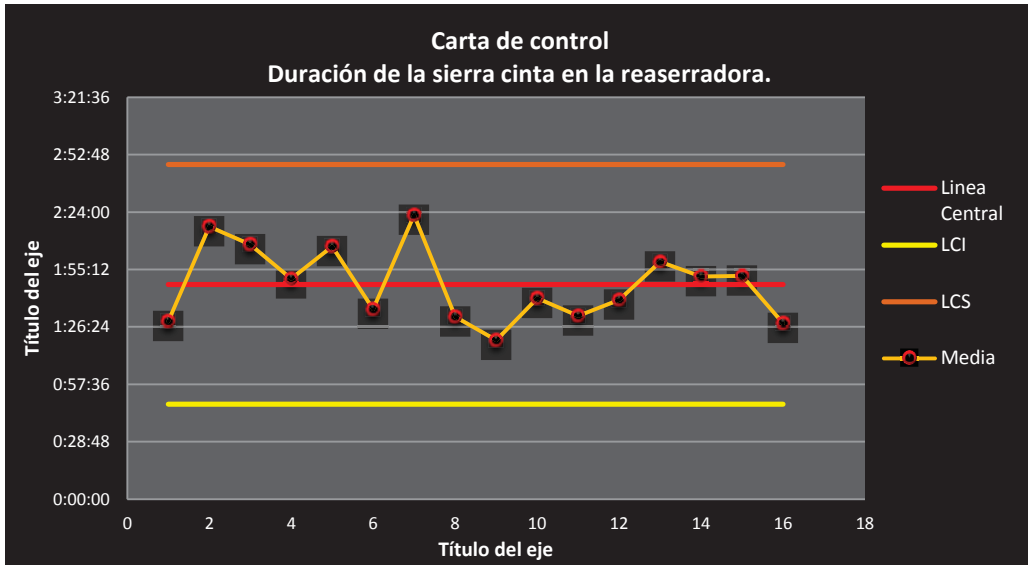
Péndulo.			
Causa del tiempo muerto	Tiempo muerto	% Acumulado	%
Cambio de sierra S.P.	77	65	65
Cambio de sierra Reaserradora	14	76	12
Baja producción S.P.	13	87	11
Rodillos y cadenas de transporte	8	94	7
Mantenimiento a sierra-disco Desorilladora	7	100	6





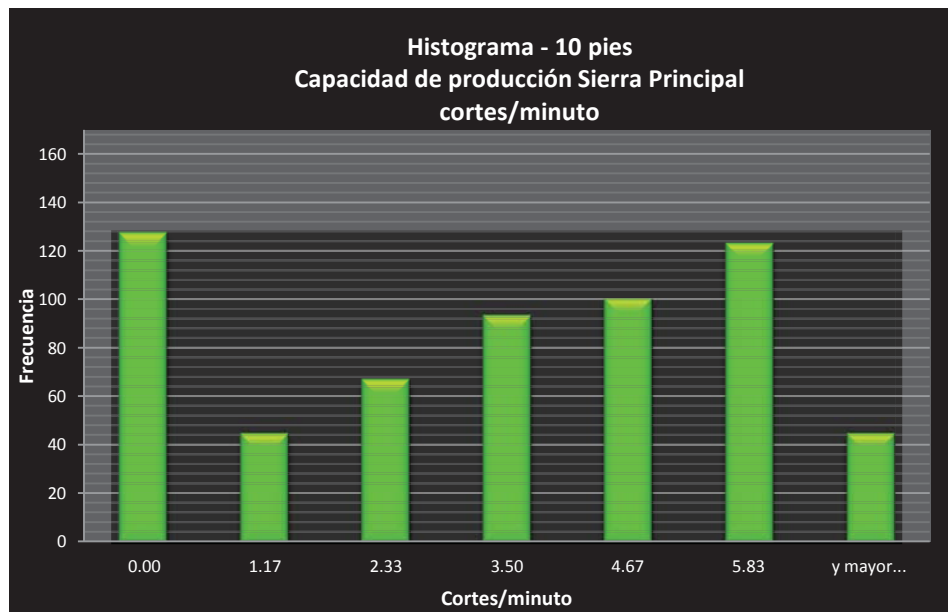
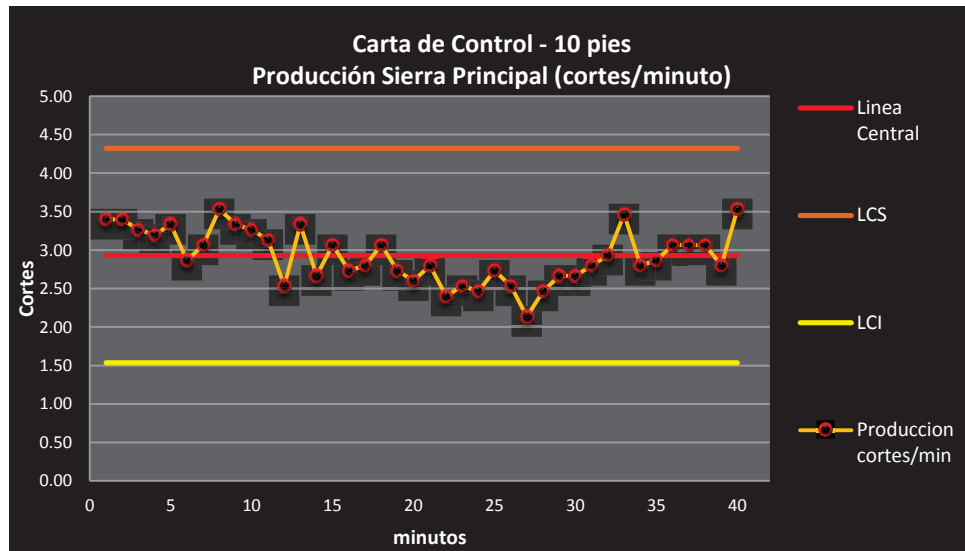
Pareto arrojo como causa principal el constante cambio de sierra, en las siguientes graficas podemos apreciar la irregularidad de la duración de la sierra en la torre principal y reaserradora.

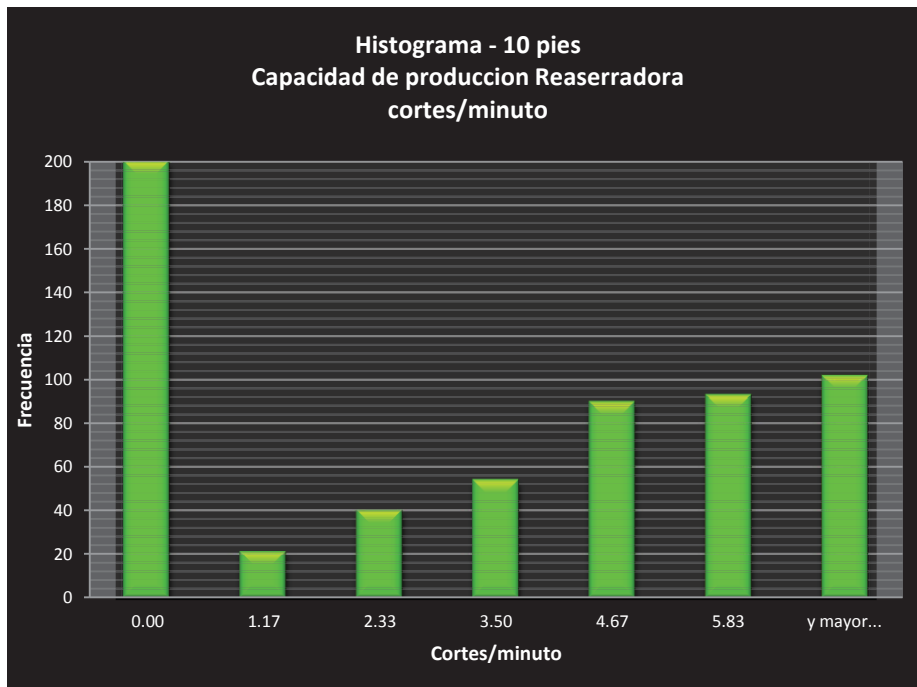


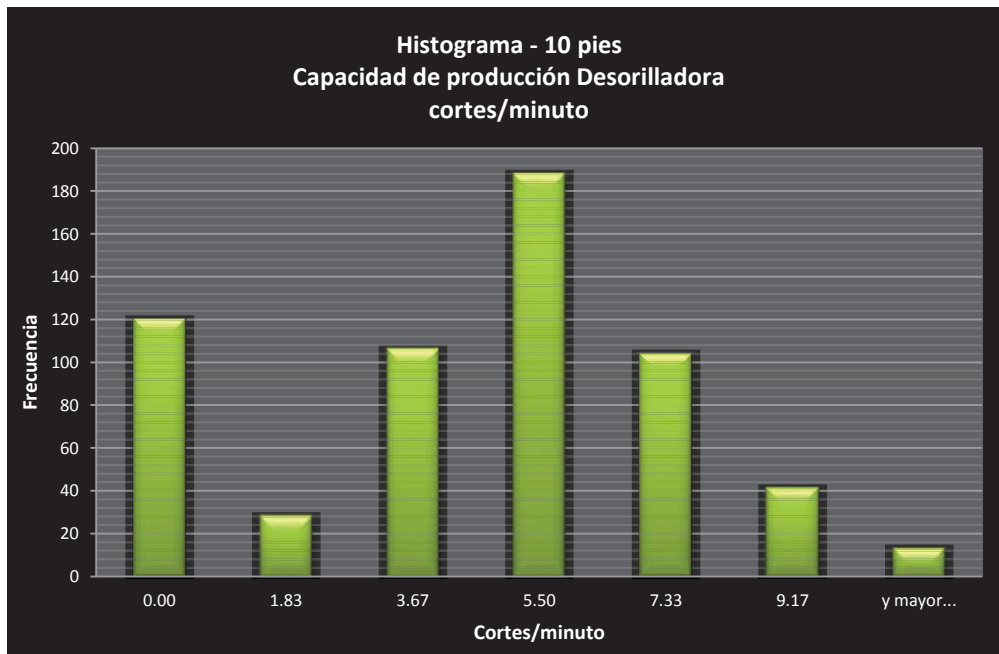
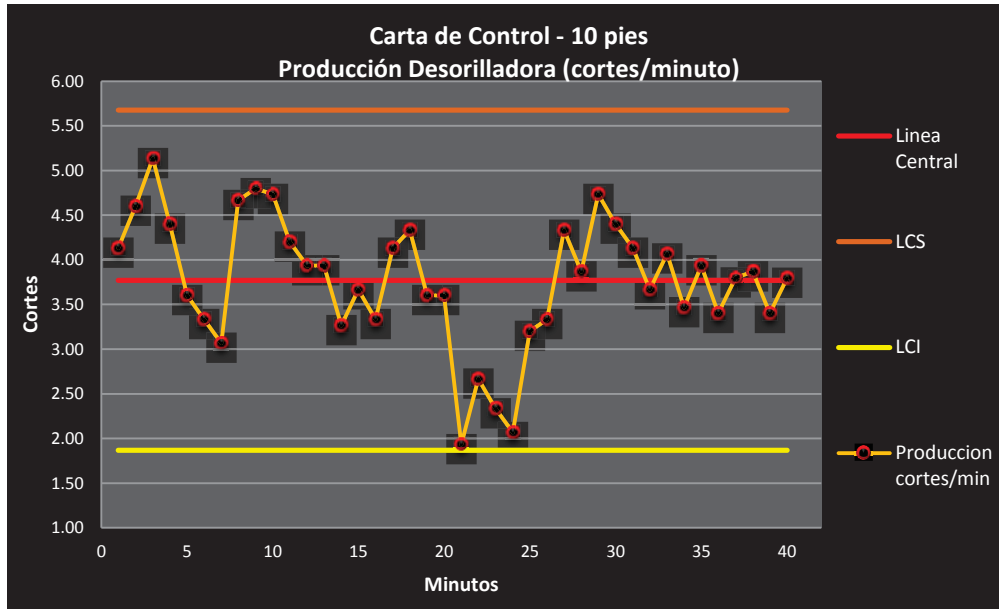


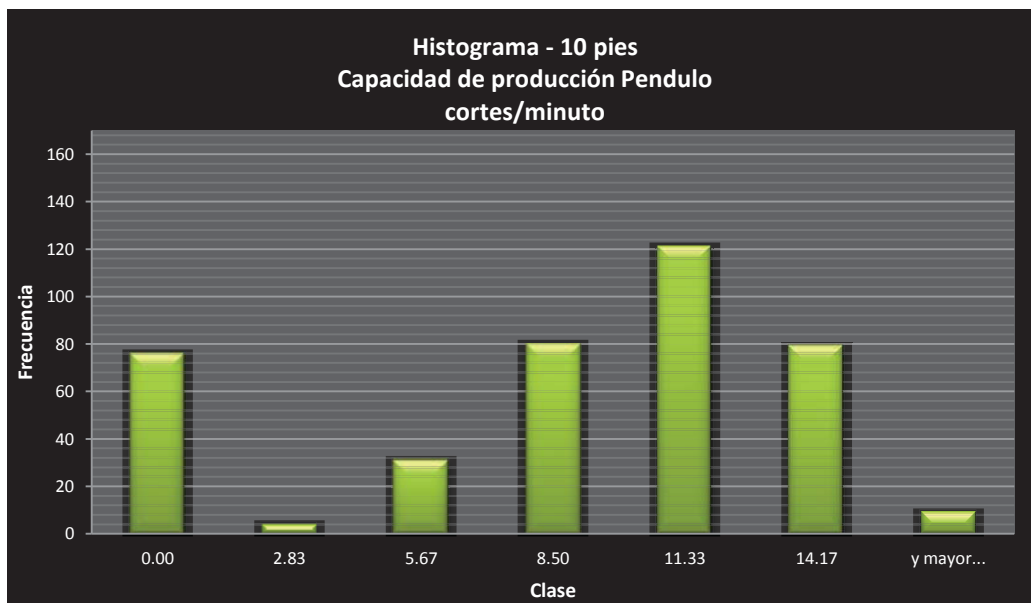
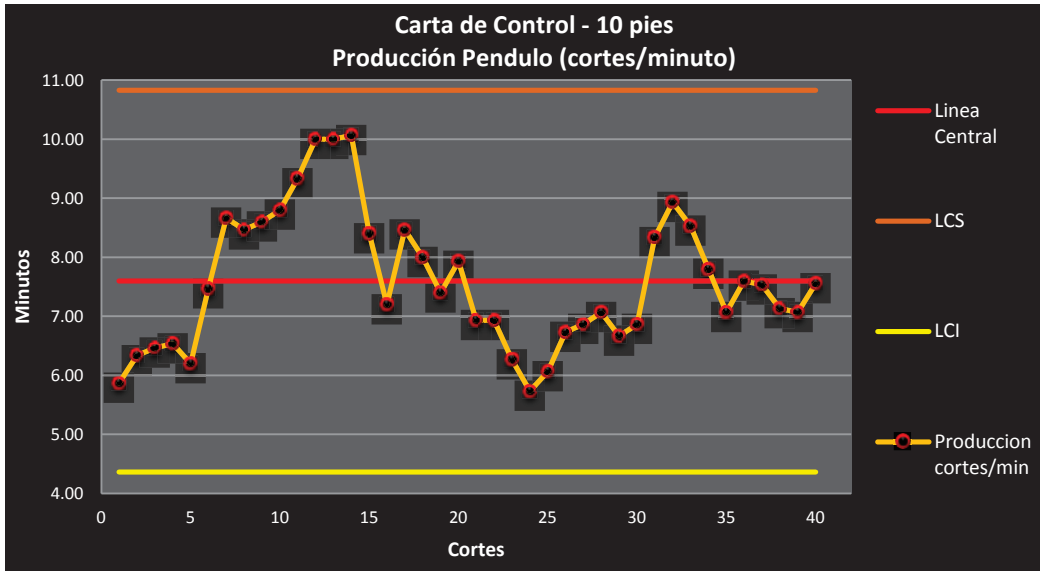
## Capacidad de cortes por minuto.

Para 10 pies

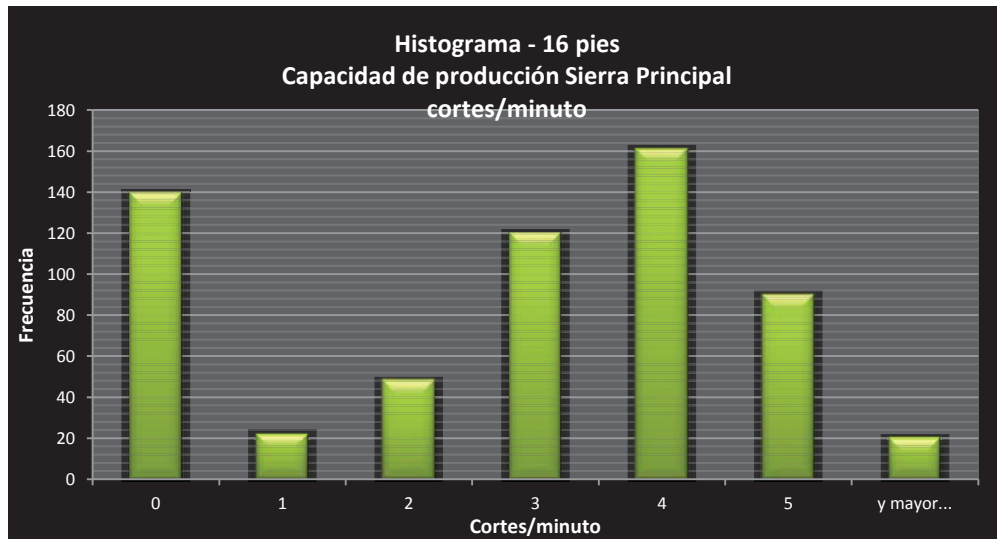
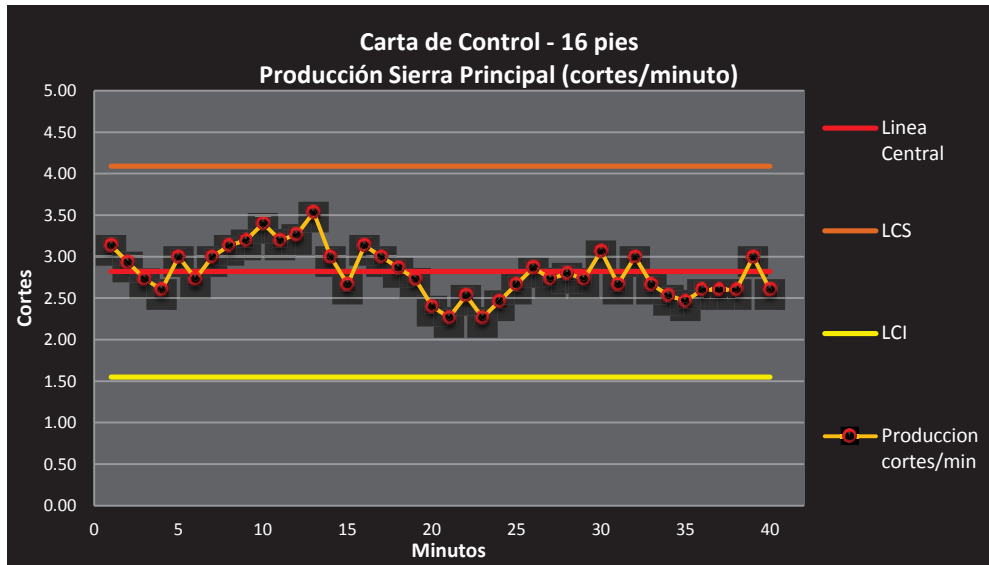


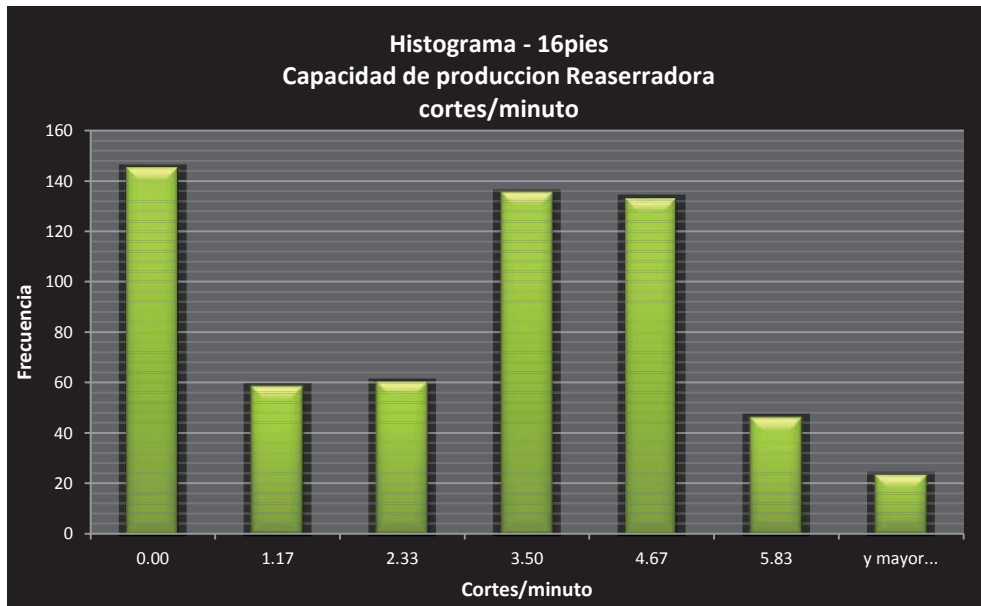
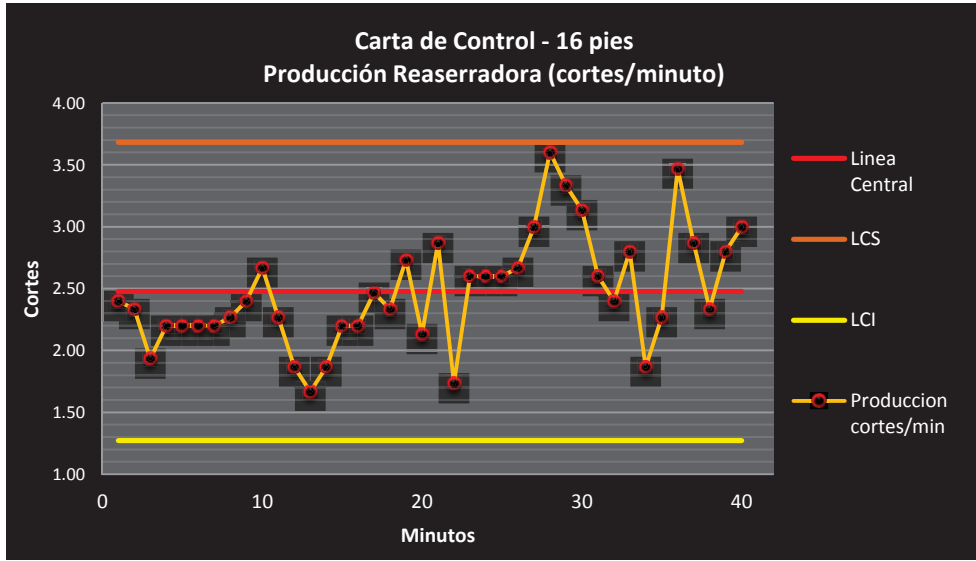




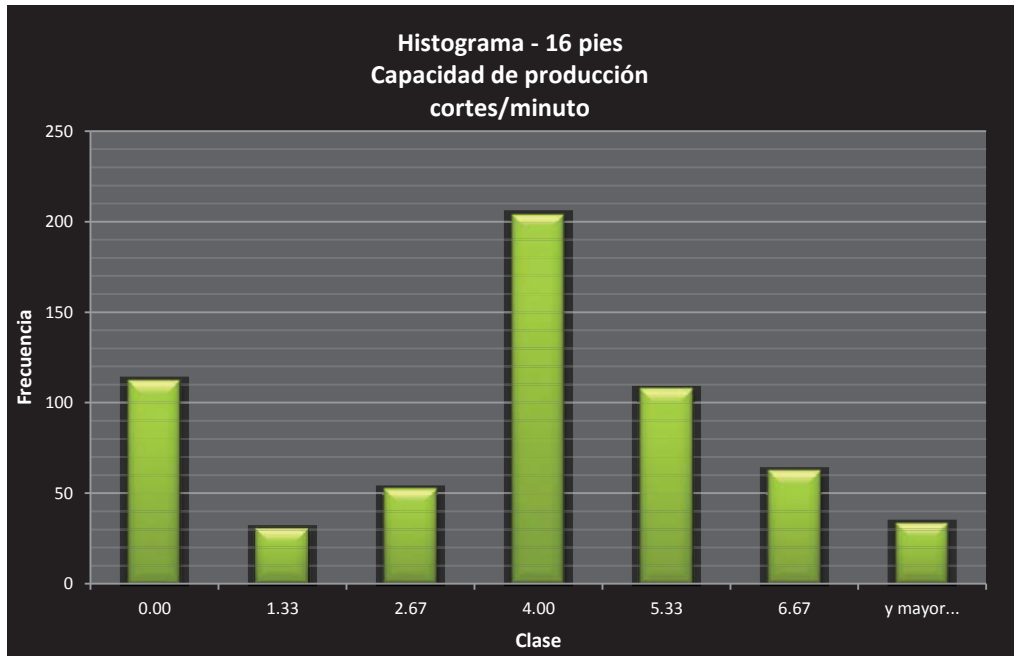
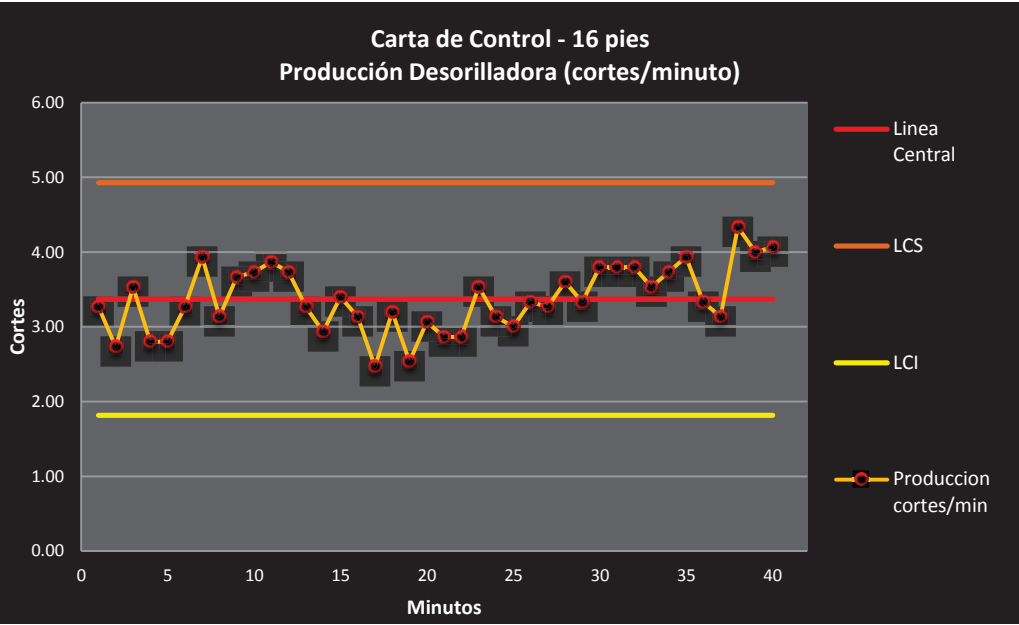


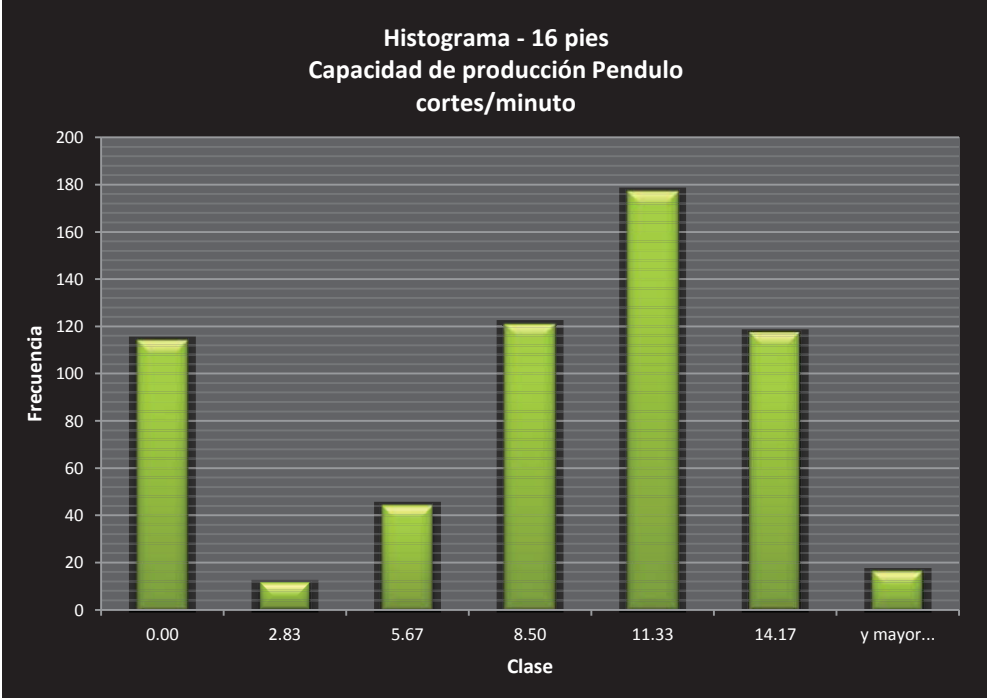
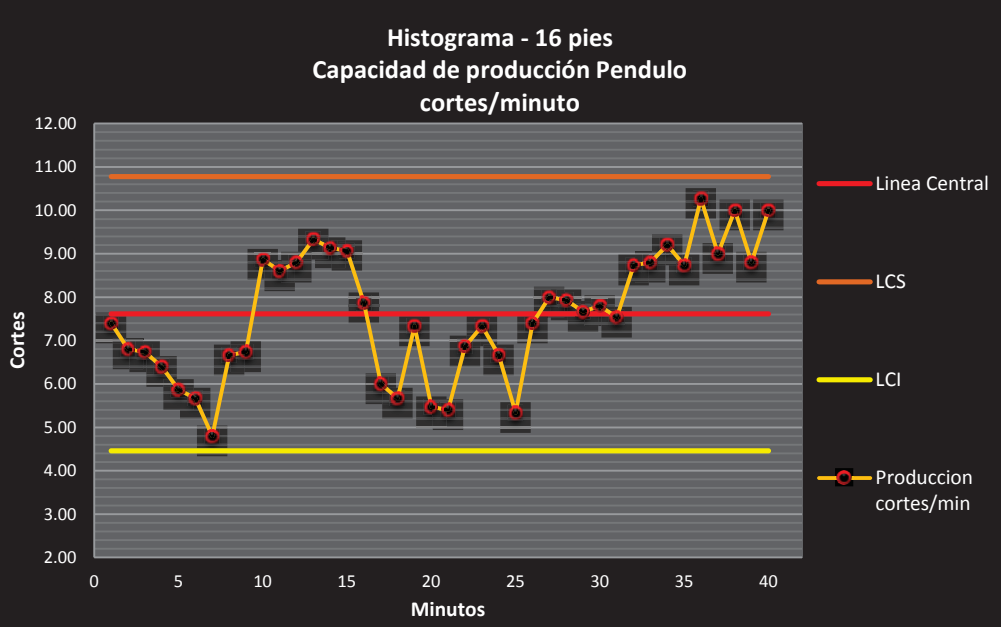
Para 16 pies.





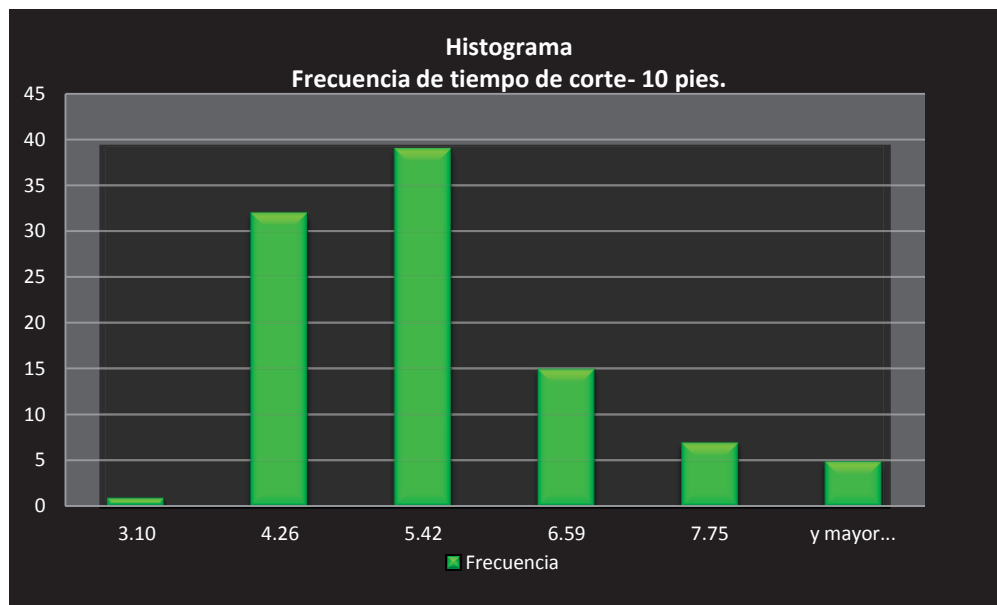
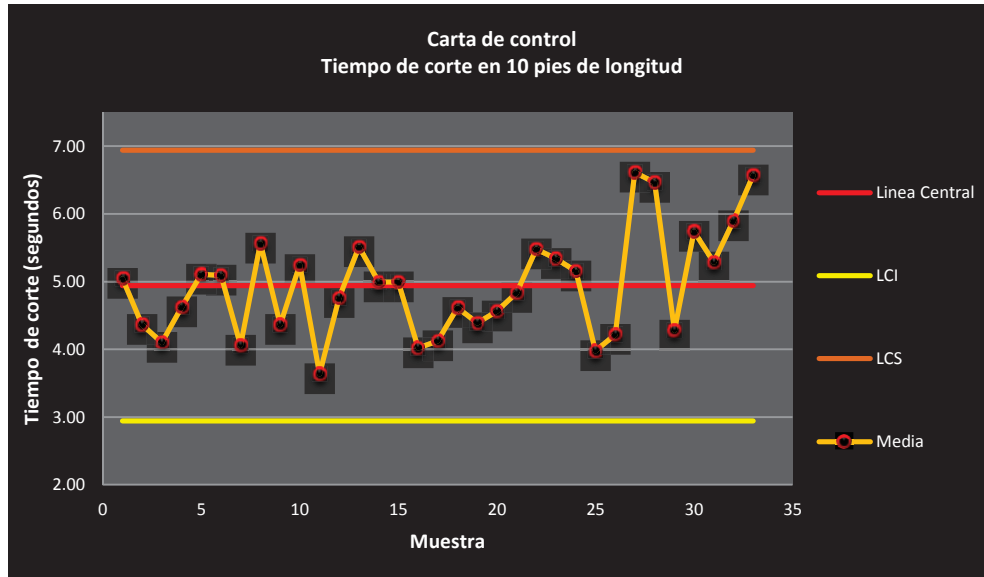


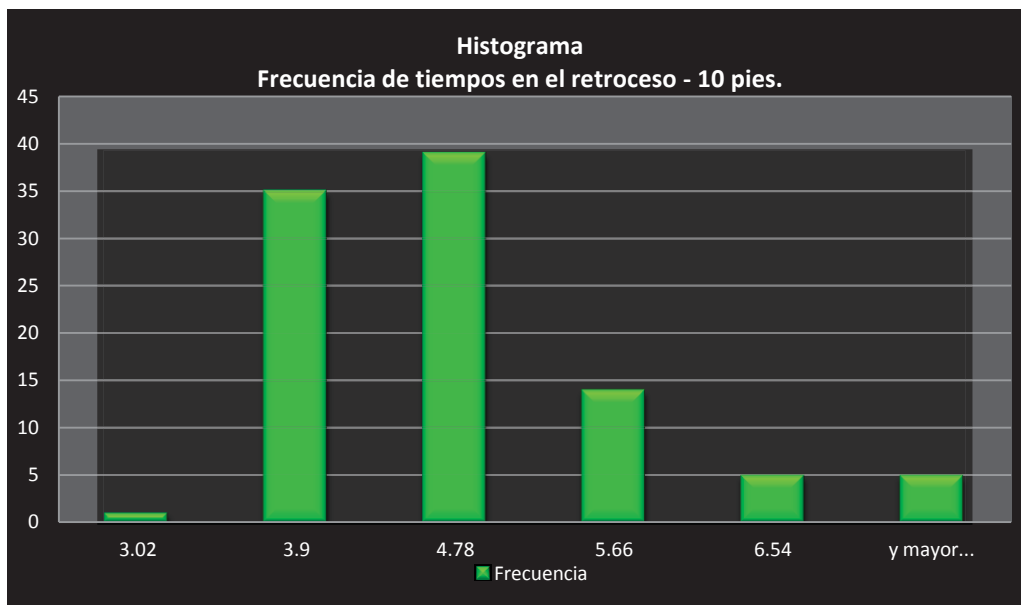
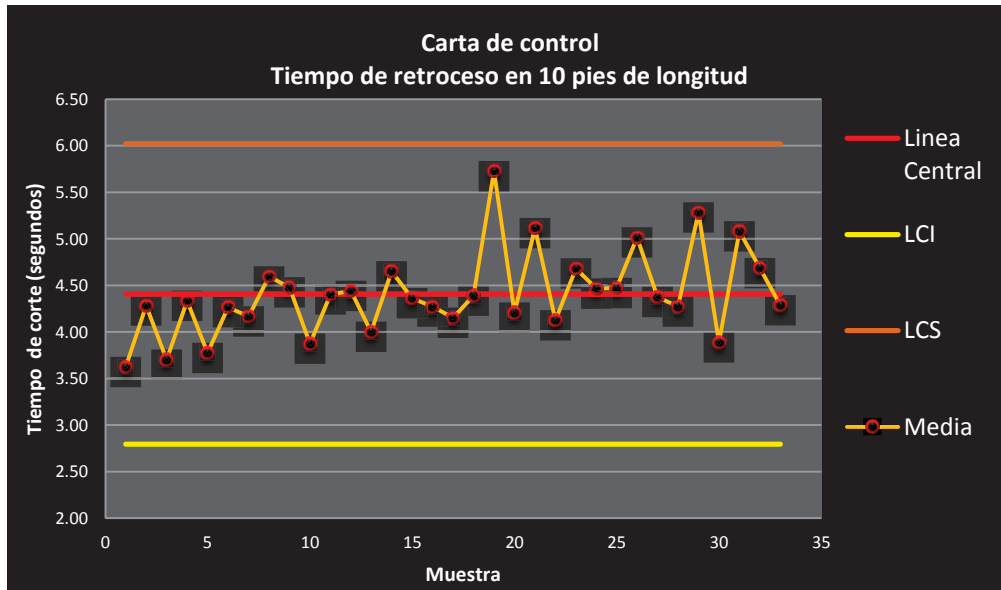




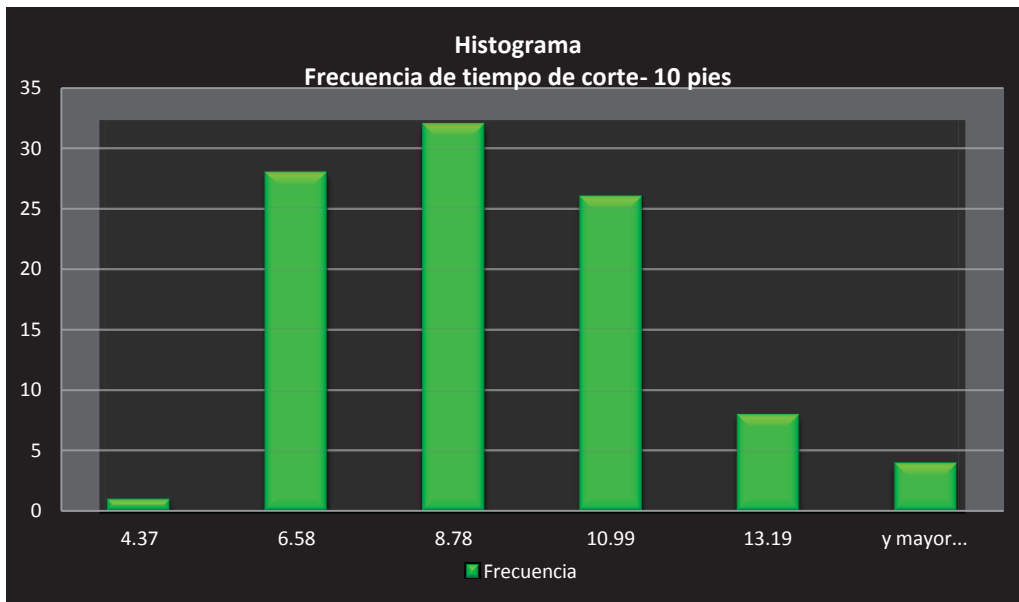
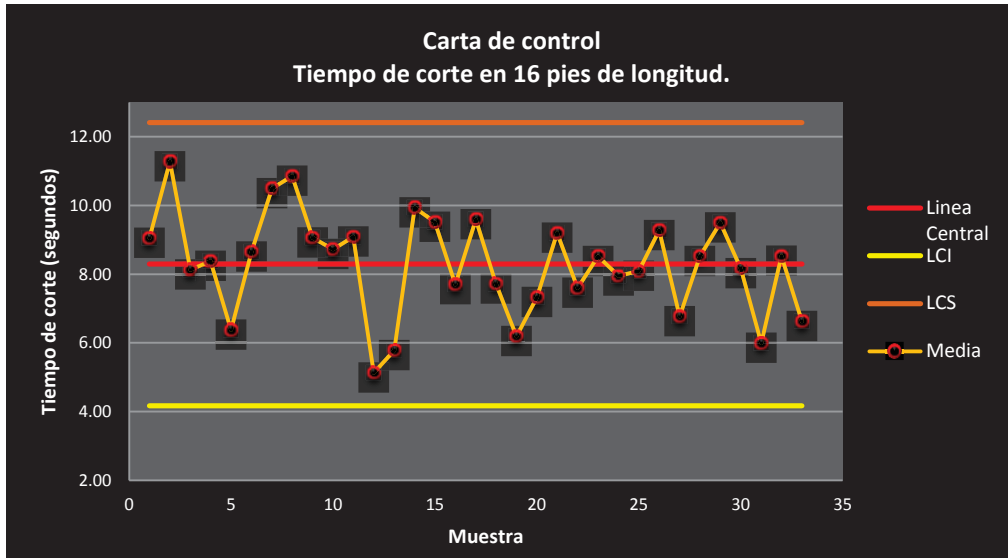
Como ya se ha mencionado con anterioridad el ritmo del proceso lo lleva la sierra principal, por lo tanto se midieron individualmente los tiempos de corte y retroceso.

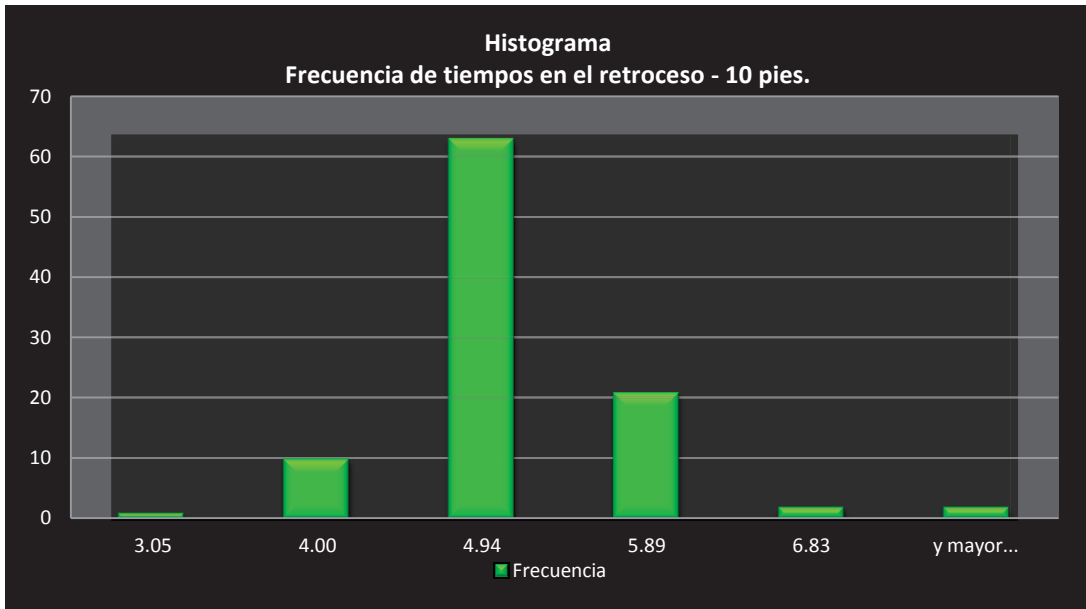
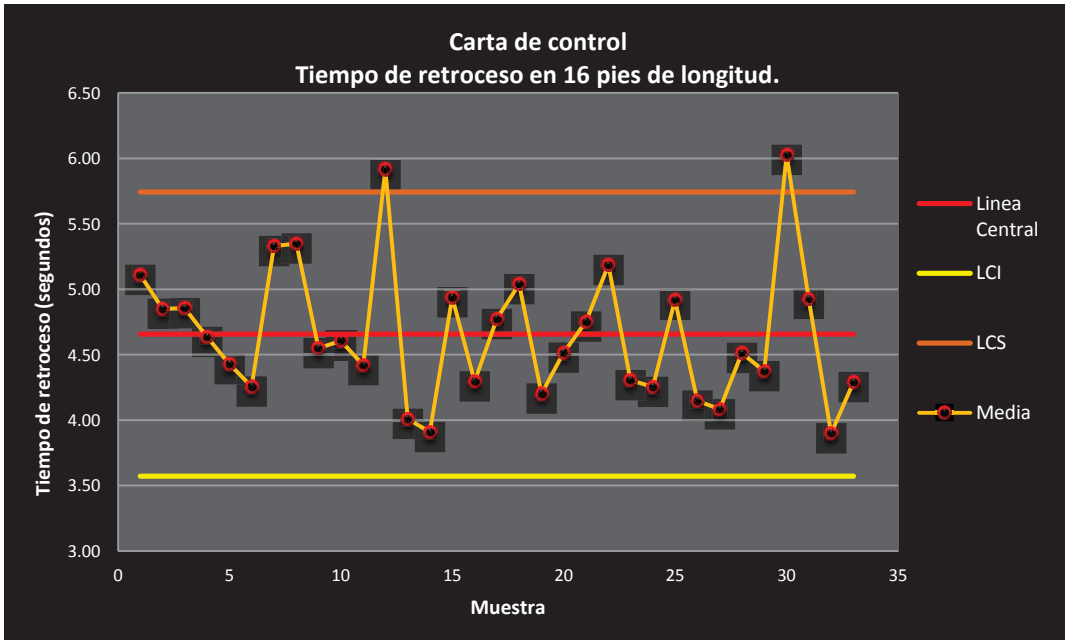
10 pies





16 pies



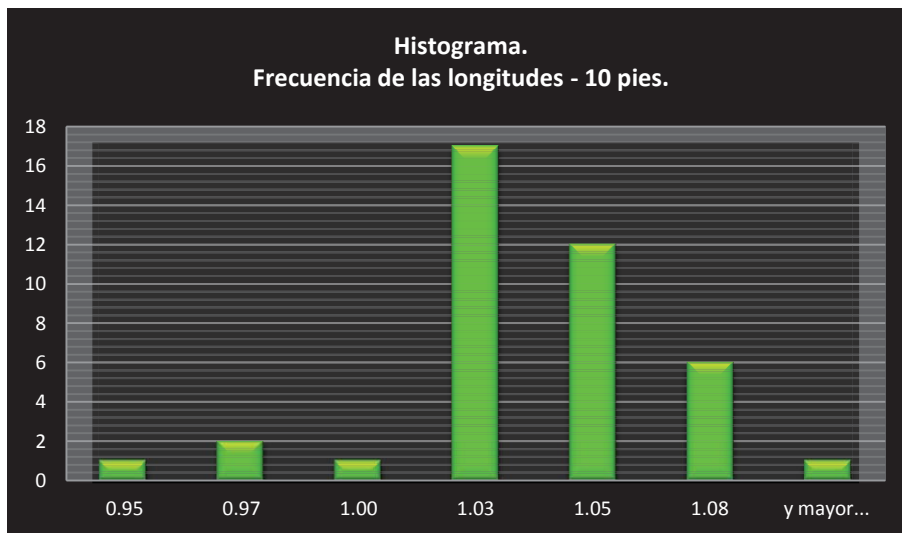
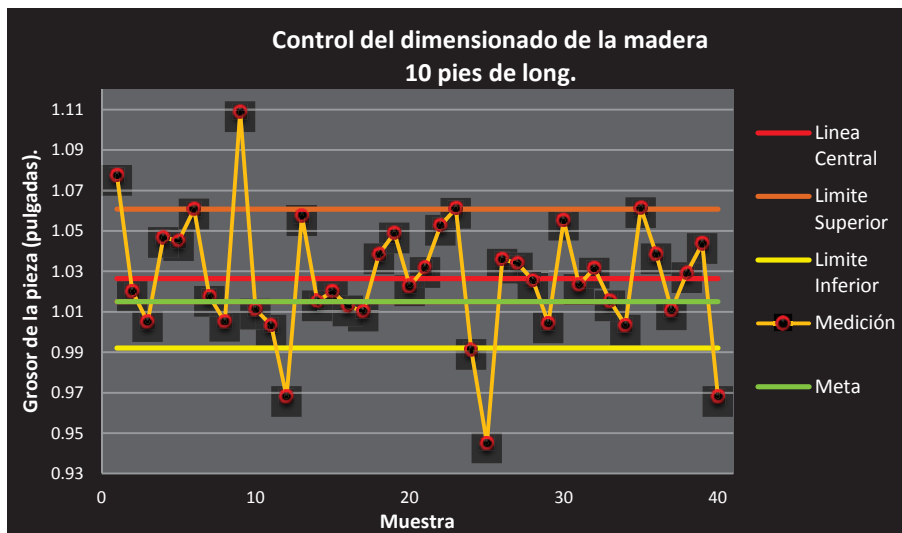


### 3.3 Madera Aserrada

- Madera Aserrada en 1 pulgada de grueso x 10 pies de longitud.

Requerimiento Final (F): 0.75inch  
Perdida por cepillado (C): 0.08 inch  
Factor de subtamaño (Z): 1.64%  
Desviación estándar total (ST): 0.08inch  
Porcentaje de encogimiento (E): 5.6%  
Tamaño Meta (M): 1.01  
Media: 1.03

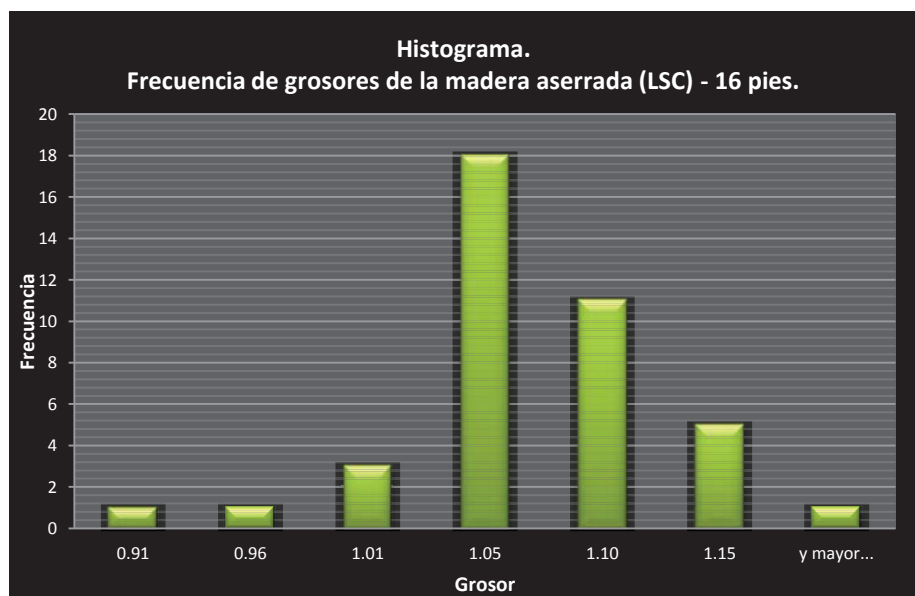
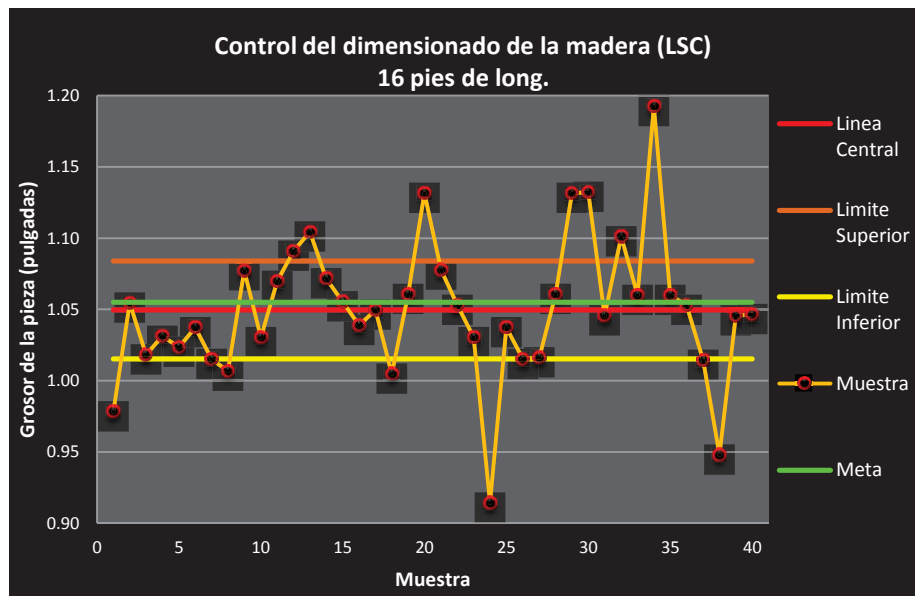
Capacidad de proceso: 0.5



- Madera Aserrada en 1 pulgada de grueso x 16 pies de longitud.

Requerimiento Final (F): 0.75inch  
 Perdida por cepillado (C): 0.08 inch  
 Factor de subtamaño (Z): 1.64%  
 Desviación estándar total (ST): 0.11 inch  
 Porcentaje de encogimiento (E): 5.6%  
 Tamaño Meta (M): 1.06  
 Media: 1.05

**Capacidad de proceso: 0.4**

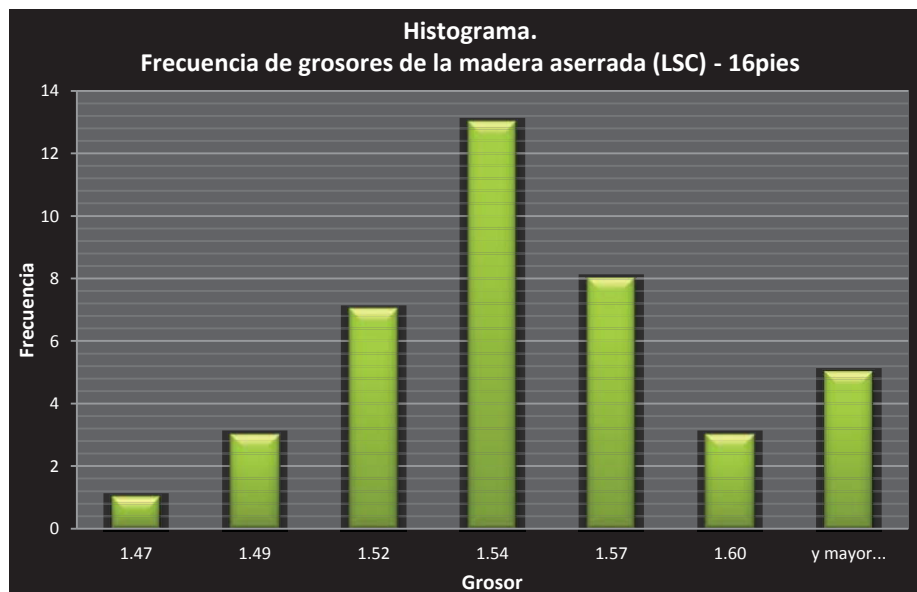
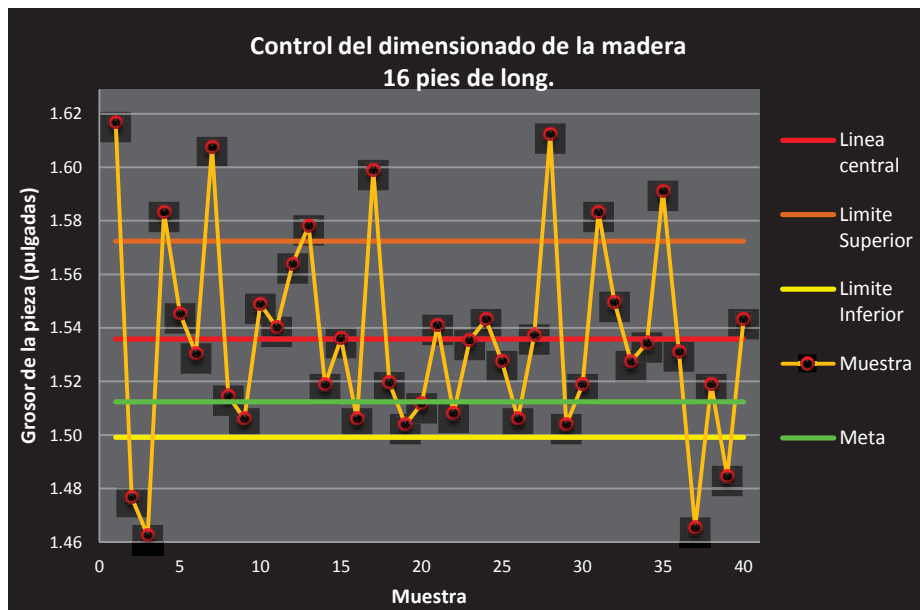




- Madera Aserrada en 1.5 pulgada de grueso x 16 pies de longitud.

Requerimiento Final (F): 0.75 inch  
 Perdida por cepillado (C): 0.08 inch  
 Factor de subtamaño (Z): 1.64%  
 Desviación estándar total (ST): 0.07 inch  
 Porcentaje de encogimiento (E): 5.6%  
 Tamaño Meta (M): 1.52  
 Media: 1.54

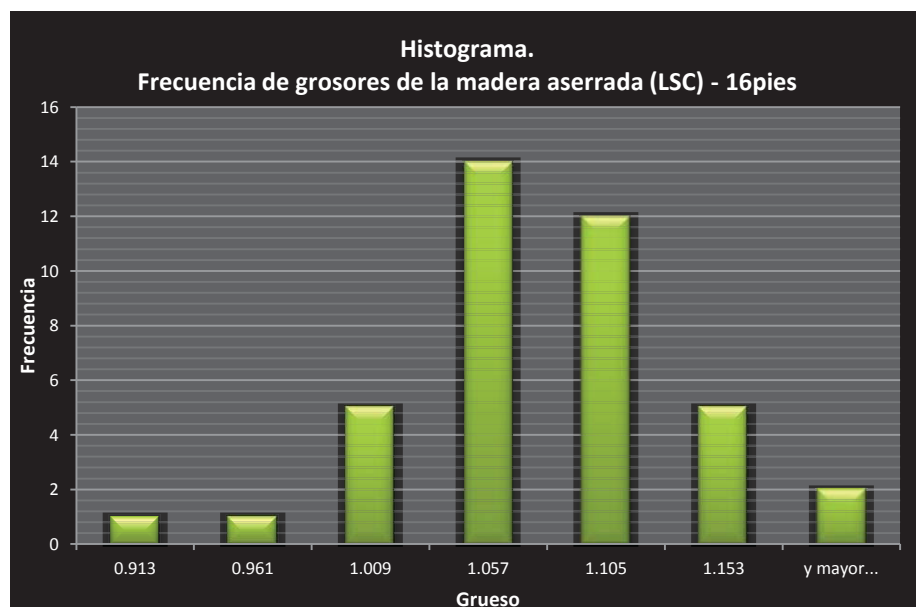
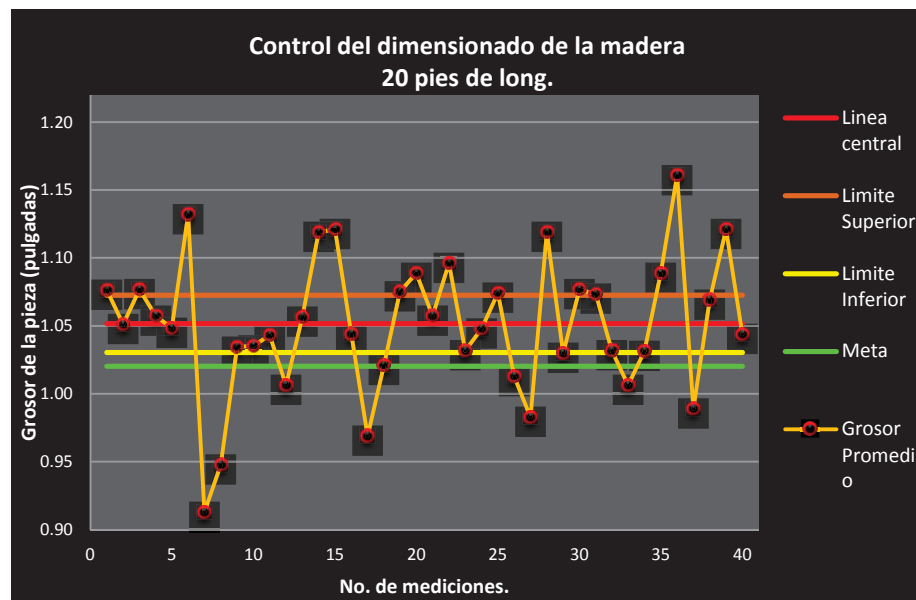
**Capacidad de proceso: 0.4**



- Madera Aserrada en 1 pulgada de grueso x 20 pies de longitud.

Requerimiento Final (F): 0.75 inch  
 Perdida por cepillado (C): 0.08 inch  
 Factor de subtamaño (Z): 1.64%  
 Desviación estándar total (ST): 0.09 inch  
 Porcentaje de encogimiento (E): 5.6%  
 Tamaño Meta (M): 1.02  
 Media: 1.05

**Capacidad de proceso: 0.3**



# *Capítulo 4.*

---

Evaluación De Los Resultados Obtenidos.

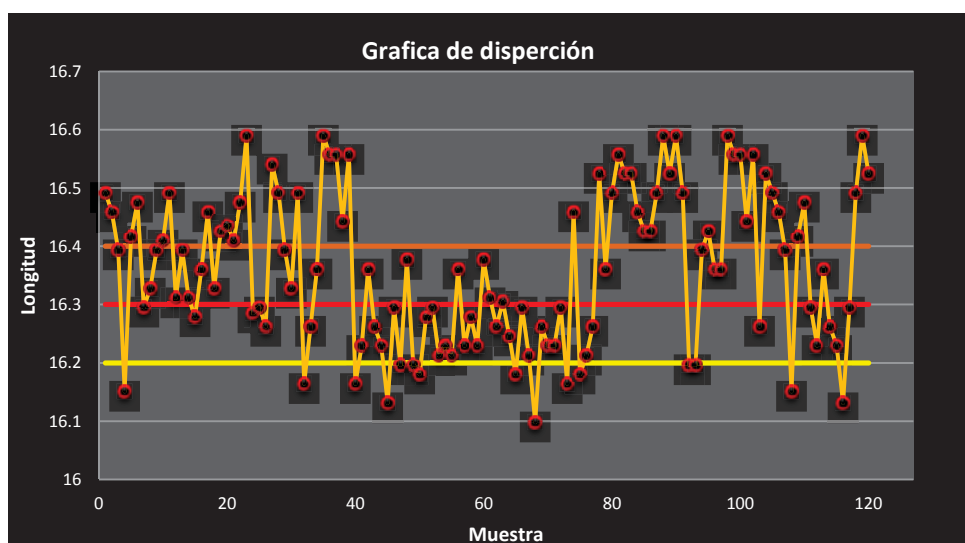
Como se pudo observar en los resultados toda esto interconectado por el índice de capacidad de proceso Cp, si se desea mejorar cualquier proceso de los estudiados se tiene que empezar por controlar la gran variabilidad existente en Maquinaria, Mano de obra y Metodología.

A continuación se muestran una serie de graficas que ejemplifican como conforme disminuye la variación en el proceso el índice Cp se acerca a los estándares aceptables (1 a 1.33 para caso de industria forestal).

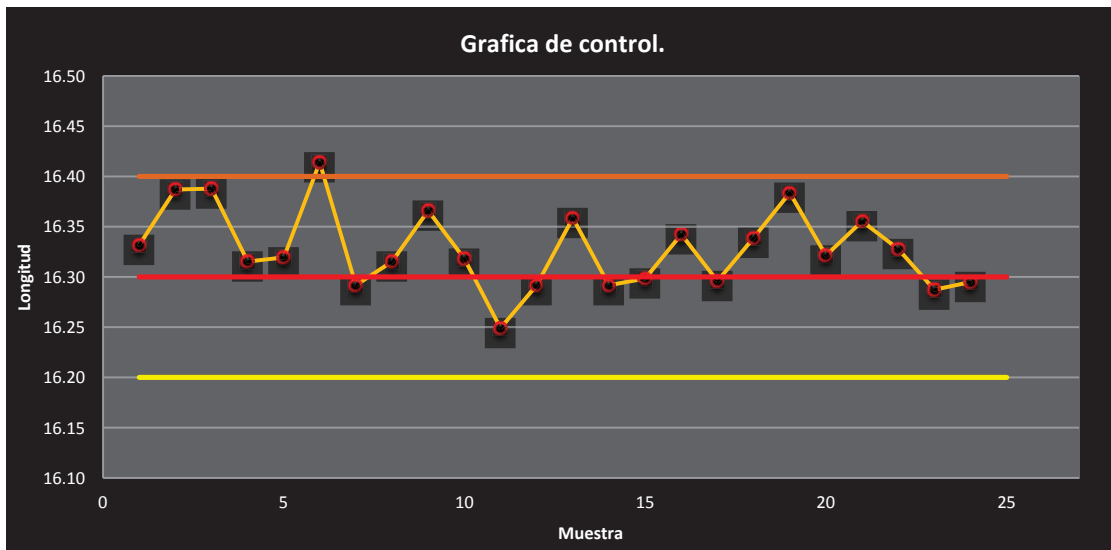
**Promedio de R: 0.32**

**Variación estándar: 0.13**

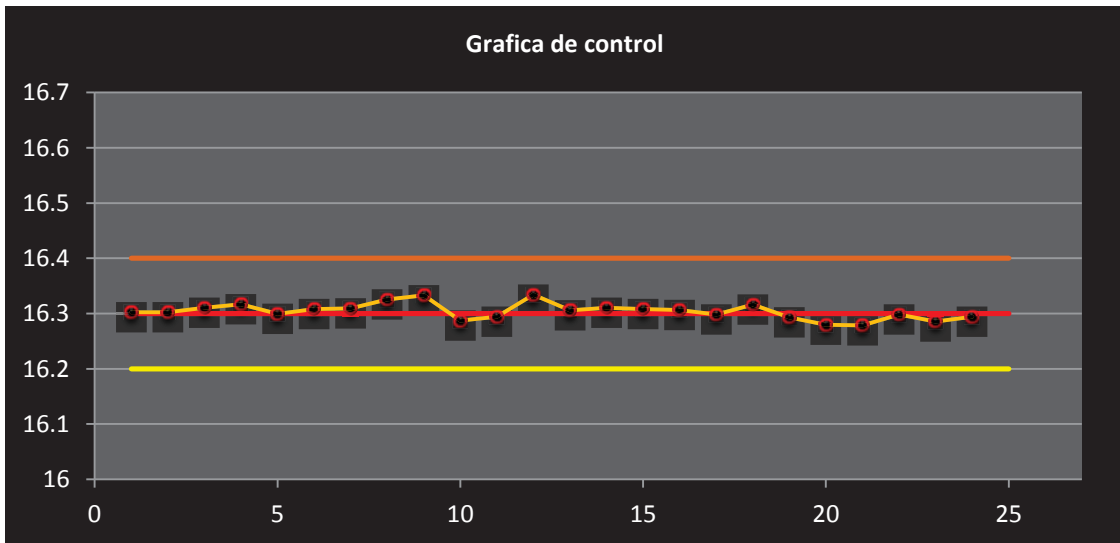
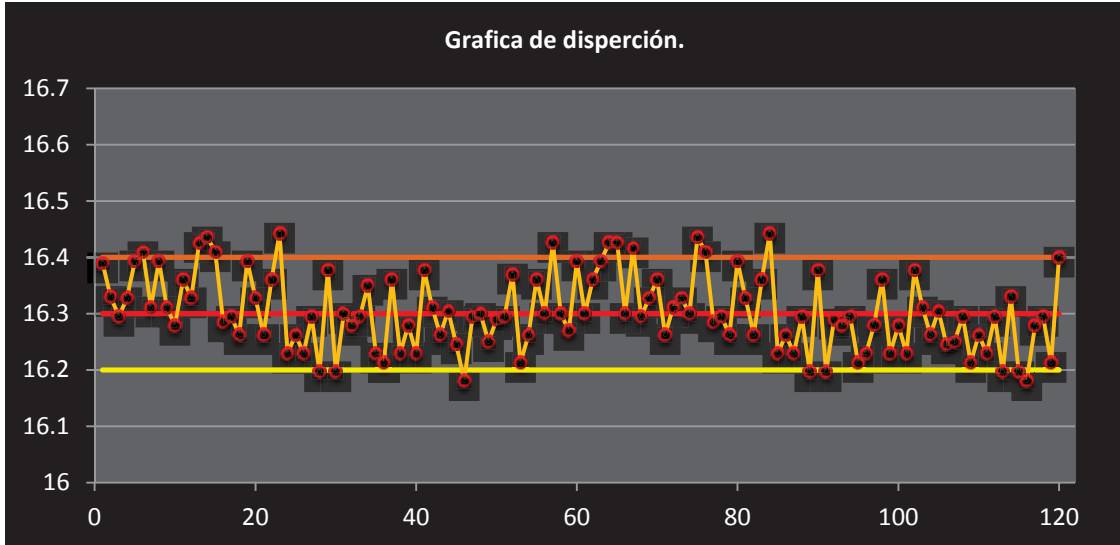
**Cp: 0.24**



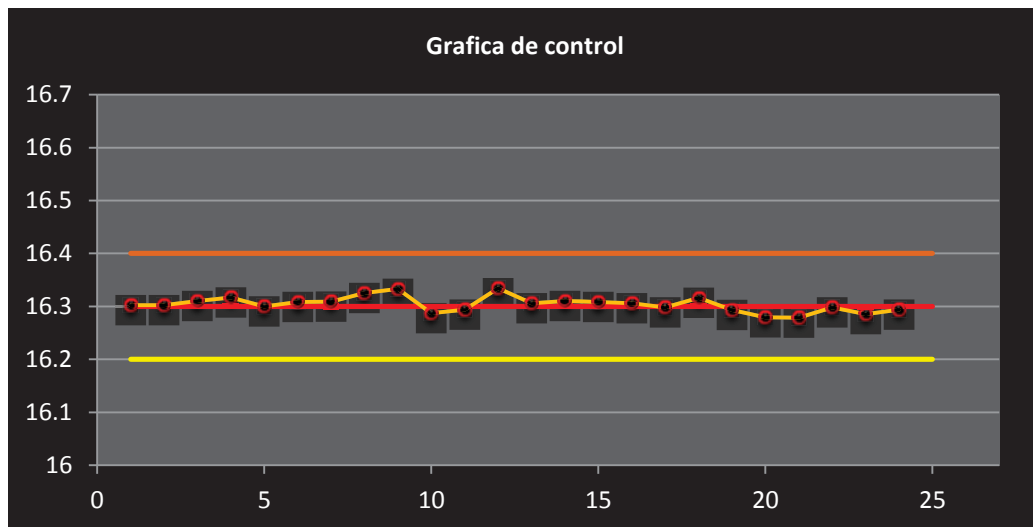
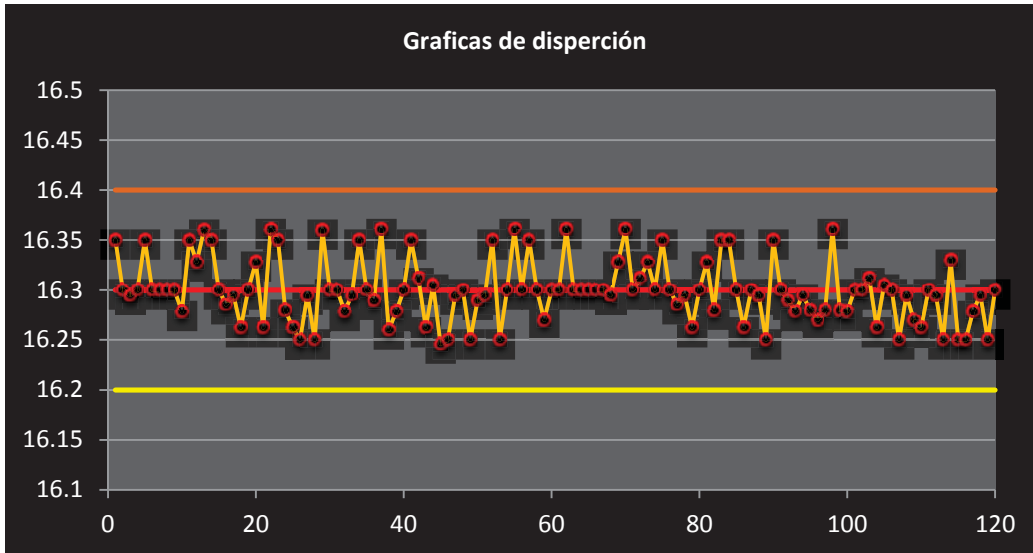
Promedio de R: 0.25  
Variación estándar: 0.10  
Cp: 0.31



Promedio de R: 0.17  
Variación estándar: 0.07  
Cp: 0.45



Promedio de R: 0.075  
Variación estándar: 0.03  
Cp: 1



# *Capítulo 5.*

---

## **Conclusiones y recomendaciones.**



- La empresa debe de realizar un manual operativo, en el cual se definan los layouts de todos los procesos del aserradero, así como los puestos y la descripción de estos.
- El mayor rendimiento volumétrico se obtendrá utilizando sierras del calibre mínimo posible y reduciendo los refuerzos. En consecuencia, la selección de la sierra, su mantenimiento y operación son muy importantes.
- El conocer las características de contracciones de las especies y la tolerancia dimensional aceptable en madera seca, permitirá obtener de la trocería un mayor rendimiento al reducir al mínimo el refuerzo de la madera “verde” recién aserrada
- Un análisis cuidadoso de la trocería permite un aserrío óptimo. En términos generales, los fustes muy cónicos se deberían dimensionar en trozas cortas; los fustes curvados se deberían cortar en el punto más pronunciado de la curvatura; los defectos grandes se deberían eliminar por completo o dejarlos en los extremos de las trozas, y las trozas muy curvadas o muy torcidas deben desecharse.
- Los aserraderos deberían conocer las reglas de clasificación como una ayuda para decidir el primer corte de la troza y obtener la mayor calidad final posible.
- Si el conocimiento potencial de los mercados se toma en cuenta al seleccionar los fustes, podrá contribuir a que sea posible producir los largos de madera aserrada que probablemente tendrán los precios más altos.
- Siempre que sea posible se procurara vender los residuos, pero nunca deberán producirse a expensas de productos de mayor valor.
- Es necesario tener un programa de mantenimiento en las escuadras para garantizar la reducción de la variación en el corte.
- Es recomendable sustituir el carro portatroza por un automático, ya que esto reduciría en gran medida la variación en el corte, además de que elevaría la capacidad de alimentación.
- Es también recomendable sustituir la desorilladora por una de mayor capacidad, así como sustituir el péndulo por un trimmer. El péndulo puede ser dejado como una eta para siguiente para la recuperación de clase en tableta
- La trocería debe ser por lo menos clasificada por diámetro, ya que esto permitiría al operador tomar un menor número de decisiones en la búsqueda de sacar el mayor beneficio de madera de clase.
- El descortezado de la trocería debe ser considerado por las ventajas que ello ofrece como el hacer visibles los defectos, extender el tiempo de servicio de la sierra cinta<sup>1</sup>, el descortezado acelera el secado, y finalmente la corteza puede ser

---

<sup>1</sup> Lo que traería como consecuencia una disminución en los tiempos muertos y un aumento en el volumen diario de madera aserrada.

vendida como un producto.

- El secado de la madera debe ser bien manejado ya que ello le da valor a los productos finales
- La clasificación de la trocería permitiría dirigir a otro mercado la trocería de baja calidad (pulpa, astilla, tarimas, embalaje, etc.)
- Existe un gran potencial en el aprovechamiento del encino, en los estados unidos los encinos son usados principalmente para muebles y pisos de alto valor comercial.
- Finalmente la recomendación más importante fue la de tener un mejor conocimiento del mercado norteamericano en cuanto al procesamiento de la materia prima, clasificación y cumplimiento de las normatividad, ya que existen especies mexicanas con mucha potencialidad de comercialización en el sector de la construcción.

# ***Bibliografía.***

---

- ⤴ Brown T. D. 1982. Quality Control in Lumber Manufacturing. Miller Freeman Publications. San Francisco, Unites States of America.
- ⤴ Contreras H, E. (2007). Análisis de la eficiencia del aserradero del Tarahumar y Bajíos del Tarahumar, Tepehuanes, Durango, para incrementar su productividad. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 49p.
- ⤴ DGN. 1986. Norma Mexicana NOM-C-18-1986. Industria de la construcción – Tablas y tablonés de Pino – Clasificación. DGN. SECOFI. México. 6p
- ⤴ DGN. 1988. Norma Oficial Mexicana NOM – C – 359-1988. Industria Maderera – Trocería de pino – Clasificación. DGN. SECOFI. 23p.
- ⤴ Dobie J. y D.M. Wright. 1975. Conversion factors for the forest products industry in Western Canada. Vancouver, B.C. Canada. 7 pp.
- ⤴ Flores V, R., Serrano Gálvez, E., Palacio Muñoz, V., Chapela, G., & Chapela, G. (2007). Análisis de la industria de la madera aserrada en México. Madera y Bosques, 13, 47-59.
- ⤴ Fuentes L, M., García Salazar, J., & Hernández Martínez, J. (2006). Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México. Madera y Bosques, 12, 17-28.
- ⤴ Estrada T, V. 1992. Estudio de rendimiento en las operaciones de aserrío de la madera. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 67p
- ⤴ Fuentes-López, M., García-Salazar, J., Zamudio-Sánchez, F., Matus-Gardea, J., & Matus-Gardea, J. (2008). Políticas que afectan la competitividad de la producción de madera aserrada en México. Madera y Bosques, 14, 29-39.
- ⤴ Gutiérrez Pulido, H. 2005. Calidad Total y Productividad. McGraw-Hill. México.
- ⤴ Hernández R. & M. C. Wiemann. 2006. Lumber processing in selected sawmills in Durango and Oaxaca, Mexico. General Technical Report FPL-GTR-167. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Unites States of America.
- ⤴ Jaimes A, F. 2002. Situación Actual y perspectivas del sector forestal Mexicano. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México.
- ⤴ Juárez T, P. 1987. Mejoramiento del rendimiento en aserraderis de mediana capacidad en base a un proceso tipo H. del Parral, Chihuahua. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología

de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 130p

- ✧ Martínez C, R. 2008. Estudio de Técnicas de aserrío en el aserradero de San Pedro. Bolivia es Forestal/Cadefor. Santa Cruz, Bolivia.
- ✧ Méndez C, L. 1996. Principios generales para la determinación del coeficiente de aserrío. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 49p.
- ✧ Moya L, E. 2007. Determinación del coeficiente de aserrío en 4 aserraderos del Estado de Oaxaca. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 130p.
- ✧ Ramírez G. V. 1998. Determinación de la dimensión optima de corte en el aserradero “Noriega”. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 56p
- ✧ Rendón L, E. 1989. Control de calidad estadístico en el proceso de aserrío. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 115p.
- ✧ Ruelas M. L., & Dávalos, S. R. (1999). La industria forestal del Estado de Chihuahua. Madera y Bosques, 79-91.
- ✧ Serrato R, R. 1995. Determinación del coeficiente de aserrío de la empresa forestal del C. Joaquín Arreola E. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 44p.
- ✧ Sosa V H. 1990. Descripción de Métodos de control Total de Calidad para incrementar el beneficio en el Aserradero. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 118p.
- ✧ Vega G, F. 2007. Interrelación de las características de la trocería con el coeficiente de aprovechamiento y las características de la Madera aserrada. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 113p.
- ✧ Willinston E. M. 1981. Small Log Sawmills. Miller Freeman Publications. San Francisco, Unites States of America.

# *Anexos.*

---

**Formato 1. Características de la maquinaria.**

Maquina: \_\_\_\_\_

<b>Características de la Maquina.</b>	
Marca:	
Modelo:	
Tipo:	
Descripción:	

**Formato 2. No. de personas y descripción de sus actividades en el centro de maquinas.**

Centro de maquina: \_\_\_\_\_

No. De personas	
Descripción de sus actividades:	

Formato 3. Trocería.

Especie (s): \_\_\_\_\_ Longitud comercial: \_\_\_\_\_

<b>Datos de campo</b>						
<b>Lote 1</b>						
<b>No</b>	<b>Diámetro 1 (Con corteza) (cm)</b>	<b>Diámetro 2 (Con corteza) (cm)</b>	<b>Diámetro 1 (Sin corteza) (cm)</b>	<b>Diámetro 2 (Sin corteza) (cm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Observaciones (clasificación , conicidad, rectitud, estado sanitario)</b>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						



Formato 4. Control del dimensionado en la madera aserrada.

Maquinaria: \_\_\_\_\_ Medida comercial:  
\_\_\_\_\_

No.	Mediciones							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
...								
100								

Tabla 5. Centro de maquinas – Tiempo muerto

Maquina: \_\_\_\_\_

Horas: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Minuto No.	Observaciones	Trabajando	Tiempo muerto		
			Causado por maquinaria	Causado por operador	Causado por capacidad de alimentación
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
...					
40					
Total de tiempo productivo/improductivo					
Porcentaje de productividad o improductividad					

Tabla 6. Tiempos y movimientos.

No. Troza	Diámetro (cm)	Tiempo de carga	Tiempo de volteo				Total por tiempo de carga y volteo	Tiempo total de aserrío de la troza	Tiempo de corte	No. De cortes
			Primera	Segunda	Tercera	Cuarta				

Aserrador \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Longitud de la troza:  
 \_\_\_\_\_