

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**



**ANALISIS DE LA GRANALLA Y SU IMPACTO EN LA  
GENERACION DE POROS EN UN PROCESO  
DE LAMINACION EN FRIJO**

**POR**

**ING. JESUS RIGOBERTO GARZA FLORES**

**TESIS**

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE  
LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD EN  
RELACIONES INDUSTRIALES**

**CD. UNIVERSITARIA**

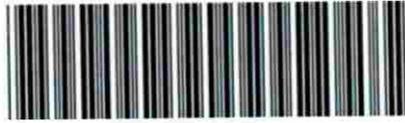
**MAYO DE 2005**

2005

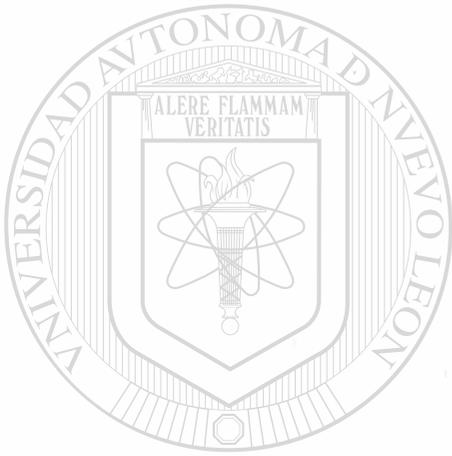
TM  
25853  
FINE  
2005  
G379

ANALISIS DE LA GRANALLA Y SU IMPACTO EN LA  
GENTRIFICACION DE POROS EN UN PROCESO  
DE LAMINACION EN FRIO

IRCA



1020151103



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

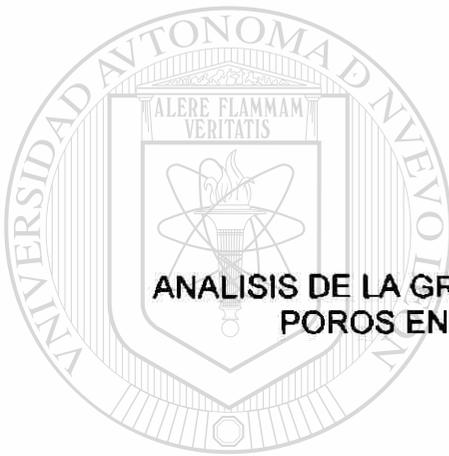
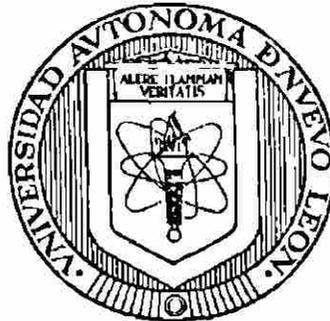


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANÁLISIS DE LA GRANALLA Y SU IMPACTO EN LA GENERACION DE  
POROS EN UN PROCESO DE LAMINACION EN FRIO

POR

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ING. JESUS RIGOBERTO GARZA FLORES  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
ADMINISTRACIÓN CON ESPECIALIDAD EN RELACIONES  
INDUSTRIALES

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2005

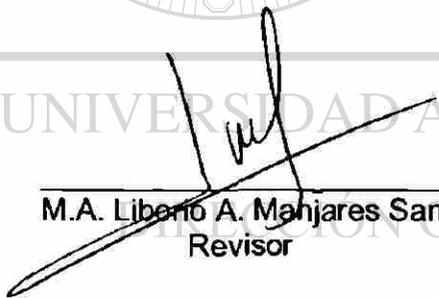
**Universidad Autónoma de Nuevo León**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**División de Estudios de Posgrado**

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis "Análisis de la Granalla y su Impacto en la Generación de poros en un proceso de laminación en Frío", realizada por el alumno Jesús Rigoberto Garza Flores con número de matrícula 0956445 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Relaciones Industriales.

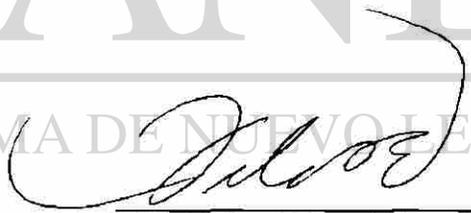
**El Comité de Tesis**



Dr. Matias Alfonso Botello Treviño  
Asesor

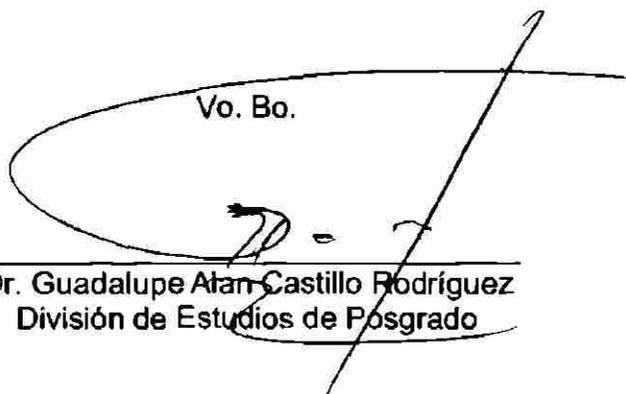


M.A. Liberto A. Manjares Santos  
Revisor



M.C. Felipe Pérez Elizondo  
Revisor

Vo. Bo.



Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez  
División de Estudios de Posgrado

Ciudad Universitaria, a 23 de Mayo de 2015

## DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR QUE ME ILUMINÓ CON LA SABIDURÍA NECESARIA PARA ALCANZAR ESTE RETO QUE ERA TERMINAR MIS ESTUDIOS DE POSTGRADO.

A MIS PADRES QUE ME BRINDARON SUS CONSEJOS, COMPRENSIÓN Y PACIENCIA PARA SALIR ADELANTE.

A MIS ABUELITOS Y HERMANO QUE TAMBIÉN ESTUVIERON APOYANDOME EN TODO MOMENTO.

A TODA MI FAMILIA QUE ME BRINDARON SU APOYO INCONDICIONAL.

GRACIAS.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## PRÓLOGO

“En el aquí y en el ahora” de la realidad práctica de una planta, frente a turnos de 24 horas y ante la imposibilidad de experimentar “en-línea”, pronto se descubre la dificultad de emular un proceso complejo en un laboratorio cuando se carece de un presupuesto destinado a la investigación y desarrollo.

Muy creativamente entonces, los esfuerzos del proyecto se orientan hacia estructurar pequeñas hipótesis independientes, edificadas sobre la base de supuestos conocidos y validados por personal experimentado en la planta.

Entonces, y a pesar de las restricciones prácticas encontradas, de las once hipótesis de generación de poros originales, ocho son exitosamente confirmadas / desconfirmadas. De hecho en cuatro de ellas se recurre a la aplicación de métodos estadísticos formales, mientras que en las otras cuatro se descubren nuevas piezas de información que conducen a una resolución final.

---

Adicionalmente, aunque desde un principio la implementación queda fuera de los objetivos del proyecto, se presenta la oportunidad de diseñar y participar en la implementación de una prueba piloto para estimar el impacto potencial de una las propuestas diseñadas para reducir los defectos en poros. Propuesta que de hecho ya ha sido implementada.

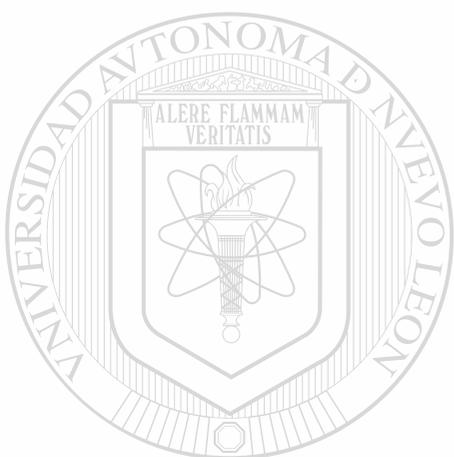
Se demostró profesionalmente como la reflexión, la creatividad y sobre todo una positiva actitud de “¿cómo si...?” son ingredientes fundamentales de una investigación con un enfoque práctico.

ING. JESUS RIGOBERTO GARZA FLORES

## INDICE

Síntesis	
Introducción	1
<b>CAPITULO 1. Metodología</b>	
1.1 Metodología Seis Sigma (DMAIC)	4
1.2 Herramientas básicas de Seis Sigma	9
<b>CAPITULO 2. Define (Definir)</b>	
2.1 Planteamiento del Problema	13
2.2 Antecedentes	15
2.3 Objetivo del Proyecto	16
2.4 Proceso de laminación en HYLSA D.A.P	17
2.5 El proceso de laminación en frío	20
2.6 Descripción del Molino Frió 4	23
2.7 Rodillos para Laminación en Frío	25
2.7.1 Clasificación	25
2.7.2 Rodillos de acero forjado	27
2.8 Proceso de Matizado	35
2.9 Medición dureza de rodillos	37
2.10 Granalla	38
2.11 Proceso fabricación de granalla utilizada en HYLSA	44
<b>CAPITULO 3. Measure (Medir)</b>	
3.1 Cambio de rodillos	53
3.2 Toneladas sin procesar	55
<b>CAPITULO 4. Analyze (Analizar)</b>	
4.1 Generación de Hipótesis: Causas de Poros	58
4.2 Estrategias y Pruebas para validar las hipótesis	63
4.2.1 Definición de Prueba de Hipótesis Estadística	64
4.2.2 Metodología para la planeación de una Prueba de Hipótesis Estadística	64
4.3 Análisis de las Hipótesis	67
4.3.1 Prueba de Hipótesis "Granalla: 63-66 HRC"	67
4.3.2 Prueba de Hipótesis "Rodillo: 60-63 HRC"	72
4.3.3 Prueba de Hipótesis "Correlación dureza-diámetro de rodillo"	77
4.3.4 Prueba de Hipótesis "Dureza granalla mayor dureza rodillo"	79
4.4 Prueba "Acumulación de granalla en los extremos de los rodillos"	82
4.4.1 Prueba de Hipótesis "Acumulación de granalla en los extremos de los rodillos"	83
4.5 Hipótesis Tamaño	85
4.6 Hipótesis Morfología	85
4.7 Hipótesis Microestructura	85
4.8 Hipótesis Mezcla de Granalla	85
4.9 Hipótesis Desbaste	86
4.10 Hipótesis Acumulación de finos de Hierro	86

4.11 Hipótesis Impurezas en Solución de Rolado	86
<b>CAPITULO 5. Improve (Mejorar)</b>	
5.1 Propuestas de solución	88
5.2 Método General de Aceptación de lotes	89
5.3 Evaluación de proveedores de granalla	102
5.4 Proceso EDT (ELECTRO DISCHARGE TEXTURING)	106
5.5 Limpieza de rodillos	108
<b>CAPITULO 6. Control (Controlar)</b>	
6.1 Propuestas de Implementación Control	113
Conclusiones	116



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **SÍNTESIS**

Este trabajo presenta los resultados obtenidos durante la investigación realizada con el fin de encontrar las causas del surgimiento de poros en los rollos que se producen en el molino frío 4, así como también encontrar y proponer posibles soluciones de este problema.

Esta investigación consistió, entre otras cosas, en analizar los componentes involucrados en la producción de los rollos, para poder determinar una serie de hipótesis que pudieran causar el problema de poros y poder realizar pruebas para ver los efectos. Los resultados de estas pruebas muestran cuales son los principales factores que son provocadores de poros y proporcionan evidencia para poder llegar a una solución factible que elimine o disminuya este problema.

Entre las causas que originan el problema de poros están: dureza fuera de especificación, ya sea de los rodillos de trabajo que se utilizan en el molino frío 4, o de la granalla que se utiliza para matizar el rodillo para que este tenga la rugosidad necesaria. Otra de las causas más importantes es la limpieza inadecuada de rodillos, ya que entran al molino sucios de granalla.

Este trabajo lleva eventualmente a generar propuestas de cambio para poder solucionar el problema de poros. Propuestas que representan beneficios para la empresa.

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente la calidad es uno de los aspectos más cuidados por todas las compañías productoras y prestadoras de servicios, ya que a diferencia de los años 50's el cliente actualmente es quien tiene la última palabra. Toda empresa que busca sobresalir en su respectivo mercado, requiere estar abierto a las necesidades específicas de sus clientes, para cada día ofrecerles productos y/o servicios de mayor calidad y que cumplan con sus expectativas. Sin embargo, estas expectativas se vuelven cada vez mayores, y las empresas deben de enfocarse en resolver los problemas de calidad que les impidan dar ese buen servicio o producto que sus clientes esperan.

A través de los años, la investigación se ha convertido en una herramienta poderosa para la industria que busca tanto resolver problemas actuales, como desarrollar nuevas tecnologías o productos, con el fin de ir a la delantera frente a un mercado cada vez más competitivo. Por esta razón, actualmente, cada vez son más las investigaciones que se enfocan a resolver un problema práctico relacionado con la industria o en desarrollar avances para las mismas, pero siempre sin perder el enfoque de una aplicación práctica.

En este trabajo se presenta una investigación realizada en HYLSA División Aceros Planos, la cual es una empresa que trata de dar la mejor calidad en todos los aspectos a sus clientes, además de tratar de resolver cualquier tipo de problema que estos tengan con el producto que la empresa fabrica. El objetivo de este trabajo consiste en encontrar las causas por las cuales se generan poros en los rollos que HYLSA produce. Este es un problema que afecta una de las variables críticas de la calidad del producto terminado, inconformando a los clientes y en muchos casos generando costos adicionales relacionados con el retrabajo de los rollos. Más adelante, en el desarrollo de este trabajo, se explicarán con más detalle tanto el problema como sus consecuencias para la empresa.

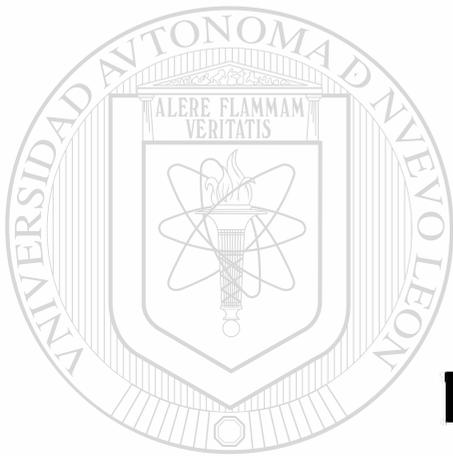
A continuación se presenta todo el trabajo desarrollado durante esta investigación, el cual consiste desde una investigación bibliográfica sobre el proceso de laminación, los rodillos utilizados en el mismo, como de la granalla que se utiliza para matizar a los rodillos, hasta lo más importante que consiste en presentar las causas del surgimiento de poros en los rollos, y la realización de algunas pruebas de hipótesis.

La metodología en la que me basé para la realización del proyecto es la **METODOLOGIA SEIS SIGMA**, ya que “Seis Sigma” se basa en el método científico usando el pensamiento y métodos estadísticos. El pensamiento estadístico, por lo tanto, es fundamental en la metodología porque “Seis Sigma” es una acción orientada, enfocada a mejorar los procesos utilizados para servir al cliente, y a la reducción de los defectos por reducción de la dispersión.

Al final de este documento se presentan las propuestas de posibles soluciones para el problema de poros.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN<sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



# **CAPITULO 1 METODOLOGÍA**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## METODOLOGÍA SEIS SIGMA

### 1.1 Metodología Seis Sigma DMAIC.

El término “mejora del proceso” se refiere a una estrategia para desarrollar soluciones enfocadas a eliminar las causas raíces de los problemas en el desempeño del negocio. Otras terminologías que han sido usadas sinónimamente incluyen “mejora continua”, “mejora incremental” o “kaizen”. En esencia un esfuerzo de mejora del proceso busca arreglar un problema al mismo tiempo que deja intacta la estructura básica del proceso. En términos seis sigma, el énfasis es en encontrar y darle solución a los pocos factores vitales “X” que causan el problema o dolor “Y”. La gran mayoría de los proyectos seis sigma son esfuerzos de mejora del proceso.

Han habido muchos “modelos de mejora” aplicados a los procesos desde que empezaron los movimientos de calidad. Muchos de estos modelos están basados en los pasos introducidos por W. Edwards Deming, que son Planear, Hacer, Checar, Actuar.

- **Planear.** Revisar el desempeño actual en busca de problemas. Reunir datos de los problemas clave. Identificar las causas raíz de los problemas. Divisar las posibles soluciones. Planear una prueba de implementación de la solución con mayor potencial.
  - **Hacer.** Pilotear la solución planeada.
  - **Checar.** Medir los resultados de la prueba para ver si se alcanzaron los resultados deseados. Si salen más problemas, buscar las barreras que están obstruyendo los esfuerzos de mejora.
  - **Actuar.** Basados en los resultados de las pruebas y su evaluación, refinar y expandir la solución para hacerla permanente e incorporar el nuevo método, siempre que sea aplicable.

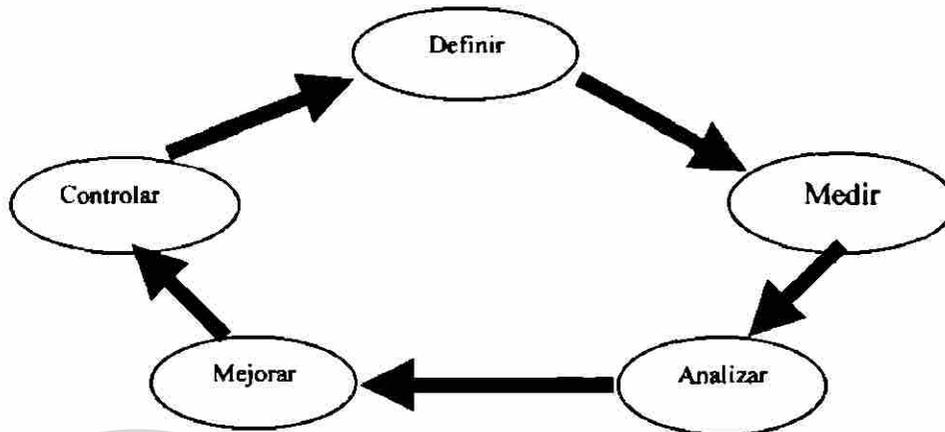
DMAIC (siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve and Control) es un ciclo de mejora de 5 fases que se ha estado haciendo cada vez más común en las organizaciones Seis Sigma. DMAIC está basado en los pasos propuestos por Deming (Planear, Hacer, Checar y Actuar) y se usa tanto en “Mejora de Proceso” como en “Diseño/Rediseño del Proceso”.

Al tomar este orden, estas actividades construirán las bases esenciales que darán el soporte necesario para hacer las mejoras Seis Sigma. Específicamente, las ventajas de usar esta secuencia son:

- Un entendimiento claro del negocio como un sistema interconectado de procesos y clientes.
  - Mejores decisiones o usos de los recursos, para obtener la mayor cantidad posible de beneficios del sistema de mejoras de Seis Sigma.
  - Tiempos de ciclos más cortos para hacer mejoras, gracias a la recolección de datos y selección de proyectos.
  - Una validación más precisa de las ganancias Seis Sigma, ya sea en dólares, defectos, satisfacción del cliente u otras medidas.
- 
- Una infraestructura más fuerte, para soportar los cambios y mantener los resultados.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El proceso de DMAIC (figura 1) se usa cuando haya un proceso o producto existente que puede ser mejorado lo suficiente para cumplir o exceder los requerimientos del cliente.



**Figura 1. Modelo de mejora DMAIC**

### 1.1.1 Etapa de DEFINICION

La etapa de definición es la primera fase de la metodología DMAIC. Esta fase identifica el producto y/o proceso a ser mejorado y asegura que los recursos están disponibles para el proyecto de mejora.

La etapa de definición es importante porque fija las expectativas del proyecto de mejora y mantiene el enfoque de la estrategia Seis Sigma en los requerimientos de los clientes.

**Entregables (Outputs) de la etapa de definición.**

- Los pocos requerimientos del cliente, críticos para la calidad, para un producto o proceso.
- El equipo de trabajo.
- El propósito y objetivo del proyecto Seis Sigma.
- Un mapa de proceso de alto nivel que muestre gráficamente los eventos principales que ocurren en el proceso.

### 1.1.2 Etapa de MEDICION

La etapa de medición es la segunda fase de la metodología DMAIC. Esta fase define los defectos, recolecta información base acerca del producto o proceso y establece los objetivos de mejora.

La etapa de medición es importante porque te permite entender la situación actual del proceso antes de hacer cualquier mejora. Debido a que la etapa de medición está basada en información real (datos válidos), elimina "los sentimientos o el yo creo" de como está trabajando el proceso.

Entregables (outputs) de la etapa de mejora.

- Mediciones claramente definidas del output del proceso (las Ys).
- Datos válidos del output del proceso (las Ys) y las variables que impactan el proceso (las Xs).
- Una evaluación precisa del desempeño actual del proceso.
- Los objetivos de la mejora.

### 1.1.3 Etapa de ANALISIS

La etapa de análisis es la tercer fase de la metodología DMAIC. La fase de análisis examina los datos recolectados en la etapa de medición para generar una lista de prioridades de las fuentes de variación (las Xs).

La etapa de análisis es importante porque enfoca los esfuerzos de mejora al separar las pocas variables vitales (aquellas variables que tienen la mayor probabilidad de ser las responsables de la variación) de las muchas triviales (aquellas variables que tienen muy poca probabilidad de influir en la variación).

Entregables (outputs) de la etapa de análisis:

- Una lista de prioridades de las fuentes potenciales de variación.
- Un estimado refinado de los beneficios financieros que se pueden obtener al mejorar el proceso.

#### 1.1.4 Etapa de MEJORA

La etapa de mejora es la cuarta fase de la metodología DMAIC. La fase de mejora confirma que la solución propuesta cumplirá o excederá con los objetivos de mejora del proyecto.

La etapa de mejora es importante porque aquí se prueba la solución a pequeña escala en el mundo real. Esto asegura que se ha arreglado la causa de variación y que la solución trabajará cuando esté completamente implementada.

Entegables (outputs) de la etapa de mejora.

- La solución propuesta.
- La prueba piloto de la solución.

---

#### 1.1.5 Etapa de CONTROL

La etapa de control es la quinta fase de la metodología DMAIC. La fase de control implementa la solución, asegura que la solución es mantenida y comparte las lecciones aprendidas del proyecto de mejora con toda la compañía.

La etapa de control es importante porque asegura que las mejoras hechas al proceso, una vez implementadas, se mantendrán, y el proceso no se regresará a su estado anterior.

Además la fase de control asegura que la información sea compartida para que ayude a acelerar proyectos de mejora similares en otras áreas.

Entregables (outputs) de la fase de control:

- Proceso mantenido
- Documentación del documento.
- Oportunidades para acelerar proyectos similares e otras áreas.

## 1.2 Herramientas básicas de seis sigma.

Hay muchas herramientas disponibles para ser utilizadas en los proyectos de Seis Sigma. Se debe conocer muy bien cada una para poder aplicar la herramienta que más nos puedan ayudar al momento de hacer un proyecto. La intención de este apartado es sólo mencionar las que existen, mas no explicar a detalle el uso de cada una.

*Las herramientas básicas que hay disponibles para aplicarse a los proyectos de Seis Sigma son (Breyfogle, 1999):*

1 Estadística Descriptiva (Descriptive Statistics). Es un resumen estadístico tabulado de un conjunto de datos, donde se dan los valores de la mediana, la media, la desviación estándar de los datos, etc.

2 Cartas de Corrida (Run Chart). Es una gráfica de una variable contra el tiempo, donde el eje de las "y" es la variable medida y el eje de las "x" es el tiempo. Sirve para determinar tendencias o patrones de los datos. Un equipo de trabajo puede usar una carta de corrida para comparar el desempeño de una variable antes y después de la implementación de la solución, para determinar su impacto.

3 Cartas de Control (Control Chart). Las cartas de control ofrecen el estudio de la variación y sus fuentes. Las cartas de control pueden monitorear y controlar el proceso y también pueden dar la dirección para la mejora.

4 Trazo de Probabilidad (Probability Plot). Los trazos de probabilidad están más frecuentemente asociados con las pruebas de normalidad de datos.

Cuando los datos están en una línea recta en un trazo de probabilidad normal, se asume que los datos provienen de una distribución normal.

5 Hojas de Chequeo (Check Sheets). Las hojas de chequeo sirven para registrar y recopilar datos de observaciones. Esta información puede indicar patrones y tendencias.

6 Gráfica de Pareto (Pareto Chart). Las cartas de pareto son una herramienta de gran ayuda. Por ejemplo pueden ayudar a identificar fuentes de problemas crónicos o causas comunes en el proceso de manufactura. El principio del pareto básicamente establece que las pocas características "vitales" de un proceso de manufactura, causan la mayoría de los problemas de calidad en una línea de producción, mientras que las muchas características "triviales" de un proceso causan solo una pequeña porción de los problemas de calidad.

7 Lluvia de ideas. Una sesión de lluvias de ideas puede ser muy valiosa para que un equipo de trabajo genere nuevas ideas.

8 Análisis del campo de fuerzas. El análisis del campo de fuerzas puede ser utilizado para analizar qué fuerzas en una organización dan soporte o te llevan hacia una solución y cuáles restringen el proceso.

9 Diagrama Causa-Efecto. También conocido como "diagrama de Ishikawa" o "diagrama de pescado", es una herramienta muy útil para disparar ideas, donde los individuos pueden listar las fuentes (causas) del problema (efecto). Esta técnica también puede ser utilizada para determinar los factores a considerar en un diseño de experimentos.

10 Diagrama de afinidad. Usando un diagrama de afinidad, el grupo puede organizar y sumarizar la generación de muchas ideas desconectadas y problemas. A partir de este resumen, se puede entender mejor la esencia de los problemas y se puede generar alternativas de solución.

11 Gráfica de dos variables. Es el trazo de una variable contra otra para determinar la relación entre ellas. Las pruebas de correlación usan estas gráficas para probar la significancia estadística de la relación.

12 Funcion de despliegue de la calidad-QFD (Quality Function Deployment). Es es un sistema de calidad para la competitividad estratégica; maximiza la calidad positiva que agrega valor; busca requisitos hablados y no hablados del cliente, los traduce a requisitos técnicos, les da la prioridad y los ordena. Busca optimizar las características que aporten ventajas competitivas.

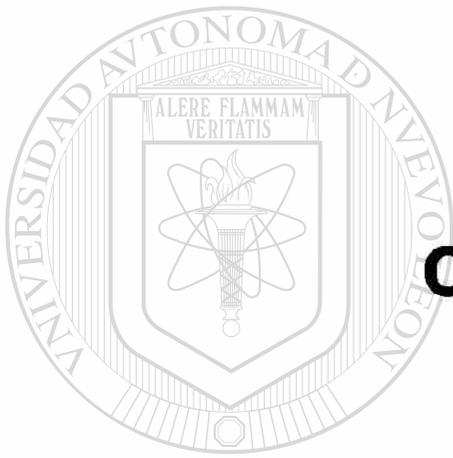
13 AMEF - Analisis del modo y efecto de la falla. Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

14 Box Plot. Es un diagrama que proporciona un resumen visual excelente de muchos aspectos importantes de una distribución

*Herramientas mas avanzadas:*

15 Pruebas de Hipótesis e Intervalos de Confianza. Intervalo de confianza es una técnica estadística de estimación que consiste en asociar a cada muestra un intervalo que contiene al parámetro poblacional con una determinada probabilidad de cometer un error. La prueba de hipótesis, es la hipótesis que se expresa en términos de parámetros poblacionales, se compone de una hipótesis nula expresada como igualdad y una alternativa, dependiendo de la hipótesis alternativa se puede tratar de una prueba o de una cola o de dos colas.

16 Prueba de ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor. Es una extensión de la prueba t Student, para comparar más de dos tratamientos, a través de particionar la varianza en componentes.



## **CAPITULO 2**

### **DEFINIR**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

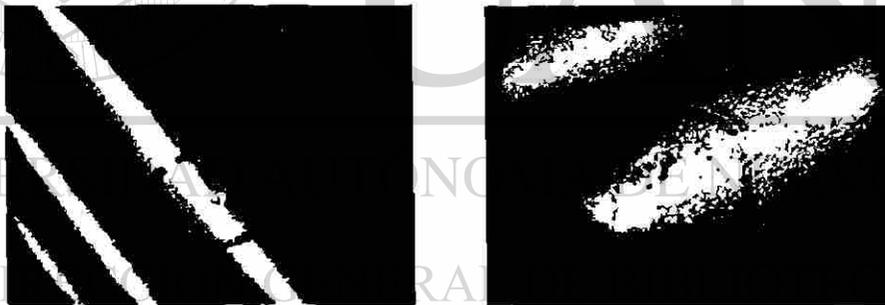
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los requerimientos de calidad por parte de los clientes exigen a los productores un mayor control en la elaboración de sus productos. HYLSA es una empresa consciente de estas exigencias por lo que se busca que todos sus productos sobrepasen las expectativas del cliente, para lo cual es necesario eliminar todo tipo de defectos provenientes de la línea de producción que pudiera afectar la satisfacción final del cliente.

Uno de los problemas de calidad dentro de HYLSA D.A.P. ( División de Aceros Planos) se encuentra en el proceso de laminación en frío. El problema consiste en pequeñas marcas superficiales en los rodillos de trabajo de los molinos de laminación en frío, conocidas como poros, las cuales se presentan como pequeños hundimientos en la superficie de los mismos, como puede verse en la figura 2.1.



**Figura 2.1 Muestras de poros en rodillos de trabajo**

Cabe mencionar, que para la explicación de este problema, así como los antecedentes del mismo, se hará uso de términos relacionados con el proceso de laminación. El proceso así como dichos términos se explicarán con detalle más adelante para que sea fácil la comprensión de los mismos.

Durante el proceso de rolado (proceso que disminuye el grosor de la lámina) cuando los rodillos de trabajo están en contacto con la lámina, los poros en los rodillos imprimen su forma sobre el producto de tal manera que se forman pequeños abultamientos (chichotas) de aproximadamente 1mm (0.04 in) de diámetro. Debido a esto el defecto en la lámina se presenta de forma que se pueden observar "poros" a lo largo de toda la lámina rolada, separados uno de otro a una distancia igual al perímetro del rodillo de trabajo, como puede verse en la figura 2.2



**Figura 2.2 Poros en lámina.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Por lo tanto el problema de los poros en rodillos de laminación del molino frío 4 se ve claramente reflejado en una lámina rolada en frío, la cual causa problemas con la aceptación de la misma por parte de los clientes.

La formación de poros afecta directamente al cliente interno (siguiente proceso) ya que al tener la lámina un poro, el cliente interno desperdicia tiempo en removerlo y luego continuar con su proceso real, si no se remueve el defecto en ninguno de los procesos, el cliente lo va a rechazar directamente.

## 2.2 Antecedentes

En general, dentro del seguimiento que se le ha dado a este problema en el departamento de Ingeniería de Calidad, se ha buscado caracterizarlo en base a:

- a) clasificar el defecto en términos de sus características más importantes tales como forma, tamaño, localización, etc.,
- b) identificar las variables del proceso con las que está fuertemente relacionado tales como diámetro y dureza de rodillos, etc.

En particular se han realizado diferentes pruebas en la línea con el fin de evaluar el comportamiento de los rodillos de trabajo en los procesos de rectificado (proceso que desbasta el rodillo) y matizado (proceso donde se le da la rugosidad necesaria al rodillo mediante la granalla). Estas pruebas consistieron en evaluar la superficie de los rodillos inspeccionándolos después del rectificado para en seguida matizarlos y pegarles granalla (partículas de acero que sirven para la preparación de la superficie de los rodillos de trabajo) en distintos puntos de su superficie; posteriormente los rodillos de trabajo se montaron y se prepararon para entrar a trabajar al molino frío 4, para después sacarlos e inspeccionarlos de nuevo, dando los siguientes resultados:

- Se observaron grandes cantidades de granalla concentradas en los cuellos de los rodillos, permaneciendo ahí gracias al magnetismo existente. Esto se observó aún cuando los rodillos deben estar completamente limpios, ya que después del matizado deben ser sopleteados con aire para eliminar cualquier partícula que haya quedado en ellos.

- Como resultado de pegar granalla en la superficie del rodillo, se encontró que ésta marcó a ambos rodillos (ya que son dos rodillos que trabajan para reducir el espesor de la lámina) de forma idéntica a un poro, las marcas que se imprimieron en la lámina corresponden a las marcas de la granalla que marcaron los rodillos.

### **2.3 Objetivo del proyecto.**

El objetivo de este proyecto es diseñar una solución para disminuir el deterioro superficial de los rodillos de trabajo del molino frío 4 a causa de poros y reducir los rechazos por porosidad en el producto causada por la granalla (partículas metálicas de acero que sirven para la preparación de la superficie de los rodillos de trabajo).

Este proyecto busca cumplir con su objetivo a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar el defecto: Determinar las principales variables del proceso que causan el defecto por porosidad.
2. Determinar los efectos de dichas variables sobre la calidad y el costo del producto terminado.
3. Diseñar un sistema para reducir el defecto por porosidad.
4. Predecir los resultados de implementar el sistema.
5. Planear y de ser factible conducir pruebas pilotos, para probar y perfeccionar el sistema diseñado.

En los siguientes capítulos se desarrollarán cada uno de estos objetivos, mostrándose los resultados tanto de investigación bibliográfica como de las pruebas realizadas, para finalizar presentando las posibles soluciones y conclusiones que se generaron a partir de toda la investigación al respecto del problema de poros en rodillos de trabajo para el molino frío 4 (MF-4).

## 2.4 Proceso de laminación en HYLSA D.A.P.

Ya que se han mencionado los puntos más importantes del proceso de laminación, ahora se describirán brevemente los procesos dentro de HYLSA División Aceros Planos, para comprender mejor todo lo que rodea al proceso de laminación en frío, ya que este proyecto se enfoca específicamente en este proceso.

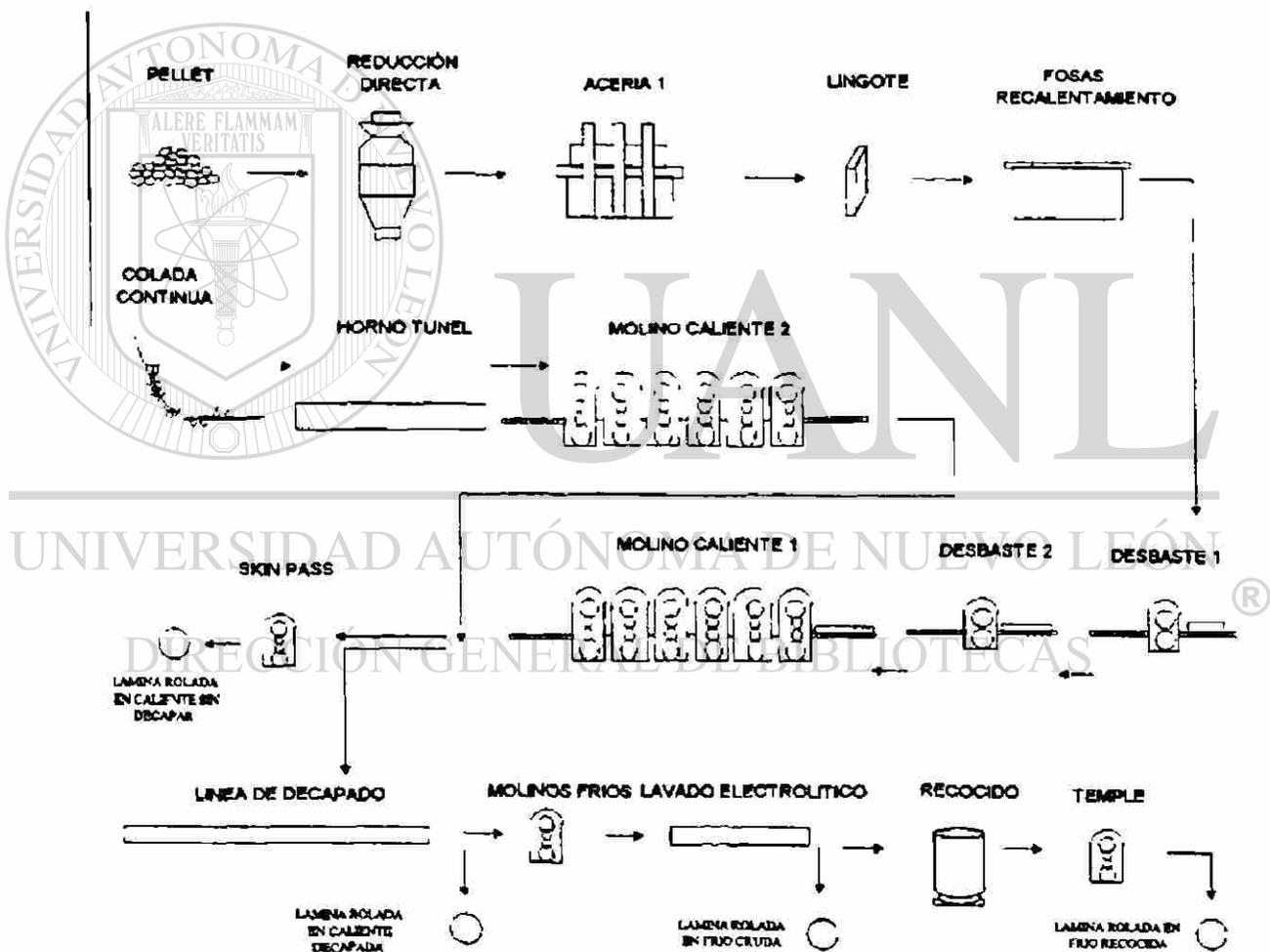


Figura 2.3 Proceso HYLSA División Aceros Planos

En la figura 2.3 se muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de todos los procesos que podemos encontrar dentro de HYLSA D.A.P. Todo el proceso comienza con la materia prima que es mineral de hierro en forma de pellets, los cuales se utilizan para fabricar hierro esponja mediante el proceso de reducción directa.

Después este hierro esponja es alimentado a un horno junto con chatarra donde se funden; durante este tiempo se realizan pruebas para verificar la composición de la colada y controlar los elementos de aleación, los cuales varían dependiendo de la especificación de una colada determinada. Una vez terminada esta parte del proceso, la carga del horno es vaciada en goteras, donde se deja enfriar para formar los lingotes.

El siguiente paso es el de descoquile que consiste en sacar el lingote de las lingoteras, los cuales pasan a unas fosas de recalentamiento donde su temperatura se eleva para poder trabajarlos.

Después el lingote pasa a través de los molinos de desbaste. En el molino de desbaste 1, el lingote, cuyo espesor es de 406.4 mm (16 in), es reducido hasta un planchón de 101.6 mm (4 in) de espesor. En el molino de desbaste 2, el planchón es reducido hasta una placa de 25.4mm (1 in) de espesor. Posteriormente, la placa pasa por el molino caliente, ahí el espesor de la lámina es reducido hasta alrededor de 1.8 mm (0.070 in), dependiendo del pedido específico.

Actualmente, además de este proceso clásico para la producción de acero, HYLSA D.A.P. cuenta con una línea colada continua, en la cual se produce lámina rollada en caliente de hasta 1 mm (0.039 in) de espesor.

Después de la laminación en caliente la lámina, proveniente tanto del molino caliente 1 como de la línea colada continua, pasa a través del proceso de decapado cuyo fin es limpiar y quitar todo el óxido de la lámina rodada en caliente.

El siguiente proceso es la laminación en frío, durante el cual el espesor de la lámina es reducido aún más, pudiendo llegar hasta aproximadamente 0.23 mm (0.009 in). En seguida la lámina pasa por el proceso de lavado para quitar todo el aceite de rodado de la superficie de la lámina. Por último la lámina pasa por los procesos de recocido y temple para darle las propiedades de dureza y resistencia necesarias.

Dentro de todo este proceso que se lleva a cabo en HYLSA, esta investigación centra su atención en el proceso de laminación en frío, específicamente Molino Frío 4, ya que es aquí donde se presenta el problema de poros. La velocidad, carga y número de pases que se manejan en el proceso dependen del tipo de acero que se esté trabajando (eléctrico, alta resistencia, comercial) y de las especificaciones para la lámina.

---

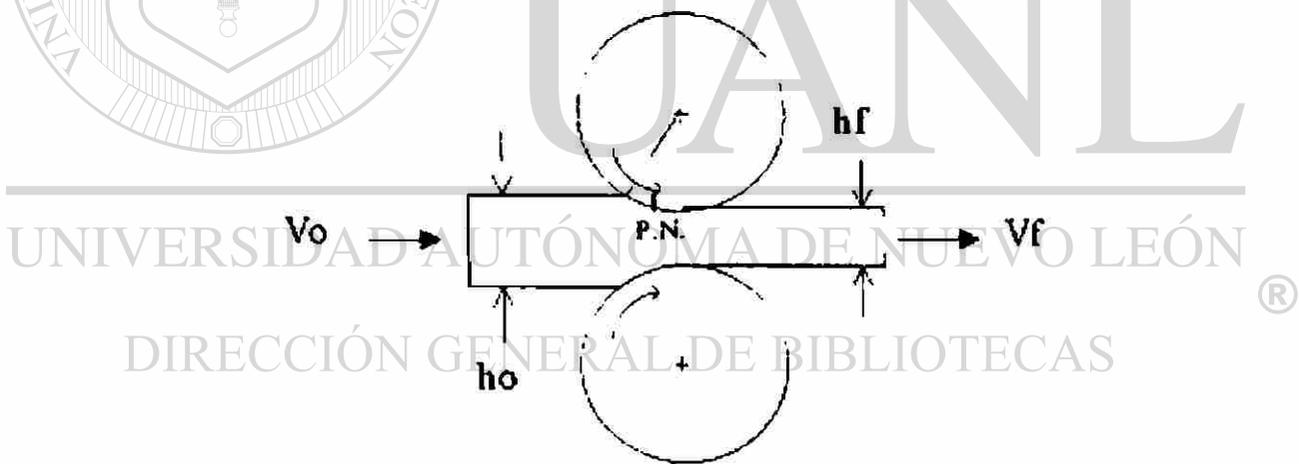
El proceso de laminación, también conocido como rodado, es una de las técnicas más utilizadas para trabajar el acero y muchos otros materiales.

Aún cuando la laminación parezca un proceso relativamente sencillo se compone de una gran cantidad de variables que lo hacen interesante y complejo. Por esta razón es importante conocer cómo se realiza este proceso para poder tener una mayor comprensión del mismo y poder realizar un estudio como el que nos interesa en esta investigación.

## 2.5 El proceso de laminación en frío

La laminación consiste, en general, en deformar un determinado material comprimiéndolo entre dos cilindros (rodillos) que giran en sentido contrario, de tal forma que se produzca una reducción, de la sección transversal inicial, consiguiendo en todos los casos una sección menor y una mayor longitud.

El proceso de laminación para productos planos se muestra esquemáticamente en la figura 2.4. En esta figura podemos ver que una placa (o lámina) de espesor  $h_o$  entra por el espacio existente entre los rodillos y es reducida a un espesor  $h_f$  mientras pasa entre los rodillos, los cuales giran a determinada velocidad.



## Figura 2.4 Esquema del proceso de Laminación

A su entrada al rodillo, la velocidad de la lámina es  $V_0$ . Para mantener constante el flujo volumétrico del material, la velocidad de la placa debe aumentar mientras va pasando entre los rodillos. En la salida, la velocidad de la lámina es  $V_f$ . Debido a que  $V_0$  es constante, se presenta un deslizamiento entre la lámina y el rodillo.

A lo largo del arco de contacto existe un punto donde las dos velocidades (del rodillo y de la lámina) son iguales. Este punto es conocido como punto neutro. A la izquierda de este punto, el rodillo se mueve más rápido que la pieza de trabajo, y a la derecha, la pieza se mueve más rápido que el rodillo.

Debido a la fricción en la interfase, las fuerzas de fricción, las cuales se oponen al movimiento, actúan en la superficie de la lámina oponiéndose una a otra en el punto neutro.

Durante el rolado, aún y cuando cierta fricción es necesaria para que los rodillos jalen la lámina, la fuerza de rolado y los requerimientos de potencia aumentan si la fricción aumenta.

### Parámetros del proceso de laminación en frío

Los parámetros más importantes dentro del proceso de laminación son aquellos que están relacionados con la pieza de trabajo, las condiciones de fricción, los rodillos de trabajo y las condiciones de rolado.

PIEZA DE TRABAJO

- Espesor de entrada: Espesor de lámina al entrar al molino.
- Ancho: Ancho de lámina al entrar al molino.
- Rugosidad media de la superficie: Rugosidad de la lámina al entrar al molino.

#### CONDICIONES DE FRICCIÓN

- Presencia de lubricación : Lubricación necesaria para una fricción óptima.
- Rugosidad de la pieza de trabajo: Rugosidad de la lámina.
- Rugosidad de los rodillos: Rugosidad óptima de rodillos.
- Velocidad de rolado: Velocidad del molino frío óptima para buenas condiciones de fricción.

#### RODILLOS DE TRABAJO

- Módulo de elasticidad: Nivel de elasticidad del rodillo.
- Diámetro: Diámetro del rodillo.
- Rugosidad : Rugosidad del rodillo.
- Dureza: Dureza del rodillo.

#### CONDICIONES DE ROLADO

- Velocidad de los rodillos: Velocidad en la que gira un rodillo en el molino.
- Reducción dada a la pieza: Nivel de reducción de espesor que se le desea dar a la lámina.
- Tensión de entrada: Tensión que se le dará a la lámina en la entrada al molino.
- Tensión de salida: Tensión que se le dará a la lámina en la salida del molino.
- Temperatura del refrigerante: Temperatura del refrigerante del molino.

## 2.6 Descripción del Molino Frío 4

En términos generales, tal y como lo muestra la figura 2.5, podemos decir que un molino de laminación para reducir el espesor de productos planos esta compuesto por las siguientes partes:

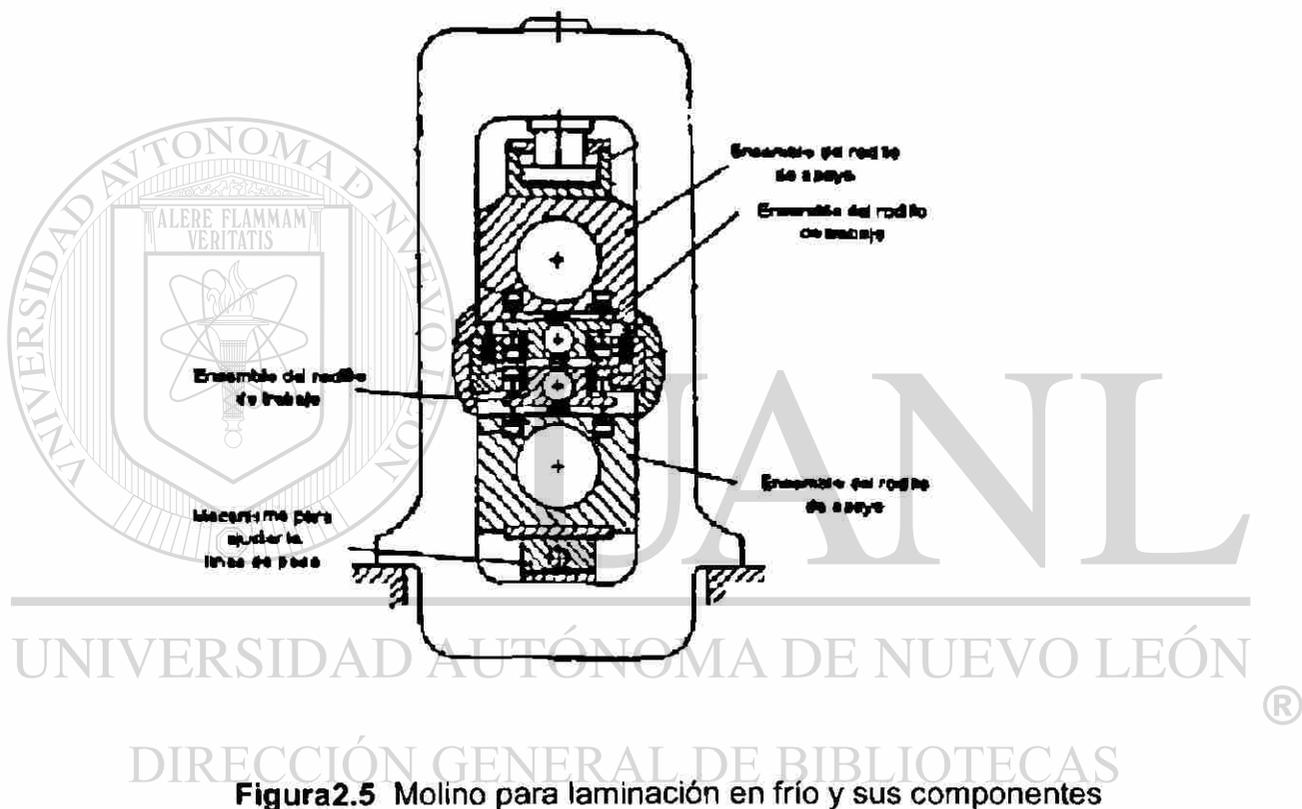


Figura 2.5 Molino para laminación en frío y sus componentes

- Rodillos de trabajo: entre los cuales es reducido el espesor de la pieza.
- Rodillos de apoyo: los cuales soportan a los rodillos de trabajo para disminuir su deflexión bajo la carga aplicada.
- Mecanismos para el ajuste de la separación de rodillos y de peso.

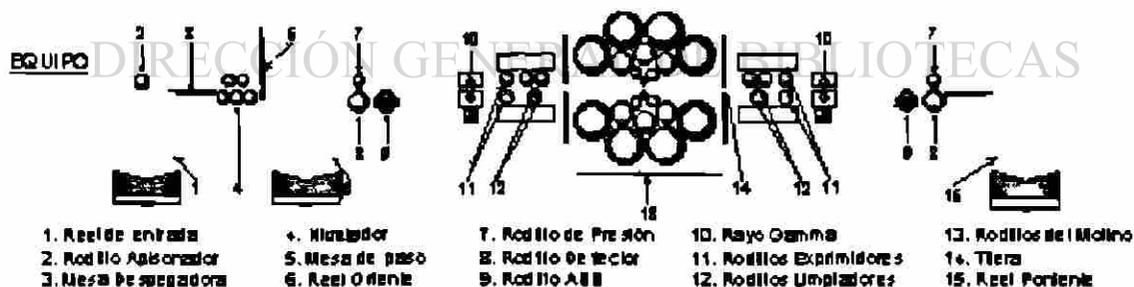
- El castillo o caja, dentro del cual se encuentran todos los componentes del molino y además es diseñada para soportar la carga aplicada.

- El tren de movimiento el cual permite la rotación de los rodillos con la velocidad y troque necesarios.

El proceso de rolado en frío usualmente se realiza cuando el rollo de lámina se encuentra a temperatura ambiente. Durante el proceso el material puede elevar su temperatura a unos 50 – 65°C (122 –150°F).

El objetivo del molino frío 4 es la reducción del espesor de la banda caliente a calibres ultra delgados mediante la aplicación de cédulas de rolado pre-establecidas que van desde tres hasta seis pases de reducción dependiendo del espesor final especificado.

El Molino cuenta con un proceso de laminación reversible que permite tener un mayor control sobre la planeza de la lámina. La velocidad con la que trabaja este molino es de 396 mpm



**Figura 2.6** Proceso Molino Frío 4

Como se puede observar en la figura 2.6 (de izquierda a derecha), del lado izquierdo se colocan los rodillos a procesarse, posteriormente se ajustan al molino,

se le da un pase y se coloca todo el rollo del lado derecho, mientras ese rollo se le da un segundo pase, del lado derecho se coloca el siguiente rollo a procesarse y así continuamente para reducir tiempo de proceso.

## **2.7 Rodillos para laminación en frío**

De todas las partes que componen a un molino de laminación, ninguna es tan importante en el proceso de rolado como los rodillos de laminación. Los rodillos deben de ser capaces de soportar esfuerzos cortantes y de comprensión muy grandes necesarios para deformar el material, en este caso la lámina de acero, sin que ellos mismos presenten una deformación plástica; además, aún y cuando los rodillos sufren una deformación elástica debido a los grandes esfuerzos a los que se someten, esta deformación debe ser controlada satisfactoriamente de manera que la lámina tenga la forma adecuada y para que las fuerzas de rolado se mantengan en un rango específico. Estos esfuerzos y deformaciones están directamente relacionados con las propiedades físicas y las dimensiones de los rodillos, por lo tanto, la geometría y las propiedades metalográficas de los rodillos son variables importantes y de influencia dentro del proceso de laminación.

### **DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

#### **2.7.1 Clasificación de los rodillos para laminación**

Los rodillos para la laminación pueden ser clasificados de muchísimas formas. Pueden ser clasificados de acuerdo al uso que se les da en un molino de laminación determinado, por ejemplo, molino de laminación en frío, de temple, etc., es decir, pueden clasificarse según la clasificación de molinos para laminación.

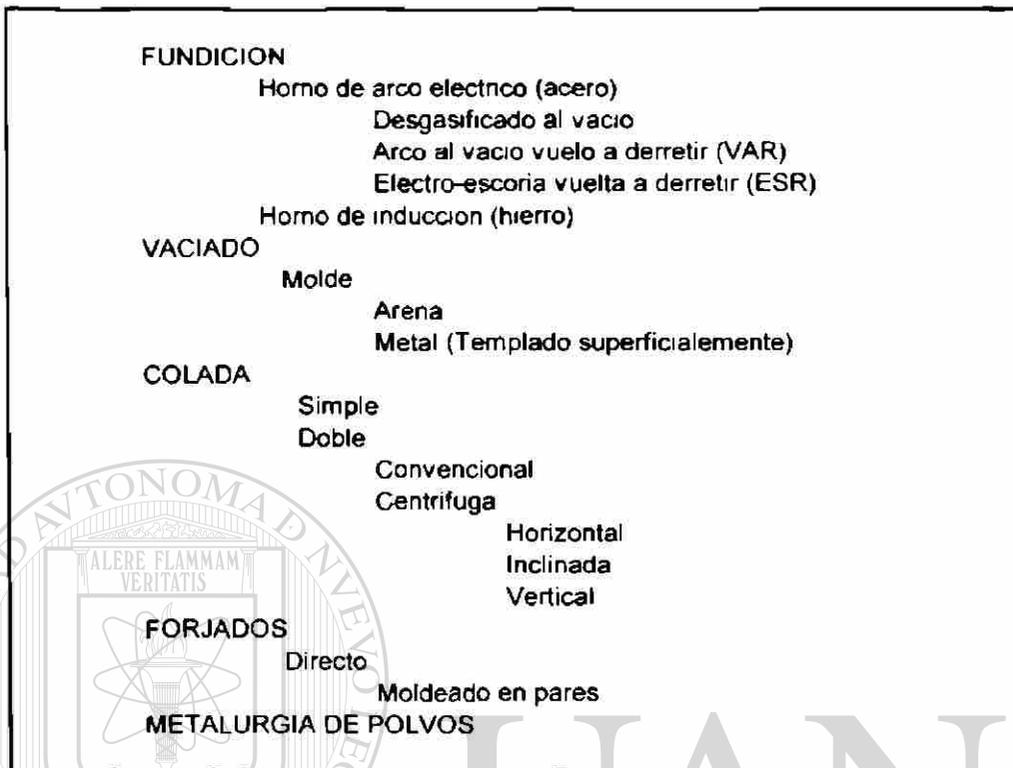
Los rodillos también se pueden clasificar según la estructura (o material) que compone el cuerpo del rodillo, pueden ser rodillos de hierro aleado, de acero

fundido, etc., como lo muestra la tabla 2.7. Además los rodillos pueden clasificarse de acuerdo al proceso de manufactura por el que fueron fabricados; estos pueden ser rodillos vaciados, forjados, etc., los cuales se muestran en la tabla 2.8.

**Tabla 2.7** Estructuras en la tabla de trabajo o cuerpo del rodillo

ACERO	Fundido	Normalizado y Templado Enedureciod y Templado
	Forjado	
	Grafitico	
HIERRO FUNDIDO		
	Blanco	
	Gris	
	Tratado termicamente	
	Nodular	
	Compacto	
CON CARBUROS		

**Tabla 2.8** Proceso de manufactura para rodillos de laminación



Una vez que se han señalado los diversos tipo de rodillos de laminación que existen, ahora nos enfocaremos específicamente en los rodillos de laminación en frío, del molino frío 4, ya que son los que están relacionados directamente con el problema que estamos tratando.

### 2.7.2 Rodillos de acero forjado

Estos rodillos son los rodillos de trabajo que se utilizan en el molino frío 4. Los primeros usos de rodillos de acero forjado fueron en los últimos castillos de los trenes de laminación en frío durante los años 30's. Durante años, la mayoría de los rodillos de laminación en frío fueron fabricados de un tipo de acero al cromo parecido al que se utiliza en los cojinetes de bola. En este tipo de acero el contenido de carbono varía entre 0.8 y 1% mientras que el de cromo va de 1 a 2% dependiendo del fabricante y del tipo de rodillo.

Para rodillos de diámetro pequeño (como los del molino frío 4), generalmente se utiliza una composición con el máximo contenido de carbono y el menor de cromo, mientras que en los rodillos de diámetro grande se utiliza un mínimo de contenido de carbono y un máximo de cromo.

Debido a la evolución que existe en el mercado de productos laminados, las exigencias por una mayor cantidad de estos productos han ido creciendo en los últimos años. Debido a esto, el desarrollo de la fabricación de rodillos de acero forjado ha tenido que evolucionar también para hacer frente a estas crecientes exigencias tanto de acabado como de textura en la superficie de los productos laminados.

El rodillo óptimo, de acuerdo a la evolución del mercado, es aquel que posee las características de alta resistencia al desgaste, propiedades del cuello forjado y una perfil de profundidad de endurecimiento.

---

#### Manufactura de rodillos de acero forjado

A través de los años, la manufactura de los rodillos de acero forjado ha tenido que desarrollarse para poder alcanzar las exigentes tolerancias del proceso de rolado y para dar el acabado final deseado a la superficie de los productos laminados. La calidad de un rodillo forjado tiene una influencia directa sobre la productividad del molino de laminación y en la aceptación de los productos laminados. Además, la tendencia hacia velocidades y presiones cada vez más altas en el rolado, ha incrementado la demanda de este tipo de rodillos.

Los rodillos de acero forjado, con una dureza más uniforme a lo largo de todo su cuerpo, ofrecen una buena resistencia al desgaste, a la penetración, abolladuras, marcas de "cola" y otras manifestaciones del proceso de rolado en

frio, además poseen un elevado módulo de elasticidad el cual permite el rolado a altas velocidades y fuertes presiones sin deformación plástica en la superficie del rodillo.

La superioridad de los rodillos de acero forjado endurecidos, en cuanto a sus propiedades, ha provocado que estos rodillos ocupen el lugar que anteriormente correspondía a los rodillos fundidos.

La metalurgia de los rodillos forjados establece las propiedades del rodillo para alguna aplicación específica desarrollando la combinación óptima entre la composición química del rodillo y su tratamiento térmico. Para obtener la mejor combinación tanto el productor de rodillos como el usuario deben de trabajar unidos para determinar las características de un rodillo para un determinado molino de laminación así como la forma de medir el desempeño del rodillo.

Sin embargo, además de la composición química y tratamiento térmico, la calidad de los rodillos depende de otros factores como microestructura, limpieza del material, tolerancias dimensionales, acabado superficial, entre otros. Por esta razón es importante que se considere el proceso de manufactura como un todo, desde la selección de las materias primas hasta el maquinado que le da el acabado final a la superficie.

### Evolución en la manufactura de rodillos de acero forjado

Realizando un repaso cronológico sobre la evolución de la tecnología de fabricación de rodillos de acero, podemos dividirla en tres etapas:

#### a) Etapa I (1940-1960)

El mercado para los rodillos de acero forjados endurecidos consistía en rodillos de trabajo para molinos de laminación en frío fabricados con materiales fundidos en hornos eléctricos. La meta de la industria era el desarrollo de un

rodillo que ostentase una dureza de cuerpo uniforme y que no se quebrara catastróficamente durante el proceso de fabricación o en servicio para la laminadora. El bajo contenido de cromo cumplían con los requerimientos de dureza.

b) Etapa II (1960- 1970)

Durante esta época se buscaba satisfacer la demanda por una calidad de superficie excepcional y limpieza del cilindro. El mercado principal para los rodillos de acero forjado, eran los rodillos de trabajo de molinos para laminación en frío, haciendo uso limitado de los rodillos de apoyo de acero forjado y rodillos de trabajo de aluminio de laminadoras calientes.

El desgasificado al vacío, la identificación y control de las variables críticas de fabricación y el uso de métodos especiales NDT (pruebas no destructivas) redujo notablemente los casos de ruptura del rodillo y de escamación.

c) Etapa III (desde 1980)

La tecnología de los rodillos se vio afectada directamente durante este período por las mejoras llevadas a cabo en varios sectores a través de la industria de los productos laminados planos. Los procedimientos de mantenimiento fueron realizados por el uso de métodos especiales de pruebas no destructivos. Estos cambios resultaron en una reducción en la escamación de los rodillos al asegurar la eliminación del daño residual durante el proceso de rectificado.

Históricamente, el uso de rodillos profundamente endurecidos fue desaprobado debido a que solían producirse hondas grietas o escamas durante el proceso de laminado. Sin embargo, se demostró que el uso

adecuado de los métodos de pruebas no destructivas por parte del taller de laminados, facilitaba el uso de los rodillos profundamente endurecidos.

Los usuarios finales incrementaron su demanda en cuanto a la calidad (apariencia, acabado y tolerancia) de los productos laminados. Los aumentos en la productividad de la laminadora, exigieron que el acabado y/o la textura se retuviesen durante un periodo mas prolongado para permitir programas mas extensos. La productividad del taller de laminado exigía el uso de rodillos que necesitasen menos eliminación de material al rectificarlos, para restaurar la superficie.

Actualmente, podemos decir que en forma general, el proceso de manufactura de los rodillos de acero forjado esta compuesto por cuatro fases: fundición, forjado, tratamiento térmico y maquinado.

#### •1. Fundición

En realidad, todos los moldes usados en la manufactura de rodillos son diseñados para el proceso de arremolinamiento inferior patentado en 1935. En este método, un movimiento circular es inducido por la rápida vaciada en el molde del metal a través de un tubo tangencial, arrojando de manera centrifuga la densidad mas pura del metal hacia la superficie del rodillo.

Generalmente existen dos tipos de moldes, uno es el molde conocido como tipo "chill", es decir, de enfriamiento rápido y es utilizado principalmente para el cuerpo de los rodillos de trabajo de hierro y acero, así como para rodillos de apoyo.

El segundo tipo de molde, es el conocido como molde dividido y esta pensado para rodillos de laminación de perfiles pero también se usa en el cuerpo de rodillos de acero para laminación de productos planos.

En 1936, el método de doble vaciado se introdujo para producir rodillos con una superficie mas dura y resistente al desgaste, además de resistencia al impacto en el corazón del rodillo. Generalmente los rodillos ya sea de hierro o acero, son vaciados ligeramente sobredimensionados para proporcionar material que se retirará con el maquinado, y así poder quitar posibles defectos en la superficie del rodillo. Sin embargo, el exceso de material debe ser controlado ya que si se sobrepasa cuando éste se retira con el maquinado podría quitársele la dureza adquirida con el tratamiento térmico.

La fundición de rodillos de acero fundido se realiza en hornos de corazón abierto, en donde el material alcanza una temperatura de 3150°C; sin embargo en algunos casos los hornos eléctricos también son empleados.

Por otro lado, la limpieza que se requiere en el material de los rodillos de acero forjado para una aplicación específica determina el método mas adecuado de fundición. La fundición en hornos de arco eléctrico o de inducción, en combinación con una desgasificación al vacío, es comúnmente una técnica utilizada para dar la limpieza necesaria a los rodillos en las aplicaciones para laminación en frío.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En esta etapa es necesario tener cuidado para mantener el contenido de sulfuros y fosfuros lo mas bajo posible. También durante la desoxidación se deben de mantener lo mas bajo posible, los niveles de óxidos complejos de manganeso, silicio o aluminio que pueden formar inclusiones. Otro aspecto importante durante la fundición es que el hidrogeno inevitablemente entra en el molde en forma de vapor de agua en la atmósfera, y si el contenido de hidrogeno en los rodillos de acero forjado no se mantiene por debajo de ciertos niveles (2 partes por millón), se puede presentar el fenómeno de hojuelas, que se caracteriza por el desarrollo de

numerosas rupturas en el acero por debajo de su superficie lo cual puede ocasionar fracturas.

En el caso de los rodillos de acero, el metal fundido es sacado del horno en una o varias ollas a una temperatura lo mas cercana posible a los 1732.2 °C (3150 °F). La escoria flota en la superficie y es removida cuidadosamente, a la temperatura de vaciado que oscila entre los 1427 °C (2600 °F) y los 1482 °C (2700 °F) dependiendo del contenido de carbono. Se mantiene un rango de vaciado de 50 toneladas por hora para mantener el remolino deseado en el molde.

## •2. Forjado

Después de la solidificación del material en el molde, el lingote debe ser cuidadosamente recalentado para el proceso de forjado. El recalentamiento debe ser lento preferiblemente en hornos de fuego directo. Debido a que la conductividad térmica del rodillo es relativamente baja, un rápido recalentamiento podría ocasionar grietas internas en el material.

---

En el proceso de recalentamiento, la pieza debe mantenerse en uno o más niveles de temperatura por debajo de la temperatura de forjado antes de pasar a una temperatura superior. Se sabe que después de que la temperatura ha sido estabilizada en un nivel inferior a la temperatura critica (1450 °F) el acero puede calentarse en rangos de 40 ° a 60 °F por hora hasta alcanzar la temperatura de forjado.

El propósito de la forja es obtener un efectivo fraguado interno, rompiendo las estructuras del vaciado y eliminando las inevitables sustancias heterogéneas en el lingote. Para alcanzar este propósito mas satisfactoriamente, la forma de lingote, la prensa que debe ser usada y la relación de forja deben de ser cuidadosamente determinadas.

Los rodillos ya forjados son normalizados a una alta temperatura arriba de 600 °C (1112 °F) y puestos en un horno recalentador (950 °C), para un recocido de esferoidización (800 °C). Especial cuidado debe de ponerse en la transformación gradual después de que el trabajo de forja se haya terminado, así como para impedir la formación de defectos tales como descascaramiento.

### •3. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico de los rodillos de acero forjado tiene como fin obtener la dureza y la resistencia al desgaste deseada en los cuerpos de los rodillos. Esto es algo complicado especialmente en los rodillos de laminación en frío.

Los tipos de tratamiento térmico están divididos en dos grandes ramas que son tratamiento térmico preliminar y templado para endurecimiento. En algunas ocasiones, ciertas aplicaciones de los rodillos forjados solamente requieren de un tratamiento térmico preliminar para alcanzar las propiedades necesarias. Los tratamientos térmicos siguientes son los más comunes en rodillos de acero forjado.

- 1) Tratamiento térmico preliminar
  - a. Recocido
  - b. Normalizado y templado
  - c. Templado en aceite
  - d. Endurecimiento por flama

- 2) Endurecimiento por temple
  - a. Endurecimiento clásico
  - b. Endurecimiento diferencial
  - c. Revenido

#### •4. Maquinado

El maquinado puede dividirse en dos categorías, el maquinado hecho antes del tratamiento térmico, también conocido como maquinado burdo, y el que se realiza después o maquinado final

El maquinado burdo se realiza en tornos en donde se utiliza el control numérico para proveer al rodillo automáticamente del acabado y dimensiones requeridas.

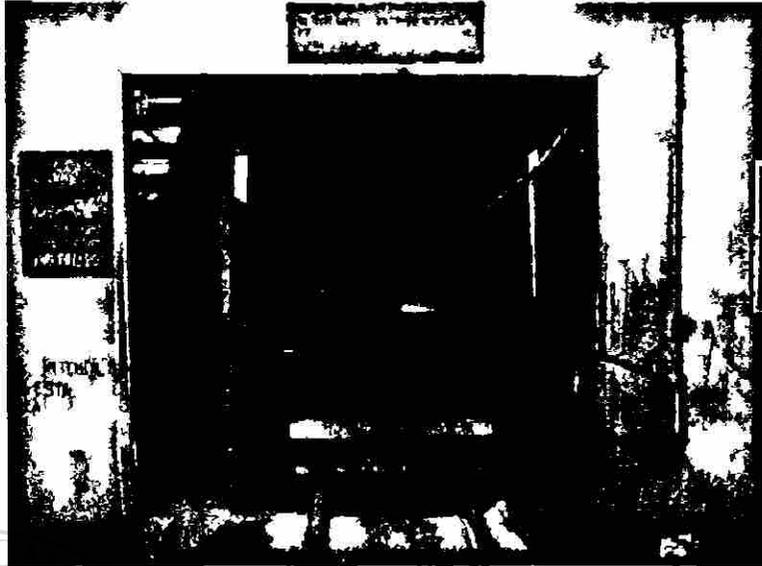
Dentro de esta fase del proceso de manufactura, se puede realizar un barrenado central en el rodillo, es decir, los rodillos se perforan en el centro con un diámetro de 10 a 20% del diámetro del rodillo. Este barrenado tiene el efecto de aliviar los esfuerzos residuales después del temple final. La necesidad de realizar esta operación depende de muchos factores como el diseño del molino de laminación, los requerimientos de endurecimiento, resultados de la inspección, entre otros. El maquinado final proporciona al rodillo las dimensiones finales y el acabado requerido.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN<sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

#### 2.8 Proceso de matizado

Actualmente HYLSA cuenta con una máquina para matizar los rodillos de los diferentes molinos, incluyendo los rodillos del molino al cual me estaré enfocando (molino frío 4).



**Matizadora de rodillos de HYLSA**

El proceso consta en colocar el rodillo de trabajo que se desee matizar sobre un carrito, el cual es introducido a la matizadora, donde el rodillo empieza a girar a una velocidad constante al mismo tiempo que se le va impactando granalla disparada por una turbina en una posición fija. El rodillo está girando para que la granalla impacte en todo el rodillo. A este proceso de la aplicación de granalla sobre el rodillo, es a lo que se le llama **matizado**.

Cuando el rodillo se saca del molino, ya sea por uso, poros, o algún otro defecto, éste pasa al taller de rectificado, aquí en una máquina rectificadora, un disco abrasivo gira a alta velocidad y es puesto en contacto con la superficie del rodillo. Esta operación se realiza con el fin de eliminar la superficie fatigada del rodillo y prepararlo para que vuelva a trabajar en el molino. Cabe mencionar que después de que un rodillo se rectifica, tiene que volver a ser matizado antes de ir a trabajar al molino.

El matizado se aplica para darle al rodillo cierta rugosidad, que es necesaria para la laminación y darle una textura especial a los productos laminados.

## 2.9 Medición de la dureza superficial del rodillo

Cuando se mide la dureza de un rodillo en ocasiones es deseable el uso de cualquier método que deje marcas visibles en la superficie del rodillo. Por esta razón el instrumento mas utilizado es el escleroscopio hecho desde 1907 por la Shore Instrument and Manufacturing Company, Inc. Sin embargo existen otros instrumentos que también miden la dureza de los rodillos.

Las cuatro principales unidades utilizados para medir la dureza de los rodillos de acero forjado son:

Rockwell (Rc)

Prueba de identificación

Pirámide de diamante (DPH)

Prueba de identificación

Shore (HFRSc)

Prueba de rebote

Equotip (Ld)

Prueba de rebote

En este proyecto la medición de la dureza superficial de los rodillos será mediante la prueba de rebote Equotip, ya que no se desea dejar marcas en el rodillo, para que después de medir su dureza pueda seguir trabajando sin que la medición tenga algún efecto sobre el rodillo, y la prueba de rebote Equotip es la mas indicada, aparte de ser la que se usa en la empresa para medir durezas de rodillos desde hace mucho tiempo.

## 2.10 Granalla



La granalla (redonda y angular) son pequeñas partículas de acero fundido de alta calidad utilizada en una amplia gama de aplicaciones, desde la eliminación de arena en productos de fundición hasta el granallado para la industria aeronáutica.

Los abrasivos de acero pueden tener forma redonda o angular, y se producen por la pulverización de acero fundido, el cual posteriormente es sometido a una serie de tratamientos al calor y mecánicos que le otorgan al producto sus características definitivas.

---

Los abrasivos de acero se utilizan fundamentalmente para limpiar superficies y piezas metálicas. Por ejemplo, se utilizan para:

- Eliminación de arena y limpieza de piezas fundidas
- Eliminación de calamina en láminas, lingotes y perfiles metálicos producidos en la industria siderúrgica
- Preparación de superficies previa al revestimiento en productos de acero

Una de las principales innovaciones de los últimos años en el uso de abrasivos de acero es el granallado, destinado al refuerzo de piezas sometidas a fatiga intensa.

Los abrasivos metálicos se utilizan también para cortar los bloques de granito en placas.

### Corte de Granito



El proceso utilizado para cortar las rocas duras, especialmente el granito, se ha visto revolucionado con la introducción de los abrasivos de acero. Esto ha permitido que, en todo el mundo, la industria de la piedra haya pasado de ser una artesanía a convertirse propiamente en una industria.

En la actualidad, los bloques de granito provenientes de diversos lugares del mundo (India, Brasil, Italia, etc.) se cortan en placas finas sobre enormes sierras de cuchillas múltiples. Al ser molida entre las cuchillas y la piedra, la granalla angular de acero se convierte en el material de corte.

La granalla angular de acero fundido se considera en Norteamérica y en el resto del mundo el mejor producto para el corte de granito.

El granallado de acero es la mejor opción para la anterior aplicación, ya que ofrece muchas ventajas en comparación con otros procesos:

- Es limpio

El granallado se suele realizar en un área cerrada, por lo que no genera residuos ni contaminación. La granalla redonda o angular se utiliza varias veces y es reciclada continuamente.

- Es seguro

El granallado no daña el medio ambiente y no implica riesgos para los operadores.

- Es sencillo

Una vez que se ha instalado el equipo de granallado, se puede iniciar la operación. Los parámetros medibles (velocidad, ángulo, tiempo de granallado, etc.) quedan definidos y la operación puede repetirse sin dificultad.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
Lista de Aplicaciones



### **Aplicaciones en fundiciones**

- Metales Férricos
- Metales No Férricos
- Fundición Bajo Presión
- Fundición a Cera Perdida

### **Limpieza General**

- Piezas Fundidas
- Piezas de Automóvil
- Tambores de Frenos
- Fragua

### **Metalurgia**

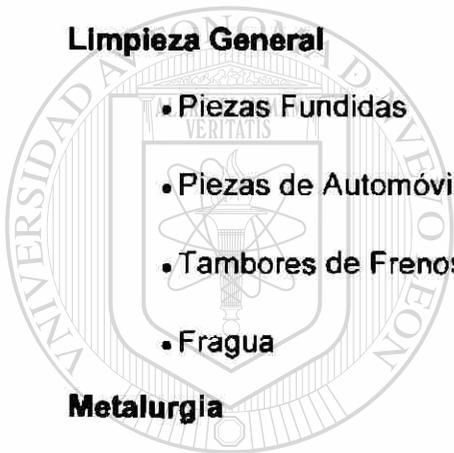
- Fábricas de Acero

- Fábricas de Acero Inoxidable

- Fábricas de Aluminio

### **Preparación de Superficies**

- Acero de Construcción
- Astilleros
- Vagones de Ferrocarril
- Tuberías
- Barras o Espirales
- Contratistas de Pintura



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## Granallado

- Ballestas de Automóvil
- Otros Tipos de Resortes
- Motores
- Industria Aeroespacial
- Motores de Avión

## Otras

- Lastre
- Corte de granito

## Granalla Redonda y Angular de Acero Fundido

<b>Granalla Redonda de Acero Fundido</b>	<b>Granalla Redonda Angulosa GP</b>	<b>Granalla Angular de Acero Fundido</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Acero hipereutectoide sometido a tratamiento al calor completo</li><li>• Estructura uniforme de martensita finamente templada</li><li>• Esta combinación proporciona elasticidad y</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizada para conseguir una superficie de granallado más lisa</li><li>• Empieza siendo angulosa pero se redondea rápidamente, adquiriendo forma de bola</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se produce por la trituración de gránulos de granalla redonda sometidos a tratamiento al calor especial</li><li>• El comportamiento depende de la dureza utilizada:  GB -Más agresiva que la granalla redonda y la</li></ul>

<p>resistencia a la fatiga óptimas</p>		<p>Granalla Redonda          Angulosa GP          GL -Más dura y agresiva          GH -La más agresiva          GR -Producto Especial para Cortar Granito</p>
--	--	---

**Abrasivos "Sin Cloruros Añadidos"**

La granalla redonda y angular de acero fundido de se fabrica sin añadir ningún tipo de revestimiento químico cosmético. Durante el proceso de fabricación no se añaden sales solubles en forma de nitritos o cloruros. De hecho, los sistemas exclusivos de templado por aire con tratamiento al calor creados por eliminan la posibilidad de exposición a contaminantes solubles invisibles, los cuales pueden aparecer en otras prácticas de templado por agua.

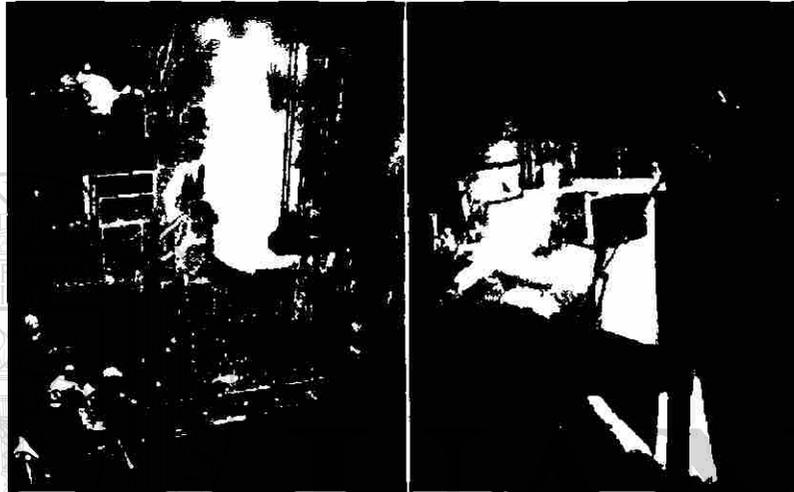
Con el templado por aire, tal como lo aplica, se obtienen superficies libres de contaminantes y una óptima integridad de las partículas, con mínima presencia de grietas debidas a la tensión.



Esta chatarra de acero, que es de alta calidad, se carga en el horno de arco. Posteriormente se agregan distintas aleaciones para ajustar la composición química.

## **Paso 2 - Horno de Fusión**

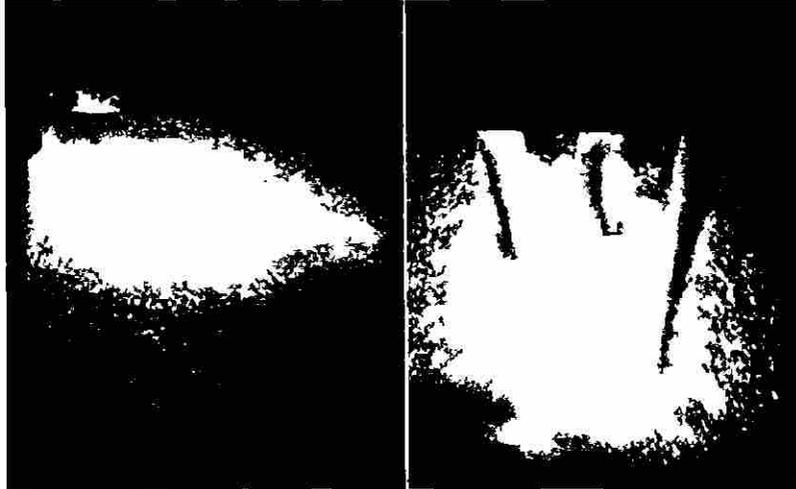
### La fusión ...



Una vez que se ha ajustado la composición química del metal fundido y se alcanza la temperatura adecuada, el metal fundido se vierte en el caldero de colada.

## **Paso 3 – Pulverización**

El metal fundido se convierte en granalla redonda....



El metal fundido se extrae del caldero de colada en un flujo que es rociado con chorros de agua a alta presión. Con ello se crea granalla redonda de diversos tamaños, la cual cae en un gran foso de agua.

#### **Paso 4 - Extracción y secado de la granalla redonda**

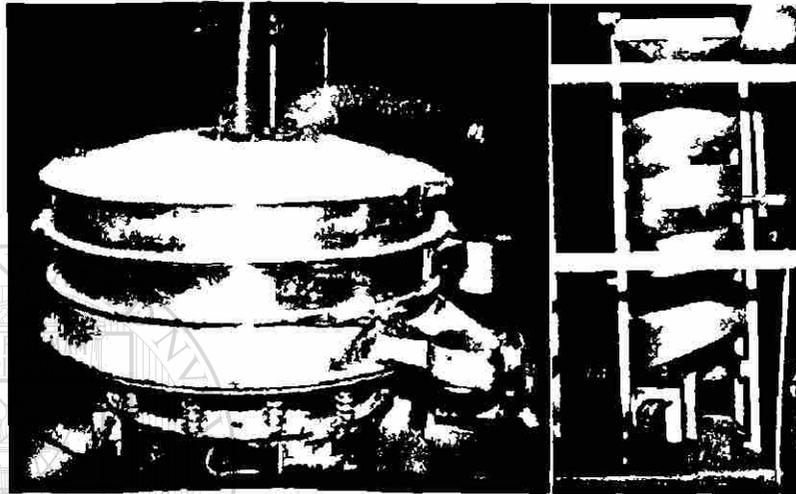
Electroimán para extraer la granalla redonda del foso de agua



La granalla redonda se extrae del foso mediante electroimanes y se transporta a los secadores (éstos no aparecen en la foto).

### **Paso 5 - Tamizado y Redondeado en cámara espiral**

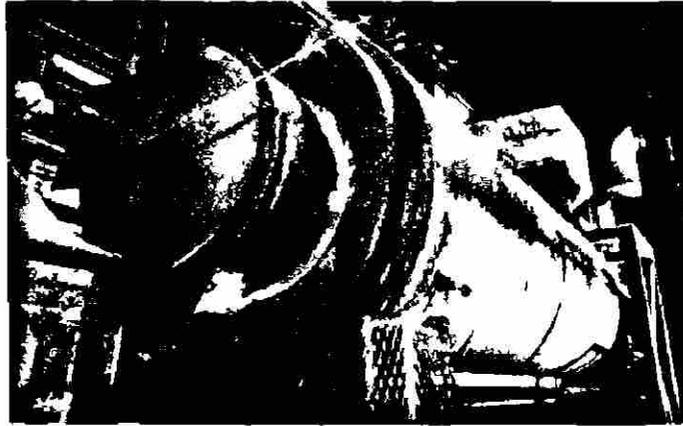
La granalla redonda es separada mediante tamices y redondeado en cámara espiral



La granalla redonda es tamizada para separar las partículas de tamaño SAE de las partículas demasiado grandes, las cuales serán utilizadas para la producción de granalla angular. La granalla redonda se somete posteriormente a redondeado en cámara espiral para extraer las partículas con forma irregular.

### **Paso 6 - Tratamiento al Calor y Templado por Aire**

La granalla redonda se somete a tratamiento al calor en hornos de templado especiales



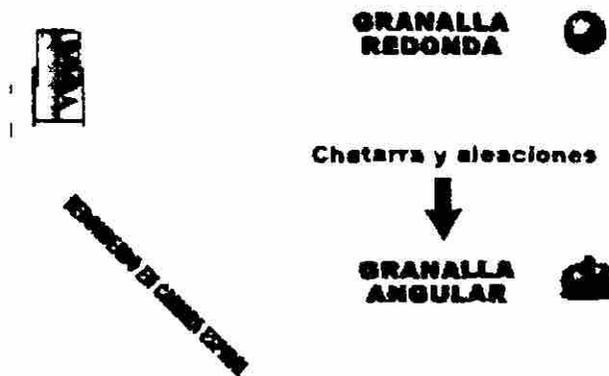
La granalla redonda es tamizada para separar los distintos tamaños y después se somete, en dos operaciones independientes, a tratamiento al calor y a templado por aire para conseguir la microestructura y dureza adecuadas.

Este excepcional proceso de tratamiento al calor y templado por aire

- Elimina la posibilidad de exposición a contaminantes invisibles, los cuales pueden aparecer en procesos de templado por agua
- Produce una óptima integridad de las partículas, con mínima presencia de grietas debidas a la tensión

#### Paso Intermedio

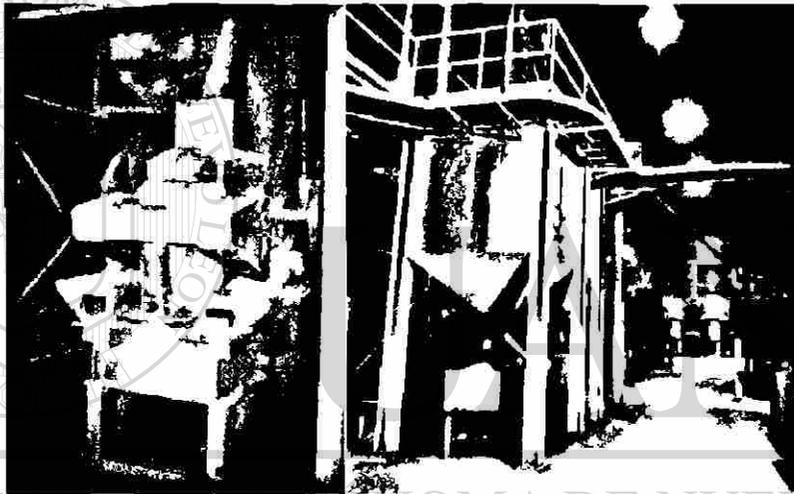
En este punto, la granalla redonda puede seguir dos trayectorias distintas, dependiendo del producto final que se desee:



Si escogemos la opción de la granalla angular (que es la granalla que utiliza HYLSA), el proceso sigue de la siguiente manera:

### **Paso 7 - Trituración**

El material de trituración se procesa para convertirlo en granalla angular

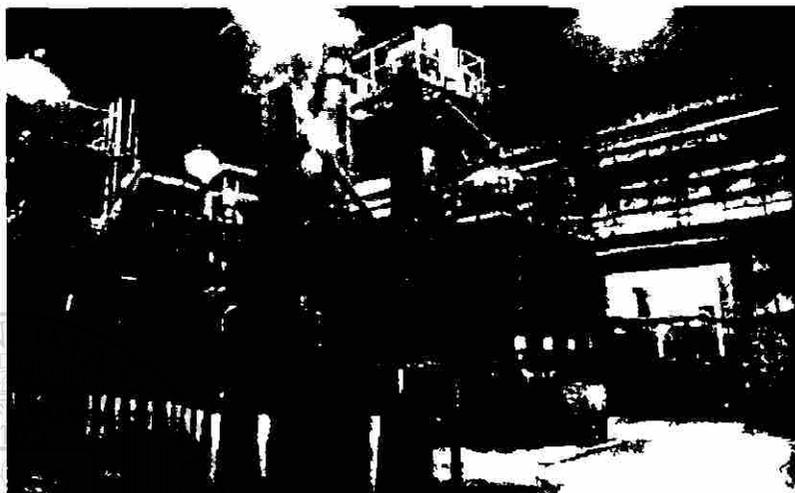


Las partículas de granalla redonda demasiado grandes y de forma irregular se trituran en trituradores de rodillo diseñados a medida para producir la granalla angular. Después de triturarse, la granalla angular sigue el mismo proceso que la granalla redonda, pero en una cadena independiente

En los siguientes pasos pasan los dos tipos de granalla: redonda y angular.

### **Paso 8 - Tamizado y Templado Adicionales**

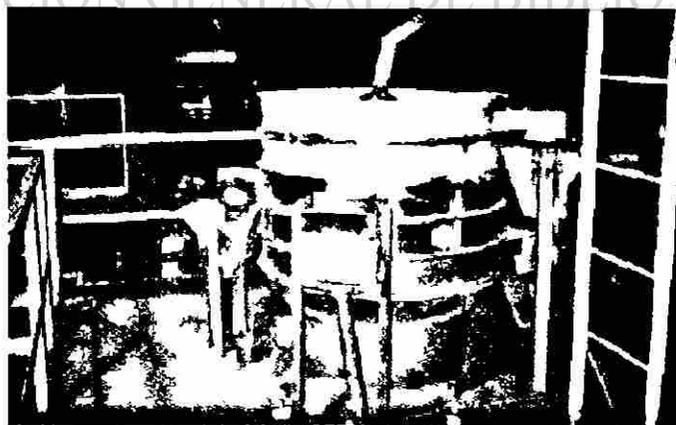
Se realiza un tamizado para separar el producto en gamas estrechas.  
Después el producto es sometido a tratamiento al calor en hornos



El tratamiento al calor se realiza a una temperatura específica en hornos continuos alimentados con gas y el posterior templado por aire le da al abrasivo su dureza específica.

#### **Paso 8 - Tamizado Definitivo**

La granalla redonda se somete a un tamizado definitivo para cumplir las especificaciones SAE y SFSA



Posteriormente el producto se almacena en tolvas, una distinta para cada tamaño y dureza, a la espera del empaque

### **Paso 9 - Empaque**

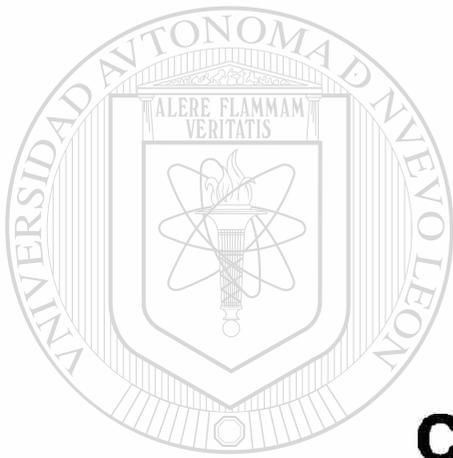
El producto se pesa y se empaqa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

El producto puede empacarse en: Bolsas o cajas estándar, Tambores, Supersacos o tolvas especiales para transporte. De cada cinco empaques se obtiene una muestra que es analizada en el laboratorio para asegurar el cumplimiento de todas las especificaciones. En HYLSA se utiliza la granalla angular, para el proceso de matizado. En este proceso es donde los rodillos de trabajo son impactados por granallas (por medio de una turbina) para obtener la rugosidad que se requiere.

09151103



## **CAPITULO 3**

# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN **MEDIR** ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Actualmente el defecto de poros ocasiona aproximadamente el 35% de los cambios de rodillos de trabajo al mes, de acuerdo con estadísticas recopiladas durante los siete últimos meses de 2004. Lo anterior implica demoras en la producción del molino de laminación de alrededor de 1,500 minutos mensuales de acuerdo a nuestras estimaciones. Lo anterior debido a que cada par de rodillos que sale del molino por poros, tiene que pasar al proceso de rectificado, donde su diámetro es disminuido, retirando material de su superficie para después volver a darle un acabado mate.

### 3.1 Cambio de rodillos

Para cuantificar el impacto que tiene el defecto de poros en el Molino Frio 4 para la empresa se analizaron los cambios de rodillos de trabajo del mes de Mayo 04 al mes de Nov 04. Dicho análisis consistió en checar el reporte de cambios de rodillos de cada mes llenado por los operarios, el cual especifica el número de identificación del rodillo, la hora y fecha del cambio, el turno en el que se realizó el cambio, el nombre de operador y la causa del cambio de rodillo de trabajo.

---

Las causas de cambio de rodillos de trabajo en el Molino Frio 4 son las siguientes:

- Poros: Pequeñas protuberancias sobre la superficie de la lámina que se

presentan en cualquier posición a lo largo y ancho de la banda, en

forma repetitiva en función del diámetro del rodillo

- Grieta: Pequeña fisura en la superficie del rodillo.
- Despostillado: Pequeños desprendimientos de superficie del rodillo.

- **Usados:** Retiro del rodillo justo antes de que se genere un defecto, o algún otro defecto, es cuando la vida útil del rodillo ha terminado..
- **Varios 1:** Defectos que genera el molino (Pintados, reventarse lámina, entre otros)
- **Varios 2:** Defectos generados fuera del molino (Golpeado, Rayados, entre otros)

Cabe destacar que los operadores para la identificación de un defecto se apoyan en el manual de defectos de HYLSA, el cual muestra la definición del defecto, así como una foto del mismo, en diferentes formas si así lo requiere; este manual se encuentra en cada línea de producción, así como en intranet, y puede ser accesado por el operador las veces que lo requiera.

Teniendo la clasificación de las causas de cambios de rodillos de trabajo se procedió a calcular qué tan frecuente es cada uno de ellos y se obtuvo el siguiente resumen:

<b>MAYO 04 - NOVIEMBRE 04</b>		
<b>Defecto</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>
<b>Poro</b>	<b>1492</b>	<b>34.31</b>
<b>Grieta</b>	<b>404</b>	<b>9.29</b>
<b>Despostillado</b>	<b>178</b>	<b>4.09</b>
<b>Usados</b>	<b>1486</b>	<b>34.17</b>
<b>Varios 1</b>	<b>401</b>	<b>9.22</b>
<b>Varios2</b>	<b>388</b>	<b>8.92</b>
<b>Total CRT</b>	<b>4349</b>	<b>100</b>

**Tabla 3.1 Defectos Mayo 04 – Noviembre 04**

Como se puede observar el defecto de poros cubre el 34.31% de los cambios totales de rodillos de trabajo efectuados de Mayo 04 a Noviembre 04. Cabe mencionar que "usados" tiene un 34.17 % pero esto no es un problema porque lo que se busca es precisamente que los rodillos se cambien por usados. Si quitamos los "usados" que no se considera un defecto en si, pero se cataloga como una de las causas de cambio de rodillos, el defecto de poros cubriría el 52.11% de los cambios totales de rodillos de trabajo.

Adicionalmente de los reportes calculamos que en promedio cada 2 hrs 24 minutos se cambia un rodillo por defecto en poros, o dicho de otro modo, cada día se cambian 10 rodillos por defectos en poros. Desde otro punto de vista, considerando que cada rollo tarda aproximadamente 30 minutos en procesarse, en promedio cada 4.8 rollos se cambia un rodillo por defecto en poros.

### **3.2 Toneladas sin procesar**

En términos muy generales, tomando en cuenta que el tiempo promedio que tarda un operario en cambiar los rodillos de trabajo es de 5 minutos, y sabiendo que cada día se cambian aproximadamente 10 rodillos por defecto en poros, entonces la demora ocasionada por el cambio de rodillos con defecto en poros es de aproximadamente 50 minutos diarios, lo cual ocasiona una demora total al mes de alrededor de 1500 minutos, equivalente al tiempo en que pudieran procesarse 41 rollos.

Adicionalmente, las estadísticas de toneladas producidas dentro del lapso de Mayo 04 a Noviembre 04 fueron:

<b>TONELADAS PRODUCIDAS MAYO - NOVIEMBRE</b>	
<b>MES</b>	<b>18342.45</b>
<b>DIA (PROM)</b>	<b>591.69</b>
<b>HORA (PROM)</b>	<b>24.47</b>
<b>ROLL (PROM)</b>	<b>15.6</b>

**Tabla 3.2 Toneladas producidas período Mayo 04 – Nov 04**

Tomando como base la tabla 3.2 y los resultados presentados anteriormente estimados, se obtienen las toneladas que dejan de procesarse en el Molino Frio 4 (MF-4) tal y como se muestran en la tabla 3.3.

<b>TONELADAS SIN PROCESAR</b>	
<b>DIA</b>	<b>20.39</b>
<b>MES</b>	<b>611.70</b>

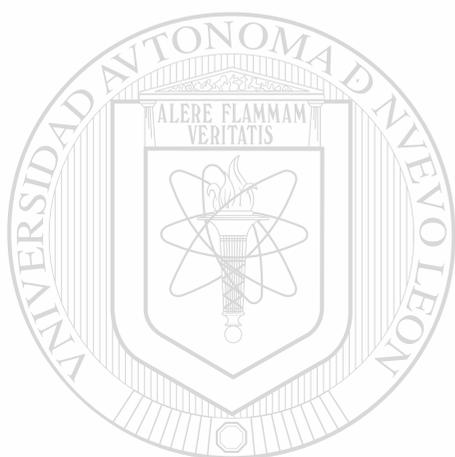
**Tabla 3.3 Toneladas sin procesar del período Mayo 04 – Nov 04**

Verificando el precio de venta por tonelada de lámina RFC (Rolada Fria Cruda) que es de \$4,500 pesos, la pérdida aproximada por mes es de \$2,752,650 pesos / mes.

En conclusión, sólo considerando el costo de oportunidad implícito en el tiempo muerto de preparación de rodillos para ser matizados por defecto en poros, en términos muy generales estimamos que el proyecto implica beneficios anuales de alrededor de USD\$3.3 millones. Adicionalmente, existen otros beneficios tales como:

- Mejora en la calidad del producto,
- Disminución en el costo de materiales indirectos como granalla,
- Disminución en el costo de mano de obra por reproceso,
- Disminución de costo en devoluciones, etc.

que aunque resultan más difícil de cuantificar, no dejan de ser beneficios tangibles al producto y al proceso.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**CAPITULO 4**

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**ANALIZAR**

#### 4.1 Generación de Hipótesis: Causas de Poros

Acorde con las recomendaciones de la metodología de Seis Sigma, mi etapa de análisis está fuertemente inspirada en la metodología de investigación científica, cuyos pasos principales son:

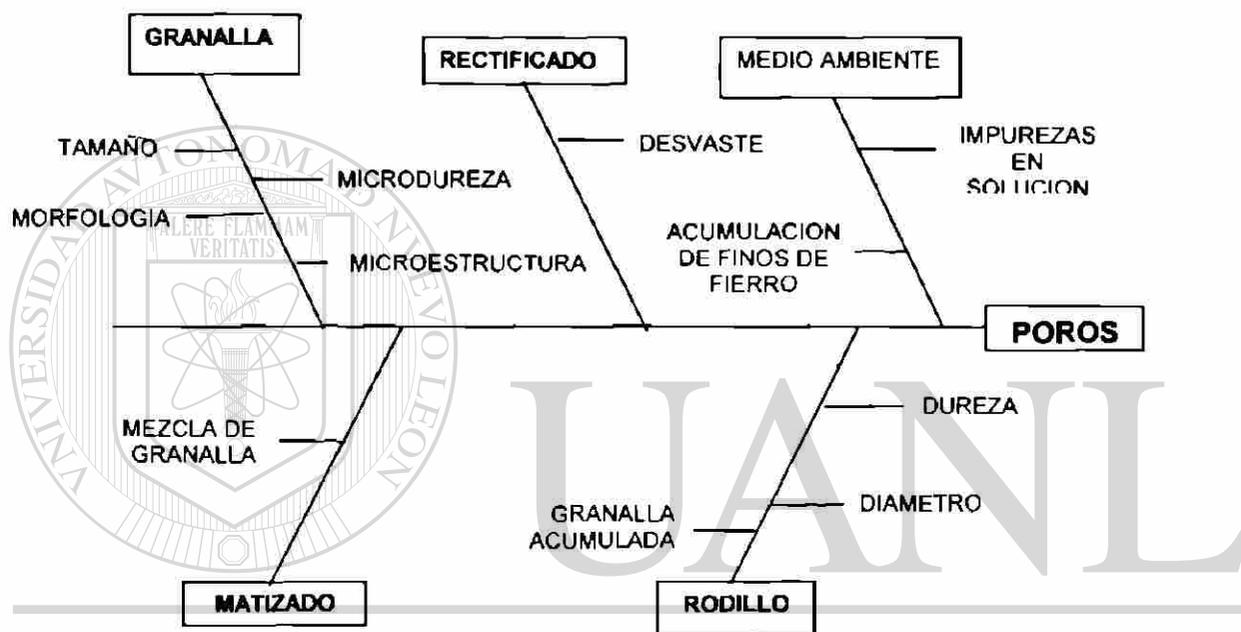
1. Conocimiento del problema
2. Conocer y entrar en contacto con el proceso
3. Recolectar información necesaria
4. Identificar posibles causas
5. Desarrollar las Hipótesis
6. Validar Hipótesis
7. Hacer las pruebas
8. Analizar resultados
9. Conclusiones

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Así que después de conocer el proceso y recolectar la información necesaria se dió a la tarea de desarrollar posibles causas de la generación de poros. Para esto realicé una lluvia de ideas en conjunto con los ingenieros del departamento de calidad y personal involucrado en el proceso del molino frío 4. A partir de la lluvia de ideas se generaron primeramente una serie de síntomas individuales con potenciales variables causantes de poros. Posteriormente, se expusieron al grupo dichos síntomas para ser validados por todos, sintetizados y clasificados en grupos.

Elaborada toda la información anterior decidimos plasmarla en un diagrama que facilitara el manejo de la información para acciones futuras, dicho diagrama fue el diagrama de Ishikawa siguiente.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cada una de las ramas del diagrama se describen a continuación:

## **RODILLO**

### **•Granalla Acumulada**

Después del proceso de matizado, se encuentra una gran cantidad de granalla en los costados de los rodillos, esto hace que al momento que los rodillos estén trabajando en la línea, la granalla existente en los costados salga disparada e impacte tanto al rodillo como a la lámina generando poros.

### **•Dureza**

De estar por debajo de la especificación la dureza del rodillo (60-63 HRC), al momento de recibir los impactos de la granalla en el proceso de matizado en lugar de generar una profundidad aceptable que de una buena rugosidad (30-50 micropulgadas), genera una cavidad en la superficie del rodillo llamado poro que a su vez produce un poro en el rollo. De acuerdo con experimentos previos realizados en la planta, cuando la dureza del rodillo es menor que la dureza de la granalla por 6 o más unidades RC, se genera un poro.

### **•Diámetro**

Cada vez que el rodillo se desbasta su diámetro original disminuye, esto puede influir en la dureza del rodillo e incidir en la generación de poros.

## **GRANALLA**

### **•Morfología**

Existen diferentes tipos de formas de granalla: redondas, 3 picos, 4 picos, etc. Se desconoce la forma de granalla que de una rugosidad uniforme al rodillo.

#### • **Microdureza**

De estar la dureza de la granalla por arriba de especificaciones (63-66 HRC), al momento de impactarse en el rodillo en el proceso de matizado, esto genera poros. De acuerdo con experimentos previos realizados en la planta, cuando la dureza de la granalla es mayor que la dureza del rodillo en más de 6 unidades RC, se genera un poro.

#### • **Microestructura**

Al analizar la microestructura de la granalla, muchas de ellas tienen impurezas en su composición y esto hace que después de que se encuentra incrustada en el rodillo al momento de estar en la línea MF-4 se desmoronan y dejan la marca en rodillo.

#### • **Tamaño**

No existe un tamaño estándar de la granalla, lo cual nos indica que la dureza de la misma no es uniforme, por lo tanto es probable que la rugosidad tampoco lo sea, esto en base a que se tiene la ideología que cuando mayor sea el tamaño de la granalla, mayor puede ser la dureza de la misma.

### **MATIZADO**

#### • **Mezcla de tamaños de granalla**

En teoría actualmente se utilizan para matizar los rodillos del MF-4 granalla MEDIANA G-25. Es posible que en la práctica no se esté cumpliendo con este requerimiento, ya que el tamaño de la granalla que corresponde a la G-25 es controlada por una malla, con orificios de un determinado diámetro, por lo cual no se sabe con certeza si la granalla que se encuentra en el depósito de la G-25 es en su totalidad de tamaño mediano. Cabe la posibilidad de que exista granalla

más chica o más grande, dependiendo de la forma en que la granalla llegue a la malla de separación de tamaños..

## **RECTIFICADO**

### **• Desbaste**

A un rodillo se le desbasta las veces que sea necesario, pero sin saber en realidad si el defecto en el rodillo desapareció en su totalidad o quedaron residuos que a futuro harán que renazca el defecto. La hipótesis es que entre menos milímetros se le desbasten a un rodillo con poros, aumenta la posibilidad de que el poro reaparezca cuando se vuelva a utilizar el rodillo.

### **MEDIO AMBIENTE**

### **• Impurezas en solución de rolado.**

En ocasiones existen en la solución de rolado (solución en base de combinación de aceites) pequeñas partículas de hierro que pueden impactar al rodillo o a la lámina, generando poros.

### **• Acumulación de finos de fierro.**

Dentro del proceso MF-4 se acumulan finos de fierro dentro del mecanismo del molino frío 4 que al juntarse forman un campo magnético, el cual hace que se agrupen una gran cantidad de los mismos, y los cuales pueden impactar al rodillo dejando una marca en estos.

## 4.2 Estrategias y Pruebas para validar las hipótesis

Una vez que se cuenta con todas las hipótesis, nos dimos a la tarea de definir estrategias para validarlas o rechazarlas.

Hipótesis	Estrategia / Técnica para validarla
Dureza de granalla	Prueba t para una proporción. Prueba t-apareada
Dureza de rodillo	Prueba t para una proporción. Prueba t-apareada
Diámetro del rodillo	Coefficiente de correlación
<b>Dureza granalla &gt; Dureza rodillo</b>	<b>Simulador de Montecarlo</b>
mezcla de granalla	<b>Diseño de experimentos</b>
Desbaste rodillos	Prueba en línea
Acumulación de granalla	Prueba T
Tamaño de granalla	Pruebas de laboratorio
Morfología de granalla	Pruebas de laboratorio
Microestructura de granalla	Pruebas de laboratorio

Después de ver la situación problemática y discutiendo junto con el personal de ingeniería de calidad, optamos por atacar todas las hipótesis, comenzando por las relacionadas con la dureza de la granalla y la dureza del rodillo. En opinión de los expertos en estas dos existía una muy alta probabilidad de rechazo, y además no requerían de investigación adicional para ser abordadas sistemáticamente a través de la aplicación de pruebas estadísticas .

#### 4.2.1 Definición de Prueba de Hipótesis Estadística

Antes de entrar de lleno en la validación de las hipótesis es conveniente una breve investigación teórica alrededor de las pruebas de hipótesis estadísticas.

Una prueba de hipótesis es un proceder estadístico cuyo propósito es determinar si existe contradicción entre los resultados obtenidos a partir de una o varias muestras representativas de una población y un posible parámetro aplicable a dicha población.

**Cuando definimos una prueba de hipótesis hablamos de una hipótesis nula y una hipótesis alternativa:**

- **La hipótesis nula** se expresa siempre como una igualdad, aceptarla implica carecer de evidencia en la muestra para concluir diferencias significativas entre los grupos.
- **La hipótesis alternativa** se expresa como el complemento (desigualdad) de la hipótesis nula en el caso de una prueba de dos colas, ó como un subconjunto del complemento (mayor que o menor que) en el caso de una prueba de una sola cola. Aceptar la hipótesis alternativa, o dicho de otro modo, rechazar la hipótesis nula implica concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos.

El **Error tipo Alfa**: o tipo I, es rechazar una HP Nula verdadera. Y el **Error tipo Beta**: o tipo II, es aceptar una HP Nula falsa. El poder de la prueba es ( 1- Beta)

#### 4.2.2 Metodología para la planeación de una Prueba de Hipótesis Estadística

Existe una serie de elementos a definir al momento de planear un experimento o prueba de hipótesis. Para ordenar dicho proceso nos basamos en

el Sistema de Planeación de un Diseño de Experimentos de Douglas Montgomery (**Design and Analysis of Experiments, Edition: 5th - Author(s): Montgomery, Douglas C., 2002**). En esta sección presentamos una muy breve descripción, y mas bien de carácter esquemático, de los elementos principales de dicho sistema. Para hacer justicia a su autor, invitamos al lector interesado en la metodología a referirse al artículo original publicado por Montgomery.

1. Nombre de la prueba y organización

En este punto se establece el nombre del experimento que se desea realizar, así mismo el nombre de la organización que este involucrada en caso de que exista.

2. Objetivos de la prueba

Se establecen los objetivos o los resultados a los que se desea llegar con dicho experimento.

3. Antecedentes relevantes

En este punto se mencionan los antecedentes históricos que puedan enriquecer la prueba o el experimento, por ejemplo, pruebas anteriores, pruebas similares, conocimiento teórico, etc..

4. Variables de respuesta.

Son las variables en las que te basas para medir los resultados del experimento. Con respecto a este punto, la metodología de Montgomery recomienda identificar los aspectos que se incluyen en la siguiente tabla:

<b>Variable de respuesta</b>	<b>Nivel de operación normal</b>	<b>Como se realiza?</b>	<b>Relación con Objetivo</b>
Variable en que nos basamos para los resultados.	Nivel de operación cotidiano de la variable	Como se mide la variable de respuesta.	Que relación tiene la variable con el objetivo de la prueba.

#### 5. Factores controlables.

Factores que se pueden controlar en la prueba de hipótesis/ experimento. Respecto a los factores controlables la metodología recomienda considerar los siguientes aspectos:

#### 6. Factores Constantes

Factores que durante la prueba o el experimento son mantenidos constantes para que no afecten los resultados. Igualmente la metodología recomienda considerar los siguientes aspectos:

<b>Factor</b>	<b>Nivel deseado y rango permitido</b>	<b>Medición, precisión</b>	<b>Cómo controlarlo</b>	<b>Efectos anticipados.</b>
<b>Factor constante</b>	Condición normal del factor	Como se mide?	Como se controla?	Efectos predicibles?

## 7. Factores de ruido

Factores que es imposible controlar o mantener constantes y que afectan directamente a los resultados de la prueba o experimento. También llamados Factores incontrolables.

Factor	Medición, precisión	Estrategia	Efectos anticipados.
Factor de ruido	Como se mide?	Como se evita o como se minimiza su impacto	Efectos predicibles?

## 8. Restricciones

Elementos físicos o recursos inexistentes que limiten la realización de la prueba o del experimento.

## 9. Preferencias de Diseño.

Diseño o técnica que se propone utilizar para analizar la prueba o el experimento.

### 4.3 **Análisis de las Hipótesis**

#### 4.3.1 **Prueba de Hipótesis "Granalla: 63-66 HRC"**

**El objetivo de esta prueba es** determinar si la dureza de la granalla está dentro de las especificaciones requeridas por HYLSA. Las especificaciones de las durezas de la granalla son:

- Granalla: 63-66 unidades Rockwell C (HRC);

Vamos a describir los aspectos más importantes de la prueba, el detalle de su planeación, para el lector interesado, fue incluido en el **anexo 7**.

**El procedimiento para la selección aleatoria de la muestra de granalla consistió en los siguientes pasos:**

1. Se tomó el saco de granalla al azar y se vació equitativamente en un cono de metal, lo cual nos deja una montaña de granalla.
2. Se disipa la montaña de granalla en forma de un círculo; se dispersa gradualmente en forma uniforme.
3. Se divide el círculo en cuartos iguales.
4. Se eliminan dos cuartos opuestos seleccionados aleatoriamente.
5. Tomando granalla de manera alternativa de los dos cuartos restantes se pasa por un cuarteador.
6. El paso 5 se repite hasta que se obtengan las 150 granallas aprox., esa es la muestra que se va a analizar.

---

Una vez obtenida la muestra de granalla, se manda al laboratorio para que se le hagan los análisis pertinentes para la medición de la dureza de la misma.

El nivel de sigma se obtuvo haciendo el cálculo de las diferencias de los valores de durezas que puede existir entre las granallas y con ayuda de un SAMPLE SIZE CALCULATOR, con un nivel de significancia del 95% y un poder de la prueba del 95%, todo lo anterior basado en una muestra de 150 granallas..

Sample Size =150

$\alpha=0.05$

$\beta=0.05$

$\sigma=4.58$

Power = 0.95

Después de hecho el análisis de durezas en el laboratorio de las 150 granallas que se tomaron como muestra, se obtuvieron los resultados que se incluyen en el anexo 4, y que se resumen en la siguiente tabla::

<b>MAX</b>	70.00
<b>MIN</b>	47.00
<b>MEDIA</b>	64.87
<b>DESV.ST</b>	4.58
<b>MEDIANA</b>	66

Como se puede observar en el anexo 4 no todos los resultados están dentro de 63-66 HRC, existen datos por arriba y por debajo de la especificación requerida por HYLSA, D.A.P.

Cabe mencionar que 70 HRC es la unidad máxima que da el aparato que mide la microdureza de la granalla, por lo tanto 70 HRC no es el número más alto, existen durezas de más de 70 HRC, pero no se sabe exactamente cuál es el valor.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

#### **Preferencias de Diseño.**

H0:  $P = 0.05$

Las muestras no proporcionan evidencia suficiente para concluir que la dureza de la granalla esta fuera de especificación.

H1:  $P > 0.05$

La granalla esta fuera de especificación.

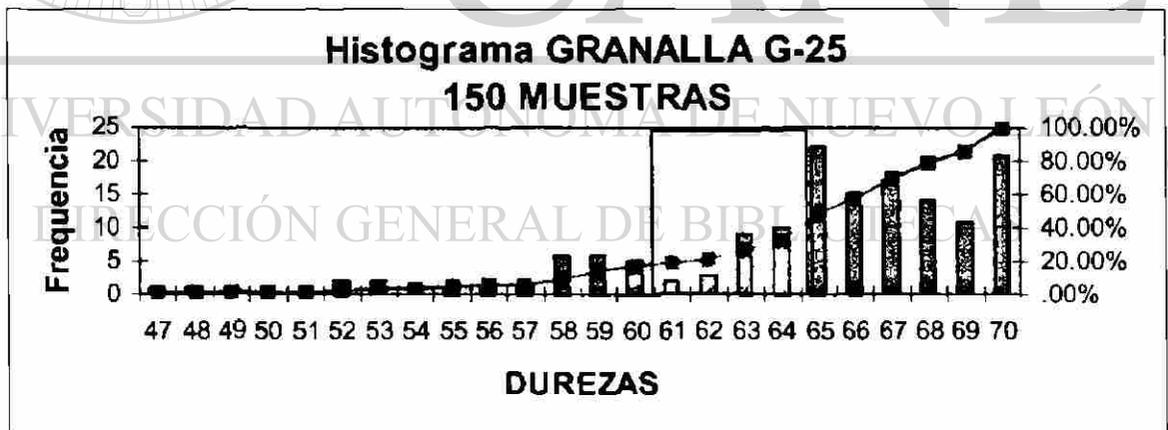
Utilizaremos una prueba de proporción de una sola cola, ya que esta prueba nos indica el número de fallas y de aciertos exactos dentro de los límites que nosotros especificamos..

Utilizando una prueba de proporción, y mediante el MINITAB se obtuvo lo siguiente:

Exact			95.0%	P	
Sample	X	N	Sample	Lower Bound	Value
1	56	150	0.373333	0.307377	0.000

Si observamos el valor de "P-Value" es igual a 0.000 y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. En otras palabras existe evidencia estadísticamente significativa para concluir que más del 5.0% de las granallas están fuera de especificación.

Para analizar de una manera más fácil los resultados, observemos el siguiente histograma.



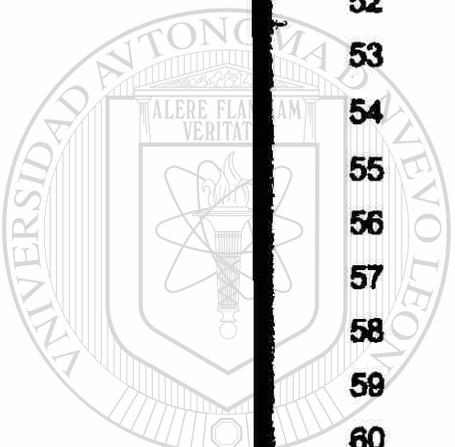
Como se puede observar en el histograma anterior el cuadro que esta en verde es el área que cumple con las especificaciones de 63-66 HRC, lo demás es granalla fuera de especificación. Mediante la siguiente tabla analizaremos profundamente el histograma anterior.

Dureza	Frecuencia	% Acumulado	% REAL
47	1	.67%	.67%
48	1	1.33%	.67%
49	0	1.33%	.00%
50	0	1.33%	.00%
51	0	1.33%	.00%
52	2	2.67%	1.33%
53	2	4.00%	1.33%
54	0	4.00%	.00%
55	1	4.67%	.67%
56	1	5.33%	.67%
57	1	6.00%	.67%
58	6	10.00%	4.00%
59	6	14.00%	4.00%
60	5	17.33%	3.33%
61	2	18.67%	1.33%
62	3	20.67%	2.00%
63	9	26.67%	6.00%
64	10	33.33%	6.67%
65	22	48.00%	14.67%
66	15	58.00%	10.00%
67	17	69.33%	11.33%
68	14	78.67%	9.33%
69	11	86.00%	7.33%
70	21	100.00%	14.00%
Más	0	100.00%	

20.67%

37.33%

42.00%



UNIL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Solamente el 37.33 % de la granalla se encuentra dentro de especificación como se observa en el recuadro verde, esto quiere decir que 56 de 150 granallas cumplen con especificación; por lo tanto tenemos que el **62.67 %** de la granalla esta fuera de especificación; el 20.67 % esta por debajo de especificación y el 42 % esta por arriba.

En conclusión tenemos que el **42%** de la granalla que está por encima de especificaciones tiene una alta probabilidad de generar poros. Por otro lado el 20.67% de la granalla debajo de especificación tiene una alta probabilidad de desmoronarse al impacto y no dar la rugosidad necesaria.

#### **4.3.2 Prueba de Hipótesis "Rodillo: 60-63 HRC"**

El detalle de la planeación de esta prueba la incluimos en el **anexo 8**.

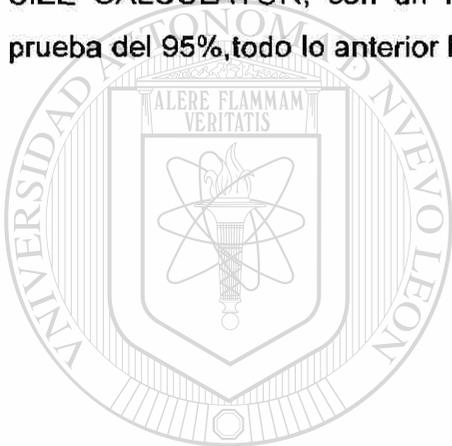
El objetivo de la prueba es determinar si la dureza de los rodillos está dentro de las especificaciones requeridas por HYLSA. Las especificaciones de las durezas de los rodillos son:

- Rodillo: 60-63 unidades Rockwell C (HRC).

El procedimiento para la selección aleatoria de la muestra de granalla consistió en los siguientes pasos: Se toman aleatoriamente 50 rodillos como muestra; se hacen 6 marcas a lo largo del rodillo a una distancia de 10 pulgadas cada una; utilizando el durómetro (dispositivo que mide la dureza de una superficie), se toma la medida de dureza en cada una de las marcas realizadas al rodillo. Los resultados de la granalla se dan en unidades Rockwell C (HRC).

Los resultados del durómetro, el cual es un dispositivo que se utiliza para obtener la dureza de los rodillos, se dan en unidades Equotips (EQT), para esto se tienen que convertir a unidades Rockwell C (HRC) utilizando la Tabla de Conversión de Unidades EQT a RC (ANEXO 5).

El nivel de sigma se obtuvo haciendo el cálculo de las diferencias de los valores de durezas que puede existir entre los rodillos y con ayuda de un SAMPLE SIZE CALCULATOR, con un nivel de significancia del 95% y un poder de la prueba del 95%, todo lo anterior basado en una muestra de 150 granallas,.



Sample Size =50

$\alpha=0.05$

$\beta=0.05$

$\sigma=3.97$

**Power = 0.95**

UANL

Ya capturados los resultados dados por el durómetro, se procede a analizar los mismos utilizando los paquetes computacionales que nos permitan analizar de la mejor manera el diseño de experimentos.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Un resumen de los resultados de la dureza de los 50 rodillos ( ANEXO 6 ) que se tomaron aleatoriamente y convertidos de unidades Equotips EQT a unidades Rockwell C HRC por medio de la tabla (ANEXO 5) que se mostró anteriormente son los siguientes:

<b>MAX</b>	<b>68.00</b>
<b>MIN</b>	<b>40.62</b>
<b>DESV. STD</b>	<b>3.97</b>
<b>MEDIA</b>	<b>62.56</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>63.42</b>

Como se puede observar en el anexo 6 no todos los resultados están dentro de 60-63 HRC, existen datos por arriba y por debajo de la especificación requerida por HYLSA, D.A.P.

**Preferencias de Diseño.**

H0:  $P = 0.05$

Las muestras no proporcionan evidencia suficiente para concluir que la dureza del rodillo esta fuera de especificación.

H1:  $P > 0.05$

La dureza del rodillo esta fuera de especificación.

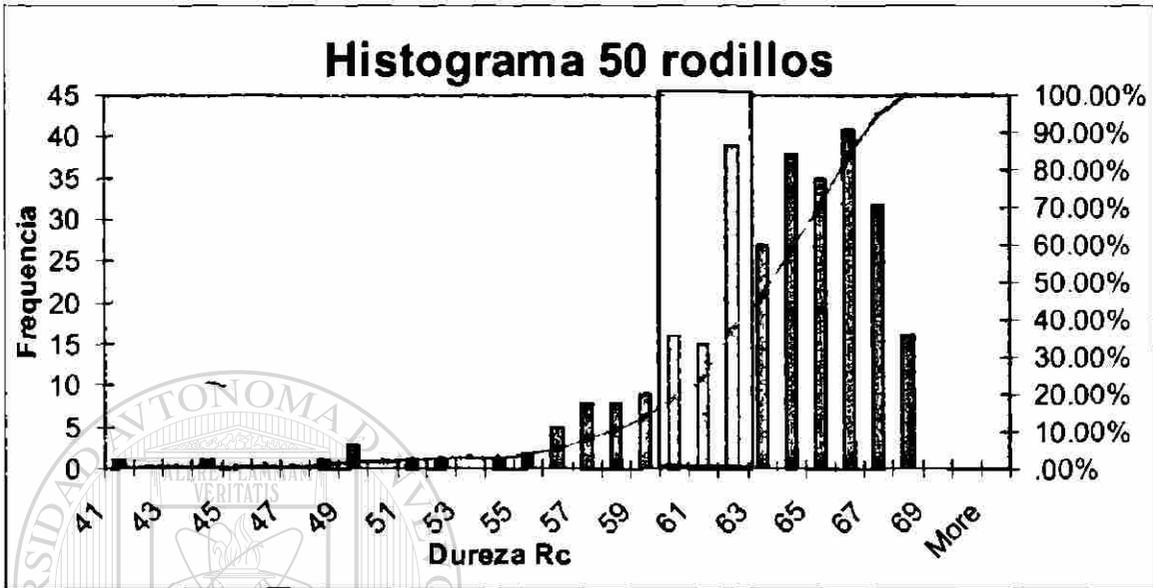
Se utilizará una prueba de proporción de una sólo cola, ya que esta prueba nos indica el número de fallas y de aciertos exactos dentro de los límites que especifiqué, no solamente los casos que no estén alrededor de la media, como es el resultado de muchas otras pruebas que para fines del proyecto no son de utilidad.

Utilizando una prueba de proporción, y mediante el MINI-TAB se obtuvo lo siguiente:

<b>Exact</b>	<b>95.0%</b>
	<b>Lower P</b>
<b>Sample X N</b>	<b>Sample Bound Value</b>
1 97 300	0.323333 0.278697 0.000

Si observamos el valor de "P-Value" es igual a 0.000 por lo que se rechaza la hipótesis nula. En otras palabras existe evidencia estadísticamente significativa para concluir que más del 5% de los rodillos están fuera de especificación.

Para analizar de una manera más fácil los resultados, observemos el siguiente histograma:



Como se puede observar en el histograma anterior de la misma forma que el histograma de la granalla el cuadro que esta en verde es el área que cumple con las especificaciones de 60-63 HRC, lo demás es dureza de rodillo fuera de especificación. Mediante la siguiente tabla analizaremos a detalle el histograma anterior.

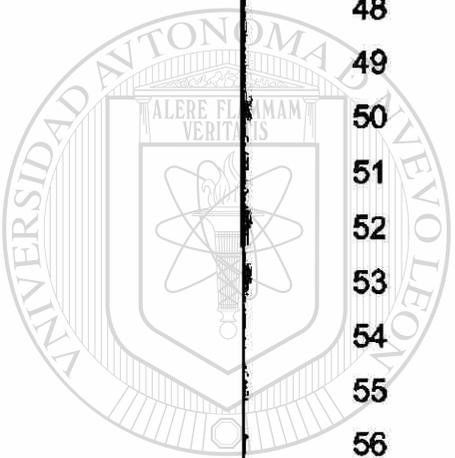
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Dureza	Frecuencia	% Acumulativo	% REAL
41	1	.33%	.33%
42	0	.33%	.00%
43	0	.33%	.00%
44	1	.67%	.33%
45	0	.67%	.00%
46	0	.67%	.00%
47	0	.67%	.00%
48	1	1.00%	.33%
49	3	2.00%	1.00%
50	0	2.00%	.00%
51	1	2.33%	.33%
52	1	2.67%	.33%
53	0	2.67%	.00%
54	1	3.00%	.33%
55	2	3.67%	.67%
56	5	5.33%	1.67%
57	8	8.00%	2.67%
58	8	10.67%	2.67%
59	9	13.67%	3.00%
60	16	19.00%	5.33%
61	15	24.00%	5.00%
62	39	37.00%	13.00%
63	27	46.00%	9.00%
64	38	58.67%	12.67%
65	35	70.33%	11.67%
66	41	84.00%	13.67%
67	32	94.67%	10.67%
68	16	100.00%	5.33%
69	0	100.00%	.00%

13.66%

32.33%

54.00%



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE LICENCIAS



	70	0	100.00%	.00%
Mas		0	100.00%	.00%

Solamente el 32.33 % de los rodillos se encuentran dentro de especificación como se observa en el recuadro verde,; por lo tanto tenemos que el **67.66 %** de los rodillos están fuera de especificación; el 13.66 % esta por debajo de especificación y el 54 % esta por arriba.

En conclusión tenemos que el **13.66%** de las durezas de los rodillos están propensos a que se generen poros cuando la granalla impacte esas zonas, son también llamadas "zonas suaves"; y el 54% que está por arriba ocasiona que se dificulte la realización de una rugosidad aceptable (30-50 micropulgadas) ya que es una zona muy dura para granalla dentro de especificación.

#### 4.3.3 Prueba de Hipótesis "Correlación dureza-diámetro de rodillo"

**El objetivo de esta prueba es determinar si existe o no alguna relación entre la dureza del rodillo y el diámetro del mismo.**

El detalle de la Planeación de la prueba se encuentra en el **anexo 9**.

**El procedimiento para la selección aleatoria de la muestra de rodillos fue idéntico al expuesto en el apartado anterior.**

El detalle de los datos recolectados se incluye en el **anexo 13**

### Preferencias de Diseño.

H0:  $\mu = 0$

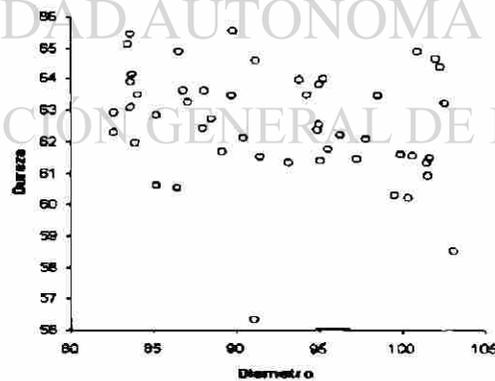
No existe evidencia de correlación entre el diámetro y la dureza de los rodillos en la muestra.

H1:  $\mu \neq 0$

Existe correlación entre el diámetro y la dureza de los rodillos.

La técnica que se va a utilizar es el coeficiente de correlación de Spearman, ya que este coeficiente de correlación fue el primero que se desarrolló y es el que más se conoce en la actualidad y uno de los más confiables.

Los datos fueron analizados utilizando Análize It General 1.62, y obtuvimos los siguientes resultados:



$p = 0.0445$

rs statistic = -0.29

95% CI -0.52 to -0.01

Como se puede observar en la gráfica anterior no existe ninguna correlación entre los puntos y como el coeficiente de correlación esta muy cercano a cero, por lo tanto no existe correlación alguna entre Dureza y diámetro del rodillo, se rechaza la hipótesis nula.

#### **4.3.4 Prueba de Hipótesis “Dureza granalla mayor dureza rodillo”**

Esta prueba no se encuentra en el diagrama de ishikawa, ya que se encuentra relacionada con la dureza de la granalla y la dureza del rodillo, las cuales si se especifican en el diagrama de ishikawa.

El detalle de la planeación de la prueba se encuentra en el **anexo 10**.

El objetivo de la prueba es cuantificar la frecuencia en la que la dureza de la granalla es mayor de 6 unidades con respecto a la dureza de los rodillos.

#### **Preferencias de Diseño.**

Originalmente se planeó realizar una prueba-t apareada para comparar la dureza de la granalla y del rodillo. Por cuestiones prácticas no se contó con los recursos necesarios en la planta para implementar esta prueba. En particular las pruebas de dureza de granalla llevaron más tiempo que el que teníamos previsto.

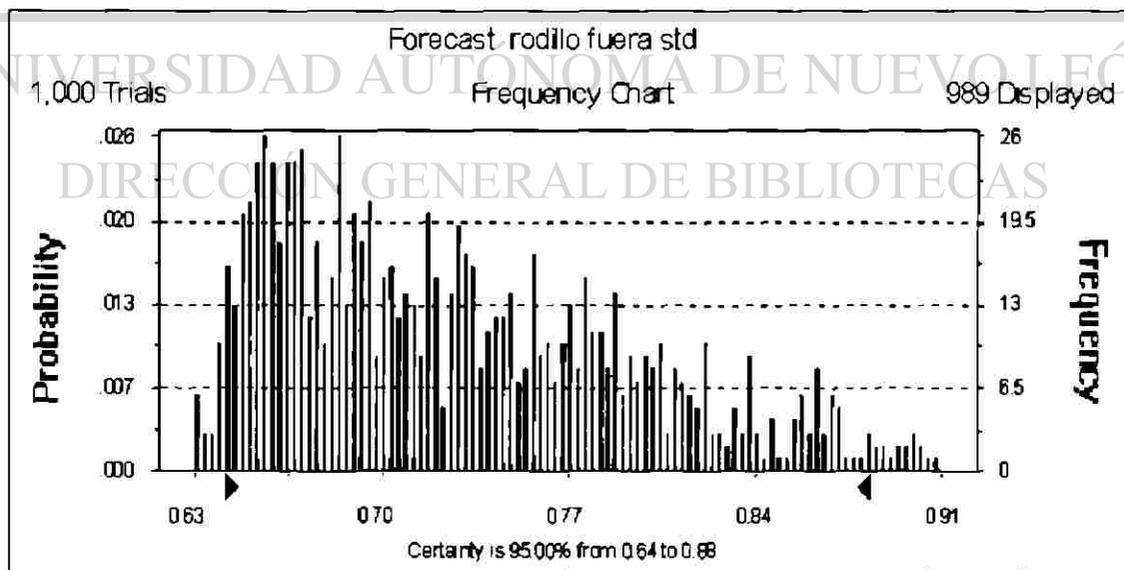
Dada la restricción anterior decidí utilizar los datos que ya teníamos recolectados de la mejor manera posible, para cuantificar nuestra prueba original.

Consideramos que en una prueba no apareada de durezas se pierde demasiada información porque lo que se compara son promedios, y no incidencias individuales de granalla-rodillo.

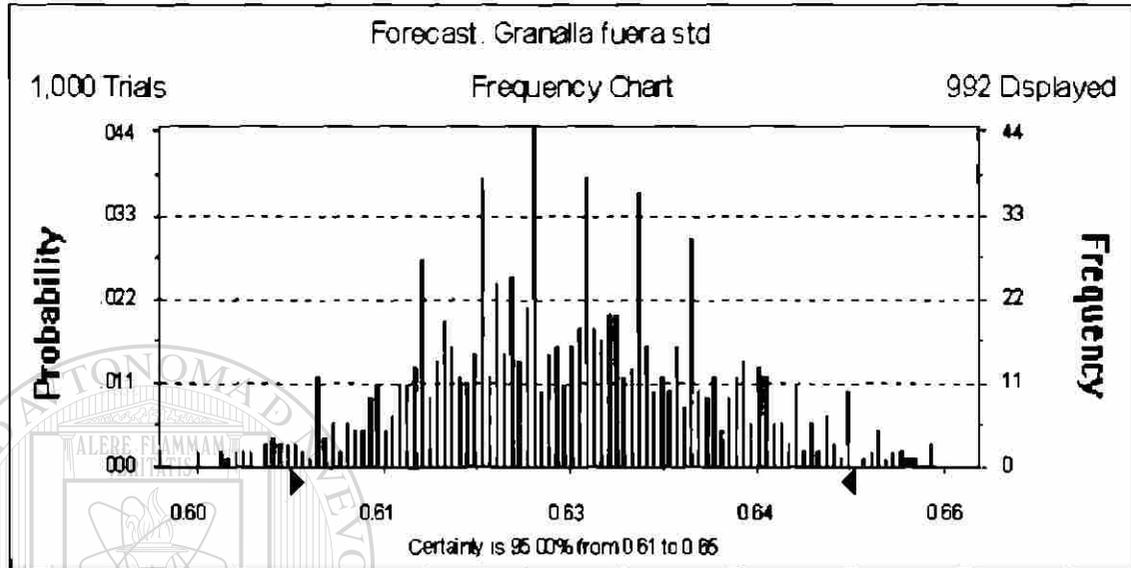
Entonces se decidió seleccionar aleatoriamente un dato de granalla de nuestra muestra, y aparearla con un dato de dureza de rodillo también seleccionado aleatoriamente. Una vez apareadas todas las pruebas se procedió a calcular el estadístico t. Dado la naturaleza de la prueba se decidió replicar este ejercicio un número elevado de veces para construir una distribución de probabilidad del estadístico-t.

Al implementar la prueba se encontró más conveniente hacer pruebas de bondad de ajuste formales a nuestras muestras, para determinar las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan a nuestros datos, y entonces utilizar un simulador comercial de MonteCarlo para replicar un número elevado de veces nuestra simulación.

Los resultados arrojados después de 1000 repeticiones son:



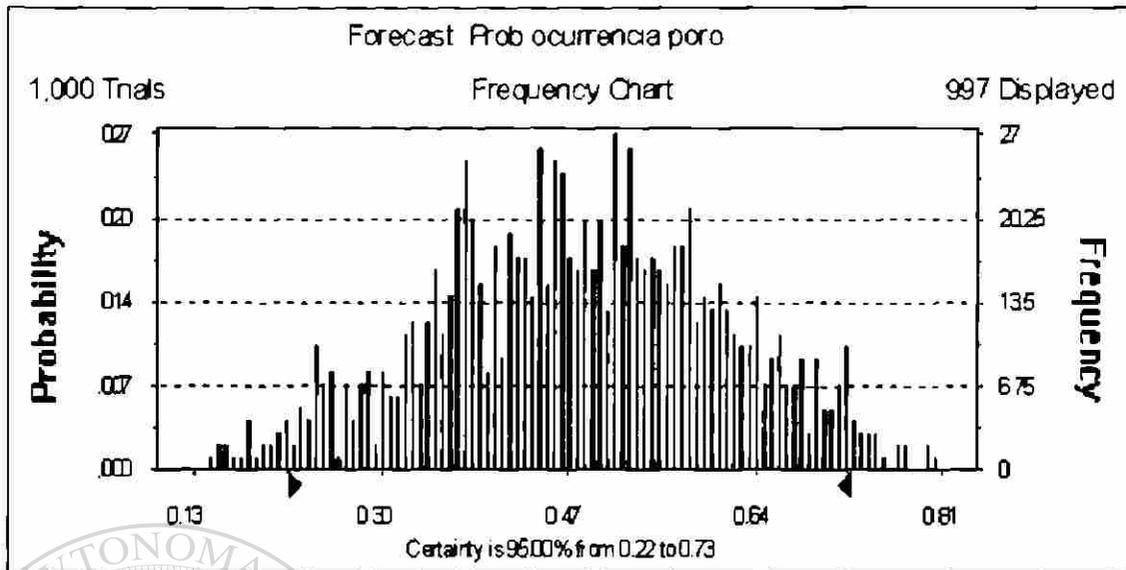
Entre el 64% y el 88% de los casos existen rodillos fuera de estándar con un nivel de significancia del 5%.



Entre el 61% y el 88% de los casos existen granallas fuera de estándar con un nivel de significancia del 5 %.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Entre el 22% y el 73% de los casos se genera un poro, tomando en cuenta la diferencia de dureza entre la granalla y el rodillo que sea más de 6 unidades; con un nivel de significancia del 5%.

#### 4.4 Prueba “Acumulación de granalla en los extremos de los rodillos”



A continuación se explica el desarrollo de 3 pruebas estadísticas relacionadas con la acumulación de granalla en los extremos de los rodillos.

Para esta prueba ya conocemos muy bien el proceso de producción de rollos, esto nos facilitará la realización de la misma, dado que esta prueba se realiza en la línea de producción.

En el primer experimento pudimos darnos cuenta que el problema que se tiene en cuanto a las durezas de la granalla y del rodillo, es un problema muy importante y que es un generador de poros, pero a pesar de ello, esta prueba puede ser de gran utilidad también.

#### **4.4.1 Prueba de Hipótesis “Acumulación de granalla en los extremos de los rodillos”**

**Objetivo:** Determinar que la acumulación de granalla en los costados del rodillo después del proceso de matizado influye en la generación de poros al momento de poner los rodillos a trabajar en el molino frío 4.

---

El detalle de la planeación de la prueba se encuentra en el **anexo 11**.

### **DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

El procedimiento para la selección aleatoria de la muestra de granalla consistió en los siguientes pasos: Se anotará el número de identificación, diámetro y dureza de los rodillos; se colocarán en la línea de producción del MF-4 y se les dará seguimiento en cuanto al tiempo de duración en la línea de trabajo y la causa por la que se cambió el rodillo; esto mediante el aspecto visual, reporte de operador y sistema IMS (Sistema de intranet utilizado por HYLSA D.A.P).

Primeramente se realizó una prueba de 16 rodillos aleatoriamente y se pasaron automáticamente a la línea de producción, los resultados son los siguientes:

El tamaño de muestra para los rodillos que no se limpiaron y los que se limpiaron nos lo especificó el cliente, el cual es de 16 rodillo con un poder de la prueba del 95%.

<b>RODILLO</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>CAUSA DE CAMBIO</b>	<b>TIEMPO EN LINEA (HORAS)</b>
SW345	80.02	<b>POROS</b>	03:00
SW143	85.36	<b>POROS</b>	01:45
SW275	90.14	<b>POROS</b>	02:15
SW403	87.65	<b>USADO</b>	03:35
SW351	95.83	<b>POROS</b>	02:57
SW462	82.45	<b>POROS</b>	01:13
SW211	87.53	<b>POROS</b>	02:50
SW387	83.03	<b>POROS</b>	02:41
SW185	86.02	<b>POROS</b>	03:00
SW374	97.53	<b>POROS</b>	01:35
SW408	88.15	<b>POROS</b>	00:53
SW501	85.26	<b>USADO</b>	03:11
SW337	82.17	<b>POROS</b>	02:33
SW425	83.41	<b>POROS</b>	02:49
SW378	86.25	<b>POROS</b>	03:10
SW319	90.43	<b>POROS</b>	02:29

Como se observa en la tabla anterior de los 16 rodillos solamente 2 rodillos se cambiaron por USADOS, el resto salió con poros, si sacamos en promedio el tiempo del rodillo en línea de producción antes de ser cambiado en esta prueba sería de 2 horas con 29 minutos, procesando solamente de 4 a 5 rollos por rodillo.

### **Preferencias de Diseño.**

$$H_0: P_1 - P_2 = 0$$

Las muestras no proporcionan evidencia para concluir que exista el defecto de poro.

$$H_1: P_1 - P_2 > 0$$

Existe la evidencia del defecto de PORO.

Para esta hipótesis me enfocaré en una prueba de dos proporciones, dando como resultado lo siguiente.

### **4.5 HIPOTESIS TAMAÑO**

Tamaño: Se llegó a la conclusión de que el tamaño no influye ya que para el molino frío 4 se usa un solo tipo de granalla, siendo que nos había mencionado lo contrario, pero pudimos comprobar que solo utilizan granalla G-25

### **4.6 HIPOTESIS MORFOLOGIA**

Morfología: Teníamos la teoría de que la forma de la granalla influía para la generación de poros, pero tomando muestra de poros, vimos que hay poros de todo tipo y forma de granallas, por lo tanto cualquier forma de granalla puede hacer poro.

### **4.7 HIPOTESIS MICROESTRUCTURA**

Microestructura: Los resultados del laboratorio mostraron que no existe problema en la microestructura de la granalla, ya que no hay impurezas en su composición.

### **4.8 HIPOTESIS MEZCLA DE GRANALLA**

Mezcla de Granalla: Esta hipótesis estaba sustentada en el supuesto de que se utilizaban combinaciones de los 2 tipos de granalla para matizar el rodillo, y por

lo tanto había propuesto que se realizara un diseño de experimentos involucrando los diferentes tipos de granalla, así como los 2 proveedores de la misma. Conforme fui avanzando y obteniendo más información me di cuenta que para otros molinos si mezclan granalla, para el molino frío 4 usa sólo 1 tipo de granalla (G-25) y que solamente utilizaban granalla de un proveedor. Lo anterior desconfirmó la hipótesis.

#### **4.9 HIPOTESIS DESBASTE**

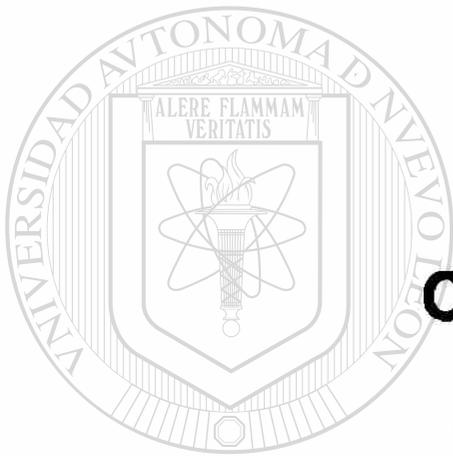
Desbaste: En esta prueba se pretendía analizar que tanto se debe desbastar un rodillo con defecto de poros para que el defecto no vuelva a reaparecer, pero por falta de recursos no se realizó. Para esta prueba se necesitaría saber primeramente la profundidad de el poro que existe en el rodillo, esto para saber cuantos milímetros se va a desbastar, de otra manera se podría desbastar menos, quedando la raíz del poro.

#### **4.10 HIPOTESIS ACUMULACIÓN DE FINOS DE FIERRO**

En esta prueba se planteaba analizar junto con el personal del Molino frío 4 el proceso del MF-4 para ver si en realidad existía una acumulación de finos de hierro durante el proceso; pero por falta de recursos no se pudo realizar.

#### **4.11 HIPOTESIS IMPUREZAS EN LA SOLUCIÓN DE ROLADO**

En esta prueba se planteaba sacar muestras de solución de rolado para posteriormente mandarlas al laboratorio a que se analizaran para ver la existencia o no de impurezas en el mismo; pero por falta de recursos no se pudo realizar.



# **CAPITULO 5**

## **MEJORAR**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 5.1 PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Después de haber analizado cada una de las hipótesis tanto de la granalla como del rodillo, he desarrollado cuatro propuestas para la disminución de defectos de poros, las cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla:

PRUEBA DE HIPOTESIS	MÉTODO GENERAL DE ACEPTACION DE LOTES	EVALUACION DE PROVEEDORES DE GRANALLA	PROCESO EDT	LIMPIEZA DE RODILLOS
DUREZA GRANALLA	X	X	X	
DUREZA RODILLO	X	X		
DUREZA GRANALLA MAYOR DUREZA RODILLO	X	X	X	
ACUMULACIÓN DE GRANALLA EN LOS EXTREMOS DE LOS RODILLOS.			X	X
"CORRELACION DUREZA-DIAMETRO RODILLO"				
TAMAÑO GRANALLA				
MORFOLOGIA GRANALLA				
REESTRUCTURA GRANALLA				
MEZCLA DE GRANALLA				
DESBASTE				
CONTAMINACION DE FINOS DE FIERRO				
IMPUREZAS EN LA SOLUCION DE ROLADO				

Como se puede observar en la tabla anterior, las soluciones cubren o se enfocan a las pruebas de hipótesis que tienen marcada una "X". Los renglones marcados en color rojo (color oscuro) representan hipótesis que fueron desconfirmadas. Los renglones marcados en color verde (claro) corresponden a las hipótesis que quedaron pendientes de ser investigadas.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las 4 propuestas a las que me refiero son:

- Método General de Aceptación de lotes.
- Evaluación de proveedores de granalla y rodillo.
- Utilización de proceso de texturizado EDT
- Limpieza de rodillos antes de entrar a la línea de producción.

## 5.2 Método General de Aceptación de lotes

En esta sección se realiza un instructivo acerca de los conceptos y la manera de llevar a cabo un Método General de aceptación de lotes, para que en el futuro en base a esto HYLSA pueda realizar sus procedimientos correspondientes y así mismo se realicen estudios de capacitación para los operarios.

El método general de aceptación de lotes, tiene el objetivo de indicar a los representantes de HYLSA, D.A.P, las condiciones y reglas a aplicar en el desarrollo de una aceptación de materiales en fábrica. También será utilizada como referencia por los superiores jerárquicos de dichos representantes.

### ¿Cuándo se toma la decisión de realizar pruebas en fábrica?

Las circunstancias que impulsan la decisión de efectuar pruebas o no en fábrica a determinados lotes de materiales, son :

- Cuando los materiales luego de producidos en fábrica requieren inspección final.
- Cuando no existen Protocolos de Aseguramiento de la Calidad entre el Proveedor e HYLSA D.A.P.
- En el caso de decidirse Auditorias de Producto, para parejas Proceso /Producto Certificadas .
- Excepcionalmente, si se detectaran fallas en la prestaciones de los materiales en los usuarios

En el caso de HYLSA D.A.P no existen protocolos de Aseguramiento de Calidad entre proveedor e HYLSA, lo cual es una de las causas por la que se va a dejar documentado el sistema de Aceptación de lotes, para asegurar la calidad del producto.

Después de tomar la decisión de realizar pruebas en fábrica, se debe decidir que tipo de prueba se va a realizar las cuales pueden ser:

- A) Prueba de rutina
- B) Prueba de remesa
- C) Pruebas de tipo

A) Prueba de rutina : Los ensayos de rutina se ejecutan en todas la unidades que conforman un lote presentado (control de calidad 100 %).

B) Prueba de remesa : Las pruebas de remesa se realizan de acuerdo a un Plan de Muestreo por Atributos según la Norma.

C) Prueba de tipo: Son aquellas orientadas a comprobar la confiabilidad y la calidad de las materias primas utilizadas así como también la verificación de las características de diseño de los materiales. Estas deberán hacerse antes del comienzo de las entregas y posteriormente toda vez que HYLSA D.A.P lo considere conveniente. Por ejemplo: cuando se ha rechazado material en las pruebas, cuando hubo un cambio de las materias primas o cuando el material presenta una disminución de la performance requerida.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Después de determinar el tipo de prueba que se desea realizar se llenará una Solicitud de Inspección en Fábrica.

La Solicitud de Inspección en Fábrica contendrá la siguiente información (ver modelo en el **Anexo 1**):

- Nombre de la Empresa Proveedora y del sector emisor de la solicitud.
- Número de Orden de Compra o Contrato.
- Ítem de la Orden de Compra o Contrato.
- Descripción del Material.
- Número de Catálogo de HYLSA D.A.P.

- Cantidad del Material sometido a inspección.
- Destino del material.
- Dirección del lugar donde se realizará la inspección.
- Persona de contacto en la empresa proveedora.
- Fecha propuesta para comenzar la inspección.
- Nombre y cargo del emisor de la Solicitud de Inspección en Fábrica.

#### Muestreos de Aceptación por lotes.

El muestro de aceptación es útil cuando los ensayos son destructivos, el costo es excesivo, o una inspección del 100% es difícil o bien, si un muestreo 100% tiene demasiados errores, los cuales tendrán peligrosos efectos posteriores, etc.

Primeramente hay que mencionar que la ejecución de las pruebas puede poner en evidencia defectos o fallas, según sea el caso, por lo tanto a continuación haremos una clasificación de defectos, en el cual nos será de utilidad para esta propuesta.

## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

### Defecto crítico

Es un defecto que puede producir condiciones peligrosas o inseguras para quienes usan o mantienen el material. Es también un defecto que llega a impedir, total o parcialmente, el funcionamiento o el normal desempeño de una función o prestación importante de la unidad en cuestión.

### Defecto mayor

Es un defecto que, sin ser crítico, tiene la probabilidad de ocasionar una falla o de reducir materialmente la utilidad de la unidad para el fin al que se lo destina.

### Defecto menor

Es un defecto que no reduce materialmente la utilidad de la unidad para el fin al que está destinado o que produce una desviación de los requisitos establecidos con pequeño efecto reductor sobre el funcionamiento o uso eficaz de la unidad.

Durante la aceptación, cada vez que aparezca un defecto, el inspector de HYLSA D.A.P deberá clasificarlo de acuerdo a los criterios vistos. Las fallas de fiabilidad de materiales (fallas aleatorias), detectadas en fábrica serán consideradas como críticas.

Después de saber la clasificación de los defectos, es sumamente importante tener el conocimiento acerca de los criterios de Aprobación, Rechazo o Anulación de un lote:

#### Aprobación del lote

Si los defectos detectados en la muestra, no superan los aceptados según la Norma, el lote será aprobado, emitiendo el Inspector el Acta de Aprobación. (ver **Anexo 2**).

---

El original, del Acta de Aprobación será entregado al proveedor por el Inspector al concluir la pruebas y una copia quedará documentada en la Gerencia de Calidad.

#### Rechazo del lote

En el caso de que las pruebas y ensayos técnicos realizados sobre las unidades de la muestra del lote sometido a inspección, no hayan resultado satisfactorias y superen los números de aceptación establecidos en la Norma para cualquiera de los defectos detectados (agrupados como críticos, mayores o menores), se procederá a su rechazo.

También se rechazará el lote si, por algún motivo imputable al Proveedor (indisponibilidad de los instrumentos de medición, falta de protocolos de ensayo, falta de instrumental, ausencia de personal idóneo, lugar inadecuado, etc.) no se pudiese realizar la inspección en la fecha convenida.

Para documentar el rechazo, el inspector de Hylsa D.A.P completará 2 (dos) ejemplares del formulario Informe de Resultado de Inspección (ver **Anexo 2**), entregará un ejemplar al proveedor y remitirá el otro al Gerencia de Calidad.

Una vez subsanados los defectos que motivaron el rechazo, el Proveedor deberá solicitar una nueva inspección.

A los fines de los plazos contractuales, no se considerará como fecha de presentación de los materiales, el aviso de Solicitud de Inspección en Fábrica de los lotes que fueron rechazados.

#### Anulación del lote

En caso de no estar disponibles los materiales en el momento de la inspección solicitada, el Inspector anulará el Registro de Inspección utilizando el Acta indicada en el **Anexo 2**. El proveedor deberá solicitar una nueva inspección, siendo posible una multa por atraso si se retrasara por ese motivo la entrega del material en la fecha establecida en el contrato u orden de compra.

Finalmente el Inspector asignado es el responsable de la decisión de la aprobación, rechazo, o anulación del material emitiendo el Acta correspondiente, según el caso.

Con los conocimientos anteriores enseguida podremos definir los tipos de muestreo:

1. **MUESTREO SIMPLE:** se toma una muestra y se define el número máximo de defectos en la muestra.

**2. MUESTREO DOBLE:** Hacemos una segunda prueba, con muestras nuevas, y mezclamos los resultados de ambas, para saber si aceptamos o rechazamos el lote. El primer bloque es menor que en el caso de muestreo simple, de modo que si lo pasa o es rechazado, el número de elementos de la muestra es menor que en el caso del muestreo simple. Sólo cuando el resultado es indeciso, debemos tomar la segunda muestra.

**3. MUESTREO MÚLTIPLE:** si el número de muestreos es mayor de 2. No se suele aplicar.

**4. MUESTREO CONTINUO:** Cuando las muestras son extraídas de forma continua de un proceso repetitivo. Suele aplicarse cuando el sistema de muestreo está automatizado, y muchas veces sirve de realimentación al propio controlador del proceso.

Para cada uno de los planes de muestreo anteriores, se prevé una inspección normal (nivel II), estricta (nivel III) o reducida (nivel I).

---

El tamaño de la muestra será según lo indicado en la Norma (Nivel II para Inspección Normal, Simplificada o Estricta según corresponda) de acuerdo al tamaño del lote y se aplicará el Plan de Muestreo para cada grupo de defectos con su respectivo AQL.

Los criterios para cambiar el nivel de inspección son:

1. De normal a estricta: cuando en los últimos cinco lotes, dos han sido rechazados.
2. De estricta a normal: cuando se aceptan los últimos cinco lotes.
3. De normal a reducida: cuando se cumplan todas las condiciones siguientes: Se aceptaron los últimos 10 lotes

- El número de artículos defectuosos, de los últimos 10 lotes, es igual o inferior al NCA aplicado.
- La producción es estable, no se dieron problemas de flujo por averías, escasez, etc.
- Los responsables del muestro así lo consideren oportuno.

4. De reducida a normal: cuando se dan cualquiera de las condiciones siguientes:

- Se rechaza un lote
- Producción irregular
- Otras condiciones que lo justifican.

La interrupción de las inspecciones: cuando 10 lotes consecutivos en la inspección estricta son aceptados.

La decisión de realizar una Inspección Técnica o un Salto de lote la da la Gerencia de Calidad, esta analizará la solicitud de inspección y los resultados de inspecciones anteriores en fábrica, a fin de determinar si efectuarán Inspección Técnica o Aprobación por Salto de Lote.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Si se decidiera realizar la Inspección Técnica, el inspector actuante le comunicará telefónicamente a la persona de contacto indicada en la Solicitud de Inspección en Fábrica, la fecha y hora en que comenzarán los ensayos. Si por cualquier motivo, no puede comunicarse con la persona de contacto, le transmitirá la información por fax.

Esta comunicación se efectuará dentro de los 5 (cinco) días hábiles de recibido el aviso de Solicitud de Inspección en Fábrica.

La Inspección podrá ser : Inspección de rutina ( granalla, rodillo, etc o cualquier material considerado crítico por HYLSA D.A.P), o inspección por muestreo al azar procediendo de acuerdo a la Norma, ( Inspección Normal, Simplificada o Estricta ).

a) Inspección Normal : Se realizará al comenzar una Orden de Compra .

b) Inspección Simplificada : Estando vigente la Inspección Normal se podrá pasar a Inspección Simplificada, cuando se satisfagan las siguientes condiciones :

1) Los últimos 5 lotes presentados a inspección han sido aceptados.

2) Durante la producción de los últimos 5 lotes no se han producido interrupciones serias de fabricación.

Se volverá a Inspección Normal cuando:

- Se rechaza un lote

- La producción se hace irregular o sufre interrupciones serias.

c) Inspección Estricta : Se podrá efectuar Inspección Estricta cuando estando en Inspección Normal se proceda al rechazo un lote . Se volverá a Inspección Normal cuando se hubieren aceptado dos lotes en Inspección Estricta.

Para la aceptación de los materiales regirán los criterios de Aceptación o Rechazo indicados en la Norma. Este Método General de Aceptación en fábrica, deberá ser considerado como documento de referencia para cada proveedor involucrado.

Si la Gerencia de Calidad, decidiera aprobar por salto de lote, le comunicará esta circunstancia al proveedor, y cuando el material haya ingresado a HYLSA D.A.P , (junto con el mismo, el proveedor deberá entregar los protocolos de ensayos o enviarlos vía fax o correo a la Gerencia de Calidad se efectuará la aprobación siempre que el material cumpla con la inspección visual de rutina.

El proveedor no supondrá que la aprobación por salto de lote, es una operatoria habitual, ya que será responsabilidad de la Gerencia de Calidad, la toma de decisión de la misma.

Si, por cualquier motivo, se decide prorrogar o suspender definitivamente la fecha de inicio de la inspección en fábrica, debe comunicar esa decisión a la Gerencia de Calidad, como mínimo 2 (dos) días hábiles antes de la fecha de inicio propuesta originalmente, con copia a la Gerencia de Compras o Logística. A los fines de los plazos contractuales, no se tomará en cuenta la fecha de inicio de la Solicitud de Inspección original.

En caso de que se requiera que un representante del proveedor este presente, se deben de realizar los siguientes pasos.

**1** Enviar la Solicitud de Inspección en Fábrica del material, después de efectuados sus ensayos internos, según especificación de HYLSA D.A.P.

**2** Deberá presentar al inspector de HYLSA D.A.P, previo al comienzo del control de calidad, todos los protocolos de ensayos de los materiales del lote sometido a inspección (estos protocolos deberán poseer como mínimo los ensayos de rutina y remesa necesarios para detectar los defectos listados en el **Anexo 3**, para cada producto). Todo lote de material sometido a inspección, deberá estar perfectamente identificado para asegurar su trazabilidad y ubicación en los Almacenes de HYLSA D.A.P o en el destino en el caso de productos suministrados por proveedores de instalaciones de Planta Externa.

**3** El proveedor deberá facilitar, a su cargo, durante toda la inspección en fábrica, los medios necesarios para la realización de las pruebas, ensayos y análisis requeridos en la Especificación o Descripción Técnica de HYLSA D.A.P, que el inspector, decidiera realizar. Asimismo deberá disponer del instrumental, equipamiento, infraestructura y personal suficientemente idóneo, técnica y

jerárquicamente, para solventar las consultas, requerimientos y todas aquellas necesidades que pudieran surgir durante la inspección.

**4** En caso que algún, material, o accesorio en la muestra posea defectos críticos, mayores y menores y el lote se encuentre en condiciones de aprobación, el proveedor deberá reemplazar los mismos por material sin defectos, antes de la emisión del Acta de Aprobación.

**5** El proveedor no podrá intervenir sobre ningún material ya aprobado, sin previo acuerdo del inspector actuante de HYLSA D.A.P o la autorización de Gerencia de Calidad.

**6** Para el caso de materiales de Planta Externa (proveedor : contratista de instalación), si luego de haber emitido el formulario de Aprobación en fábrica, y habiéndose asentado el destino de un material, por necesidades y/o prioridades de obra, sectores de HYLSA D.A.P, soliciten o autoricen al proveedor el cambio de destino, éste informará esta circunstancia por escrito a la Gerencia de Calidad.

---

Así mismo existen obligaciones de HYLSA D.A.P, las cuales son:

Definir y coordinar con el proveedor las pruebas y ensayos previstas por la GERENCIA y definir el resultado de la inspección en un plazo no mayor de 3 días hábiles.(cualquier cambio, deberá avisarlo al proveedor).

- Si el proveedor lo solicita, el inspector podrá repetir toda prueba con resultado insatisfactorio.

- El inspector actuante de HYLSA D.A.P debe guardar absoluta confidencialidad sobre los procesos y métodos de fabricación del proveedor.

- El inspector actuante de HYLSA D.A.P debe acatar todas las normas de seguridad y funcionamiento que el proveedor haya establecido en su planta y hayan sido previamente informados al inspector.

En seguida se elaboró un procedimiento práctico para la aceptación de lote de rodillos y de granalla, cabe destacar que estos procedimientos van a la par con el procedimiento de aceptación de lotes visto anteriormente.

#### PROCEDIMIENTO PARA RODILLO.

1. Llega el lote.
2. Se seleccionan rodillos aleatoria mente.
3. Se toma mediciones de dureza cada 10 pulgadas a lo largo del rodillo (6 mediciones).
4. Se analizan los datos.
5. Si están fuera de las especificaciones dictadas por Hylsa D.A.P se rechaza el producto o se acepta en base al método de aceptación de lotes.
6. Si se rechaza, el producto se regresa inmediatamente.

#### PROCEDIMIENTO PARA GRANALLA.

1. Llega el lote.
2. Se selecciona granalla aleatoria mente.
3. Se manda a laboratorio para que se realicen las pruebas de microdureza pertinentes.
4. Se analizan los datos.
5. Si están fuera de las especificaciones dictadas por Hylsa D.A.P se rechaza el producto o se acepta en base al método de aceptación de lotes.
6. Si se rechaza\*, se le comunica al proveedor que no ha cumplido con las especificaciones para que solucione el problema en los pedidos futuros.

**\*Nota: El producto no se puede regresar porque el análisis de la micro dureza se lleva un tiempo largo.**

## EJEMPLOS

Sea un lote de tamaño  $N=2000$ , al cual imponemos un índice de aceptación del 0.65%, donde queremos generar el plan de muestreo SIMPLE NORMAL.

1. En la primera II.2, sacamos la letra correspondiente del caso, que

para 2000, muestreo SIMPLE e inspección NORMAL(II) resulta ser la K.

2. De la II.3, correspondiente a muestreo SIMPLE NORMAL, el plan correspondiente a la letra K, con un nivel NCA del 0.65% nos da:

• Tamaño muestra  $n=125$ , NUMERO DE ACEPTACIÓN  $c=2$  (el plan de inspección estricta-III

correspondiente sería letra L, Ilus.4,  $n=200$ ,  $c=2$ ; aunque si quisiera mantener la letra de tamaño de la muestra como el normal, sería la letra K  $n=25$  y  $c=1$ ) hemos cogido el número de aceptación como  $c$ .

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

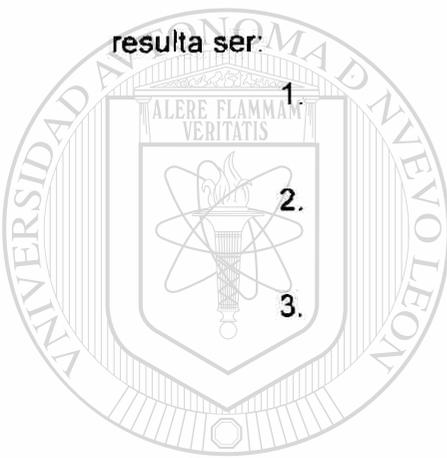
• Para la misma letra de tamaño muestral, letra K, e inspección reducida, nos da letra K  $n=50$ , número de aceptación=1, número de rechazo=3. Así si en la misma muestra encuentro un número 2 de rechazos, rechazaría la calidad aceptando el lote, por lo que pasaría a una inspección NORMAL.

• Si a la hora de buscar le  $N_a$  y el  $N_r$  me encuentro que solo contiene flechas verticales, entonces debo cambiar la letra correspondiente en función del tipo de inspección, al plan que me

indique la flecha. Así, el muestreo simple normal para  $NCA=1.5\%$  con letra F, nos da una  $N=20$ , nos señala que debemos coger el plan inferior, letra G  $n=32$ ,  $c=1$ .

Un segundo ejemplo: para MUESTREO DOBLE,  $N=2000$ ,  $NCA=0.65\%$  y nivel II de inspección general:

• Obtengo letra K, y el plan para los tres niveles resulta ser:



NORMAL:	$n=80,80na=0,3$	$nr=3,4$
ESTRICTA:	$n=80,80na=0,1$	$nr=2,2$
REDUCIDA:	$n=32,32na=0,0$	$nr=3,4$

• Así en el normal si no encuentro artículos

defectuosos, entonces acepto el lote. Si encuentro 3 o más defectuosos, ni acepto su calidad, ni acepto el lote- lo rechazo. Si hay 2 defectuosos, acepto el lote, pero no su calidad, así que paso a tomar una segunda muestra. Si el número de defectuosos DE AMBAS MUESTRAS es de 2 se acepta el lote, y si es de 5 se rechaza el lote.

• En la estricta, si encuentro un defectuoso, no rechazo aun el lote, introduzco la segunda muestra. Si la suma de ambas muestras da 1, se acepta el lote, y con 2 se rechaza.

En la reducida, suponiendo que el numero de defectuoso es 1 en la primera muestra, paso a la segunda. Si la suma de ambas muestras dan 3 defectuosos, se acepta el lote, pero se rechaza la calidad, pasando a la inspección estricta.

### 5.3 EVALUACIÓN DE PROVEEDORES DE GRANALLA Y RODILLOS.

El 40% de los problemas de calidad de una empresa están motivados por sus compras. Por tanto, una correcta elección de los proveedores es vital para la calidad de los productos de nuestra empresa. Por lo tanto HYLSA D.A.P debe de tomar las siguientes recomendaciones:

- evaluar y seleccionar a los proveedores en función de su aptitud para cumplir con los requisitos del contrato, incluidos los requisitos del sistema de calidad,
- definir el tipo y alcance del control a que deberá someterse el proveedor en función del tipo de producto y de su impacto sobre la calidad de los productos de la empresa y
- establecer y conservar registros de la calidad de los proveedores aceptables

Proveedor actual y prospectos



**PanAbrasive inc.**



[www.panabrasive.com](http://www.panabrasive.com)

Actualmente el proveedor de granalla es Panabrasive Inc., la planta se encuentra en Welland, Notario, pero tiene distribuidores en E.U.A, Canadá y México, lo cual lo hace el proveedor más importante en la actualidad para HYLSA D.A.P , por su cercanía, tiempo de entrega y precio, el cual cotiza actualmente la granalla en \$677 dólares la tonelada más un 10% de la misma puesta en planta HYLSA.



Otro proveedor de granalla es POMETON, el cuál su planta esta ubicada en Venecia Italia, cabe destacar que con este proveedor en particular se realizaron algunas pruebas de su producto, pero no cumplió con los requerimientos de HYLSA D.A.P.

Su precio es un 35% más caro que el de PANABRASIVE INC., con un tiempo de entrega del producto mayor.

Los siguientes proveedores de granalla fueron obtenidos por mi, los cuales se comentaron con el encargado de compras de HYLSA, D.A.P y fueron investigados en conjunto, obteniendo la siguiente información:



**Auxiliar Industrial, S.A.**  
IL. ARIDI S.A.



**Materia Primas Abrasivas, S.L.**

**blast**®

AUXILIAR INDUSTRIAL, S.A y MPA BLAST "MATERIAS PRIMAS ABRASIVAS", son dos empresas que se encuentran ubicadas en Barcelona ESPAÑA, fabrican granalla angular y redonda con una diversidad de especificaciones.

Investigando, se obtuvo que estos proveedores de granalla son un 35% más caros que el actual proveedor de HYLSA, D.A.P, tomando en cuenta la distancia de los mismos y la disponibilidad a tiempo de los recursos.

En mi opinión la opción más factible que se puede tomar en caso de que se requiera cambiar de proveedor es la siguiente:

## Romdel Industrial Inc.

Productos y medios abrasivos

Ya que ROMDEL INDUSTRIAL INC. Tiene su planta en Miami, FL, E.U.A, es el proveedor que más se le asemeja al proveedor actual de HYLSA, D.A.P, por su disponibilidad de entrega de los recursos y en el precio el cual esta en \$ 685 dólares la tonelada + un 5% puesta en planta.

En seguida se realizará un análisis de decisión de atributos múltiples, en el cual los atributos que utilizaré con su ponderación de mayor a menor importancia son los siguientes:

- CALIDAD (x4)
- RECURSO A TIEMPO (x3)
- PRECIO (x2)
- CERCANIA (x1)

Los valores que se le darán a cada criterio se evaluarán de 1 a 3, el cual el 1 = malo, 2 = regular, 3= bueno. A continuación se presentan los resultados.

	CERCANIA (1)	PRECIO (2)	CALIDAD (3)	RECURSO A TIEMPO (4)	TOTAL
PANABRASIVE	3	3	2	3	26
POMETON	1	1	1	1	10
AUXILIAR INDUSTRIAL	1	1	2	1	14
MPA BLAST	1	2	2	1	16
ROMDEL	2	3	2	3	25

Como podemos observar, el proveedor prospecto ROMDEL es el que obtiene la calificación más alta, fuera del proveedor actual de HYLSA que es PANABRASIVE..

Como se pudo analizar tenemos una gran variedad de proveedores de granalla, aunque cabe destacar que no existen muchos de ellos en el mundo. Es importante tener la información necesaria de cada uno ya que en el futuro se pueden volver a retomar alternativas que en el pasado fueron rechazadas o no convenientes para la situación actual de la empresa.

Actualmente el proveedor de rodillos de HYLSA D.A.P se encuentra ubicado en seguida de la planta D.A.P, por tal motivo, nuestro cliente no está tan abierto a la posibilidad de cambiar prospectar nuevos proveedores .

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Independientemente de considerar la posibilidad de prospectar nuevos proveedores, al menos en el contexto del proyecto se pudo detectar deficiencias importantes en la calidad de los suministros de granalla y rodillos. En mi opinión es muy importante para HYLSA acercarse con sus proveedores actuales y trabajar con ellos en el desarrollo de planes estratégicos de manera conjunta, donde se establezcan metas claras de mejora en el tiempo alrededor de las dos variables que analizamos, y del resto de las variables que seguramente impactan otros procesos en la planta. Lo anterior implica no sólo montar los sistemas para medir y monitorear la calidad, como lo proponíamos parcialmente en el apartado anterior en el contexto de nuestro proyecto, sino también compartir esta información con

los proveedores y celebrar reuniones operativas de monitoreo periódicas con ellos para buscar mejorar la calidad de sus ofrecimientos.

#### 5.4 PROCESO EDT (ELECTRO DISCHARGE TEXTURING)

El proceso de EDT (**E**lectro **D**ischarge **T**exturing) utiliza corriente eléctrica para el matizado de los rodillos. En general en este proceso el texturizado (Matizado) se realiza a través de un arco controlado que provoca un flujo de corriente de una serie de electrodos (o de un par de electrodos, o de un electrodo) hacia el rodillo.

A continuación se hará una comparación del proceso EDT contra el GRANALLADO, para ver las ventajas y desventajas del proceso EDT.

CONCEPTO	EDT	GRANALLADO
<b>Textura Superficial del Rodillo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se puede variar la profundidad en un rango mayor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se puede variar la profundidad en un rango más pequeño, quedando aún más restringido por la dureza del rodillo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se puede variar el conteo de picos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conteo de picos muy restringido, muy inferior al de EDT.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es posible rectificar faltas de texturación menores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las superficies granalladas no se pueden cambiar de manera apreciable usando control de los parámetros del proceso.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elimina defectos de rectificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se disimulan pero no se eliminan los defectos del rectificado.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El alto conteo de picos provee un “agarre” apropiado que reduce la tendencia de la pintura a correrse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deja residuos de granalla que de no eliminarse provocan marcas en rodillos y disminuyen la vida útil de los mismos.</li> </ul>

CONCEPTO	EDT	GRANALLADO
<b>Control de Proceso</b>	Sencillo y controlado totalmente por un sistema basado en ordenador.	Difícil de controlar, por desintegrarse comúnmente la granalla
	Produce una textura uniforme +/-4% a lo largo de la superficie del rodillo, con una reproductividad superior al 98% de rodillo a rodillo.	Produce una textunzado aleatono, con una constante del +/- 15% en la superficie del rodillo No reproduce bien de rodillo a rodillo.
	Permite aplicar métodos convencionales de medición de textura superficial al control de la producción	Permite aplicar métodos convencionales de medición de textura superficial al control de la producción.
	Dura más que los rodillos granallados.	Duración razonable del rodillo

CONCEPTO	EDT	GRANALLADO
<b>Costo de Utilización</b>	No requiere preparación especial de electrodos.	La granalla de hierro fundido es bastante caro.
	Consumo eléctrico moderado; unos 75 KWH por rodillo a 80 Min de profundidad.	La granalla requiere graduación y clasificación frecuente para mantener la uniformidad de la textura.
		Costo de utilización bajo a moderado; unos 50 KWH por rodillo a 80 Min de profundidad.
<b>Mantenimiento</b>	Por ser un mecanismo sin contacto la maquinaria no sufre daño, garantizando larga duración.	Gradualmente el proceso desgasta la mayoría de las partes operativas de la máquina.

El costo de la maquinaria para elaborar este proceso oscila entre los **4-5 MILLONES DE DÓLARES instalado en la planta y funcionando.**

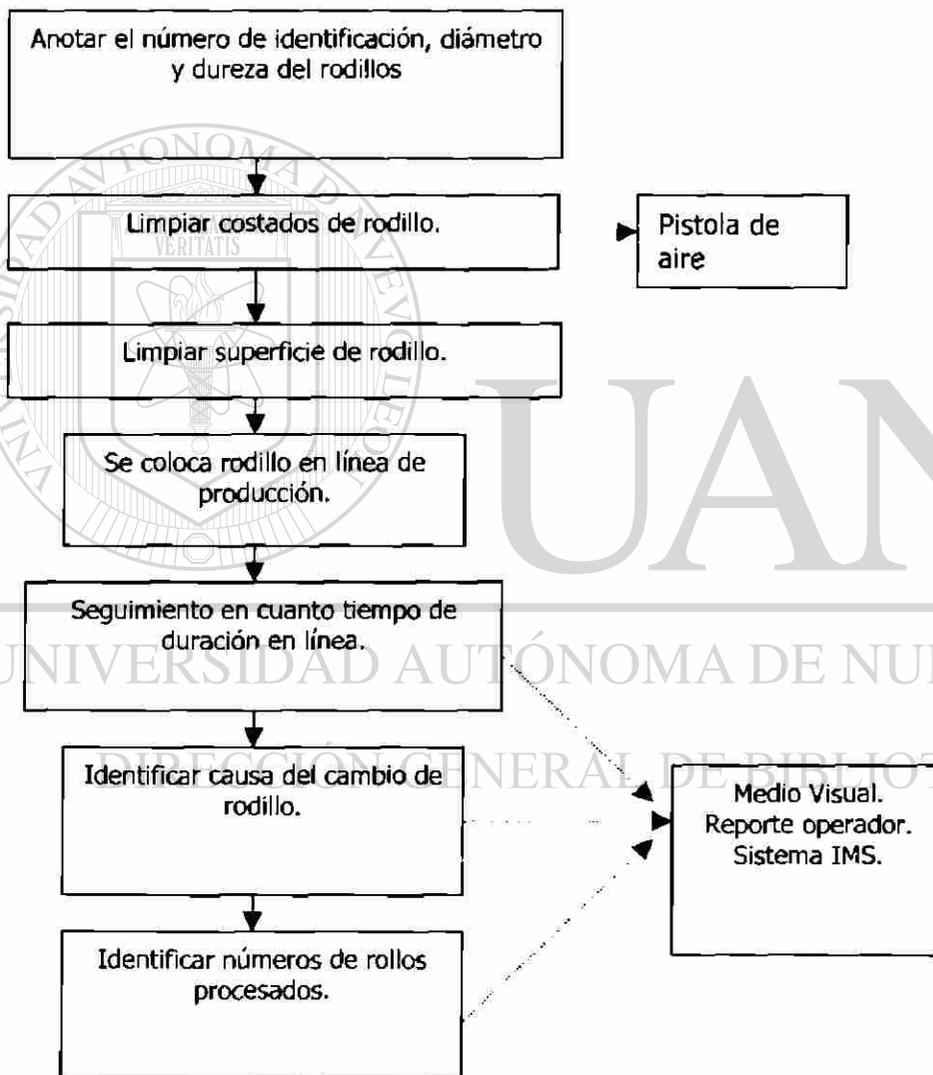
Como pudimos observar este proceso supera por mucho al proceso de granallado en todos los aspectos, esta propuesta puede traer muchos beneficios para HYLSA, D.A.P, tanto en el nivel de calidad de producción como en la disminución de defectos.

Esta pendiente un análisis de inversión de esta propuesta para encontrar la mejor justificación de la posible adquisición de la misma.

## 5.5 LIMPIEZA DE RODILLOS

Para la propuesta de LIMPIEZA DE RODILLOS, empezaremos por explicar el procedimiento de esta:

### Procedimiento



### Procedimiento a detalle

1. Primeramente se anota el número de identificación , el diámetro y la dureza del rodillo que se va a limpiar.
2. Se limpian los costados del rodillo con la pistola de aire hasta que no quede ningún residuo de granalla.
3. Se limpia la superficie del rodillo.
4. Se coloca el rodillo en la línea de producción.
5. Por medio del medio visual, del reporte del operador y el sistema IMS, se le da seguimiento en cuanto al tiempo, causa de cambio y cantidad de rollos procesados.

En el caso particular de esta mejora trabajamos en una prueba piloto para comprobar que al limpiar los rodillos antes de colocarlos en la línea de producción, disminuiría considerablemente el defecto de poros. Posteriormente se obtuvieron 16 rodillos, a los cuales se les aplicó el procedimiento anterior, dando como resultado lo siguiente:

<b>RODILLO</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>CAUSA DE CAMBIO</b>	<b>TIEMPO EN LINEA (HORAS)</b>
SW376	83.33	USADO	06:17
SW384	85.03	USADO	03:45
SW401	92.86	USADO	04:10
SW397	88.03	USADO	03:58
SW324	82.72	USADO	03:26
SW328	94.56	USADO	04:45
SW439	90.38	USADO	04:50
SW331	86.25	USADO	03:05
SW386	88.29	USADO	05:38
SW422	89.02	USADO	04:13
SW428	89.76	USADO	03:50

SW401	83.66	USADO	03:08
SW327	83.57	<b>POROS</b>	02:43
SW322	94.86	USADO	04:02
SW338	93.85	USADO	03:19
SW323	80.65	USADO	03:10

Como se puede observar en la tabla anterior de los 16 rodillos que se limpiaron solamente uno se cambio a causa de poros, con un tiempo en línea de 2 horas con 43 minutos.

Si se observan los 15 rodillos restantes, fueron cambiados por USADOS, un punto clave que se debe de observar es que comúnmente los rodillos se cambiaban en promedio cada 2 horas 29 minutos, la mayoría por defecto de poros, ahora después de limpiar los rodillos el tiempo en la línea de los mismos fue mayor a las 2 horas 29 minutos que teníamos de promedio con la prueba de rodillos que no se limpiaron, el tiempo mínimo de los rodillos que se limpiaron fue de 3 horas con 5 minutos y se cambiaron por USADOS.

Si hablamos con respecto a rollos procesados de 4 a 5 rollos que se procesaban antes de ser cambiados los rodillos, sin que estos mismos fueran limpiados; ahora que se limpian antes de estar en la línea de producción, se procesan en promedio de 7 a 8 rollos antes de ser cambiados y lo más importante es que los rodillos en su mayoría son cambiados por USADOS.

En seguida se realizó un análisis estadístico de los datos.

El detalle de la planeación de la prueba se encuentra en el **anexo 12**.

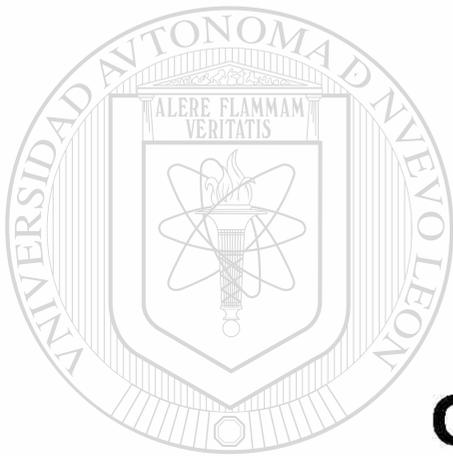
El objetivo de esta mejora es disminuir la aparición de poros en los rodillos de trabajo.

**Procedimiento:** Se limpiarán en su totalidad 16 rodillos matizados los cuales fueron seleccionados aleatoriamente antes de entrar a la línea de producción MF-4; esto se efectuará primeramente mediante un pedazo de tela, y se limpiará en su totalidad; posteriormente se utilizará una pistola de aire para limpiar los costados y la superficie del rodillo, por último se volverá a limpiar con un pedazo de tela para eliminar cualquier granalla que se pueda quedar “atorada”.

En seguida se anotará el número de identificación, diámetro y dureza de los rodillos que se les hizo la limpieza; se colocarán en la línea de producción del MF-4 y se les dará seguimiento en cuanto al tiempo de duración en la línea de trabajo y la causa por la que se cambió el rodillo; esto mediante el aspecto visual, reporte de operador y sistema IMS (Sistema de intranet utilizado por HYLSA D.A.P).

---

Como se pudo observar la prueba de limpieza de rodillos, dió excelentes resultados y es algo que puede dar grandes beneficios a muy bajo costo porque no se necesita algo que tengan que comprar o de algún método nuevo en el que haya que capacitar al personal, ya que el personal del molino frió 4 si sabe limpiar rodillos, pero es algo que no se hace.



## **CAPITULO 6**

---

# **CONTROL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 6.1 PROPUESTAS DE IMPLEMENTACION CONTROL

He propuesto cuatro posibles soluciones que son:

- Limpieza de rodillos
- Cambio de proveedor de granalla / Desarrollo de Plan de Desarrollo de Proveedores
- Sistema EDT
- Muestreo de aceptación de lotes

Aunque su implementación queda fuera del alcance del proyecto, tuve la oportunidad de participar en la implementación de la limpieza de rodillos.

Para la implementación de la limpieza de rodillos se designó a uno de los operadores del molino frío 4 (un operador de cada turno, ya que hay tres turnos por día). El operador designado no deja de hacer algún trabajo por limpiar rodillos ya que el tiempo que le lleva limpiar los rodillos es muy corto y lo hace mientras el molino esta trabajando con otros rodillos, ya que en el molino frío 4 siempre se cuenta con una cama de rodillos listos para entrar a la línea. A cada uno de estos 3 operadores se les explicó como limpiar los rodillos, lo cual fue sencillo, ya que no es algo difícil y aparte se cuenta con los instrumentos necesarios para llevar a cabo la limpieza.

A continuación se describe la comparación del proceimiento de los rodillos antes y después de la propuesta.

### PROCEDIMIENTO NORMAL DE RODILLOS

1. Rodillo se transporta a la rectificadora.
2. Se desbasta el rodillo.
3. Rodillo se transporta al proceso de matizado.

4. Se matiza rodillo según especificaciones.
5. Rodillo se transporta al Molino frío 4
6. Rodillo se coloca en línea de producción y empieza a trabajar.

#### PROCEDIMIENTO DE RODILLOS DESPUÉS DE LA PROPUESTA

1. Rodillo se transporta a la rectificadora.
2. Se desbasta el rodillo.
3. Rodillo se transporta al proceso de matizado.
4. Se matiza rodillo según especificaciones.
5. **Se limpian los rodillos detalladamente, quitando toda la granalla.**
6. Rodillo se transporta al Molino frío 4
7. Rodillo se coloca en línea de producción y empieza a trabajar.

Como se puede observar es solamente un paso el que se le tiene que agregar al proceso que llevan los rodillos, dicho paso como lo observamos cuando tuvimos la oportunidad de implementar esta propuesta disminuirá de manera radical la aparición de poros.

Los Instrumentos necesarios para limpiar rodillos son:

1. Pistola de aire
2. Trapo de tela

Los pasos que tiene que seguir el operador para limpiar el rodillo son:

1. Limpiar con un trapo todo el rodillo.
2. Limpiar con la pistola de presión los costados de los rodillos.
3. Volver a limpiar los costados del rodillo con el trapo.

Estos pasos los puede hacer el operador en turno de la matizadora o el que se encarga de transportar los rodillos de un lugar a otro, ya que no se perdería tiempo en realizarlos.

Para medir los beneficios de esta propuesta se revisaran los reportes que se hacen de cada cambio de rodillos. En el molino se cuenta con una carpeta donde se reporta diariamente: el cambio de rodillos, a hora en que entró el rodillo a la línea, la hora en que salió y cual fue la causa. A final de cada mes esta información se almacena en el sistema de red con el que cuenta HYLSA.

El resto de las propuestas se encuentran aún en la etapa de Mejora, y me permití describir lo que consideré como siguientes pasos:

- Muestreo de aceptación de lotes queda pendiente, elaborar un manual o procedimiento y un estudio de capacitación para los operarios e implementarlo a pequeña escala antes de desplegarlo en toda la compañía.

---

- Proceso EDT queda pendiente el análisis del proyecto de inversión (costo-beneficio). La empresa se encargará en un futuro próximo en hacer un estudio profundo sobre este sistema, para ver si tiene un beneficio para ellos

- Nuevo proveedor queda pendiente prospectar nuevos proveedores, la realización de pruebas de laboratorio de sus productos.

## CONCLUSIONES

Uno de los problemas de calidad dentro de HYLSA D.A.P. en el proceso de laminación en frío consiste en pequeñas marcas superficiales en los rodillos de trabajo de los molinos de laminación en frío, conocidas como poros, las cuales se presentan como pequeños hundimientos en la superficie de los mismos.

Analizando los registros históricos de la compañía se concluyó que durante los siete últimos meses de 2004 (MAYO-NOVIEMBRE) alrededor del 34.31% de los rodillos tienen que ser cambiados por defectos en poros, lo cual implica dejar de procesar en promedio 7,442.35 toneladas anuales de producto terminado. De acuerdo a mis estimaciones, la cifra anterior implica ahorros de oportunidad de la magnitud de USD\$3M/año, considerando sólo el costo directamente relacionado con el tiempo perdido en la preparación de los rodillos.

A raíz de sesiones de trabajo con los responsables y principales operadores del área se concluyó que los defectos por poros son generados por ocho causas probables:

1. Dureza granalla
2. Dureza rodillo.
3. La dureza de la granalla es mayor que la dureza del rodillo.
4. La acumulación de la granalla en los extremos de los rodillos.
5. Tamaño, morfología y microestructura de la granalla.
6. Mezcla de granalla.
7. Desbaste de rodillos..
8. Acumulación de finos de fierro
9. Impurezas en la solución de rolado.

Para validar las anteriores hipótesis propuse las siguientes pruebas cuantitativas:

1. Prueba de Hipótesis "Granalla: 63-66 HRC" se propuso una prueba de proporción de una sola cola.

2. Prueba de Hipótesis "Rodillo: 60-63 HRC" se propuso una prueba de proporción de una sola cola.

3. Prueba de Hipótesis "Dureza granalla mayor que la dureza del rodillo" se propuso una prueba t apareada.

4. Prueba "Acumulación de granalla en los extremos de los rodillos" se propuso una prueba T.

5. Prueba de Tamaño, morfología y microestructura de la granalla. Estas son tres pruebas no una sola. Se propuso análisis de laboratorio.

6. Prueba de mezcla de granalla. Se propuso un diseño de experimentos.

7. Prueba de rectificado de rodillos. Se propuso pruebas en línea de producción.

8. Acumulación de finos de hierro. Se propuso pruebas en la línea.

9. Impurezas en la solución de rolado. Se propuso análisis de la solución en laboratorios.

• Con respecto a la hipótesis 1 concluí que el 62.67% de la granalla está fuera de especificación, y por lo tanto que no se cumplen con los estándares de calidad definidos para los materiales en el proceso.

• Con respecto a la hipótesis 2 concluí que el 67.66 % de los rodillos están fuera de especificación y por lo tanto no se cumplen con los estándares de calidad definidos para los materiales en el proceso.

• Con respecto a la hipótesis 3, aunque no se pudo conducir la prueba t-apareada por restricciones de tiempo laboratorio, con los datos que

recolectamos en las dos pruebas anteriores simulamos la prueba apareada, y estimamos que entre el 22% y el 73% de los casos se genera un poro, con un nivel de significancia del 5%. La amplitud del rango anterior, y el hecho de que el intervalo de confianza no incluya los límites que se marcan como aceptables por el proceso, apunta nuevamente a problemas en la calidad de los materiales que se están utilizando en el proceso.

- Con respecto a la hipótesis 4 se observó que de 16 rodillos con acumulación de granalla en los extremos 14 salieron con poros. Como lo sospechábamos, concluimos que la acumulación de granalla es un factor importante en la generación del defecto.

Con respecto a la hipótesis 5, se llegó a la conclusión de que el tamaño no influye en la generación de poros, ya que durante la investigación me di cuenta que solamente utilizan un solo tamaño de granalla.

- Con respecto a la hipótesis 6 conforme se fue avanzando y obteniendo más información me di cuenta que sólo para otros molinos mezclan granalla, para el molino frío 4 usan solo 1 tipo de granalla, por lo tanto no causa ningún problema.

- Las hipótesis 7 y 8 Quedaron pendientes por restricciones de tiempo y recursos.

En general, a raíz de nuestro análisis diseñé una serie de propuestas para erradicar el problema de poros que atacan particularmente los siguientes problemas raíz:

- La dureza fuera de estándar de la granalla
- La dureza fuera de estándar del rodillo.
- La dureza de la granalla es mayor que la dureza del rodillo.

- Acumulación de granalla en los extremos del rodillo.

En base a lo anterior diseñe las siguientes propuestas:

- Metodología general de aceptación de lotes.
- Evaluación de proveedores de granalla y rodillo.
- Proceso EDT
- Limpieza de rodillos

Se realizó una prueba piloto sobre la propuesta de limpieza de los rodillos y se concluyó que es una propuesta que puede dar grandes beneficios a muy bajo costo porque la inversión es despreciable, ya que en promedio los rechazos por poros se reducirían en un 45%.

Con respecto al resto de mis propuestas, en mi opinión proceden los siguientes pasos que quedaron fuera del alcance de nuestro proyecto:

---

▪ El muestreo de aceptación de lotes queda pendiente crear una metodología y un sistema de capacitación para los operarios e implementarlo a pequeña escala antes de desplegarlo en todo el proceso.

▪ La propuesta del Proceso EDT queda pendiente el análisis proyecto de inversión (costo-beneficio), para poder encontrar una justificación de la adquisición de esta propuesta.

▪ La propuesta del nuevo proveedor quedan pendiente reuniones con nuevos proveedores y la realización de pruebas de laboratorio de sus productos.

