

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**IMPACTO DE LAS MATERIAS PRIMAS
EN LA CALIDAD DEL ALAMBRO DE
COBRE PRODUCIDO POR COLADA
CONTINUA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A N:

LUIS MANUEL ALARCON MENDOZA

Y

MARIO RAMON MERCADO MELO



MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente TERESITA ROBERT NUÑEZ.
Vocal LEOPOLDO RODRIGUEZ REYES.
Secretario IGNACIO BELTRAN PIÑA.
1er. Suplente CARLOS RODRIGUEZ RIVERA.
2º. Suplente CARLOS ROSENDO ARGANIS JUÁREZ

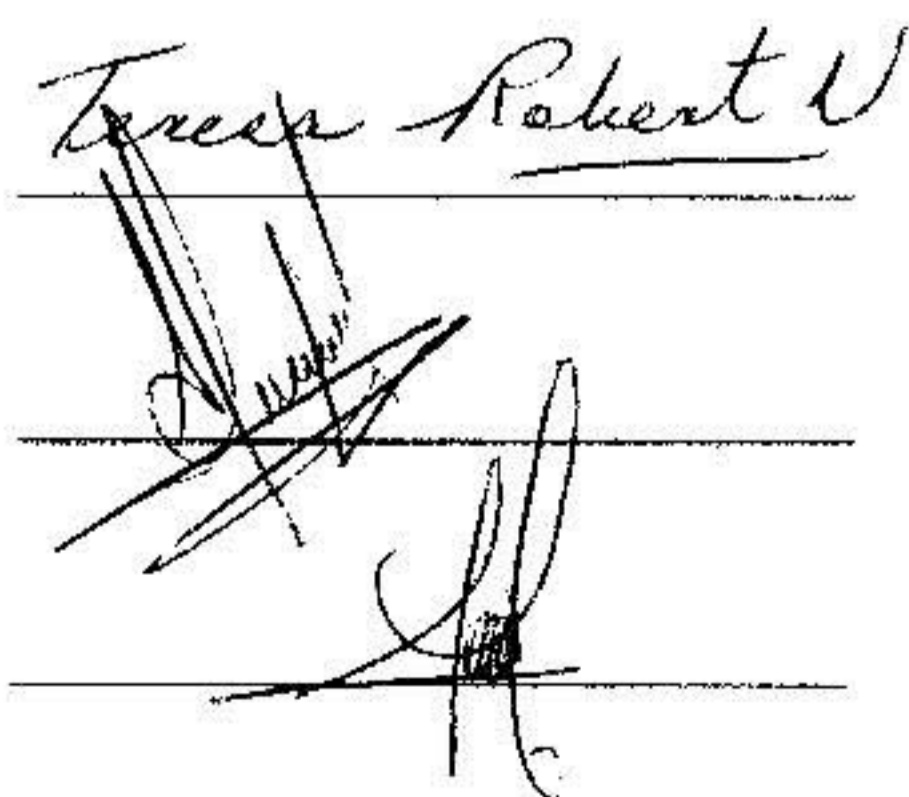
Sitio en donde se desarrolló el tema

ADMINISTRACIONES INDUSTRIALES DE CELAYA. SA DE CV.
PLANTA CONTICON
CELAYA GUANAJUATO.

Asesor del tema: M. En I. Teresita Robert Núñez

Sustentantes: Luis Manuel Alarcon Mendoza

Mario Ramón Mercado Melo



Handwritten signatures of the individuals mentioned in the text, positioned over horizontal lines. The top signature is clearly legible as 'Teresita Robert N'. Below it are two more signatures, one of which appears to be 'Luis Manuel Alarcon Mendoza' and the other 'Mario Ramón Mercado Melo'.

“ A Dios y a la Vida. A mis queridos Padres y hermana. A mis queridas Esposa e Hijas.
A mis Tíos y primos. A mis maestros y amigos”

Luis Manuel

“ A mis Padres, Hermanos, Esposa, Hijos, Amigos, Maestros, Todos ustedes las
personas mas importantes para mí; y gracias a Dios por haberlos traídos a mi vida”

Mario Ramón

Agradecemos muy especialmente a :

Ing. Silverio Aguirre Delgado.

Ing. Elías Fernández Godinez.

M. En I. Teresita Robert N

La Unidad de Cobre. Cobre de México y Conticon.

La Facultad de Química de la UNAM:

IMPACTO DE LAS MATERIAS PRIMAS EN LA CALIDAD DEL ALAMBRÓN DE COBRE, PRODUCIDO POR COLADA CONTINUA.

RESUMEN:

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Colada continua. Descripción del proceso Contirod, para producir alambión de cobre en forma continua, desde la fusión hasta la obtención del alambión listo para embarque.

1.2. Areas del proceso : Hornos, caster, laminación, decapado, embobinado y empaque final.

1.3. Materias primas. Se analizan las características de las materias primas y el efecto de las impurezas presentes. Se desarrolla catálogo de proveedores.

1.4. Calidad del alambión de cobre. Los aspectos para determinar la calidad del alambión de cobre están basados en la normatividad ASTM. Norma B115-00(2004), Standard Specification for Electrolytic Copper Cathode ASTM para cátodo electrolítico y B49-98(2004), Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purposes, para alambión de cobre usado para conductores eléctricos.

1.5. Determinación de la calidad del alambión del cobre mediante análisis químicos especificados y pruebas físicas.

2. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LAS IMPUREZAS EN LA CALIDAD DEL ALAMBRON

2.1. Método directo. Basado en los análisis previos plasmados en los certificados de calidad de las materias primas y la inspección física del material.

2.2. Diseño de experimentos. DOE (por sus siglas en inglés, Design of Experiments).

3. DEFINICION DEL PROBLEMA Y ELABORACION DEL DISEÑO DE ESPERIMENTOS

4. EXPERIMENTACIÓN

4.1. Se desarrollarán pruebas con distintas materias primas y se verá el efecto en el producto terminado a través de los valores del equipo defectomat-ferromat principalmente.

4.2. Se utilizará la metodología DOE.(Design of experiments).

5. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

5.1. Se obtendrán tablas y gráficas de los resultados, para la determinación del efecto de las impurezas en las propiedades y la calidad del producto terminado.

6. CONCLUSIONES

6.1. Se emitirán conclusiones que permitan obtener un alambón de cobre que cumpla con la normatividad ASTM, y que a la vez, cumpla con los requisitos y expectativas de los clientes; todo ello enmarcado con los sistemas de gestión de calidad basados en la norma ISO 9001-2000.

INDICE.

ANTECEDENTES:	Pág.4
Capítulo 1.	
1.- Introducción	Pág. 5
1.1. Descripción del proceso Contirod	Pág. 5
1.2. Procesos	Pág. 8
1.3. Materias primas	Pág. 15
1.4. Calidad del alambre de cobre	Pág. 20
1.5. Determinación de la calidad del alambre	Pág. 20
Capítulo 2.	
2.- Metodologías aplicadas para determinar el impacto de las impurezas en la calidad del alambre	Pág. 23
2.1. Método directo	Pág. 23
2.2. Desarrollo de experimentos. DOE	Pág. 36
Capítulo 3.	
3.- Definición del problema y elaboración del Diseño De Experimentos	Pag. 40
Capítulo 4.	
4.- Experimentación	Pág. 44
Capítulo 5.	
5.- Resultados, análisis y discusión	Pág. 47
5.1. Resultados	Pag. 47
5.2. Análisis y discusión	Pag. 69
6.- Conclusiones	Pág. 71
7.- Bibliografía	Pág. 72

ANTECEDENTES.

Cada día los procesos de manufactura se han vuelto más exigentes y demandantes. Los desarrollos tecnológicos han hecho máquinas más veloces, más versátiles y, sobre todo, más sofisticadas y automatizadas. Esto ha motivado que los Ingenieros nos ocupemos de desarrollar procesos mas robustos, mas estables, con exigencias de control que nos permitan tener estabilidad y la menor variabilidad, buscando que al final se encuentren productos que cumplan con las especificaciones y la completa satisfacción del cliente.

En esta búsqueda de procesos altamente eficientes, nuestro tema de estudio se centra en el proceso de fabricación de alambraón de cobre para conductores eléctricos. Se ha discutido y plasmado en muchos artículos, que existe un impacto de la calidad de la materia prima, en este caso los cátodos de cobre, en las características finales del producto. Este impacto se transmite en el desarrollo de las aplicaciones posteriores en procesos de trefilado y esmaltados tanto para perfiles redondos como para planos.

La calidad de los cátodos de cobre depende directamente de los contenidos de aquellos elementos que vienen ligados al cobre desde el mineral.

Dependiendo de las cantidades presentes de estos elementos así como de las posibles combinaciones entre ellos, se determinarán las características finales del producto terminado.

Por lo tanto, se ha desarrollado el presente trabajo, para estudiar y determinar este efecto y se plantean los siguientes dos objetivos.

- 1.- Determinar el impacto de la calidad de la materia prima en las características finales del producto terminado.
- 2.- La aplicación de herramientas estadísticas para determinar este impacto.

Para ello, hemos escogido el proceso Contirod, el cual es un proceso de fabricación de alambraón de cobre por colada continua, que está a la vanguardia a nivel mundial.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONTIROD

El proceso Contirod (Continuos rod mill), es un proceso de colada continua para la fabricación de alambre de cobre en distintos diámetros. Este alambre será utilizado en procesos posteriores de trefilado para la obtención de alambres conductores de electricidad.

Los procesos de colada continua actuales, tales como el proceso Contirod desarrollado durante los 70's en Bélgica por la compañía MHO, de producción de alambre de cobre para la fabricación de conductores eléctricos demandan el cumplimiento de estándares de calidad rigurosos y estrictos.

Estos procesos también exigen la creación de grupos de apoyo formados principalmente por los centros de investigación y desarrollo, los clientes y los responsables de la producción, para que, en forma conjunta solucionen aquellos problemas que afectan la procesabilidad, cumplan las expectativas de los clientes y a la vez elaboren planes de mejoramiento continuo que permitan a las empresas trabajar con índices de eficiencia y eficacia, los cuales se verán reflejados en costos competitivos y permanencia en el mercado.

Una planta de colada continua, además de sus áreas de manufactura, debe contar con áreas de aseguramiento de calidad que, por medio de distintas metodologías y técnicas, den validez al producto fabricado, el cual debe cumplir con los requisitos del cliente, así como con los propios internos.

En el proceso Contirod, es posible fabricar alambre con un contenido de oxígeno controlado, teniendo cualidades de un cobre tenaz: alta ductilidad, alta recobabilidad y baja temperatura de recristalización. Para lograr lo anterior, el proceso requiere de materia prima (cátodo electrolítico) de la más alta calidad, dado que las impurezas en el mismo tienen un efecto nocivo, aunque son susceptibles de ser inhibidas por el oxígeno.

Por lo anterior, una planta de colada continua debe tener un laboratorio que garantice la calidad química y las características físicas de materias primas y producto terminado. Así, con apoyo del Centro de Investigación y Desarrollo, se podrán generar e implementar metodologías para la atención de problemas y el desarrollo de mejoras.

El proceso Contirod está compuesto por cinco etapas principales:

1. HORNOS

Un horno de fusión vertical, tipo Shaft o flecha, Asarco de 50 toneladas-hora y un horno de retención de 20 toneladas de capacidad.

2. CASTER

Maquina de colada para fabricar una barra de cobre de 70 cm * 130 cm, en forma continua. Este tipo de maquina de colada es llamada de bandas gemelas.

3. LAMINACION.

Tren de laminación, compuesto por 14 pasos de reducción de tamaño; 4 pasos de desbaste grueso, 8 de intermedio y 2 de acabado final. El tren de laminación es movido por motores de corriente directa, controlados por un sistema de regulación electrónica.

4. DECAPADO.

Conjunto de tinas para efectuar el decapado con ácido, los enjuagues y la solución protectora.

5. EMBOBINADO DE ESPIRAS Y EMPAQUE FINAL.

Conjunto de equipos para embobinar y empaquetar el producto de acuerdo a las especificaciones.

A continuación se muestra el lay out del proceso Contirod en la foto 1.1 y en la foto 1.2 se muestra una vista panorámica del lay out del proceso Contirod de la planta Conticón.

1. Sistema de carga para cátodos y chatarra de cobre	8. Pén dulo de corte
2. Horno shaft de fusión. ASARCO	9. Máquina cortadora de aristas
3. Horno Holding	10. Laminadora de catorce pasos
4. Canal dos con regulación automática de flujo de cobre fundido	11. Enfriamiento del alambre y línea de desoxidación
5. Máquina de colada o caster y sistema de enfriamiento	12. Enfriamiento curvo y trompa de elefante
6. Cabina de control central	13. Formador de espiras y de bobinas
7. Caster pinch roll set	14. Mesa de formación de bobinas
	15. Descarga de rollos.

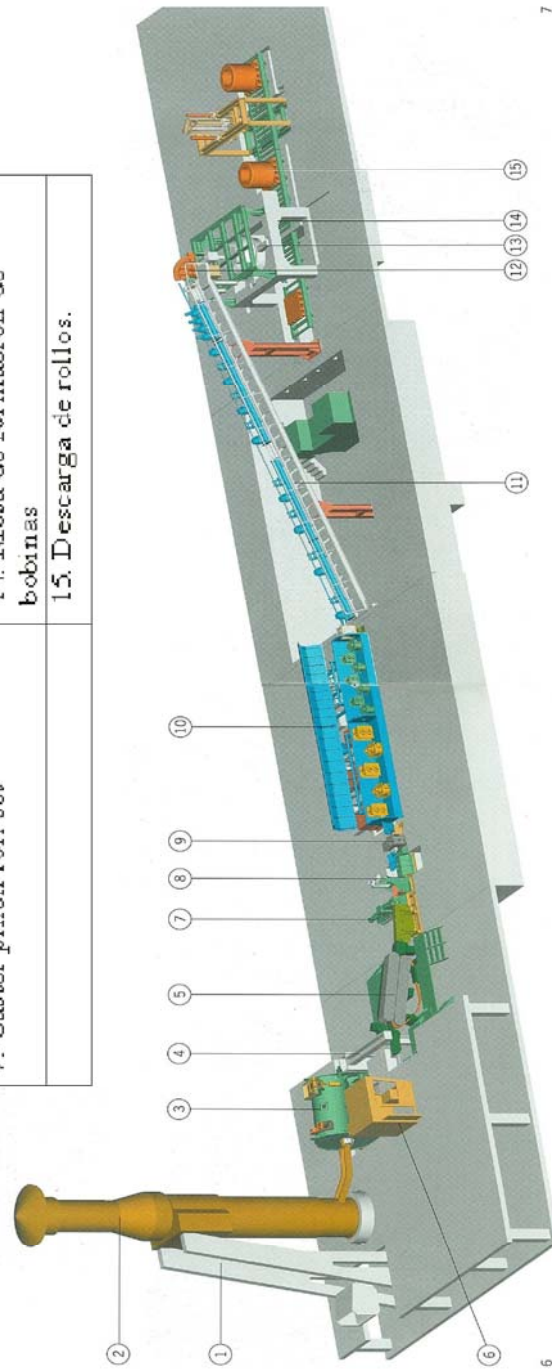


Foto 1.1. Lay out del proceso Contirod.



Foto 1.2. Vista panorámica de planta Contirod.

1.2. OPERACIONES BASICAS DEL PROCESO: FUSIÓN, COLADA CONTINUA, LAMINACIÓN, DECAPADO, EMBOBINADO DE ESPIRAS Y EMPAQUE FINAL.

El objetivo del proceso es obtener alambón de cobre grado electrolítico para uso en la fabricación de todo tipo de conductores eléctricos.

1.2.1. FUSION.

Este proceso inicia cargando la materia prima al horno Asarco, colocando los paquetes de placas de cobre electrolítico (pureza del 99.97%) en el elevador de cátodos, cuya capacidad de carga es de 3500 kg.

Después en forma automática, el paquete de cobre es colocado en un transportador horizontal, depositando la carga al interior del horno de fusión, Foto 1.3.



Foto 1.3. Carga a horno Asarco.

Una vez que el paquete está en el horno Asarco se inicia el proceso de fusión. Este horno tiene una alta eficiencia térmica y una capacidad para fundir 50 ton/h con 23 quemadores ordenados en tres filas (A, B, C). Cada quemador tiene una capacidad de 3 millones de BTU-hora.

Las condiciones de fusión son:

- * Temperatura de fusión: 1083°C (condiciones estándar),
- * Temperatura del cobre a la salida del horno: 1200 ° C,
- * Tipo de combustible: gas natural.

Ya fundido el cobre, sale del horno por el orificio de salida (Tap-hole) y pasa al canal 1 que sirve como medio de transporte para ese cobre líquido. Llega al horno de retención, donde se mantiene la temperatura del metal, funciona como un “pequeño” almacén temporal de cobre líquido y dosifica la cantidad necesaria para operar eficientemente el proceso de colada. Este horno de retención tiene una capacidad de 20 ton/hora, y mantiene el cobre líquido a una temperatura de 1100 – 1120 ° C.

1.2.2 COLADA.

Antes de que inicie la colada, el cobre líquido pasa al canal 2 que sirve también como un medio de transporte. El cobre líquido fluye al “tundish” o cucharón, el cual es un dispositivo que dosifica la cantidad de cobre líquido que requiere la máquina de colada o “caster”, a una temperatura de 1110 – 1120° C.

PROCESO DE COLADA, MOLDEADOR O MAQUINA “CASTER”. Es el proceso mediante el cual se vuelve a convertir el cobre de líquido a sólido, en este caso formando una perfecta barra rectangular cuyas medidas de área transversal son: 70 mm de alto por 130 mm de ancho.

La máquina de colada continua o caster es conocida como máquina de “bandas gemelas”, la cual se encuentra a 15° de inclinación con respecto a la horizontal (Foto 1.4), esto permite que no haya turbulencia y que exista una alta presión del metal líquido al final del molde, ayudando a la baja penetración de oxígeno y escoria, reduciendo la porosidad de la barra y por lo tanto una alta calidad en la formación de ésta.

El molde está compuesto por bandas metálicas para la parte superior e inferior y cadenas de dam-blocks para conformar sus partes laterales.



Foto 1.4. Máquina de colada. (caster).

La Temperatura de la barra de cobre a la salida del “caster” es de 950-1000 ° C. La barra formada pasa al enfriamiento secundario, que es una caja cerrada con espreas que enfrían con agua y solidifican la barra.

Como parte de la preparación de la barra, previa al inicio del laminado, ésta pasa a través de una mesa curva para cambiar el ángulo de 15° de inclinación que lleva al salir del caster, para que ahora viaje perfectamente horizontal. Esta mesa curva cuenta también con espreas que suministran agua sobre todo para enfriar los rodillos que están en contacto con la barra.

1.2.3. LAMINACION EN CALIENTE.

Antes de iniciar el laminado, la barra recibe un proceso de preparación que consiste básicamente en cortar las 4 aristas y ajustar la temperatura para que el primer paso de laminado sea con una temperatura de barra de 850°C.

Después de lo anterior, la barra inicia el proceso de laminado que consta de 14 pares de rodillos que van reduciendo paulatinamente el área transversal de la barra de cobre hasta obtener un alambión de 8 mm de diámetro. También se puede producir alambión de 10.0, 12.7, y 16.0 milímetros.

Todo el tren de laminación es bañado con una emulsión sintética de la compañía Stuart llamada Rodshield 36, cuyas características de enfriamiento, lubricidad, limpieza y detergencia son básicas durante la laminación. Ésta genera un enfriamiento de los rodillos por debajo de los 60-80 °C., después de haber laminado, previene la reoxidación del alambión y produce un alambre terso.

La velocidad de entrada a la laminadora es de 9 a 11 metros/minuto, en barra rectangular de 70 cms *130 cms y la velocidad de salida es de 110-130 km/hora en redondo de 8 milímetros, Foto 1.5 a.

Durante el proceso de laminado se genera un alto efecto de forjado y una alta reducción total, lo cual lleva a obtener una estructura fina de grano en las diferentes secciones obtenidas hasta el redondo de 8 mm.

El proceso de laminado incluye tres loops para control de la tensión del alambión y evitan que éste se reviente durante su paso a través de la laminadora.

Todo el tren de laminación es movido por siete motores de corriente directa de diferentes potencias cuya velocidad es regulada por un sistema electrónico. Este sistema también enlaza el caster con el tren.

Una pantalla electrónica muestra las diferentes tendencias de velocidad y amperaje de los motores a tiempo real y permite hacer pequeños ajustes, básicamente en los loops.



Foto 1.5 a). Tren de laminación.

La Foto 1.5 b). Muestra la posición de los rodillos en el tren de laminación, un acercamiento a un par de rodillos y el esquema del proceso de laminación incluyendo la sección producida en cada stand.

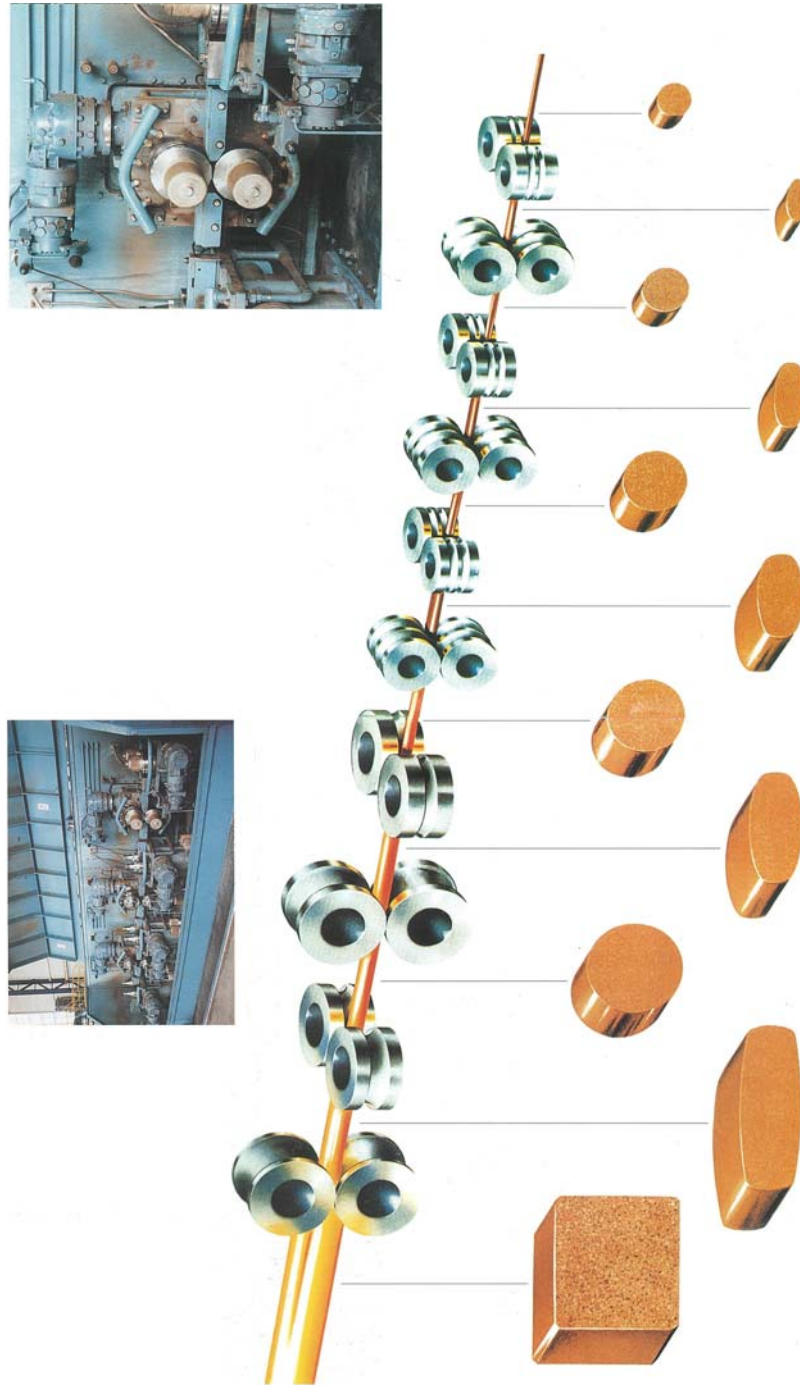


Foto 1.5 b). Reducciones en el tren de laminación.

1.2.4. DECAPADO

Antes de iniciar el proceso de decapado, el alambón ya laminado pasa por la trompa de elefante (un tubo de acero inoxidable de una configuración "sui generis" que nos recuerda precisamente la trompa de un elefante); que es el dispositivo mediante el cual el alambón toma una forma de espiras que se depositarán en mesas y mallas transportadoras durante el trayecto del proceso de decapado. El alambón entra a la trompa de elefante a una velocidad de 110 - 130 km/hora.

El alambón laminado está muy oxidado en la superficie por efecto del oxígeno del medio ambiente y la alta temperatura (sale del último paso de laminación a 600-700° C), por lo que se somete al proceso de decapado que consiste en una limpieza con ácido sulfúrico caliente al 20% para eliminar los óxidos de cobre mencionados.

Para ello, se cuenta con cuatro tanques por los que pasa el alambón a través de mallas de acero inoxidable: el primer tanque contiene el ácido mencionado, los otros dos contienen agua para eliminar residuos de ácido (enjuagues) y el último contiene una solución con cera al 1% para proteger al producto terminado contra la oxidación, y que así consumirán los clientes.

Para concluir el proceso, las espiras impregnadas de cera, a 50°C, pasan a un colector que produce el rollo de alambón de cobre.

1.2.5. FORMACIÓN DE ESPIRAS Y EMPAQUE FINAL.

Las espiras son recolectadas mediante un dispositivo, el cual las recibe y cuando gira forma la bobina.

Una vez formado el rollo el operador le hace "una cola" para que los clientes puedan soldar rollo con rollo y hacer sus procesos continuos. Después es transportado por las mesas del carrusel al compactador, en el cual mediante un pistón se compacta el rollo a una presión de 70 kg/cm. cuadrado. En esta condición es flejado, colocando antes de compactar una bolsa de protección (polietileno). Foto 1.6.

Una vez empacado el rollo, que estará colocado sobre una tarima de polietileno retornable, se lleva en un montacargas al almacén. Este almacén cuenta con el método de organización de primeras entradas y primeras salidas (peps) y está dividido en diferentes áreas para almacenar las diferentes calidades obtenidas en el proceso.

Cada rollo pesa un promedio de 3.5 toneladas y se produce uno cada 4 o 5 minutos.

La planta tiene una capacidad de 850 toneladas diarias de producto, para una producción anual de 186,000 toneladas por año.



Foto 1.6. Colección de espiras y bobinas.

1.3. MATERIAS PRIMAS

1.3.1. METALURGIA EXTRACTIVA.

CONCENTRACION.

El proceso de extracción inicia en las minas de cobre. Una vez determinadas las áreas a beneficiar, se perforan los suelos con barrenos para posteriormente utilizar explosivos; el mineral seccionado es llevado hasta la planta de beneficio para su refinación.

Existen dos métodos de explotación básicamente: el de cielo abierto, que consiste en minas que afloran o se encuentran cerca de la superficie, y minas de galería donde los depósitos son profundos o subterráneos.

El mineral obtenido en la mina es transportado en camiones de gran capacidad hasta la sección de trituración primaria, en donde se efectúa una primera reducción del tamaño del material. Este es enviado después, a través de bandas transportadoras, a la sección de trituración, obteniéndose un tamaño de partículas menor de media pulgada.

El mineral se envía a la sección de molienda donde se mezcla con agua y se introduce a los molinos de bolas, en el cual el golpeteo de las mismas produce la fragmentación y reducción del tamaño del mineral, obteniéndose un polvo muy

fino, el cual se lleva a la sección de flotación, que produce la separación del mineral con valor del material estéril.

En las celdas de flotación se introduce el mineral con ciertos reactivos químicos agitándolos e inyectando aire, resultando en la formación de una espuma que capta partículas que contienen el cobre y las hace flotar en la superficie. El material no útil se sedimenta en el fondo de la celda. La espuma superficial se descarga por derrame, enviándose a la sección de filtrado y secado, obteniéndose un concentrado, cuyo contenido de cobre puede oscilar entre el 20 y 30 %.

FUNDICIÓN.

La operación de fundición se lleva a cabo en hornos reverberos u hornos tipo flash y consiste en la fusión del concentrado de cobre, al que se le agrega la cantidad necesaria de sílice. En esta operación se generan dos productos líquidos: la mata de cobre y la escoria. La mata es una mezcla fundida de compuestos sulfurosos de cobre y hierro, mientras que la escoria contiene básicamente óxidos de hierro y sílice. También se producen cantidades importantes de dióxido de azufre.

La mata obtenida se transporta en estado líquido al horno convertidor, en donde se insufla aire, se agregan reactivos para formar escoria con el hierro y se separa el azufre como dióxido de azufre en los gases. El producto de la conversión es el cobre ya en estado metálico, fundido, al cual se le conoce como cobre ampollado o cobre blíster.

Posteriormente se realiza una refinación primaria del cobre ampollado, consistente en la sobreoxidación y reducción del mismo para eliminar impurezas, colándolo en forma de ánodos. En esta etapa, el cobre obtenido tiene una pureza de hasta 99.5 %.

REFINACIÓN ELECTROLÍTICA.

La materia prima para la refinación electrolítica la constituyen los ánodos, que son piezas de cobre con una forma adecuada para el tratamiento electrolítico.

La refinación del cobre se efectúa en bancos de celdas, en donde se colocan alternados los ánodos y las hojas iniciadoras ó cátodos, (laminillas muy delgadas de cobre, con el área suficiente para iniciar el depósito), sumergidas en una solución de sulfato de cobre.

El proceso consiste en producir una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, disolviéndose el primero en la solución y depositándose el cobre disuelto en el segundo.

Las impurezas, y con ellas los metales preciosos, caen al fondo, formando lo que se conoce como lodos anódicos, de donde se extraen posteriormente el oro, plata,

selenio, telurio y plomo, los cuales son materia prima para otras áreas industriales muy importantes.

Existen otros procesos alternativos de refinación para minerales de baja ley, como el de lixiviación o extracción por solventes y la depositación electrolítica, utilizados con bastante eficiencia en el país.

Actualmente se tienen en México dos plantas refinadoras de cobre, por medio de la refinación electrolítica y varias plantas tipo ESDE, principalmente en el norte de la república, en la Región de Cananea y Nacozari.

En el Distrito Federal se encuentra la planta Cobre de México, la cual fué la primera planta de refinación electrolítica y actualmente produce aproximadamente de 9000 a 12000 toneladas mensuales de cobre electrolítico para el consumo nacional, principalmente.

1.3.2 MATERIAS PRIMAS Y PROVEEDORES.

Para cuestión de estudio, las materias primas las dividiremos en el siguiente catálogo de proveedores.

Materias primas nacionales.

- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrorefinación. CER. 1
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrorefinación. CER. 2
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrobeneficio. EW.1
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrobeneficio. EWM.

Materias primas de importación.

- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrorefinación. Cat.Ilo
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrobeneficio. Cat. Escondida.
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrobeneficio. Cat. Disputada.
- ✚ Cátodos de cobre del proceso de electrobeneficio. Cat. Montes blancos.

Proveedores:

1. Cátodo nacional:

- ✚ Cobre de México.
- ✚ Grupo México.
- ✚ Grupo Frisco.
- ✚ Pacas de cobre de los clientes (reciclajes ó desperdicios)

2. Cátodo importado:

Existen varias comercializadoras como Glencore, Nexxtrade, Trafigura, las cuales compran el cátodo a las minas principalmente de Chile, Perú y en algunos casos Estados Unidos de Norteamérica.

Por la variedad que se tiene de proveedores de cátodo importado se elaboro un catálogo de materia prima por mina. Con esto se pretende que antes de que llegue el material a la planta, se tengan identificadas sus características (historial), para tomar algunas decisiones, como son: almacenaje, dosificación y rechazos.

1.3.3. EFECTO DE LAS IMPUREZAS EN LAS PROPIEDADES DEL COBRE

Como las impurezas reducen sensiblemente la conductividad del cobre, así como sus propiedades mecánicas, en la industria de conductores eléctricos se utiliza principalmente cobre electrolítico (99.97 % pureza).

Los efectos de las principales impurezas del cobre son:

SELENIO.- Efecto dañino tanto en la recocibilidad como en la conductividad eléctrica. Puede provocar fracturas durante el laminado.

TELURIO.- Afecta tanto la recocibilidad como la conductividad y puede provocar fracturas oxidadas durante el estirado.

BISMUTO.- Afecta la ductilidad y recocibilidad, además favorece el agrietamiento de la barra en laminación, pues vuelve al cobre frágil y quebradizo (debilita los bordes de grano).

CROMO.- Afecta la conductividad eléctrica.

MANGANESO.- No presenta por si mismo un efecto dañino relevante en las propiedades del cobre.

ANTIMONIO.- Afecta la recocibilidad y la conductividad además de causar fragilidad.

CADMIO.- Afecta principalmente la conductividad eléctrica.

ARSÉNICO.- Efecto nocivo sobre la conductividad eléctrica. Puede provocar fracturas oxidadas durante el estirado.

FÓSFORO.- Afecta principalmente la conductividad eléctrica.

PLOMO.- Afecta la recocibilidad, aunque no tanto como Se, Te, etc. Puede provocar fracturas durante el laminado. En concentraciones mayores de 20 ppm puede tener un efecto benéfico sobre la elongación de resorte cuando alguna otra impureza es alta también, esto puede inhibir el efecto dañino de otras impurezas.

SILICIO.- Afecta la conductividad eléctrica.

ESTAÑO.- Afecta la ductilidad y conductividad eléctrica.

NÍQUEL.- Afecta la conductividad, además endurece al cobre.

HIERRO.- Afecta la conductibilidad, además endurece y fragiliza al cobre.

ZINC Y COBALTO.- Afectan la conductividad eléctrica.

AZUFRE.- Afecta la recocibilidad y conductividad, provoca fragilidad.

PLATA.- Tiene muy poco efecto sobre la conductividad y endurece al cobre.

OXIGENO.- Afecta la conductividad y ductilidad del alambón, como se verá adelante, su presencia inhibe el efecto dañino de las demás impurezas.

En el proceso Contirod es posible fabricar un alambón de bajo contenido de oxígeno teniendo cualidades de alta ductilidad y buena recocibilidad.

El recocido es una operación que se efectúa en el proceso del estirado a alambres, durante el cual se suministra calor (energía) al cobre a fin de que disminuya su esfuerzo de fluencia y se incremente su ductilidad (relevado de esfuerzos).

Para lograr lo anterior, el proceso requiere de materia prima (cátodo electrolítico) de la más alta calidad, dado que las impurezas tienen un efecto nocivo.

Por lo anterior, las funciones de almacenamiento y cargas al horno deben ser procesos eficientes y tener buena rastreabilidad, en caso de que se presente alguna contaminación en el alambón de cobre.

1.4. CALIDAD DEL ALAMBRO DE COBRE.

1.4.1. Norma B115-00(2004)

Standard Specification for Electrolytic Copper Cathode ASTM para cátodo Electrolytic.

1.4.2. Norma B49-98(2004)

Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purposes, para alambro de cobre usado para conductores eléctricos.

1.4.3. Especificación interna Conticón.

1.5. DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL ALAMBRO DE COBRE MEDIANTE ANALISIS QUIMICOS ESPECIFICADOS Y PUEBAS FISICAS.

1.5.1. Aseguramiento de calidad.

La planta Conticón cuenta con un área de aseguramiento de calidad, para garantizar que el alambro de cobre cumpla con las especificaciones.

1.5.2. Laboratorio.

El área de aseguramiento de calidad cuenta con un laboratorio con los siguientes equipos.

1.- Máquina de pruebas mecánicas. Permite efectuar las pruebas de torsión y elongación a ruptura del cobre.

2.- Máquina de esfuerzo a la tensión. Permite hacer pruebas de elongación y determinar el esfuerzo máximo del cobre.

3.- Determinador de oxígeno Leco. Determina la cantidad de oxígeno presente en las materias primas y en el producto terminado.

4.- Analizador Eltra. Mide las concentraciones de azufre e hidrógeno.

5.- Espectrómetro de emisión. Determina la calidad química; mide la concentración de elementos que están en el alambro.

6.- Otros equipos como:

- Medidor de la capa de óxido
- Conductímetro
- Trefiladora para pruebas de estirado de tres dados
- Microscopio óptico.

7.- Equipo Ferromat-Defectomat y Equipo de corrientes de Eddy. Estos equipos detectan variaciones electromagnéticas al haber una irregularidad en la superficie del alambón.

Algunas características que se evalúan en aseguramiento de calidad son:

- Medición de diámetro.
- Torsión reversible 10-10. (giro del alambón 10 vueltas en un sentido y 10 en sentido contrario para exposición de grietas).
- Torsión a ruptura. (mínimo 50 vueltas en un sentido)
- Medición de oxígeno.
- Análisis químicos. Detección de impurezas.
- Elongación. (mínimo 30%)
- Esfuerzo de tensión (N/mm²)
- Conductividad. (mínimo 100 % IACS)
- Capa de óxido.
- Valores de Defectomat-ferromat
- Análisis de azufre.
- Torsión reversible 25-25 (mínimo 25 vueltas)
- Inspección visual.

En lo que respecta a inspección visual se evalúa la presencia y evaluación de:

- Escamas laminadas.
- Escamas con óxidos.
- Óxidos continuos. Óxidos regulares.
- Marcados desplazados.
- Marcado por cobre adherido.
- Aspereza regular.
- Rayado regular.
- Rebabas ó pelos.
- Manchado.
- Ceja.
- Grietas en prueba de torsión.

1.5.3. INVESTIGACION Y DESARROLLO.

Utilizando distintas metodologías y técnicas, se generan tres áreas de gran interés:

1.- Evaluaciones metalográficas.

Mediante la observación de las superficies transversal y longitudinal de las muestras de cobre, en un microscopio se determina la calidad superficial, la cual es determinante para la obtención de alambres ya estirados, con buena calidad que permitan el proceso de esmaltado. La evaluación de irregularidades, grietas, poros y defectos sub-superficiales es importante para predecir el desempeño del alambón en procesos posteriores. También el análisis de defectos presentados durante el trefilado nos brinda información importante para determinar la causa raíz de fallas.

2.- Análisis estereoscópico y análisis por microscopio electrónico de barrido.

Con el objetivo de realizar análisis de rupturas y análisis de fallas en alambres de cobre desnudos y esmaltados se aplica esta metodología, la cual nos permite determinar las partículas incrustadas presentes.

Al hacer una caracterización de partículas, se determina la fuente y se define si la falla es provocada por cobre (proveedor) o por el proceso del cliente; en ambos casos se obtienen fotos micrográficas a diferentes aumentos, para poder observar las partículas presentes y los espectros correspondientes.

3.- Aplicación de técnicas estadísticas.

Actualmente con la aplicación de estadística avanzada, se desarrollan metodologías DOE analizando todos los factores que influyen en la fabricación del alambón.

El programa estadístico Minitab facilita la aplicación de técnicas y actualmente es una herramienta utilizada en la solución de problemas.

CAPITULO 2.

2. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LAS IMPUREZAS EN LA CALIDAD DEL ALAMBRON.

2.1. Método directo. Basado en los análisis previos y la inspección.

2.2. Desarrollo del diseño de experimentos, DOE.

2.1. METODO DIRECTO.

Basado en los análisis previos y la inspección.

Los cátodos de cobre utilizados como materia prima, se clasifican en dos tipos, dependiendo del proceso metalúrgico mediante el cual se hayan obtenido:

a).- Cátodo de cobre obtenido por electro refinación.

Este tipo de cátodo es conocido con cátodo electro refinado.

b).- Cátodo de cobre obtenido por electro beneficio.

Este tipo de cátodo es conocido como cátodo electro won.

Esta clasificación es muy importante ya que según el tipo de cátodo, están asociadas las diferentes impurezas, presentes desde la extracción del mineral.

a).- Impurezas comunes asociadas al cátodo electro refinado:

Selenio, Telurio, Bismuto, Cromo, Manganeso, Antimonio, Cadmio, Arsénico, Fósforo, Estaño, Níquel, Azufre, Plata, Oxígeno, Hidrógeno.

b).- Impurezas asociadas al cátodo electro won:

Plomo, Silicio, Níquel, Hierro, Zinc, cobalto, Azufre, Plata, Oxígeno e Hidrógeno.

Como lo hemos comentado, las materias primas que se reciben para la fabricación del alambón de cobre para conductores eléctricos, vienen de distintas partes y por lo tanto de distintos procesos de refinación.

Cada lote recibido viene amparado por un análisis químico, producto del muestreo, sin embargo esto no garantiza que se encuentre alguna impureza fuera de especificación y que se obtenga producto que no cumpla con la normatividad.

Así mismo, se aprecia que existen cátodos que presentan mala apariencia física, nodulaciones, formación heterogénea y presencia de sulfataciones.

Los rangos especificados para un alambro de cobre, basados en ASTM están plasmados en la tabla 2.1:

UNS NUMERO TIPO DE COBRE COBRE MIN.	C11040 ETP ^B 99.90%	C10100 OFE ^C 99.99%	C10200 OF ^D 99.95% Incluye plata	C11000 ETP 99.90% Incluye plata
	ppm	ppm	ppm	ppm
Telurio máx.	2	2	...	...
Selenio máx	2	3	...	...
Bismuto máx	1.0	1.0	...	...
Máximo total grupo	3	...	...	...
Antimonio máx	4	4	...	...
Arsénico máx	5	5	...	...
Estaño máx	5	2	...	...
Plomo máx	5	5	...	...
Fierro máx	10	10	...	...
Niquel máx	10	10	...	...
Azufre máx	15	15	...	...
Plata máx	25	25	...	...
Oxígeno	100-650	5 máx.	10 máx.	...
Máximo total permisible	65^E	...	...	...
Cadmio máx	...	1	...	...
Fosforo máx	...	3	...	...
Zinc máx	...	1	...	...
Manganeso máx	...	0.5	...	...

Tabla 2.1. Composición química.

Durante los últimos años ha existido un incremento en la obtención de desperdicio debido a escamas y óxidos, esto ha originado que se deban analizar los diferentes cátodos y elaborar las mezclas de materias primas que permitan la obtención de producto terminado que cumpla con las características deseadas, con base en la

aparición física y la dosificación de lotes sospechosos, que presentaban principalmente nodulaciones.

Basado en los análisis previos y en la inspección física visual tanto de la materia prima, como del producto terminado se pudo determinar las posibles causas que estaban originando este aumento en el desperdicio, por arriba del porcentaje estimado.

En ese mismo periodo se han controlado las variables de proceso que pueden producir tales defectos. Sin embargo, se han mantenido las cantidades de desperdicio en la producción.

VARIABLE	RANGO DE CONTROL
CO ASARCO	1.0 A 1.2 %
CO HR	1.2 A 1.5 %
CO C-2	1.2 A 1.5 %
OXIGENO	350-450 ppm
RODAMIENTOS, MAX.	0.25 MM
MOVIMIENTO DE TIMON	1.5-2.0 MM
CARRIAGE OFFSET	1.5 MM
FRECUENCIA DE "TIMONEO"	14 - 30 SEG.
MOVIMIENTO DE BANDA	1.5-2.0 MM POR REVOLUCION
ENFTO. SECUNDARIO	1.5 MM – 0.1 MM
LINEA DE PASO	0.15 MM
CLARO CON DB FRIO (TOP)	0.1-0.2 MM
"GAP" O CLARO DE INICIO	38-42 MM
GRAFITO %	0.70 A 1.00 %
APLICACIÓN DE LB300X A DB	IMPREGNADO
DIFERENCIAL	0.16 A 0.25 m/min

Tabla 2.2. Variables y rangos de control.

En la Tabla 2.2, se muestran algunas variables de control, las cuales han sido observadas durante la problemática siendo el objetivo mantenerlas en control.

En las siguiente Tabla 2.3., vemos el desperdicio de alambón generado anualmente en los últimos períodos.

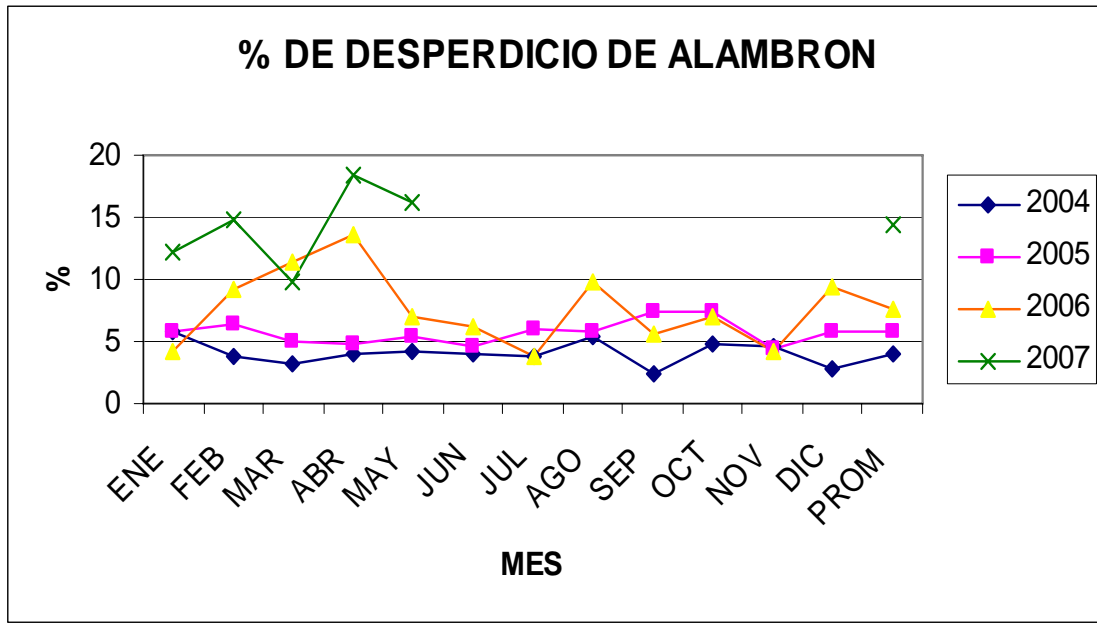


Tabla 2.3. Gráfica del porcentaje de desperdicio de alambón por año.

EFEECTO DE LAS IMPUREZAS TÍPICAS.

En la aplicación de cobre electrolítico para fabricación de conductores eléctricos, se reconocen una serie de impurezas, regidas en límites máximos por las normas ASTM B-49, y B-115, impurezas que fuera de control, pueden afectar las propiedades eléctricas y / o mecánicas (ductilidad, tenacidad, recocibilidad y maleabilidad) del cobre.

Las impurezas citadas se encuentran agrupadas en la norma referida, de acuerdo a su impacto a las propiedades del cobre.

Selenio y telurio son sumamente nocivos ya que pueden generar grietas severas en el cobre. Estos tres elementos : Selenio, Telurio y Bismuto, son monitoreados como grupo y normados también por su efecto conjunto en las propiedades del cobre.

EFEECTO DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS Y AZUFRE.

Particularmente se ha documentado de la capacidad del hidrógeno y azufre para generar grietas en el cobre, cuando se encuentran en cantidades indeseables, mayores a 4 ppm y 15 ppm, respectivamente.

El proceso de colada de cobre puede producir una barra de mala calidad, esto significa que durante la solidificación de la barra pueden presentarse grietas ó cavidades debido a cualquiera de estos agentes.

La barra laminada con tales grietas se transforma en alambρόn con óxidos y escamas.

Foto 2.1.a., Foto 2.1.b., Foto 2.1.c. y sus posibles consecuencias en la Foto 2.2.



Foto. 2.1.a. Escamas en el alambρόn de cobre de 8 mm.

Escamas en alambreon de 8mm



Foto 2.1.b. Escamas generadas en el alambreon de cobre.

Escamas en alambreon de 8mm



Foto 2.1.c. Escamas generadas en el alambreon de cobre.



Foto 2.2. Defectos en el alambre de cobre.

En las fotos se aprecia la irregularidad ó defecto llamado escama, el cual consiste en una discontinuidad del material, presentándose un efecto de desgarramiento, así como su efecto al ser trefilado en alambre 10-12 AWG.

SITUACIÓN ACTUAL.

En las siguientes graficas podemos evaluar el comportamiento de los contenidos de hidrógeno y azufre en cátodos recibidos en Conticon en los últimos períodos.

Los niveles máximos esperados de azufre son 10 ppm aunque la norma ASTM B-115 permite 15 ppm.

Por su parte el valor máximo esperado de hidrógeno son 4 ppm.

Con ayuda del equipo analizador ELTRA se hicieron análisis químicos y se obtuvo la Figura 2.3:

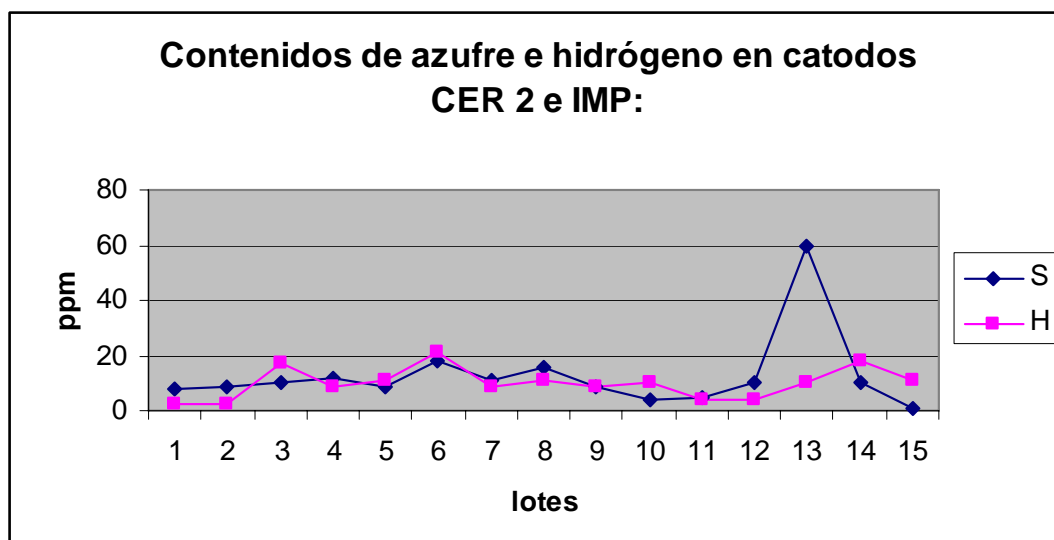
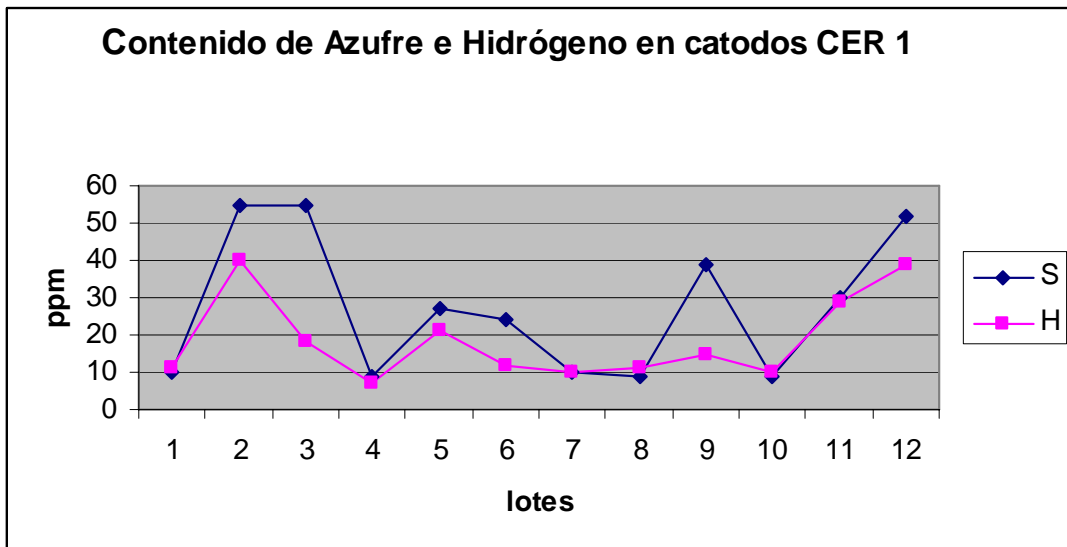


Figura 2.2. Gráfica de los contenidos de Azufre e Hidrógeno.

En estas gráficas se puede observar que los cátodos CER 1, presentan un mayor contenido de azufre e Hidrógeno, respecto a los cátodos CER 2.

En reuniones de trabajo con el proveedor de cátodos de cobre, se hizo un estudio causa- efecto para determinar las posibles causas del incremento en hidrógeno y azufre. Al concluir el estudio, se encontró como posible causa la adición de orgánicos utilizados como aditivos que aportaban hidrógeno (cola y tiourea), azufre proveniente de los ánodos de cobre, y sales sulfatadas en los cátodos, actuando con medidas correctivas y preventivas para controlar las adiciones de los aditivos y mejorar la refinación a fuego en los hornos de reverbero.

Con esta información se obtuvieron las siguientes gráficas.

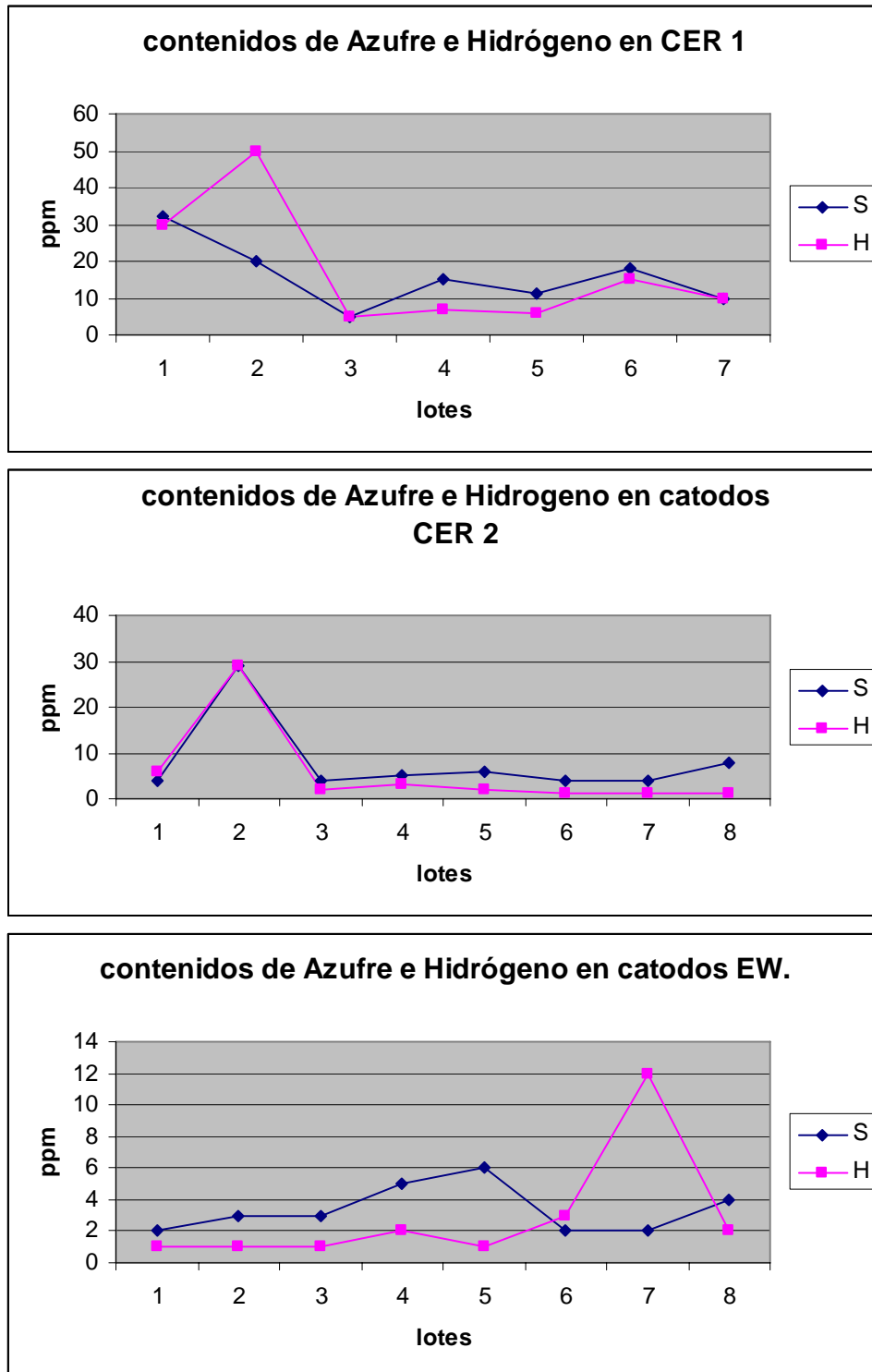


Figura 2.3. Gráficas de contenidos de Azufre e Hidrógeno, después de medidas correctivas.

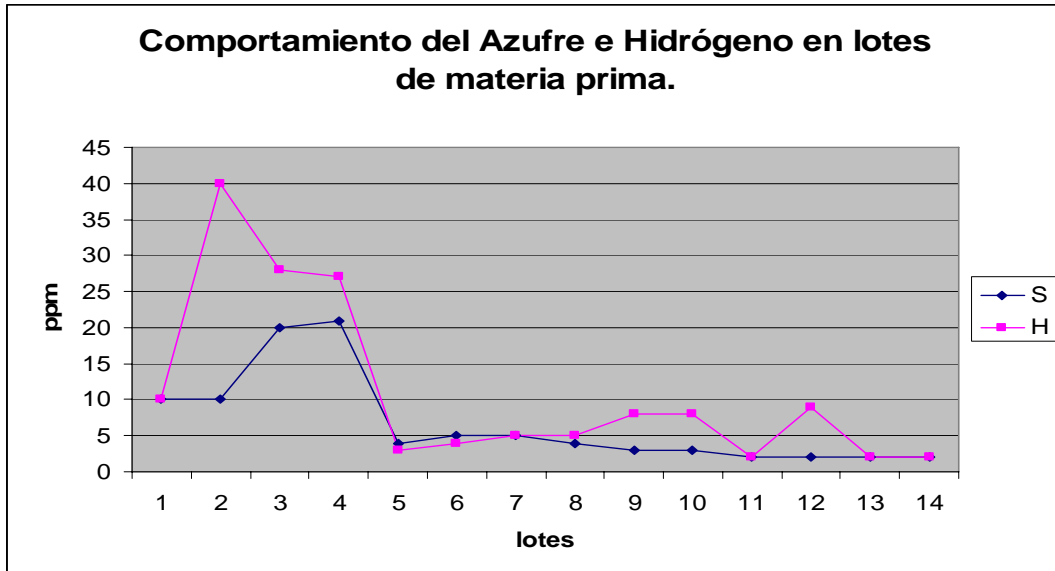


Figura 2.4. Gráficas comparativas de diferentes lotes.

En esta gráfica se puede apreciar una marcada diferencia entre los lotes 1-4 y los lotes 5-13, ya que los primeros 4 lotes corresponden al cátodo CER 1, del lote 5 al 8 al CER 2 y los restantes lotes del 9 al 14 a un cátodo de importación.

Durante un periodo de dos meses, se continuaron los trabajos en adición de aditivos y mejoramiento de la apariencia superficial de los cátodos, presentándose mejoras importantes, Figura 2.5.a., 2.5.b.

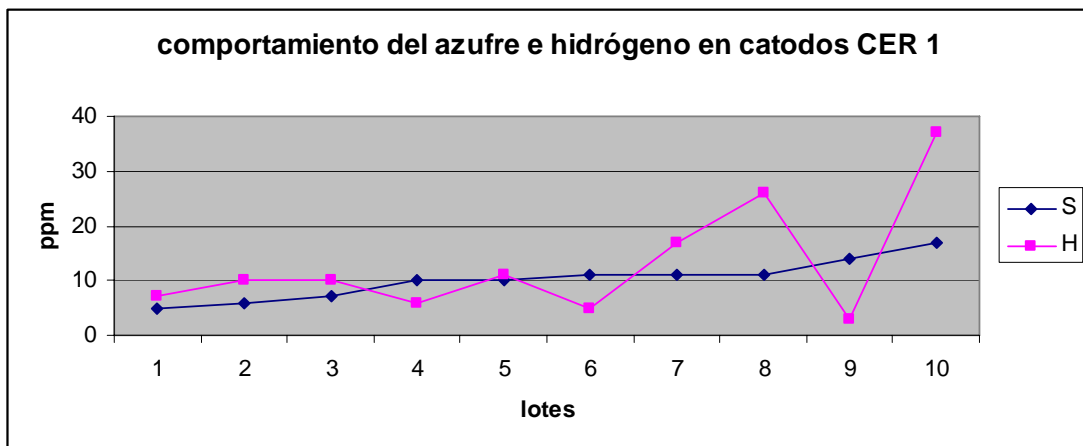


Figura 2.5.a. Gráficas de comportamiento de impurezas.

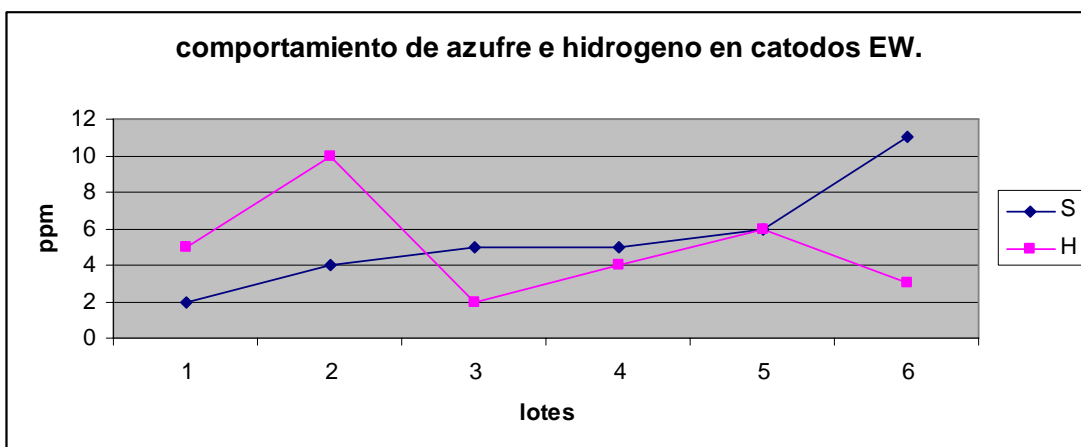
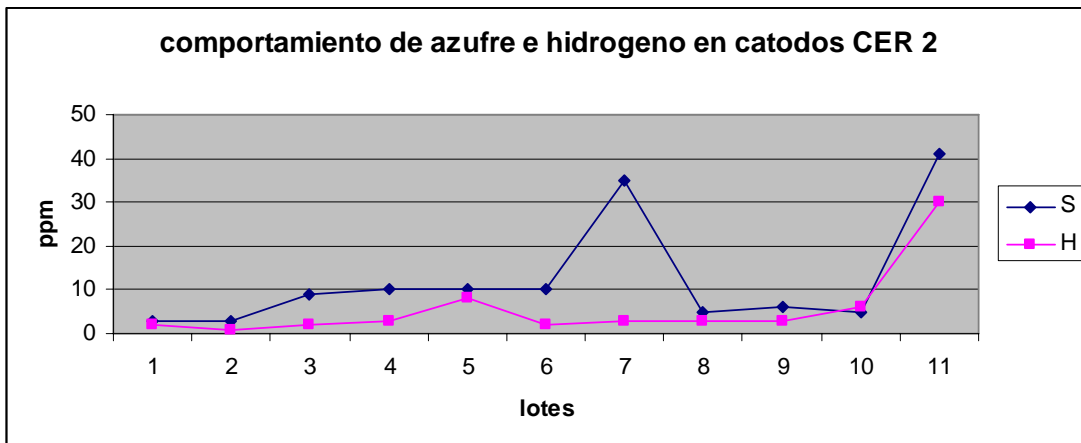


Figura 2.5.b. Gráficas de comportamiento de impurezas.

Situación actual.

- En las gráficas anteriores, se puede observar que el cátodo CER 1. tiene mayor dispersión, al menos en los contenidos de hidrógeno.
- La tendencia media del cátodo CER 1 está muy por arriba de la expectativa de 4 ppm máximo contenido de hidrógeno.
- El cátodo CER 1 presentan mal formaciones que sugieren un mal proceso de refinación tanto a fuego como electrolítica, como se puede ver en las siguientes imágenes.



Foto 2.3. Fotos de nodulaciones y sulfataciones en cátodos de cobre

Cabe hacer mención que aún en zonas defectuosas como la indicada en la fotografía anterior, se presentan niveles de impurezas y a continuación se mencionan los resultados. (unidades en ppm):

	Máx. norma.	Detectado
▪ Se	2.0	2.5
▪ Bi	1.0	5.2
▪ Sb	4.0	19.0
▪ Pb	5.0	18.4
▪ Sn	5.0	18.9

Alternativas para minimizar el efecto al cargas cátodos con nodulaciones.

Además de los límites especificados para las impurezas de cobre, contenidas en las especificaciones vigentes, se debe incluir un máximo permisible de 4 ppm de hidrógeno contenido en cátodo. Lograrlo dará la habilidad de producir alambón de cobre con menores costos de fabricación y una calidad superficial más consistente.

Las variables del proceso que pueden generar óxidos y escamas en el alambón de cobre han sido identificadas y controladas, pero aún así no ha sido posible evitar altos índices de desperdicio en los últimos meses.

También se ha identificado al cátodo CER 1, como principal causa de los altos índices de desperdicio por óxidos y escamas, debido a los altos contenidos de hidrógeno en los cátodos de cobre.

Una solución para evitar los altos índices de desperdicio y por tanto, los altos costos en la fabricación de alambón de cobre, es normar la cantidad de hidrógeno y azufre contenido en los cátodos.

Por lo tanto, la inspección y programación de cargas en primera instancia sirvió para minimizar los efectos.

Los trabajos posteriores en las plantas electrolíticas han venido a disminuir apreciablemente la producción de desperdicio. El control en la adición de aditivos, eficientar el proceso de refinación del ánodo de cobre y el lavado de cátodos, son las tres áreas que ofrecieron un mejoramiento en la calidad del cátodo de cobre.

No obstante se requiere la aplicación de metodologías que permitan comprobar la influencia de las materias primas.

2.2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

El Diseño de experimentos (DOE) es un método estadístico que permite trabajar en el ciclo de la mejora : planear, hacer, verificar y efectuar experimentos para llegar a conclusiones legítimas y válidas, cuya interpretación sea eficaz y eficiente, además de obtener una reproducibilidad permitiendo a los procesos productivos adoptar condiciones y conocimiento sin caer en la práctica comunes de “a prueba y error”.

Muchas plantas de manufactura han reportado en los últimos años una gran variedad de aplicaciones de DOE para mejorar el desempeño de los procesos, reducir su variabilidad , mejorar su rendimiento y en pocas palabras tener procesos eficaces y eficientes. Este método estadístico requiere de un alto conocimiento y disciplina ya que si se aplica incorrectamente nos llevará a conclusiones no válidas, continua experimentación y altos costos. Aquí es donde radica la principal limitante ya que por falta de conocimiento de los Ingenieros de proceso y falta de disponibilidad del proceso productivo para llevar a cabo un estudio, se ha limitado su aplicación. En otras palabras, hay una brecha entre el conocimiento estadístico requerido por los ingenieros para usar DOE como una herramienta de solución de problemas. Se señalan a los siguientes puntos:

- Cuando un estudiante de Ingeniería cursa la universidad, la educación estadística generalmente es limitada. Tiende a ser más teórica que práctica. Los cursos frecuentemente se concentran en la teoría de probabilidad, distribuciones probabilísticas, y en otros aspectos matemáticos, en lugar de la aplicación de técnicas que lleven a resolución de problemas reales en la industria. Por eso muchos ingenieros no adoptan las técnicas estadísticas durante su desarrollo profesional.
- La falta de comunicación entre el mundo académico y el industrial restringe el uso de DOE en muchas industrias de manufactura y servicio.
- Falta de habilidades y experiencia requeridas por ingenieros en manufactura, especialmente en definición y formulación de problemas.
- Las metodologías existentes de DOE no proveen una visión en el análisis del problema y su clasificación. Por esto, muchos ingenieros experimentan dificultades al analizar un problema de calidad en un proceso particular, y en convertir el problema de ingeniería en términos estadísticos desde los cuales se pueden elegir soluciones apropiadas.
- Los actuales programas de software y los sistemas especializados en DOE frecuentemente tienden a concentrarse en el análisis de datos y no propiamente en la interpretación de los mismos. Así, muchos ingenieros industriales habiendo realizado el análisis estadístico no saben que hacer con los resultados sin tener asistencia de un consultor estadístico en el campo.

Beneficios del Diseño Experimental.

El DOE permite estudiar los efectos de muchas variables que afectan la respuesta o salida de ciertos procesos. Los métodos de DOE tienen un gran potencial de aplicación en la ingeniería de diseño y desarrollando etapas. DOE es la estrategia gerencial para desarrollar procesos y productos que no se afecten por diversas fuentes de variación. Las aplicaciones potenciales de DOE en la industria son:

- Reducción de tiempo de diseño y desarrollo de productos y procesos;
- Estudio del comportamiento de un proceso sobre un amplio rango de condiciones de operación;
- Minimizar el efecto de variaciones en condiciones de producción;
- Entender el proceso bajo estudio y por lo tanto mejorar su desempeño;
- Aumentar la productividad del proceso reduciendo desperdicios, retrabajos, etc.
- Mejorar el desempeño y estabilidad de un proceso continuo de producción;
- Hacer productos insensibles a las variaciones ambientales como humedad relativa, vibración, golpes, etc.
- Estudiar la relación entre un grupo de variables independientes del proceso (ej. Parámetros del proceso) y la salida (ej. Respuesta).

Los siguientes pasos son útiles en un experimento industrial:

1. Definición del objetivo del experimento.
2. Selección de la respuesta o salida.
3. Selección de las variables del proceso o parámetros de diseño (factores de control) factores de ruido, sus interacciones entre las variables del proceso de interés (Factores de ruido son aquellos que no pueden ser controlados durante las condiciones actuales de producción, pero pueden tener una fuerte influencia en la variabilidad de la respuesta. El propósito de un experimentador es reducir el efecto de estos indeseables factores de ruido determinando el mejor factor de niveles de combinación de los factores de control o parámetros de diseño. Por ejemplo, en un proceso de moldeo por inyección, la humedad y la temperatura ambiente son los típicos factores de ruido.)
4. Determinación de los niveles de los factores y rango de ajuste de los factores.
5. Elección del diseño experimental apropiado.
6. Planeación experimental.
7. Ejecución experimental.
8. Análisis e interpretación de los datos experimentales.

Muchos experimentos involucran el estudio de dos ó más variables

Los diseños factoriales son los más eficientes para:

- *Obtener la información deseada experimentalmente,
- *Determinar cual factor de entrada influye más en el resultado buscado,
- *Determinar la combinación de parámetros de entrada que da el mayor y el menor nivel en un parámetro de salida definido.

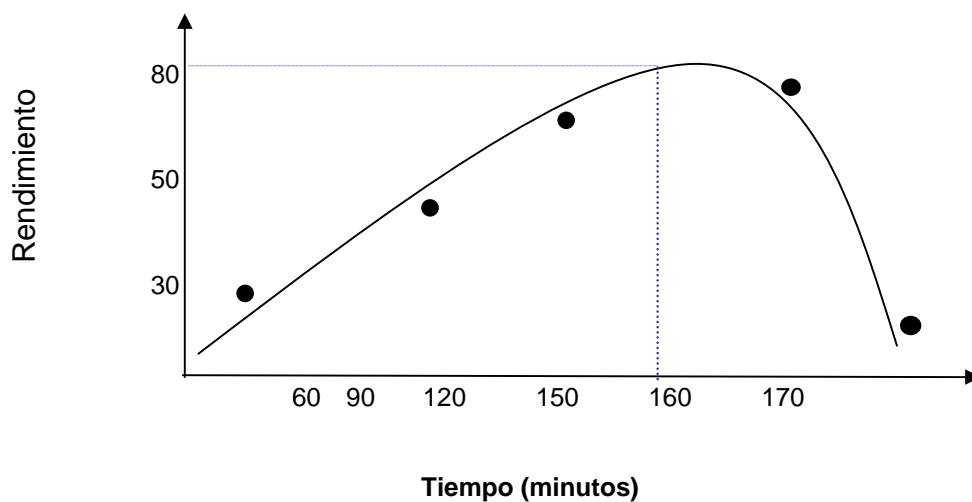
Cuando se habla de un diseño factorial, significa que se están investigando todos los posibles factores con sus niveles de importancia.

Por ejemplo, si hablamos de una experimentación clásica, sin tanto conocimiento matemático, ésta la desarrollaríamos de la siguiente manera :

Supóngase un proceso en el cual la variable de respuesta (Y) es el rendimiento de una reacción química y se tienen el tiempo (X_1) y la temperatura (X_2) como factores, Figura 2.2.1

Tradicionalmente lo que se haría sería lo siguiente:

Temperatura fija a 225°C.



Tiempo fijo en 160 minutos

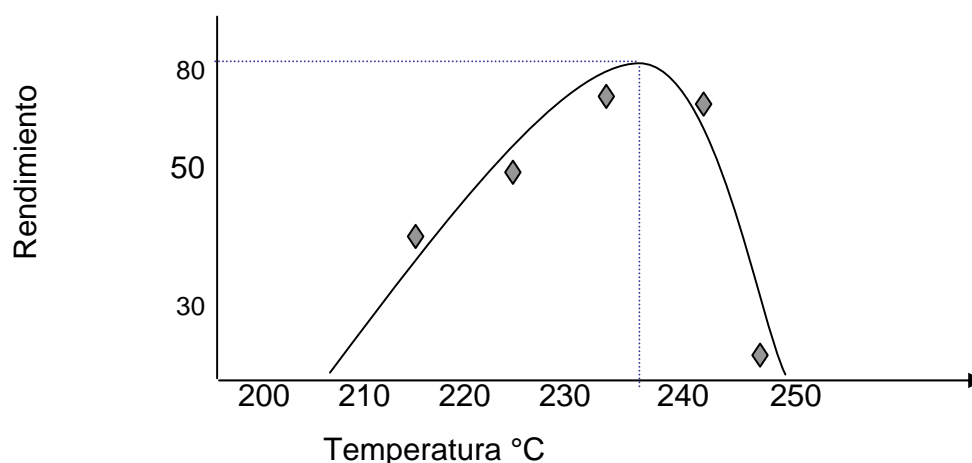


Figura 2.2.1 Representación de dos efectos independientes en el rendimiento de un proceso.

Conclusión: 160 minutos y 235°C dan los rendimientos mejores.

La forma mas sencilla de utilizar un DOE es considerando una variable lo cual, industrialmente es poco factible debido a que generalmente las variables son mas de dos.

Cuando se considera la influencia de dos factores se obtienen gráficas como la mostrada en la Figura siguiente. En el Diseño factorial de 2 factores se determina con precisión su influencia en las variables de salida de interés.

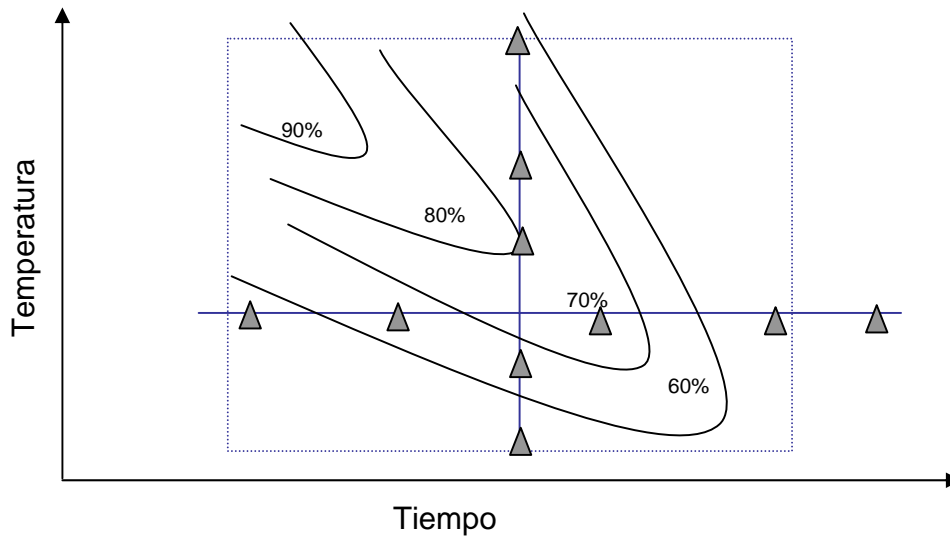


Figura 2.2.2. Representación de dos efectos conjuntos en el rendimiento de un proceso.

Consideraciones Preliminares a un Diseño de experimentos.

- 1.-Definir perfectamente el problema para determinar la(s) variable(s) de respuesta.
- 2.-Asegurar que la medición de las variables durante todo el proceso y al final, es confiable.
- 3.-Analizar las variables del proceso, preferentemente involucrando a los expertos en el problema y a la gente que toma decisiones, para definir variables a estudiar y sus niveles.

En el Inter.

- 1.- Realizar la experimentación con los valores de los parámetros de entrada previamente establecidos.
- 2.-Desarrollar el Diseño de experimentos para obtener el resultado buscado.

Consideraciones Posteriores a un Diseño de experimentos.

- 1.-Verificar que el resultado es consistente, por medio de repeticiones (controlar).
- 2.-Liberar el proceso.

CAPITULO 3.

DEFINICION DEL PROBLEMA Y ELABORACION DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

Con el objeto de llevar a cabo el presente trabajo, se dio una inducción y capacitación al personal técnico de la planta Conticon, para explicar de manera genérica en que consiste la metodología del “Diseño de Experimentos” (DOE) y poner en el mismo contexto a las partes involucradas.

De acuerdo a la plática mencionada, para llevar a cabo el trabajo necesitábamos recorrer las siguientes etapas:

1. Definir el problema, para determinar la(s) variable(s) de respuesta. Es decir, qué características, se medirán como parámetros de referencia para saber el estado del producto.
2. Determinar la línea base. Esto es, en qué estado se encontraban las cosas antes de hacer cualquier experimento.
3. Asegurar que la medición de las variables y los factores durante todo el proceso y al final, es confiable.
4. Llevar a cabo un análisis de las variables del proceso, involucrando a los expertos en el problema y a la gerencia, para definir los factores (variables) a estudiar y sus niveles. En este caso las variables ó factores, son las condiciones que se pueden manipular en el proceso y los niveles son los valores que pueden tomar estos factores.
5. Una vez hecho lo anterior, llevar a cabo el DOE para obtener el resultado buscado.
6. Verificar que los resultados del DOE son consistentes, por medio de repeticiones (controlar).
7. Como último paso, liberar el proceso. Esto es, encontradas aquellas variables que tienen una afectación directa, deberán ser controladas.

Etapas 1

Definición del Problema.

El principal problema que se tiene es la aspereza en el alambre estirado a 10 o 12 AWG, ésta depende no solo de la materia prima sino de otros factores.

Para aislar la parte correspondiente al alambroón de cobre, se tomarán las siguientes variables de respuesta:

- a) Para el proceso de colada continua los valores del equipo de corrientes de Eddy, Defectomat-ferromat, conocidos como Umbral A, Umbral B y Umbral C. Se requiere que el valor de cada uno de éstos sea lo menor posible, de acuerdo al criterio técnico de Conticon. El equipo puede detectar defectos graves en el umbral A, y defectos menores en el umbral C.
- b) Además, se definieron como variables de respuesta a las evaluaciones metalográficas hechas por un centro de investigación, en las muestras identificadas como:
 - i. “Metalografía de Alambroón”,
 - ii. “Metalografía de alambroón con Torsión 10/10”

- iii. "Análisis de calidad superficial de alambre calibre 10 o 12 AWG obtenido en una máquina M85".

Cabe aclarar que este análisis básicamente es fotográfico y por lo tanto, no se cuenta con un valor cuantitativo para esta característica, por lo que se tuvo que hacer una escala arbitraria por atributos, en donde el mejor valor era 5 y el peor 1.

Etapa 2.

Determinación de Línea Base.

La determinación de la línea base se estableció a través de los estudios metalográficos hechos en el laboratorio de investigación. De acuerdo a la escala mencionada anteriormente, se puede decir que la calidad de la materia prima que estaba llegando a la planta estiradora, se podía clasificar como de 2.44. La escala es por atributos y ésta toma valores enteros del 1 al 5, las fracciones obtenidas son promedios de varias evaluaciones.

Etapa 3.

Medición.

Se llevó a cabo la planeación de todos y cada uno de los experimentos para que se llevaran a cabo en forma controlada asegurando la correcta medición de las variables del proceso y que el equipo Defectomat estuviese calibrado y trabajando bien, pues esta etapa del trabajo es medular para obtener los resultados buscados.

Conjuntamente con el laboratorio de investigación, al alambroón producido se le realizaron todas las metalografías y análisis de calidad superficial. De la misma forma se hicieron estudios en alambres de calibres 10 y 12 AWG producidos en una máquina de estirado grueso tipo M85, así como la clasificación de las muestras, con el objeto de tener consistencia en las evaluaciones.

Etapa 4.

Análisis de Variables (Factores) Vitales.

Se analizaron los factores más importantes en el proceso que pudieran estar originando el problema. Estos factores fueron: el cátodo (materia prima), el contenido de oxígeno y la vida de los rodillos en cambio total.

Con el objeto de contar con la mayor información posible, en Conticon se monitorearon:

- a) las propiedades mecánicas,
- b) la composición química y
- c) las características de la materia prima.

Etapa 5.

Diseño de Experimentos.

En esta parte se definió que una corrida representativa de cada experimento sería la fabricación de 100 TON de alambroón, muestreando el inicio, intermedio y final de dichas 100 TON.

Posterior a esto, se generó la matriz de experimentos, Tabla 1, del tipo Factorial completo 2^3 que consta de 8 corridas.

3.1. DESARROLLO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Basado en la experiencia y en la clasificación de la calidad del material, así como el ya conocido efecto de las materias primas, se escogieron los siguientes valores para nuestros factores.

En el caso del oxígeno se toman valores dentro de la especificación.

Tabla 3.1. Tabla de factores.

Parámetros del proceso	NOMBRE	Alto nivel	Bajo nivel
FACTOR		+1	-1
Cátodo (Materia Prima)	A	CER 2 (80%) + RI-CEW(20%)	CER 1(40%) + CER 2(40%)+ RI-CEW (20%)
Contenido de Oxígeno	B	450 a 500 (ppm)	200 a 250 (ppm)
Vida de Rodillos. En cambio total	C	900 - 1000 TON	0 - 100 TON

Tabla 3.2. Diseño de experimentos.

Experimento	Tipo de Cátodo	Contenido de Oxígeno	Vida de Rodillos
1	+1	+1	+1
2	-1	-1	+1
3	+1	+1	-1
4	-1	-1	-1
5	-1	+1	+1
6	+1	-1	-1
7	-1	+1	-1
8	+1	-1	+1

Nota: El valor de (+1), es el nivel alto que debe de tomar el factor durante el experimento y el valor (-1), es el nivel bajo que debe de tomar el factor durante el experimento.

Tabla 3.3. Matriz de experimentación.

ORDEN	FECHA PROG	FECHA PROD	C	O	R	Tipo de Cátodo	Contenido de Oxígeno (ppm)	Vida de Rodillos Para tons de producción
1	12-Nov-07	12-Nov-07	+1	+1	+1	CER 2(80%)+ RI-CEW(20%)	450-500	900-1000
2	16-Nov-07	16-Nov-07	-1	-1	+1	CER CER1(40%)+ CER2(40%)+ RI-CEW(20%)	200-250	900-1000
3	17-Nov-07	17-Nov-07	+1	+1	-1	CER 2(80%)+ RI-CEW(20%)	450-500	0-100
4	22-Nov-07	22-Nov-07	-1	-1	-1	CER1(40%)+ CER2(40%)+ RI-CEW(20%)	200-250	0-100
5	24-Nov-07	08-Dic-07	-1	+1	+1	CER1(40%)+ CER2(40%)+ RI-CEW(20%)	450-500	900-1000
6	26-Nov-07	10-Dic-07	+1	-1	-1	CER2(80%)+ RI-CEW(20%)	200-250	0-100
7	1-2/DIC/07	05-Ene-08	-1	+1	-1	CER1(40%)+ CER2(40%)+ RI-EW(20%)	450-500	0-100
8	6-7/DIC/07	05-Ene-08	+1	-1	+1	CER2(80%)+ RI-CEW(20%)	200-250	900-1000

Se recomienda hacer los experimentos en el orden indicado en la tabla.

C = cátodos

O = oxígeno.

R = rodillos

CAPITULO 4.

4.1. EXPERIMENTACIÓN

El primer tratamiento ó experimento se efectuó de acuerdo a un programa de actividades. (Ver tabla de matriz de experimentación)

Planificación de actividades.

1. Se hará en cambio total de rodillos.(rodillos maquinados).
2. Se hará el número 1 del orden:
Carga: 80% de CER 1 y 20 % de RI-CEW
El oxígeno deberá mantenerse entre 450 - 500 ppm.
3. No se tomaran en cuenta los valores del Defectomat para la clasificación de este lote de magneto. Solo se contabilizaran.
4. Después de las 900 tons. de producción iniciará la fabricación de este lote.
5. Carga del horno:
La producción será de 100 tons. la cual deberá estar en un área específica.
Se tomarán el primer rollo, el intermedio y el final, de estas 100 tons.Estos 3 rollos se apartarán y se colocarán en un área destinada. Serán utilizados para realizar estudios metalográficos.
El CEW a cargar será nacional, para lo cual ya se apartaron 2 lotes
La carga deberá iniciar a las 750 tons, del tren
Se deberán cambiar ranuras de los rodillos de laminación 12 y 13 a las 800 tons .
En caso de que el material no cumpla satisfactoriamente se abortará la prueba a la hora de haber iniciado.
En caso de suspensión de la prueba , se normalizaran condiciones para obtener un producto dentro de especificación y que no sea desperdicio
6. Después de este primer tratamiento, se hará una reunión de evaluación, al día siguiente.
7. Se requiere información adicional para este tratamiento:
Concentración y temperatura de cera
Temperatura de ácido en decapado
gr/litro de cobre y ácido.
Presión en sistema de alta presión 1 y 2.
Pruebas de tres dados y prueba de polvo de óxido
Identificación de lotes cargados a hornos
8. Se requieren mantener los parámetros en control.
9. Imprimir datos de regulación incluir loop's.
10. Se anexan tablas.

DOE Segundo Tratamiento

Se va a llevar a cabo el segundo tratamiento ó experimento en el cambio total del próximo lunes 15 de noviembre del 2007.

Se realizará de acuerdo al orden establecido en el cuadro, por lo que correremos el tratamiento correspondiente al numero 2.

Se deberán tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

- 1.- Se hará en cambio total de rodillos.(rodillos maquinados)
- 2.- Se hará el número 2 del orden
- 3.- El oxígeno deberá mantenerse entre 200-250 ppm
- 4.- No se tomaran en cuenta los valores del defectomat para la clasificación de este lote de magneto.
- 5.- La producción será de 100 tons la cual deberá estar en un área específica
- 6.- Se tomaran el primer rollo, el intermedio y el final, de estas 100 tons. estos 3 rollos se apartaran y se colocaran en decapado lado pte. estos tres rollos serán para efectuar estudios metalográficos
- 7.- La carga durante la corrida deberá ser 40% de CER 2, 40% de CER 1 y 20 % de ri-cew
el ew a cargar será nacional, para lo cual ya se apartaron 2 lotes. La carga deberá iniciar a las 750 tons. del tren
- 8.- Se deberán cambiar ranuras a las 800 tons
- 9.- En caso de que el material no cumpla satisfactoriamente se abortará la prueba a la hora de haber iniciado
- 10.- En caso de suspensión de la prueba (punto 8), se normalizaran condiciones para obtener un producto dentro de especificación y que no sea desperdicio
- 11.- Después de este primer tratamiento, se hará una reunión de evaluación el día martes 16 a las 16 horas
- 12.- Se requiere información adicional para este tratamiento:
 - ✓ Concentración y temperatura de cera.
 - ✓ temperatura de ácido en decapado.
 - ✓ gr/litro de cobre y ácido.
 - ✓ presión en sape 1 y 2
 - ✓ pruebas de tres dados y prueba de polvo de oxido
 - ✓ identificación de lotes cargados a hornos.
- 13.- Se requieren mantener los parámetros en control
- 14.- Imprimir datos de regulación e incluir loop's
- 15.- Se anexan tablas

DOE. Tercer Tratamiento

El tercer tratamiento ó experimento será realizado en el cambio total del próximo miércoles 17 de noviembre del 2007.

Se va a llevar a efecto de acuerdo al orden establecido en el cuadro, por lo que se correrá el tratamiento correspondiente al numero 3. Para ello, se deberán tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- Se hará en cambio total.
- 2.- Se hará el número 3 del orden.

- 3.- El oxígeno deberá mantenerse entre 450-500 ppm. Ajustar el oxígeno antes del arranque
- 4.- No se tomaran en cuenta los valores del defectomat para la clasificación de este lote de magneto
- 5.- La producción será de 100 tons. la cual deberá estar en un área específica
- 6.- Se tomaran el primer rollo, el intermedio y el final, de estas 100 tons estos 3 rollos se apartaran y se colocaran en decapado lado pte estos tres rollos serán para efectuar estudios metalográficos
- 7.- La carga durante la corrida deberá ser 80% de CER2 y 20 % de cew -ri; el ew a cargar será nacional, para lo cual ya se apartaron 2 lotes. La carga deberá iniciar a las 950 tons. del tren anterior.
- 8.- Se deberá hacer una buena preparación y arranque.
- 9.- En caso de que el material no cumpla satisfactoriamente se abortará la prueba a la hora de haber iniciado.
- 10.- En caso de suspensión de la prueba(punto 8), se normalizaran condiciones para obtener un producto dentro de especificación y no sea desperdicio.
- 11.- Después de este tercer tratamiento, se hará una reunión de evaluación, el día jueves 18 a las 16 horas.
- 12.- Se requiere información adicional para este tratamiento:
 - concentración y temperatura de cera.
 - temperatura de ácido en decapado.
 - gr/litro de cobre y ácido.
 - presión en sape 1 y 2
 - pruebas de tres dados y prueba de polvo de oxido.
 - identificación de lotes cargados a hornos
- 13.- Se requieren mantener los parámetros en control
- 14.- Imprimir datos de regulación incluir loop's
- 15.- Se anexan tablas.

Los siguientes tratamientos son similares a los comentados anteriormente por lo que ya no se plasman.

CAPÍTULO 5.

5.1 RESULTADOS

Con la información anterior, se realizaron las corridas experimentales en la planta, por triplicado y se dió seguimiento al comportamiento del material en la planta estiradora. En la tabla 5.1. se presentan los valores promedio obtenidos. Las tablas 5.2. y 5.3. muestran los resultados detallados.

Experimento	Defectomat (A)	Defectomat (B)	Defectomat (C)	Torsión	Metalografía Alambión	Metalografía M85
1	5.67	19.33	9.67	1.0	2.7	2.0
2	9.00	19.33	6.67	2.0	2.0	1.3
3	2.67	6.33	3.67	2.5	4.0	3.0
4	9.33	18.67	9.00	2.0	2.0	2.0
5	0.33	3.67	5.00	2.0	2.3	4.0
6	1.00	11.50	11.00	2.0	2.5	4.0
7	8.33	18.33	8.33	3.0	3.0	4.0
8	12.00	27.00	22.00	4.0	2.3	3.0

Tabla 5.1 Resultados de la experimentación.

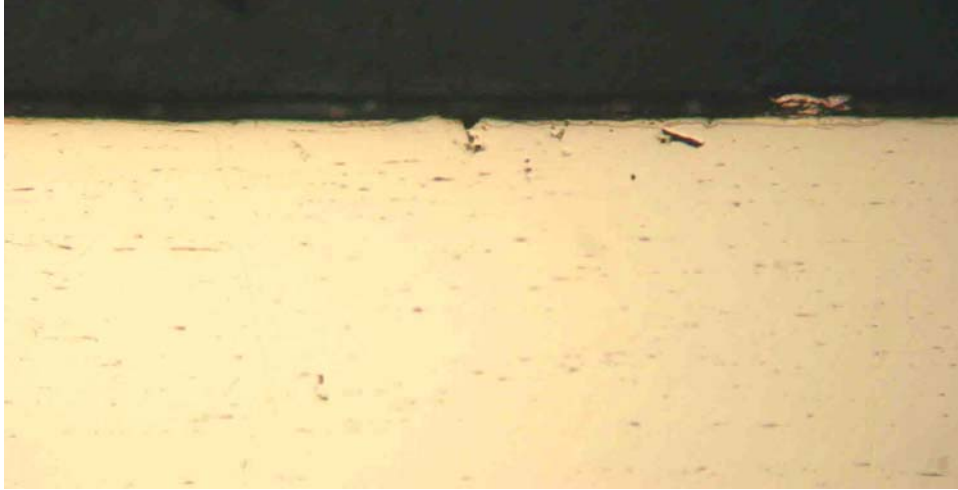


Foto 4.1. Fotografía de estudio metalográfico. Estudio longitudinal.



Foto 4.2. Fotografía de estudio metalográfico. Estudio transversal.

Tabla 5.2 Y 5.3 Resultados detallados.

BASE DE DATOS PARA DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL (DOE)

PRUEBA DOE	FECHA	Se	Te	BI	Cr	Mn	Sb	Cd	As	Pb	IMPUREZAS PPM					
1	12-Nov-07	0.000	0.0000	0.4812	0.1146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3730					
1	12-Nov-07	0.000	0.0000	0.6033	0.2425	0.0000	0.8749	0.0000	0.4493	1.3200						
1	12-Nov-07	0.000	0.0000	0.6111	0.0000	0.0000	0.7040	0.0000	0.0000	1.3380						
2	16-Nov-07	0.000	0.0000	0.3734	0.0000	0.0000	0.0000	0.1237	0.0000	1.2750						
2	16-Nov-07	0.000	0.0436	0.4937	0.0000	0.0000	0.3632	0.0000	0.4475	1.1270						
2	16-Nov-07	0.000	0.0000	0.1198	0.1672	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6001						
3	17-Nov-07	0.000	0.0000	0.145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9324						
3	17-Nov-07	0.000	0.0000	0.3009	0.2973	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.636						
3	17-Nov-07	0.1080	0.0000	0.2367	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.443						
4	22-Ene-00	0.000	0.0000	0.1962	0.3712	0.0000	0.0000	0.5262	0.0000	0.5388						
4	22-Nov-07	0.000	0.0000	0.2456	0.3236	0.0000	0.0000	0.4095	0.0000	0.4814						
4	22-Nov-07	0.1673	0.0000	0.2234	0.2935	0.0000	0.0000	1.0640	0.0000	0.6260						
5	24-Nov-07	1.9460	0.0000	0.2270	0.1760	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5959						
5	24-Nov-07	1.9570	0.0000	0.2679	0.2968	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.6900						
5	24-Nov-07	1.5400	0.0000	0.2258	0.1652	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0490						
6	26-Nov-07	0.3083	0.0000	0.2943	0.2344	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7373						
6	26-Nov-07	0.0005	0.0000	0.4445	0.3043	0.0000	0.7819	0.0000	0.0000	1.1460						
6																
7	01-02/12/07	0.000	0.0000	0.3002	0.3146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7351						
7	01-02/12/07	0.000	0.0000	0.2921	0.2674	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5628						
7	01-02/12/07	0.000		0.2722	0.1989	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5873						
8	06-07/12/07	0.000	0.0000	0.2320	0.3615	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.6320						
8	06-07/12/07	0.3787	0.0000	0.1572	0.2084	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3050						
8	06-07/12/07	0.0895	0.0000	0.1400	0.1570	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5240						

Tabla 5.2.a. Resultados detallados

BASE DE DATOS PARA DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL (DOE)

PRUEBA DOE	FECHA	IMPUREZAS PPM									
		Si	Sn	III	Fe	Zn	Co	Ag	S	H2	
1	12-Nov-07	1.3290	0.8695	0.0000	0.0352	0.0000	3.1000	8.1630	3.5	2.60	
1	12-Nov-07	2.0070	0.3913	0.7130	0.7432	0.0000	0.7315	12.0600	4.2	0.50	
1	12-Nov-07	6.5300	0.6535	0.3833	2.6440	0.0000	0.8248	12.1600	3.5	2.10	
2	16-Nov-07	1.2030	0.6802	0.1047	0.5809	0.2055	1.6800	8.0500	4.3	0.90	
2	16-Nov-07	0.4093	0.2889	0.6409	0.6581	0.0000	1.5640	11.6300	9.2	0.80	
2	16-Nov-07	0.0123	1.1470	0.1582	0.0000	0.0321	3.0620	3.7060	6.4	0.70	
3	17-Nov-07	0.5915	1.175	0.966	0.0000	0.0487	3.189	4.295	10.0	1.64	
3	17-Nov-07	0.5757	0.8175	0.3732	1.006	0.0842	1.746	7.99	7.2	2.64	
3	17-Nov-07	1.542	1.388	0.0336	0.0000	0.1975	4.384	3.155	9.6	2.31	
4	22-Ene-00	0.2745	0.5862	0.3103	0.4464	0.3223	1.9480	7.2180	3.0	2.53	
4	22-Nov-07	0.2805	0.6008	0.7118	0.2333	0.2998	2.1170	8.0510	5.6	1.65	
4	22-Nov-07	0.5855	0.4843	0.3618	1.0040	0.3124	1.3760	7.6800	5.0	0.48	
5	24-Nov-07	0.7263	0.8395	0.0130	1.4140	0.4690	2.3590	4.7140	12.1	0.10	
5	24-Nov-07	0.9343	0.9028	0.0000	0.7347	0.4458	1.1340	3.8630	12.2	0.22	
5	24-Nov-07	0.5730	0.9658	0.0000	0.2886	0.3485	1.9590	4.1240	14.9	0.85	
6	26-Nov-07	1.1020	0.7685	0.2191	0.5116	0.0794	0.4169	8.4520	6.4	4.44	
6	26-Nov-07	1.8110	0.5864	0.2698	0.4805	0.0000	0.5439	10.2600	6.8	1.48	
6											
7	01-0212/07	0.7341	0.8052	0.2492	0.2809	0.3672	1.3520	4.7800	6.2	3.57	
7	01-0212/07	0.1245	0.9276	0.0000	0.0000	0.2107	2.8250	3.9590	5.7	1.33	
7	01-0212/07	0.2041	1.0370	0.0000	0.1743	0.1678	3.1810	3.4150	6.4	0.79	
8	06-0712/07	0.3417	0.8310	0.2587	0.2135	0.2420	1.4470	5.8020	6.1	1.15	
8	06-0712/07	0.2996	1.0470	0.0470	0.0000	0.2308	2.6650	4.6330	5.6	0.15	
8	06-0712/07	0.7779	1.1280	0.0000	0.1610	0.2537	3.2640	3.9860	5.0	0.32	

Tabla 5.2.b. Resultados detallados

BASE DE DATOS PARA DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL (DOE)

PRUEBA DOE	FECHA	RS-37	CONC. DE CERA	TEMP CERA	TEMP ACIDO	Cu en decapado g/lts.	kg/lit libre g/lit	SAPF 1PSI	SAPF 2PSI	GRADO PRUEBA 3D	PRUEBA DE CINTA, POLVO	LOTE ERN	LOTE CDM	LOTE EV	R1%
1	12-Nov-07	2.49	1	63	67	35.5	189.3	600	1500	STAC	STAC	3454	NO	6463	
1	12-Nov-07	2.49	1	63	71	32.4	206.9	600	1500	STAC	STAC	3453	NO	6463	
1	12-Nov-07	2.49	1	62	72	32.4	206.9	600	1500	STAC	STAC	3453	NO	6463	
2	16-Nov-07	2.49	1	54	60	33.0	175.6	400	1450	STAC	STAC	3450-52	2441/44/42	6489/6490	
2	16-Nov-07	2.49	1	54	60	33.0	175.6	400	1450	STAC	STAC	3450-52	2441/44/42	6489/6490	
2	16-Nov-07	2.49	1	54	60	33.0	175.6	400	1450	STAC	STAC	3450-52	2441/44/42	6489/6490	
3	17-Nov-07	2.5	0.8	60	56	29.2	111.8	1200	F/O	STAC	STAC	464	NO	6628	RHRE
3	17-Nov-07	2.5	0.8	60	60	30.5	112.8	1200	F/O	STAC	STAC	464/498/505	NO	6628	RHRE
3	17-Nov-07	2.5	0.8	60	60	30.5	112.8	1200	F/O	STAC	STAC	498/505	NO	6628	RHRE
4	22-Ene-00	2.49	0.8	21	56	32.4	190.3	1150	1500	STAC	STAC		2477/2484/2492	6502	
4	22-Nov-07	2.49	0.8	30	62	32.4	190.3	1150	1500	STAC	STAC		2477/2484/2492	6502	
4	22-Nov-07	2.49	0.8	30	62	32.4	190.3	1150	1500	STAC	STAC		2477/2484/2492	6502	
5	24-Nov-07	1.99	0.5	59	60	27.3	178.5	1050	1500	STAC	STAC	3900	2672/2673	-	
5	24-Nov-07	1.99	0.5	59	60	27.3	178.5	1050	1500	STAC	STAC	3900	2672/2673	-	
5	24-Nov-07	1.99	0.5	59	60	27.3	178.5	1050	1500	STAC	STAC	3900	2672/2673	-	
6	26-Nov-07	2.15	1.0	60	53	26.6	179.5	1000	1500	STAC	STAC	3930/3928	-	-	
6	26-Nov-07	2.15	1.0	60	53	26.6	179.5	1000	1500	STAC	STAC	3930/3928	-	-	
6															
7	01-02/12/07	2.5	1	66	52	24.7	215.8	1000	1500	STAC	STAC	4158/4167	2908	729	
7	01-02/12/07	2.5	1	66	52	24.7	215.8	1000	1500	STAC	STAC	4158/4168	2908	729	
7	01-02/12/07	2.5	1	66	52	24.7	215.8	1000	1500	STAC	STAC	4158/4167	2908	729	
8	06-07/12/07	1.66	0.8	57	62	24.7	248.1	1000	1500	STAC	STAC	4222*		676/677	
8	06-07/12/07	1.66	0.8	57	62	24.7	248.1	1000	1500	STAC	STAC	4210*		676/677	
8	06-07/12/07	1.66	0.8	57	62	24.7	248.1	1000	1500	STAC	STAC	4218		676/677	

Tabla 5.3.a. Resultados detallados.

BASE DE DATOS PARA DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL (DOE)

PRUEBA DOE	FECHA	LOTE CDM	LOTE EV	R%	METALOGRAFIA	NÚMERO DE ROLLO	OXÍGENO PPM 100 MIN. 450 MAX	DEFECTOMAT			CLASE	TOMELADAS	HR. PROD.
								A	B	C			
1	12-Nov-07	NO	6463		*	111408	458	11	30	10	M	900	5.22
1	12-Nov-07	NO	6463		*	111420	470	3	12	11	M	960	6.36
1	12-Nov-07	NO	6463		*	111426	474	3	16	8	M	1000	7.12
2	16-Nov-07	2441/44/42	6489/6490		*	112023	218	0	13	0	M	944	10.31
2	16-Nov-07	2441/44/42	6489/6490		*	112031	219	12	30	13	M	977	11.07
2	16-Nov-07	2441/44/42	6489/6490		*	112035	238	15	15	7	M	985	11.26
3	17-Nov-07	NO	6628	RH+RE	*	20738	465	8	13	8	M	23	18.26
3	17-Nov-07	NO	6628	RH+RE	*	20743	500	0	2	0	M	40	18.51
3	17-Nov-07	NO	6628	RH+RE	*	20751	495	0	4	3	M	85	19.55
4	22-Ene-00	2477/2484/249	6502		*	112826	237	8	23	11	M	14	11.55
4	22-Nov-07	2477/2484/249	6502		*	112839	226	8	8	7	M	60	12.59
4	22-Nov-07	2477/2484/249	6502		*	112850	230	12	25	9	M	100	13.52
5	24-Nov-07	2672/2673	-		*	120989	460	1	2	4	M	903	11.58
5	24-Nov-07	2672/2673	-		*	121001	494	0	5	3	M	980	13.08
5	24-Nov-07	2672/2673	-		*	121005	457	0	4	8	M	990	13.54
6	26-Nov-07	-	-		*	121194	250	1	8	6	M	51	11.51
6	26-Nov-07	-	-		*	121195	203	1	15	16	M	54	11.54
6													
7	01-02/2/07	2908	729		*	10270	456	13	22	15	M	20	10.3
7	01-02/2/07	2908	729		*	10284	465	8	15	2	M	85.17	11.49
7	01-02/2/07	2908	729		*	10287	429	4	18	8	M	65.4	12.03
8	06-07/2/07		676/677		*	10515	239	16	24	29	M	917	8.08
8	06-07/2/07		676/677		*	10525	216	17	41	22	M	951.7	8.53
8	06-07/2/07		676/677		*	10539	211	3	16	15	M	1000	9.55

Tabla 5.3.b. Resultados detallados.

El análisis estadístico, el cual se hizo con el programa Minitab, arroja información para construir cuatro tipos de gráficas que permiten hacer un análisis detallado del comportamiento de cada uno de los factores, la interrelación que existe entre ellos y la contribución hacia la respuesta de éstos:

Diagrama de Pareto: En esta gráfica se observa qué factores e interacciones entre ellos aumentan ó disminuyen más la respuesta en estudio.

Gráfica de Efectos Principales: Esta gráfica muestra el efecto del factor cuando éste está en el nivel bajo ó alto, hacia la variable de respuesta y su comparación con respecto al resto de los factores.

Gráfica de Cubo: Aquí se puede observar en el espacio, el volumen abarcado durante el estudio y que combinación de los factores dio el mejor resultado.

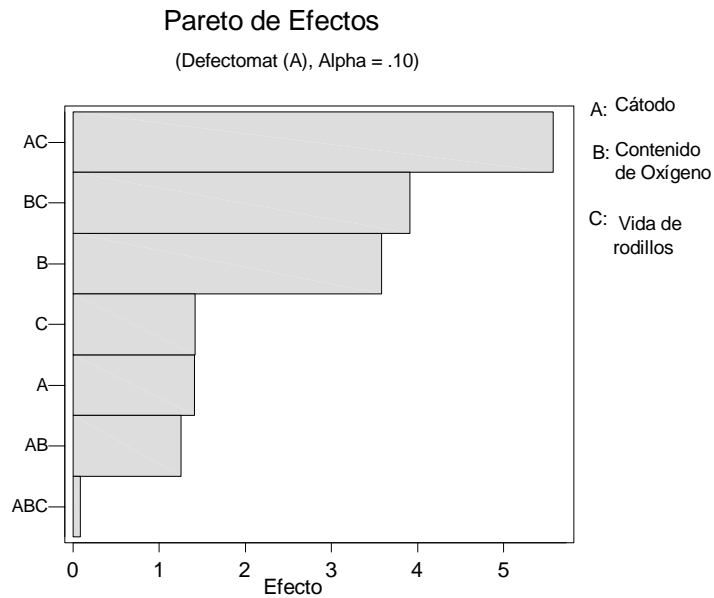
Gráfica de Interacciones: En este diagrama se puede observar si el hecho de mover una variable, afecta a otra y la forma de observarlo es cuando existen cruces entre las líneas de nivel alto y bajo para un par de factores.

Se presentan las gráficas que se obtuvieron para cada una de las variables de respuesta y el análisis de los resultados.

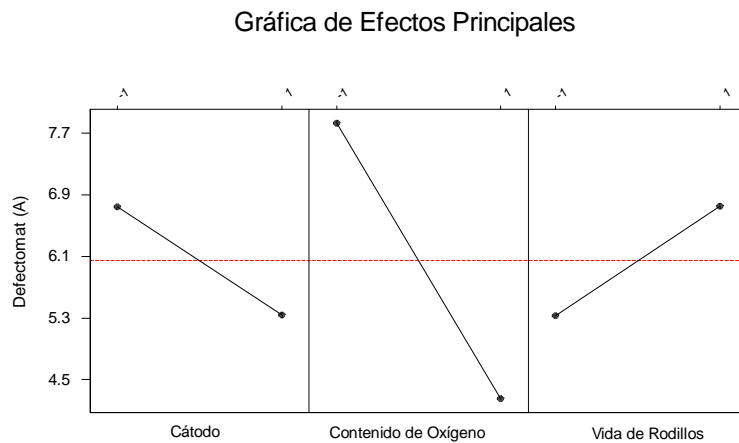
Mientras mayor es la pendiente de las líneas obtenidas, mayor es la influencia de los factores analizados en los efectos estudiados.

Resultados del DOE:

Gráficas para Defectomat A ó Umbral A.

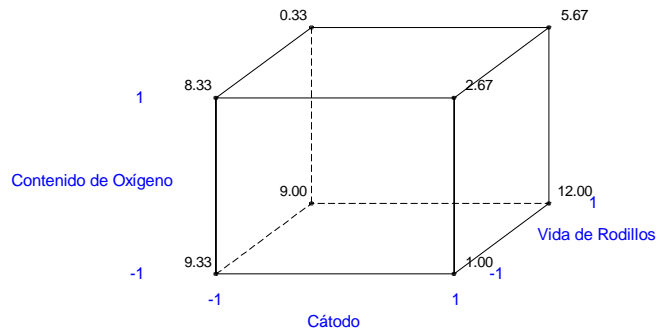


Los dos contribuyentes mayores que afectan el umbral A, son las interacciones AC (cátodo + vida de rodillos) y BC. (contenido de oxígeno y vida de rodillos)



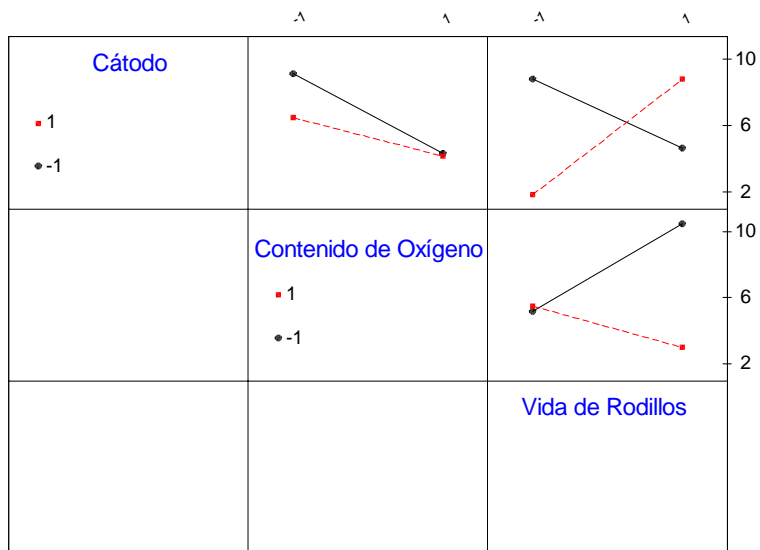
De los tres factores seleccionados, el factor que contribuye más individualmente es B (contenido de oxígeno) y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentra como valor B1.

Gráfica de Cubo



La arista del cubo con los valores menores se encuentra en A-1, B1, C1

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores AC y BC.

Efectos Principales: El parámetro más influyente es B (1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A-1, B1 y C1

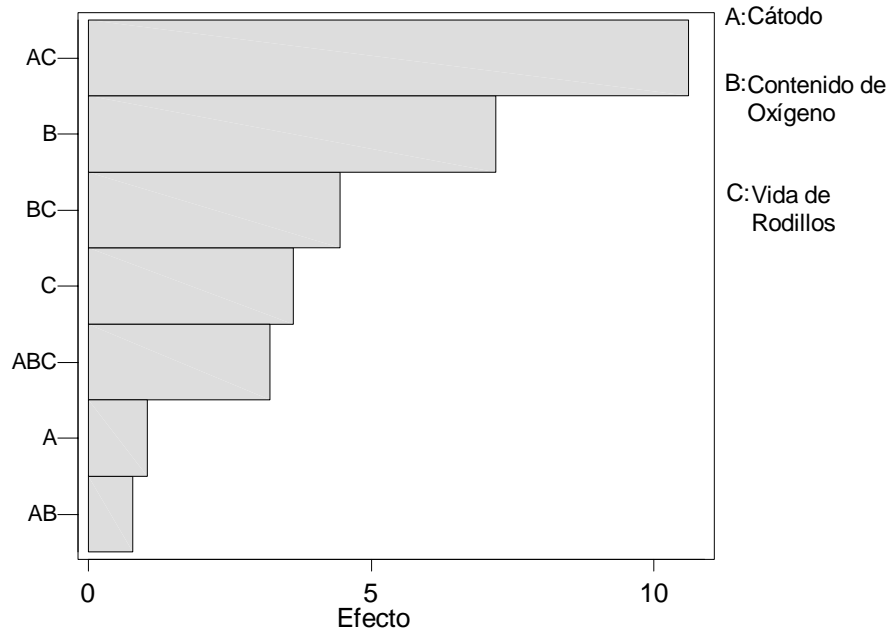
Interacciones: Fuertes y conviene tener (A1, C-1), (B1, C1). Cualquier variación de C, afecta fuertemente la respuesta.

Lo óptimo en este caso es trabajar con A-1, B1 y C1

Gráficas para Defectomat B ó Umbral B.

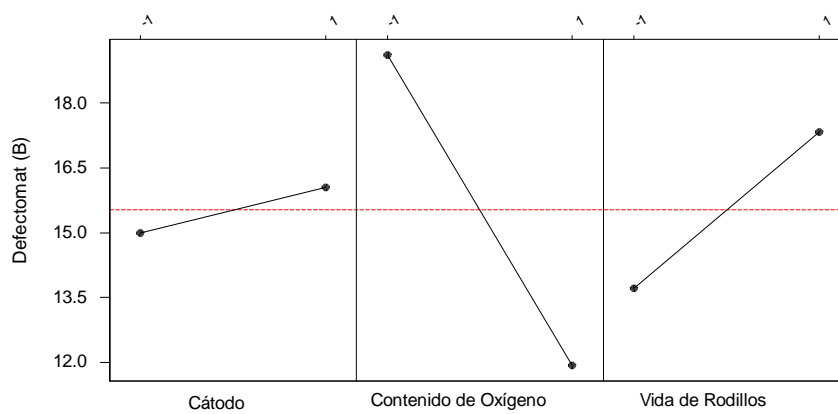
Pareto de Efectos

(response is Defectom, Alpha = .10)



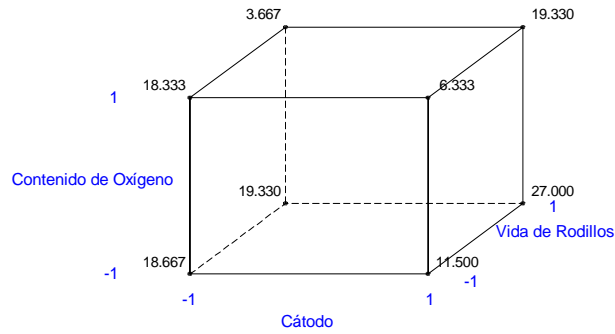
Los dos contribuyentes mayores que afectan el parámetro umbral B, son las interacciones AC y B.

Gráfica de Efectos Principales



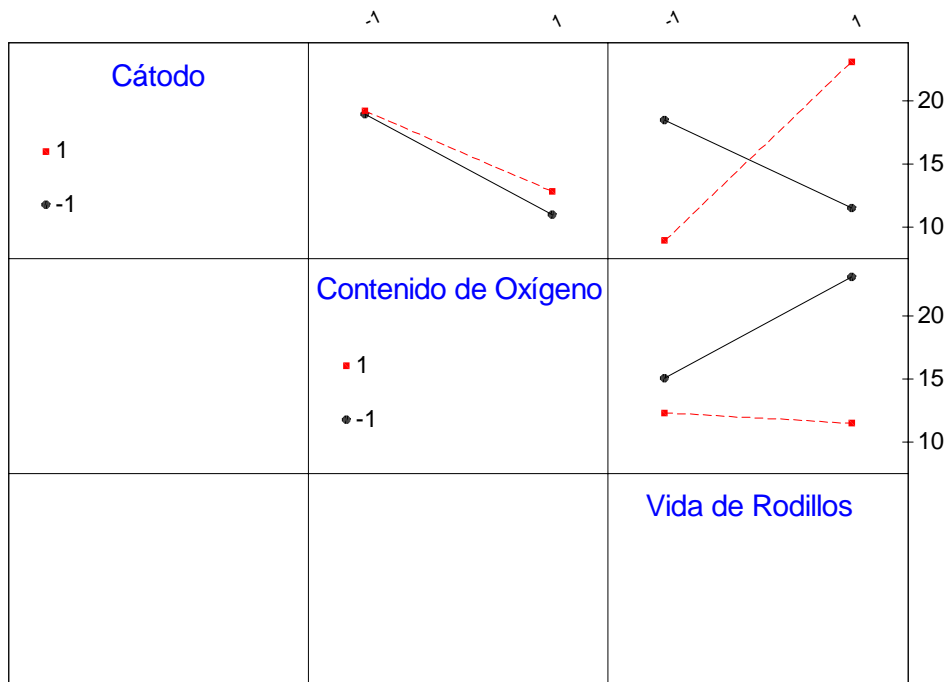
De los tres factores seleccionados, el factor que tiene mayor influencia es B y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentra como B1.

Gráfica de Cubo para Defectomat (B)



La arista del cubo con los valores menores se encuentra en A-1, B1, C1

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores AC y B.

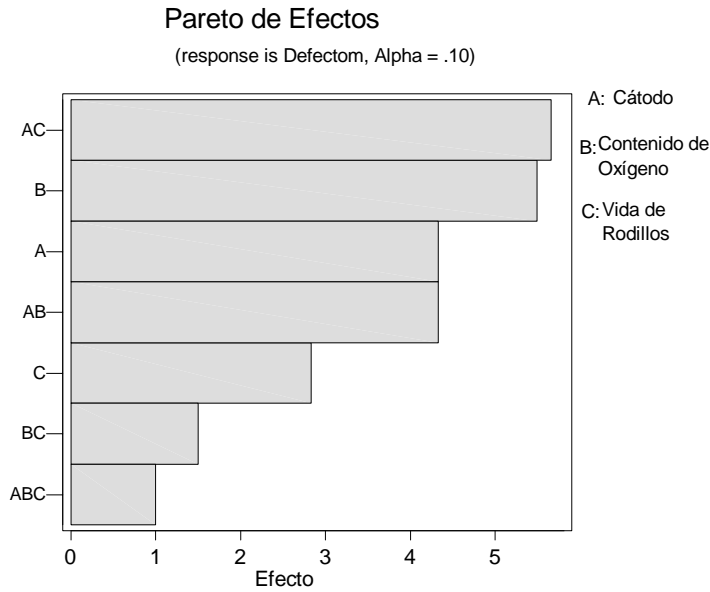
Efectos Principales: El factor más influyente es B (1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A-1, B1 y C1

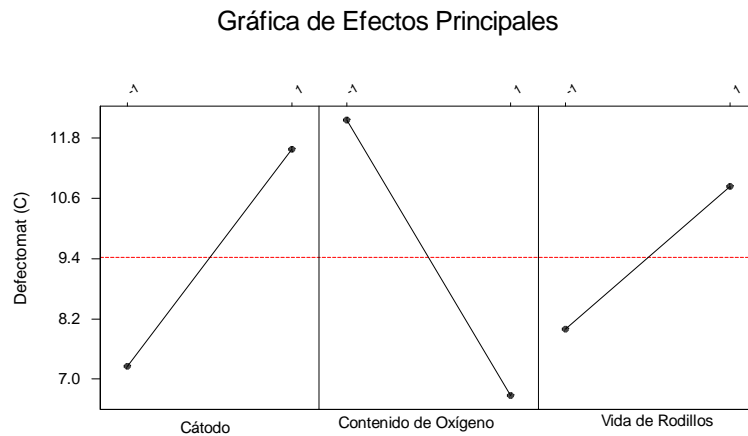
Interacciones: Fuertes y conviene tener (A1, C-1). Cualquier variación de C, afecta fuertemente la respuesta.

Lo óptimo en este caso es trabajar con A-1, B1 y C1

Gráficas para Defectomat C ó Umbral C.

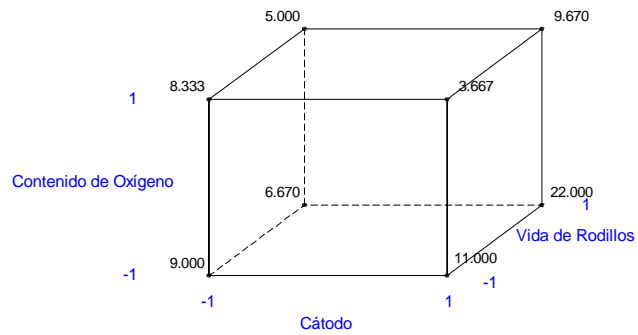


Los dos contribuyentes mayores que afectan el umbral C, son las interacciones AC y B.



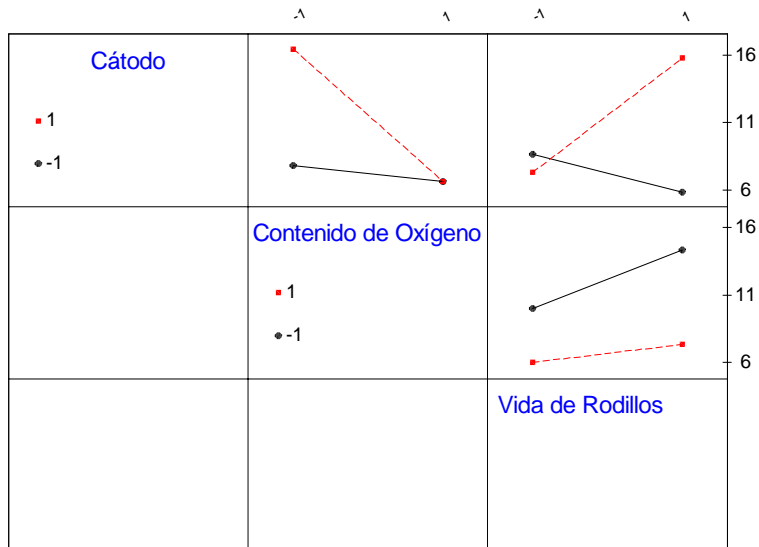
De los tres factores seleccionados, el que contribuye más es B y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentra como B1.

Gráfica de Cubo para Defectomat (C)



La arista del cubo con los valores menores se encuentra en A1, B1, C-1

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores AC y B.

Efectos Principales: El factor más influyente es B (1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A1, B1 y C-1

Interacciones: Fuertes y conviene tener (A-1, C1). Cualquier variación de C, afecta fuertemente la respuesta.

Lo óptimo en este caso es trabajar con A1, B1 y C-1

Resumen General de condiciones óptimas para las respuestas del Defectomat:

Umbral A: A-1, B1 y C1

Umbral B: A-1, B1 y C1

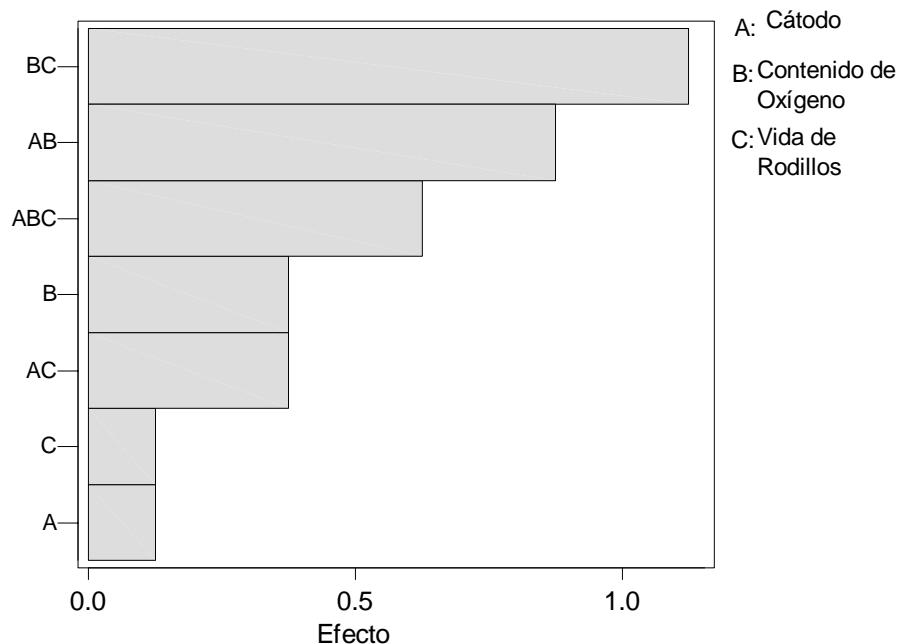
Umbral C: A1, B1 y C-1

En este caso lo que hay que determinar es cuál respuesta es menos importante, si la hay, y escoger las mejores condiciones. En caso de que no sea posible, determinar el compromiso entre las variables, para minimizar el efecto en las tres y tomar en cuenta el gran efecto que puede tener C (Vida de Rodillos), por la fuerte interacción que presenta con A (Cátodo).

Gráficas para Metalografía de alambón con Torsión 10/10.

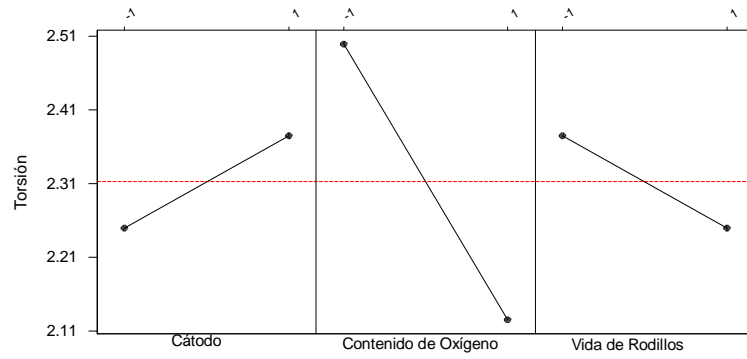
Pareto de Efectos

(response is Torsión, Alpha = .10)



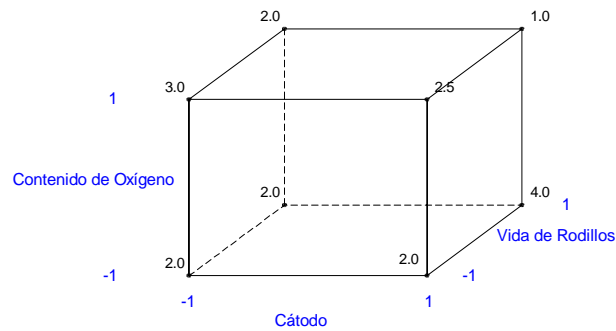
Los dos contribuyentes mayores que afectan a la metalografía del alambón con Torsión 10/10, son las interacciones BC y AB.

Gráfica de Efectos Principales



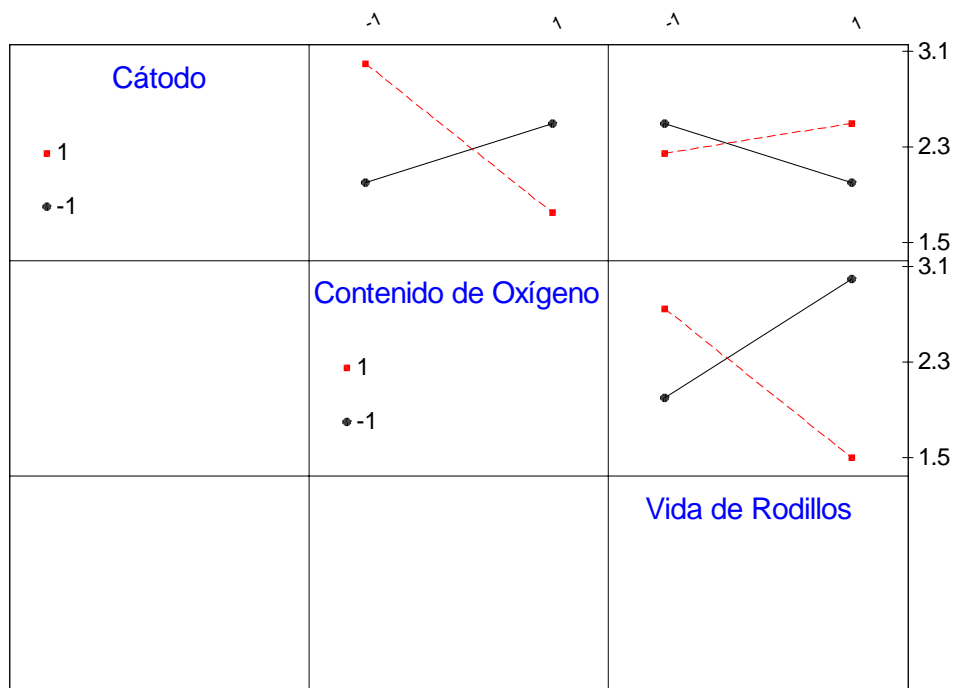
De los tres factores seleccionados, el factor que contribuye más es B y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentra como B-1.

Gráfica de Cubo para Torsión



La arista del cubo con los valores mayores se encuentra en A1, B-1, C1.

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores BC y AB.

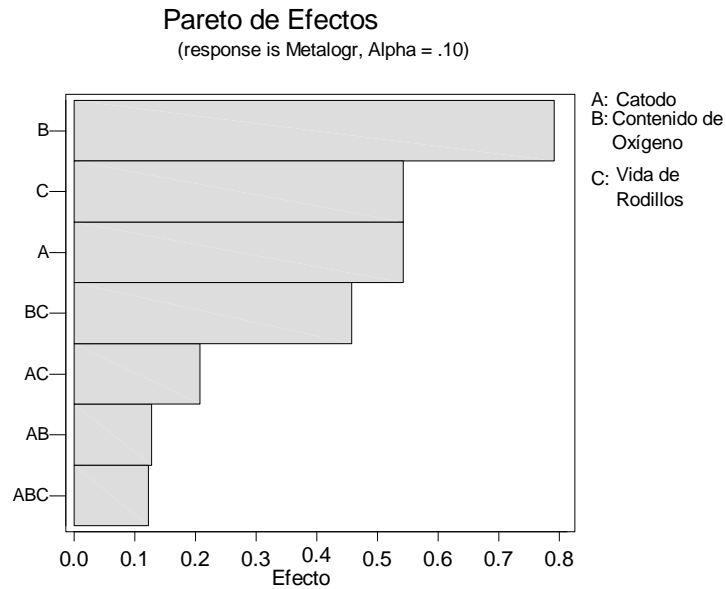
Efectos Principales: El parámetro más influyente es B (-1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A1, B-1 y C1

Interacciones: Fuertes entre todas las variables. Cualquier variación en una de ellas, afecta fuertemente la respuesta.

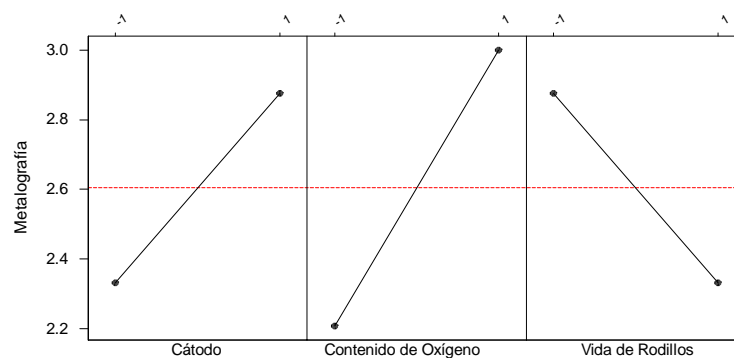
Lo óptimo en este caso es trabajar con A1, B-1 y C1

Gráficos para Metalografía de Alambión.



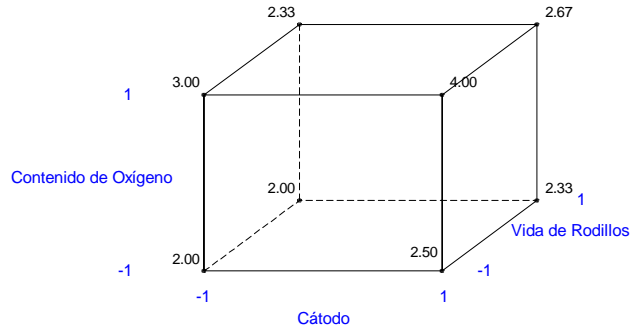
Los dos contribuyentes mayores que afectan la metalografía de Alambión, son B y C, aunque A está muy cerca de C.

Gráfica de Efectos Principales



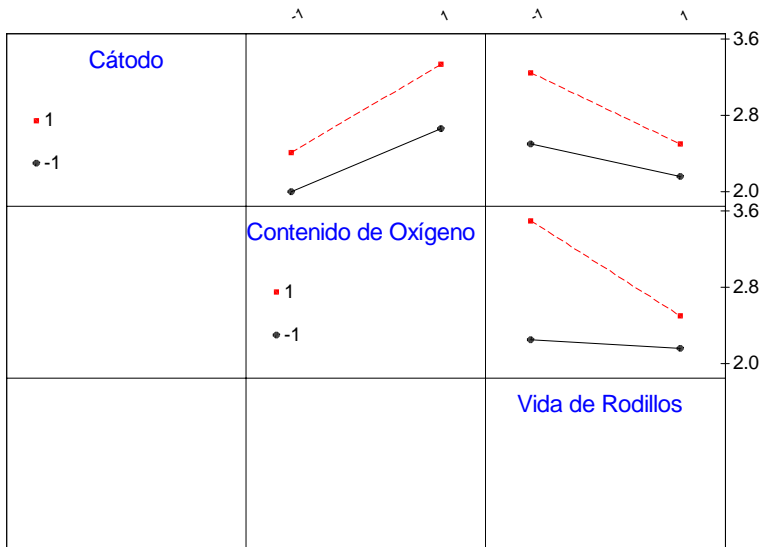
De los tres factores seleccionados, el factor que contribuye más es B y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentra como B1.

Gráfica de Cubo para Metalografía



La arista del cubo con los valores mayores se encuentra en A1, B1, C-1.

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores B, C y A.

Efectos Principales: El parámetro más influyente es B (1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A1, B1 y C-1

Interacciones: En este caso las interacciones son débiles y no afectan mucho la respuesta.

Lo óptimo en este caso es trabajar con A1, B1 y C-1

Resumen General de condiciones óptimas para las respuestas de Metalografía de alambón con Torsión 10/10 y Metalografía de Alambón:

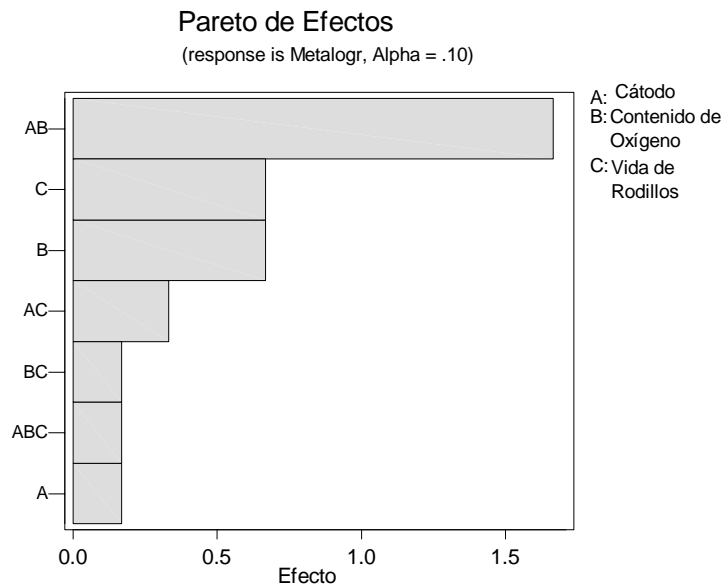
Metalografía de alambón con Torsión 10/10: A1, B-1 y C1

Metalografía de Alambón: A1, B1 y C-1

Aquí la contradicción entre las respuestas es fuerte, pues mientras para Metalografía de alambón con Torsión 10/10 lo que más contribuye son las interacciones ya que son fuertes entre todas las variables, para la Metalografía de Alambón los factores independientes son quienes más afectan. También se nota la diferencia en las condiciones óptimas, pues dos de los 3 factores, están encontrados.

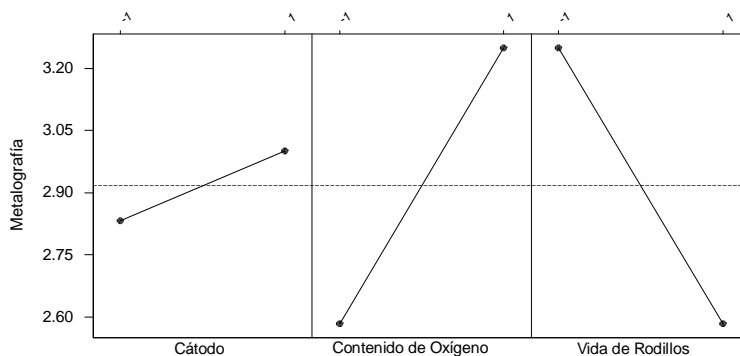
Sabemos que la prueba llamada de "Torsión", es un tratamiento "extra" que sufre la muestra y habría que determinar si aporta mejores resultados que la de sin tratamiento, para que de ellas dos se obtenga la respuesta que nos lleve a obtener un mejor desempeño en el estirado a alambre.

Gráficas para Análisis de calidad superficial en alambre de M85.



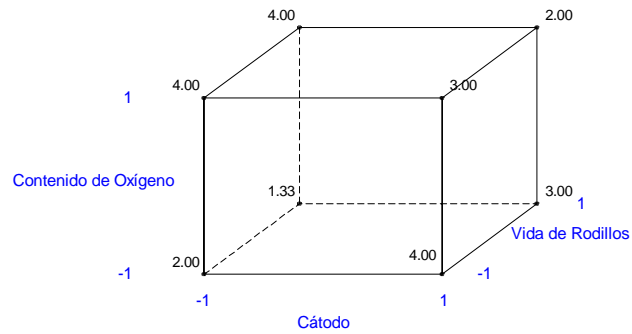
Los dos contribuyentes mayores que afectan a la calidad superficial de alambre en M85, son AB y C, aunque B está muy cerca de C. En este caso notar que AB es muy superior al resto de los factores.

Gráfica de Efectos Principales



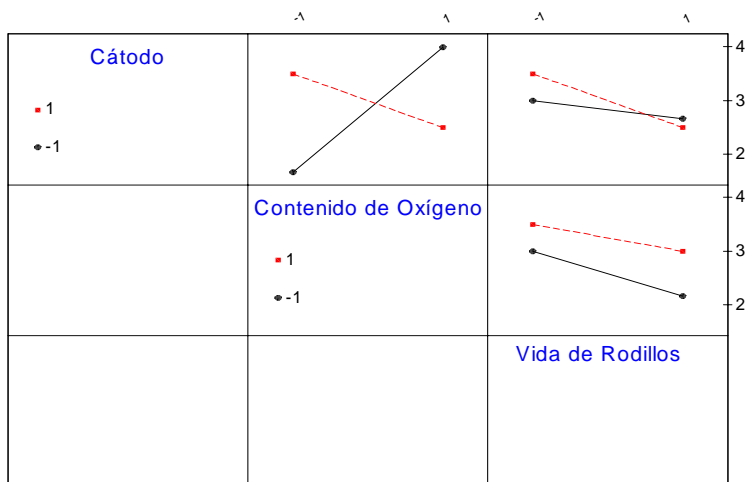
De los tres factores seleccionados, los factores que contribuyen más y que en este caso contribuyen exactamente igual son B y C, y el mejor resultado se obtiene cuando se encuentran como B1 y C-1.

Gráfica de Cubo para Metalografía



La arista del cubo con los valores mayores se encuentra en varios puntos a la vez, pero dos de ellos se encuentran en la cara del lado izquierdo del cubo, por lo que el mejor arreglo quedaría como A-1, B1, C1.

Gráfica de Interacciones



Resumen:

Pareto: Contribuyentes mayores AB, B y C.

Efectos Principales: En este caso hay 2 parámetros que influyen más B (1) y C (-1).

Gráfica de Cubo: La mejor condición es cuando: A-1, B1 y C1

Interacciones: En este caso la interacción AB es muy fuerte comparada con el resto de los factores e interacciones, por lo que un cambio en uno de estos factores puede cambiar drásticamente la respuesta para Metalografía M85.

5.2. ANALISIS Y DISCUSIÓN.

Haciendo un resumen y un análisis general podemos apreciar:

Tenemos 6 respuestas para los tratamientos dados y se dividirán en tres para su análisis correspondiente: Los arrojados por el Defectomat en sus tres umbrales, los de la Metalografía de Alambrón y Metalografía de alambrón con Torsión 10/10 y el análisis de calidad superficial en alambre de una máquina M85 de estirado primario..

Para cada grupo las mejores condiciones encontradas fueron:

1.- Defectomat:

Umbral A: A-1, B1 y C1

CER 1 (40%) + CER 2 (40%) + RI-CEW (20%); 450 A 500 ppm O₂ y vida de rodillos de 900 a 1000 toneladas.

Umbral B: A-1, B1 y C1

CER 1 (40%) + CER 2 (40%) + RI-CEW (20%); 450 A 500 ppm O₂ y vida de rodillos de 900 a 1000 toneladas.

Umbral C: A1, B1 y C-1

CER 2 (80%) + RI-CEW (20%); 450 A 500 ppm O₂ y vida de rodillos de 0-100 toneladas.

2.- Metalografía de Alambrón y Metalografía de alambrón con Torsión 10/10:

Torsión: A1, B-1 y C1

CER 2 (80%) + RI-CEW (20%); 200 a 250 ppm O₂ y vida de rodillos de 900 a 1000 toneladas.

Alambrón: A1, B1 y C-1

CER 2 (80%) + RI-CEW (20%); 450-500 ppm O₂ y vida de rodillos de 0 a 100 toneladas

3.- Análisis de calidad superficial en alambre de M85:

A-1, B1 y C1

CER 1 (40%) + CER 2 (40%) + RI-CEW (20%); 450-500 ppm O₂ y vida de rodillos de 900 a 1000 toneladas

Analizando esta información, debemos decidir cual es la mejor condición :

El análisis se hace de la siguiente manera :

1.- Respecto al defectomat-ferromat y considerando que el umbral A representa un defecto de mayor proporción respecto al umbral B y C, tenemos que el CER1 tiene un mayor efecto en el umbral A y el CER 2 solo afecta el umbral C.

2.- El Contenido de Oxígeno debe de estar en el nivel alto (B1) de 450 a 500 ppm de Oxígeno, lo cual es lógico ya que éste inhibe el efecto de algunas impurezas.

3.- Para el caso de la Vida de Rodillos, ésta aparece en mayor número de veces en el nivel alto (C1). Sin embargo, de acuerdo a la información proporcionada por el personal de la planta de estirado y a los resultados de metalografía para el alambón, que es una prueba para predicción del comportamiento en proceso, el nivel para la vida de rodillos debiera estar en (C-1) Pero también recordar que este factor presenta una gran interacción con el resto de los factores, por lo que el valor que se le asigne debe de ser tan constante como sea posible.

4.- El factor Cátodo (A), parece estar en medio y su selección debe de hacerse cuidadosamente, pues en este proceso las interacciones juegan un papel muy importante. Sin embargo, la respuesta final está en la información que proporciona el cliente del producto, que en este caso es el personal técnico de la planta estiradora, quien reporta un mejor desempeño del alambón, cuando el cátodo está en (A1), lo que representa CER2 (80%)+RI-CEW(20%)

Otro resultado que nos dice el análisis es que en lo que respecta al grupo dos, se aprecia una influencia nuevamente del CER 2

Con base en el análisis anterior, se puede decir que la combinación con los mejores resultados para la procesabilidad es: A1, B1 y C-1 (Corrida #3). Y desde el punto de vista de ver qué combinación es la que más se repite como la mejor, considerando todas las variables de respuesta, tenemos que el resultado sería: A-1, B1 y C-1 (Corrida #7). La siguiente tabla muestra los valores obtenidos para las respuestas de las corridas mencionadas:

Experimento	Defectomat (A)	Defectomat (B)	Defectomat (C)	Metalografía alambón Torsión	Metalografía Alambón	Metalografía M85
3	2.67	6.33	3.67	2.5	4.0	3.0
7	8.33	18.33	8.33	3.0	3.0	4.0

Tabla 5.4. Resultado final.

CONCLUSIONES

Definitivamente el factor que más afecta en la generación de desperdicio es la materia prima, en el caso específico del CER1.

Es claro entender que desde que se inició con la problemática de la obtención de altos niveles de desperdicio, detectamos a las materias primas como primer factor.

En este caso, la apariencia física nos hizo entender que un aspecto heterogéneo, va directamente relacionado con altos contenidos de azufre e hidrógeno ambos nocivos para el estirado ó conformado en caliente del alambón. Así mismo es donde se concentran altas cantidades de elementos tales como el Telurio, Selenio y bismuto, así como Arsénico y bismuto. Por lo que los primeros esfuerzos fueron encaminados a disminuir los niveles de estos elementos.

El DOE nos viene a confirmar matemáticamente que en efecto el comportamiento de la materia prima CER 2 tiene un efecto favorable en el proceso de estirado.

El siguiente factor que influye apreciablemente y este dato si es arrojado por el DOE es la vida de rodillos en el rango bajo de 0 a 100 toneladas de vida y el oxígeno en el rango alto de 450 a 500 ppm.

Con lo anterior expuesto, se cumplen los dos objetivos planteados.

Nuestros proveedores deben ser mas consistentes en la calidad del cátodo y esforzarse en igualar la calidad superficial evitando las nodulaciones, sulfataciones y crecimiento heterogéneo en la depositación. En este caso el proveedor del CER 1, está trabajando en acciones correctivas y ha mejorado en este aspecto.

No obstante que los estudios acerca de la influencia del hidrógeno han sido pocos, se trabaja fuertemente desde la producción de ánodos y cátodos, para obtener una calidad consistente. Las plantas electrolíticas cuidan desde la adición de aditivos hasta la formación y crecimiento de los cátodos.

Actualmente se programan corridas para obtención de alambón en cambios totales, alto oxígeno y selección de materias primas, logrando un producto consistente y con buenos resultados en la procesabilidad.

Los índices de desperdicio han bajado consistentemente a niveles por abajo del 5%, a partir de las mejoras hechas en las plantas y a partir de la programación de cargas en el proceso de Conticón.

BIBLIOGRAFIA.

1.-Nonferrous Wire Handbook.

The Wire Association International.

Volúmen 1: Nonferrous Wire Rod.

1977. Guilford,Conn.

Cap.ítulo : Continuos rod mills.

2.-Metalurgia extractive no ferrosa

Charles Burroughs Gill

Noriega Editores. Editorial Limusa.

Edición 1989

Pags : 14, 19, 138 a 148.

3.-Teaching Experimental Design Techniques to industrial Engineers.

Jiju Antony & Nick Capon.

Portsmouth business School.

4.- El Cobre. Metalurgia Extractiva.

A.K. Biswas y W.G. Davenport.

Noriega Editores. Editorial Limusa.

Edición 1993.

Pags. 17 a 36.

5.- Copper Electrowinning and electrowinning.

J.E. Dutrizac y C.G. Clement.

The 5 th International Conference- Volúmen 5. 2003.

Abstract pag. 137, Appendix A.

6.-Annual book of ASTM standars.

Copper and copper alloys (Including Electricall conductors)

Designation : B 49-98

**Standard Especification for Copper Rod Drawing stock for Electrical
Puposes**

6.- Chemical Composition.