



UNIVERSIDAD DE CARABOBO



FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE PROCESOS DE CORROSIÓN EN LÁMINAS ESTAÑADAS EMPLEADAS EN LA FABRICACIÓN DE TAPAS CORONAS EN LA PLANTA METALGRAFICA.

*Trabajo Especial de Grado presentado como credencial para Optar al Título de Licenciada en
Química.*

Autor: Giskarly Aguirre

CI: 19.992.616

Tutor Académico: Ronald Blanco

Tutor Empresarial: Juan Ochoa

Naguanagua, Agosto de 2013

INDICE.

INDICE.....	ii
Índice de figuras.....	v
Índice de Esquemas.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de gráficos.....	viii
RESUMEN.....	ix
CAPITULO I.....	1
DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación.....	4
Alcance.....	5
Lugar donde se lleva a cabo el trabajo.....	7
Descripción general del proceso de fabricación de tapas coronas.....	7
CAPITULO II.....	9
Procesos de óxido/reducción.....	9
La oxidación del hierro Fe.....	9
Corrosión Química:.....	11
Corrosión filiforme:.....	12
Corrosión en latas.....	14
ESTUDIOS DE LA CORROSION EN LÁMINAS ESTAÑADAS.....	15
LÁMINAS ESTAÑADAS u HOJALATAS.....	20
Características de diferentes tipos de las láminas estañadas.....	21

Laminas cromadas usadas como materia prima para la fabricación de tapas coronas.....	22
Pasivación.....	24
CAPITULO III.....	26
DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
Plan de Trabajo.....	27
Esquema general de las actividades realizadas.....	28
Preparación de láminas estañadas.....	29
Determinación de la dureza.....	30
Determinación de la adherencia de Cuadrícula.....	31
Determinación de la adherencia de la empacadura.....	33
Desempeño de las distintas láminas durante el proceso de fabricación de tapas.....	34
Proceso de cuantificación de película de recubrimiento.....	35
Método diseñado por la empresa para determinar los niveles de corrosión.....	36
1- Resistencia a la corrosión.....	36
2- Resistencia de la corrosión en frío.....	37
3- Determinación de Fe+3 formado en los picos de las botellas.....	38
Resistencia a la oxidación (Norma Covenin 1921).....	39
Las variables independientes:.....	41
Las variables dependientes:.....	41
Herramienta estadística del Minitab.....	43
Pasos a seguir en el diseño estadístico:.....	44
Materiales y reactivos.....	54
Equipos:.....	54
Capitulo IV.....	55
Análisis de resultados.....	55

CAPITULO V.....	79
Conclusiones.....	79
Recomendaciones.....	81
Bibliografía.....	82

Índice de figuras.

Figura 1: Proceso de fabricación de tapas coronas.....	7
Figura 2: Latas corroídas.....	14
Figura 3: Sección transversal de la Hojalata.....	20
Figura 4. Sección transversal de la lámina cromada.....	23
Figura 5: Rejilla.....	31
Figura 6: Curva de calibración del espectrofotómetro.....	40
Figura 7: Combinación generada por el minitab.....	43
Figura 8: Colocar los factores y los niveles a evaluar.....	44
Figura 9: Elección del diseño experimental.....	45
de Figura 10: Tipo diseño y cantidad de factores.....	46
Figura 11: Niveles de los factores estudiados.....	47
Figura 12: Identificación de los niveles.....	48
Figura 13: Combinaciones generadas por el Minitab.....	49
Figura 14. Combinación obtenida.....	49
Figura 15. Selección de la correlación de los niveles de óxido respecto a cada factor independiente (Láminas y Peso).....	51
Figura 16. Selección de la correlación de los niveles de óxido respecto a los dos factores (Láminas y Peso).....	51
Figura 17. Correlación del efecto seleccionado para cada factor independiente.....	52
Figura 18: Correlación del efecto seleccionado para comparar los dos factores.....	53
Figura 19:Area de la tapa corona.....	61

Índice de Esquemas.

Esquema 1: Actividades realizadas.....	28
Esquema 2: Determinación de largo, ancho y espesor.....	29
Esquema 3: Determinación de la dureza de la lámina.....	30
Esquema 4: Adherencia de cuadrícula.....	31
Esquema 5: Adherencia de empacadura.....	33
Esquema 6: Cuantificación del peso de recubrimientos.....	35
Esquema 7: Método de resistencia a la corrosión.....	36
Esquema 8: Método de la Resistencia a la corrosión al frío.....	37
Esquema 9: Determinación del óxido formado en el pico de la botella.....	38
Esquema 10: Método de la Resistencia a la oxidación.....	39

Índice de Tablas.

Tabla 1: Niveles de adherencia de cuadrícula.....	32
Tabla 2: Clasificación del grado de adherencia de empacadura.....	33
Tabla 3: Parámetros estudiados y ecuaciones.....	34
Tabla 4: Niveles de corrosión por sulfato de cobre.....	39
Tabla 5: Caracterización dimensional de las láminas estañadas.....	55
Tabla 6: Pesos de los recubrimientos.....	56
Tabla 7: Porcentaje de adherencia de los recubrimientos.....	56
Tabla 8: Niveles de corrosión por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	57
Tabla 9: Cantidad de hierro por botella.....	58

Índice de Gráficos.

Grafica 1. Diagrama de los niveles de óxido por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	62
Grafica 2. Correlación de tipo de lámina vs nivel de óxido.....	63
Grafica 3. Correlación del nivel de óxido vs los pases de recubrimiento.....	64
Grafica 4. Diagrama de cantidad de hierro Fe^{+3} por botella por el método de corrosión al frío.....	65
Grafica 5. Diagrama de cantidad de hierro por el método de corrosión.....	66
Grafica 6. Correlación de $\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$ vs tipo de lámina.....	68
Grafica 7. Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$ vs pase.....	69
Grafica 8: Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$ vs pases.....	70
Grafica 9. Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$ vs pase.....	70
Grafica 11. Correlación de los niveles de óxido obtenidos por el método de resistencia a la oxidación vs resistencia a la corrosión en frío.....	73
Grafica 10. Correlación de los niveles de óxido obtenidos por el método de resistencia a la oxidación vs resistencia a la corrosión.....	73
Grafica 12. Correlación entre el nivel vs tipo de lámina y pase por método de sulfato de cobre.....	75
Grafica 13. Correlación entre el nivel de óxido vs tipo de lámina y pase por el método de corrosión.....	76
Grafica 14. Correlación entre el nivel de óxido vs el tipo de lámina y pase por el método de corrosión al frío.....	79

RESUMEN.

La investigación realizada se basó en evaluar un nuevo material, como lo son las láminas estañadas para la fabricación de tapas coronas, con el fin de establecer los niveles de óxido formado en los picos de las botellas.

Después de realizar todo el ciclo de ensayos que comprenden la determinación de las dimensiones y desempeño de las láminas durante el proceso, así como también, los de la tapa como lo son, la corrosión, corrosión al frío y oxidación; se determinó que las nuevas tapas cumplen con las especificaciones dimensionales como lo son el espesor, altura, diámetro y dureza; sin embargo, en las condiciones de trabajo empleadas no se logró reducir el óxido en los picos de las botellas. Así mismo, se logró determinar que para obtener los niveles de óxido mínimo se requiere aplicar doble pases de recubrimientos usados internamente como lo son la Siza y el Organosol que se aplican externa e internamente respectivamente.

Con estos resultados obtenidos se demuestra que es más factible utilizar las láminas cromadas, porque siempre presentan menor nivel de óxido, facilita su manejo por la dureza debido a que las chapas se trabajan a granel y se tiene mayor producción ya que al utilizar las estañadas baja un 50% debido al doble pase de recubrimiento y maleabilidad, lo que implica mayor cuidado en su manejo.

ABSTRACT.

The investigation was based on evaluating a new material, such as sheets for the manufacture of tinned crown caps, in order to establish the levels of oxide formed at the peaks of the bottles.

After performing the entire test cycle comprising determining the size and performance of the films during the process, as well as those of the cap such as, corrosion, oxidation and corrosion cold, it was determined that the new tapas meet dimensional specifications such as thickness, height, diameter and hardness, but in working conditions employed was reduced not rust on the peaks of the bottles. Also, it was determined that to obtain minimum oxide levels required double passes apply coatings used internally as are Organosol Siza and applied externally and internally respectively.

These results demonstrated that it is feasible to use chrome films because they always have a lower level of oxide facilitates handling by the hardness because the plates are worked loose and has increased production because by using the low tinned 50% due to the double pass coating and malleability, which implies greater care in handling.



INTRODUCCION.

Planta Metalgráfica es una empresa dedicada principalmente a la fabricación de tapas coronas (chapas), las cuales son distribuidas a las diferentes plantas envasadoras que utilizan este producto como empaque para sus diferentes bebidas; este material es fabricado utilizando como materia prima láminas cromadas, las cuales parten de un acero base, posteriormente el depósito electrolítico del metal (Cr) y un pasivador que permite que sean resistente a la corrosión como lo es el óxido de cromo (Cr_2O_3).

En la actualidad, se han recibido muchas observaciones consecuencia de la notable presencia del óxido formado en los picos de las botellas, lo que induce a la necesidad de proponer soluciones y ejecutar acciones correctivas para solventar este inconveniente.

Por otra parte hoy en día la planta no cuenta con la materia prima (láminas cromadas) necesaria para abastecer la demanda que se está presentando, lo que genera un inconveniente que podría ser solventado utilizando un material alternativo como lo son las láminas estañadas, las cuales si pueden proveer las empresas que generan este material.

Este estudio tuvo como finalidad evaluar la corrosión que se presenta por la elaboración de tapas coronas; empleando láminas estañadas como posible alternativa de sustitución de láminas cromadas actualmente empleadas.

CAPITULO I.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

La dificultad que presenta Planta Metalgráfica con las tapas coronas fabricadas con láminas cromadas es la corrosión que se genera en los picos de las botellas después de ser coronadas, ya que los niveles de óxido se encuentran fuera de los rangos de especificaciones requeridos por el Departamento de Calidad; además de presentar el inconveniente con el abastecimiento de materia prima usada actualmente.

Estas hojalatas deben cumplir con los requisitos exigidos por La Euronorma 10202, ASTM A 623 Y COVENIN 1589, para poder ser utilizadas en el proceso de fabricación de tapas coronas.

La sustitución de láminas cromadas por láminas estañadas requirió la evaluación del comportamiento durante las aplicaciones de los diferentes pesos de recubrimientos para observar la compatibilidad entre ellos y su adherencia, posteriormente a un proceso de troquelado donde se debe medir sus dimensiones y por último el moldeado para la obtención del producto final, donde se le adiciona una capa de Policloruro de Vinil (PVC). Las tapas coronas se trabajan a granel, y como el estaño es un metal maleable se debe

observar el producto final para determinar si se obtuvo lo deseado y con las dimensiones requeridas por la norma de fabricación de tapas coronas; después de conocer si estas hojalatas soportan el proceso de fabricación se evaluaron las tapas mediante los ensayos de laboratorio que exige la norma y los diseños experimentales de la planta, como lo son los métodos de corrosión y oxidación utilizando los criterios estadísticos.



Objetivos.

Objetivo general.

Evaluar los niveles de corrosión en tapas coronas elaboradas con láminas estañadas a los fines de sustituir las láminas cromadas empleadas actualmente.

Objetivos específicos.

- Verificar los parámetros dimensionales de las diferentes láminas estañadas utilizadas en la fabricación de tapas coronas con los estándares requeridos por la empresa para su posible uso como materia prima.
- Estudiar el desempeño de los acabados de láminas estañadas y cromadas en la producción de tapas coronas.
- Determinar los requerimientos de película de recubrimientos a ser aplicadas a las láminas estañadas durante el proceso para estipular que cantidad se utilizó en las tapas que presentan menor nivel de corrosión.
- Determinar los niveles de corrosión mediante métodos internos y las normas Covenin.



Justificación.

El presente estudio se realizó a los fines de estimar la incidencia de los tipos de láminas empleadas en la elaboración de las tapas coronas y los efectos de corrosión que se presentan en los picos de las botellas.

En primera instancia debe saberse que los niveles de oxidación observados se exceden a las especificaciones requeridas por el departamento de control de calidad, por otro lado se han presentado dificultades en la adquisición de la materia prima actualmente utilizada (láminas cromadas), lo cual hace necesario realizar ensayos con otro tipo de material (láminas estañadas) que permite afrontar eventualidades sin disminuir la producción y calidad del producto.

Realizando el estudio con las hojalatas se evalúa el desempeño durante el proceso de fabricación de tapas, para determinar si estas láminas pueden sustituir las cromadas, logrando así, abastecer la planta, y cumplir con la demanda que se presenta, pues las empresas proveedoras de la materia prima actualmente utilizadas puede es suministrar este material alternativo, el cual debe cumplir con las especificaciones que tiene la corporación y las que exige la norma Covenin 1921 (2003).



Alcance.

El estudio se limitó a la evaluación de las tapas coronas fabricadas con láminas estañadas con el fin de analizar qué tan satisfactorio puede ser utilizar este material como materia prima, basándose en el comportamiento que presenta desde que comienza la producción hasta la obtención del producto final. Asimismo, se realizaron los ensayos para determinar el óxido formado en el pico de las botellas y analizar si el producto cumplió con las especificaciones requeridas por planta Metalgráfica.

Cabe destacar que los análisis se realizaron con botellas llenas de agua destilada y no con bebidas gaseosas utilizadas en las plantas envasadoras, ya que se ha determinado que el líquido tiene contacto con el PVC y no con la parte metálica de la tapa.

Se realizaron solo ensayos internos en el laboratorio de Calidad de tapas y los exigidos en la norma Covenin 1921, y se utilizaron todos los equipos que están dentro de planta, mediante estos resultados se tomó la decisión si las hojalatas se pueden utilizar para la fabricación de tapas coronas, ya que por medio de evaluaciones internas estas pruebas son lo suficientemente confiables para dar una respuesta definitiva.

Los recubrimientos que se emplearon fueron los utilizados actualmente en la planta para láminas cromadas: Siza y Organosol, con una cantidad de recubrimiento determinado según el rodillo que se esté utilizando en la línea de producción, basado en los métodos de cálculos de la planta, ya que dependiendo del rodillo utilizado se obtiene un peso de recubrimiento diferente.



Se usó como patrón tapas elaboradas con láminas cromadas. Bajo estas mismas condiciones: línea de trabajo, temperatura de secado de los hornos para los recubrimientos, rodillos, turno, se fabricaron con hojalatas y se comparó el desempeño entre ambos tipos de láminas.

No se tomaron en cuenta los costos entre las láminas cromadas y estañadas solo el desempeño de ambas en el proceso y los niveles de corrosión comparando las hojas con tratamientos similares, ya que hay distintos acabados entre las láminas.

El proceso se dividió en dos áreas donde la primera es la parte de litografiado donde se usaron las líneas para la aplicación de recubrimientos y tintas, y el segundo es la de los módulos donde se usó solo una máquina para troquelar y moldear todas las muestras, ya que existen varios modelos y años que tienen diferentes características de estudios, y en esta investigación se utilizó la más actualizada.

Se calculó la cantidad de hierro Fe en los picos de las botellas usando la curva de calibración interna ya que es la certificada por el Laboratorio de calidad y la Gerencia de la Corporación.

Solo se usaron botellas no retornables ya que son las que presentan el nivel de óxido más elevado y por los cuales se reciben los reclamos, son llamadas roscadas o Twist Off.

Lugar donde se lleva a cabo el trabajo.

El trabajo se llevó a cabo en la planta de tapas coronas, divididos en dos espacios, uno donde está el proceso de fabricación de las tapas coronas y el otro es el Laboratorio de Calidad, lugar donde se desempeñaron y realizaron los ensayos y análisis.

Descripción general del proceso de fabricación de tapas coronas.

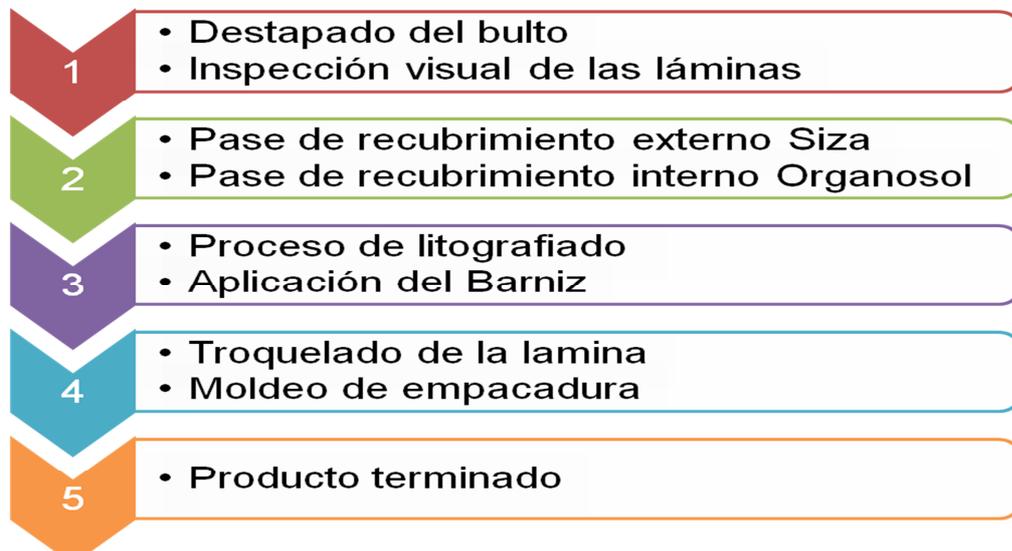


Figura 1. Proceso de fabricación de tapas coronas.

Como lo muestra la figura 1: se tiene una secuencia de etapas

- 1) El proceso inicia con el destapado de bulto, donde se remueve toda la empaadura externa para hacer una inspección visual y medir las dimensiones de las láminas para garantizar que se encuentran dentro de las especificaciones,
- 2) Posteriormente, la lámina se reviste con un primer recubrimiento externo, que es un enlucido transparente que permite un buen anclaje de la tinta en la lámina cromada, el segundo recubrimiento es el Organosol que se coloca por la parte interna el cual permite un buen anclaje de la empaadura de PVC así como también tiene resistencia a la corrosión. Una de las ventajas es que se puede utilizar con tintas de impresión convencionales en el interior y exterior de envases y tapas metálicas,
- 3) El siguiente paso es el proceso de litografiado, donde se utilizan tintas UV o Alquídicas, dependiendo la imagen que se quiera plasmar a la tapa corona, seguidamente se pasa un recubrimiento de Barniz, que protege el litografiado, y las láminas se dejan reposar durante 48 horas. Pasado el tiempo de reposo,
- 4) Pasa a un sistema de troquelado y moldeado (casi simultáneamente), a partir de aquí las láminas pasan por unos cortadores donde se le da la forma de tapa corona, obteniendo por cada lámina 583 tapas litografiadas, que se les coloca una empaadura de PVC en el área de moldeado,
- 5) Obteniendo el producto final. Durante este proceso se tiene una cámara para rechazar las tapas coronas que no tengan centrada la litografía y que no tengan empaadura. [1]

CAPITULO II.

Procesos de óxido/reducción.

Uno de los factores que limitan de forma notable la vida de un material es la alteración química que puede experimentar en procesos de oxidación o corrosión. Por ello, resulta imprescindible conocer las propiedades químicas de los materiales para así poder determinar su mayor o menor tendencia a sufrir procesos de este tipo. [2]

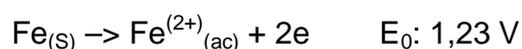
La oxidación del hierro Fe.

Algunos metales se oxidan al ser expuestos a la intemperie y forman óxidos, es decir, generan un proceso de corrosión. El caso del hierro es el más conocido por su impacto económico y por ser el más visual, es el del en su última fase: la formación de herrumbre, óxido ferrico, Fe_2O_3 .

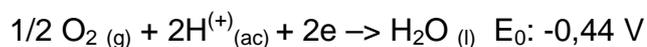
El hierro (Fe) se corroe fácilmente debido a su potencial de oxidación que es bajo, $-0,44\text{V}$, lo que indica que el hierro metálico tiene tendencia a oxidarse en contacto con elementos que tengan un potencial estándar de reducción superior a este valor. El hierro metálico (Fe) no tiene una

configuración electrónica tan favorable que le permita mantener sus electrones estables, de forma que, en presencia de agua y oxígeno atmosféricos, se oxida.

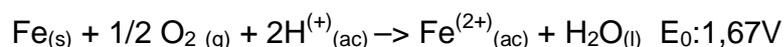
La oxidación del hierro metálico a Fe(II), que permanece en disolución (una interfase hierro-aire de la superficie del metal. Conociendo que interviene agua de la atmósfera y se crea una especie de película). Lo que sucede en esta etapa es que se da un proceso análogo al de una pila galvánica. La superficie del hierro funciona como ánodo y el Fe metálico pasa a Fe(II), según la semirreacción:



Una región contigua de la superficie del metal funciona como cátodo y en él se produce la reducción del oxígeno atmosférico a agua, según la semirreacción:



La reacción global es:



El potencial de esta pila galvánica se puede calcular con los potenciales estándar de reducción de cada una de las dos semi-reacciones:

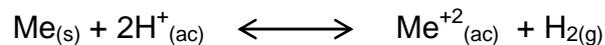
$$E_0 = E_0(\text{cátodo}) - E_0(\text{ánodo}) = 1,23 - (-0,44) = 1,67\text{V}$$



Un valor positivo considerablemente alto (sabiendo que un valor positivo de potencial estándar en una pila implica una variación de energía libre de Gibbs negativa, es decir, una reacción espontánea). [3]

Corrosión Química:

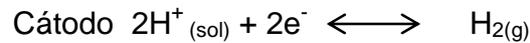
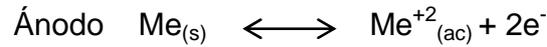
Es la interacción espontánea del metal con el medio corrosivo; cuando la fase anódica y la fase catódica se producen simultáneamente, o sea los iones H^+ toman directamente los electrones de los átomos del metal, estando en contacto iones y átomos. Este tipo de corrosión se produce cuando sobre el metal actúan gases secos (el aire, productos de combustión, etc.) y los líquidos no electrolitos (El petróleo, la gasolina y otros).



(Asumiendo un metal Me divalente)

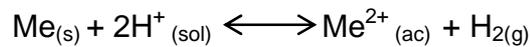
Corrosión Electroquímica:

Cuando la fase anódica y la fase catódica están separadas a ciertas distancias de manera que los iones H^+ toman los electrones que se mueven por el metal constituyendo una corriente local, que procede de los átomos del metal, es decir se forma una pila microscópica debido a la separación de los electrodos (ánodo y cátodo):



(Asumiendo un metal Me divalente)

Sumando estas dos ecuaciones se obtiene:



Este estudio se basa en una corrosión electroquímica debido a que la fase anódica y catódica se encuentra separada, como se explica anteriormente, teniendo un concepto aceptable del tipo de corrosión que se está generando en este trabajo de investigación. [13]

Corrosión filiforme:

Es una forma especial de corrosión por celda de oxígeno que se presenta debajo de recubrimientos protectores. La corrosión filiforme ha sido observada sobre superficies de acero, aluminio y cinc recubiertos con materiales metálicos u orgánicos como estaño, plata, oro, fosfatos, esmaltes y lacas.[4]

Esta corrosión ocurre generalmente debajo de películas semi-permeables en ambientes de alta humedad relativa (>60%). Este tipo de ataque provoca poco daño a la base metálica, solo afecta la apariencia de la superficie.



La corrosión filiforme se inicia en la interfaz metal-recubrimiento-aire húmedo, en la cual muchos ánodos levantan porciones semicirculares de película. La atmósfera corrosiva llega al área con una velocidad que está controlada por la permeabilidad de la película protectora.

El mecanismo que conlleva este proceso de corrosión está dado por la celda de concentración de oxígeno formada por la diferencia de concentración de éste; entre la cabeza activa y el cuerpo inactivo. Lo que se asemeja a nuestras condiciones de trabajo, ya que si hay alguna fractura del recubrimiento se puede generar una oxidación filiforme debido a la humedad a la que está expuesta las tapas cuando se corona en las plantas que utilizan este producto como empaque, siendo así este tipo de corrosión el que podemos observar en algunas chapas que tengan fractura en la Siza u Organosol.

Corrosión en latas.

Cuando se guarda un bote o lata durante mucho tiempo, se puede tener la sorpresa de encontrarlo con un hinchamiento anormal, de tal manera que se desecha. Esta deformación abombada es debida a la acumulación de gas hidrógeno y es una manifestación extrema de la corrosión. Significa el final de la vida útil del producto y ocurre, por lo general, tras un prolongado período de almacenamiento, ver figura 2. [4]



Figura 2. Latas corroídas.

Antes de llegar a estos extremos tienen lugar otras consecuencias prácticas del fenómeno de corrosión, que afectan tanto al envase como al producto envasado, incidiendo más o menos desfavorablemente sobre la calidad del producto, como por ejemplo:

- Cambios en los atributos sensoriales color, olor, sabor y características químicas del producto envasado,



- Desestañado de la hojalata con pérdida de su aspecto brillante, o bien un desestañado intenso localizado en los envases barnizados, que puede originar el rechazo del consumidor por presentación inadecuada,
- Incorporación de iones metálicos, particularmente estaño, hierro, cromo y plomo, al producto envasado.

ESTUDIOS DE LA CORROSION EN LÁMINAS ESTAÑADAS

A continuación se citan algunas investigaciones relacionadas y que serán de utilidad:

- BASTIDAS, J.M.; DAMBORENEA, J.J. (1990) [6] Sus investigaciones se realizaron sobre una lámina estañada, el estaño puro, la capa de aleación (FeSn_2) y acero descubierto. Los experimentos fueron llevados a cabo en soluciones de citrato con $\text{pH}=6$. Realizaron dos ensayos diferentes, uno aireado y otro desairado con y sin inhibidor. Las técnicas experimentales fueron las curvas de polarización, R_p e impedancias. Los resultados que obtuvieron, mostraron que el oxígeno es de gran importancia en los procesos de corrosión de la lámina estañada. En las soluciones aireadas el inhibidor de corrosión es mucho más efectivo en el acero descubierto que en los demás materiales probados. En las soluciones desairadas los valores de R_p y R_{ct} son mayores que en las soluciones aireadas. Este resultado indica que es de gran importancia que los picos de las botellas antes de ser coronadas se aireen ya que elimina la humedad que genera corrosión en las tapas observándose óxido en los picos de las botellas.

- MORITA J.; YOSHIDA, M. (1994) [7] Comprobaron que la corrosión filiforme encontrada en capas de estaño delgadas retarda significativamente la polarización catódica en la parte donde la capa de estaño libre es mayor a 0.35 g/m² y en la parte donde el estaño libre es menor a 0.1 g/m². En la región donde la capa de estaño libre está entre 0.1-0.35 g/m² las microceldas formadas por el par (estaño libre y la aleación de hierro-estaño), ubicado debajo del recubrimiento de película, aumentaron la corrosión filiforme. La resistencia a la corrosión filiforme LTS fue retardada por una alta polarización catódica en la región donde la capa de estaño libre fue más gruesa y donde hubo poco o nada de estaño libre, sin embargo en la capa de cromo el efecto fue mayor. La siguiente investigación desarrollada estudiaron laminas con diferentes cantidades de estaño como recubrimiento, lo que indica que mientras mayor cantidad de metal recubra la láminas mayor resistencia a la corrosión tendrá, siendo así las láminas E2,2 se debe presentar menos óxido que las E1,1.

- DO NASCIMENTO, G.G.; DOS SANTOS, J.L. (1996) [8] Realizaron investigaciones utilizando técnicas de impedancias electroquímicas. Las variables que tuvieron el análisis del recubrimiento fueron el número de capas y la temperatura; en el análisis del empaque, la esterilización y la deformación mecánica. Al inicio de los ensayos, los dos recubrimientos tuvieron un comportamiento igual (epóxi fenólico y epóxi phenolated urea) pero cuando se realizó la esterilización en un medio acético los resultados fueron mejores en el recubrimiento epóxi-fenólico son una herramienta que dan una magnitud y no una información subjetiva de la calidad de los recubrimientos en la hojalata en un corto periodo de tiempo; que la de esterilización y los mecanismos de deformación son dos variables importantes en la



protección que puede brindar el recubrimiento.

- DO NASCIMENTO, G.G.; DOS SANTOS, J. L (1999). [9] Continuando con sus investigaciones, propusieron un circuito equivalente obtenido a través del análisis de los diagramas de impedancia del artículo anterior. Los diagramas fueron interpretados basados en las características básicas de los recubrimientos epoxi-fenólico y epoxi-phenolated urea después de ser expuestos; donde las zonas intactas y las áreas porosas, fueron asociadas con capacitancias en paralelo con la resistencia de poro, en el rango de altas frecuencias, mientras que a bajas frecuencias, otros procesos ocurrían en serie con la resistencia de poro.
- BALLESTEROS, B.; GONZALEZ, C. (2003) [10] Emplearon la técnica AC-SECM (Alternating Current Scanning Electrochemical Microscopy) en soluciones acuosas para evaluar la integridad y las propiedades de la interfaz (metal-recubrimiento) en los recubrimientos de la hojalata, hallando diferencias significativas entre las medidas que se obtienen mediante impedancias electroquímicas y dicha técnica. Con esta investigación comprobaron que la técnica AC-SECM tiene la capacidad de distinguir entre dos regiones, por ejemplo, la superficie del metal con la película protectora. Además observaron que los dominios microscópicos pueden variar la conductividad y la actividad electroquímica, debido a la presencia de microcavidades, grietas y huecos siendo estos, sitios precursores para la corrosión localizada.

La superficie de las láminas antes y después de la aplicación de los recubrimientos es de relevancia, ya que dependiendo del acabado de las láminas se genera la corrosión.

Estas investigaciones realizadas nos demuestran que las tapas coronas fabricadas con Hojalatas se pueden oxidar dependiendo como es su proceso



desde el momento de su fabricación, utilización como empaque y almacenamiento del producto después de ser coronado, ya que hay muchos factores como el ambiente que los rodea, condiciones atmosféricas, temperatura, humedad, los recubrimientos que se utilizan para proteger la lámina, la porosidad de la materia prima, la conductividad, actividad electroquímica, entre otros que pueden provocar la oxidación en las tapas, siendo el límite de este proyecto solo al desempeño que tiene en la planta Metalgráfica y la cantidad de corrosión que se genera, determinándolo por procedimientos experimentales desarrollados en el laboratorio de Calidad de la planta de tapas así como los exigidos por la norma Covenin 1921, pero no implica que los demás factores no afecten al producto, sino que no serán evaluados durante esta investigación, tomando en cuenta que el oxígeno juega un papel muy importante ya que es el principal elemento que interviene en la corrosión en las tapas.

Se utilizaron informes técnicos bajo el patrón de confidencialidad del área de Calidad de Planta Metalgráfica como los fueron:

- Otaiza, L. (2001) [11]. Procesos de fabricación de tapas coronas. Es un informe que aporta toda la información acerca del proceso para la fabricación de las tapas coronas, así como las características dimensionales que debe tener las láminas para que se puedan emplear, las temperaturas y pesos de los recubrimientos y todas las inspecciones que se deben realizar para obtener un empaque que cumpla con todas las exigencias de las normas e internos de la planta.



- Pacheco, J. (2005) [12]. Procesos de corrosión en láminas estañadas. Se basa en análisis de láminas estañadas vírgenes importadas de un proveedor eventual, mediante procedimientos bajo la norma Covenin e internos de la Planta, comparados con las láminas cromadas.

- Ochoa, J. (1990) [1]. Macroproceso de Calidad y procedimientos. Proporciona toda la información acerca de los procedimientos descrito para el análisis de materia prima, producto en proceso y terminado; así como también con nuevos desarrollos, las normas que se deben seguir y los parámetros que se deben cumplir.

LÁMINAS ESTAÑADAS u HOJALATAS

La hojalata utilizada en esta investigación está constituida por cinco capas (figura 3), cada una de las cuales tiene funciones diferentes:

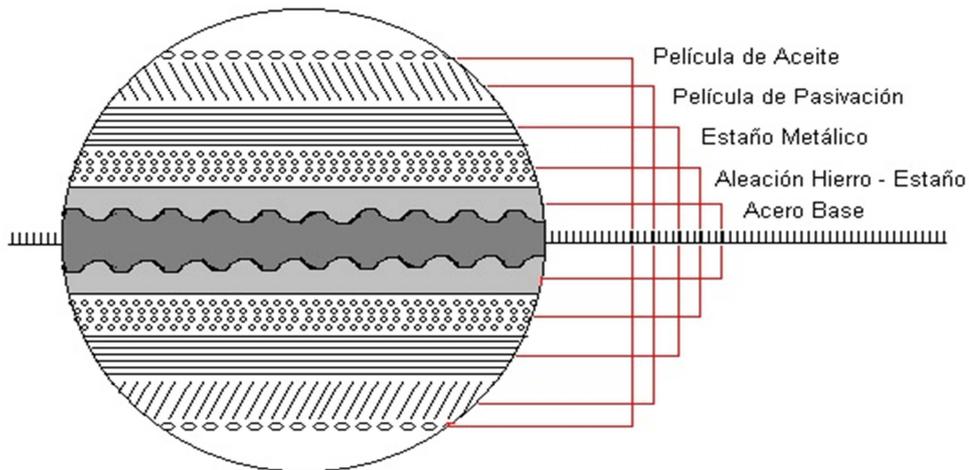


Figura 3. Sección transversal de la Hojalata.

- Acero base: proporciona rigidez al material, debido a su espesor y resistencia mecánica.[4]
- Aleación hierro-estaño: constituida por el compuesto intermetálico Fe-Sn_2 . Por sus características electroquímicas, actúa como barrera contra la corrosión. Para su efectivo comportamiento, más que la cantidad, es importante su continuidad.
- Estaño metálico (Sn): el estaño tiene innumerables ventajas, las cuales han hecho de éste, el elemento más importante en la protección del acero usado para envases; en muchos productos actúa como simple barrera contra la corrosión, ayuda a la soldabilidad, es una excelente base para litografiar y aplicar lacas. Con productos



desestañadores actúa como elemento de sacrificio.

- Película de pasivación óxido de cromo Cr_2O_3 : permite, según su naturaleza, la resistencia de la hojalata a la sulfuración, a la oxidación y la herrumbre. El objetivo del pasivado es: prever el crecimiento del óxido de estaño en la superficie, mejorar la adhesión del recubrimiento a la superficie y aumentar la resistencia a la corrosión. La aplicación de estos tratamientos es relativamente sencillo y el más utilizado es el pasivado catódico con dicromato de sodio. [13]
- Película de aceite o laca: protege la lámina de la humedad del aire y facilita su manejo.

Esta información sobre las láminas estañadas usadas en esta investigación proporciona lo necesaria para conocer el material y compararlo con las láminas cromadas, y así buscar las diferencias y semejanzas que tienen y cuál de las dos es mejor utilizar.

Características de diferentes tipos de las láminas estañadas.

Las características de la hojalata están destacan los siguientes [1]:

- Tipo de acero. El acero utilizado para la fabricación de la hojalata puede ser producido por los sistemas de colada continua o por lingoteras.
- Acero tipo D: Acero apagado con aluminio (desoxidado). Se utiliza en embutidos profundos (envases de dos piezas, cuellos de aerosol) o en aquellos procesos, en los cuales las arrugas -de Luders- son



propensas a aparecer en el mecanizado.

- Acero tipo L: Contiene de bajas cantidades de elementos metaloides y residuales, tales como: Cu, Ni, Cr, Mo. Se usa para mejorar la resistencia a la corrosión interna de envases para ciertos productos alimenticios.
- Acero tipo MR: Contiene bajos porcentajes de elementos residuales y evita la corrosión interna de envases para ciertos productos alimenticios, es el que se utilizó en esta investigación, ya que fue el material que suministraron los proveedores.
- Espesor. El espesor de la hojalata (Figura 3) está definido en los estándares convencionales como aquel que se encuentra en el rango de 0.15 mm a 0.50 mm en simple reducción y de 0.14 mm a 0.29 mm para la lámina de acero doblemente reducida. En el sistema métrico, el espesor se reporta en mm.
- Recubrimiento de Estaño de 5.6 g/m² a un mínimos de 0.275 g/m².

Laminas cromadas usadas como materia prima para la fabricación de tapas coronas.

Se llama lámina cromada al producto que se tiene al recubrir al metal base (acero de bajo carbono) con una capa ultra delgada de cromo metálico y posteriormente con oxido de cromo.

La lámina cromada está constituida por cuatro capas, cada una de las cuales tiene una función diferente informada por el certificado de calidad.

1. La película protectora de cromo varía en un rango de 0.05 mm a 0.1 mm de espesor, equivalente a un rango de 50 a 100 miligramos por metro cuadrado.

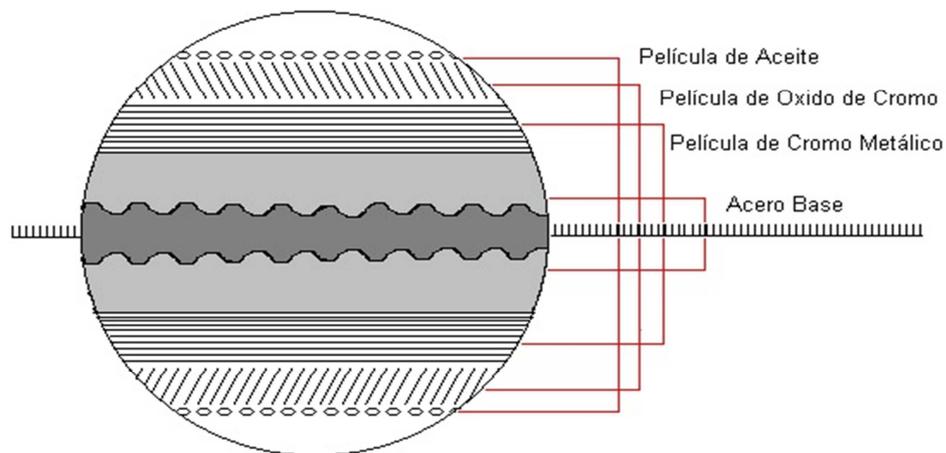


Figura 4. Sección transversal de la lámina cromada.

2. La lámina cromada se utiliza, principalmente, en aquellas aplicaciones en las que no se requiere el estaño como elemento de sacrificio y además debe estar completamente laqueada, como para la fabricación de latas usadas para el atún, sardinas, guisante, entre otros tipos de enlatados.

Las características son muy similares entre las láminas cromadas y estañas con lo referente al tipo de acero y espesor, teniendo diferencia en la película protectora ya que el estaño (Sn) necesita más peso que el cromo (Cr) por su maleabilidad, ya que para que la hojalata sea resistente se debe



aplicar gran cantidad de estaño, y así cumplir con la dureza que exige la norma Covenin 1589. [1]

Pasivación.

Se refiere a la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos. Aunque la reacción entre el metal y el agente externo sea termodinámicamente factible a nivel macroscópico, la capa o película pasivante no permite que éstos puedan interactuar, de tal manera que la reacción química o electroquímica se ve reducida o completamente impedida. [14]

Se puede considerar desde el punto de vista termodinámico y desde el punto de vista cinético. [14]

Es un tratamiento de las superficies de los metales que tiene por objeto la producción de una capa más o menos delgada de producto de corrosión, pero suficiente para cambiar metal del estado activo al estado pasivo: el metal queda protegido por un efecto capa-barrera, aislante.[1]

El pasivador utilizado en esta investigación fue el óxido de cromo Cr_2O_3 , tanto para las láminas cromadas como las estañadas, ya que permite un buen anclaje de los recubrimientos utilizados para proteger las láminas, demostrado por las empresas proveedoras de la materia prima.



Además de este pasivador, primariamente la lámina tiene una capa ya sea de cromo (Cr) o estaño (Sn), dependiendo del material a recubrir, ya que son metales que tienen potenciales de oxidación menores al del acero base, logrando así la resistencia a la corrosión.

CAPITULO III.

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Este trabajo basado en el estudio de la fabricación de tapa coronas a partir de láminas estañadas, se evaluó el óxido formado en los picos de las botellas en Cervecería Polar, Planta Metalgráfica. Por tal razón expresada se catalogara este trabajo de investigación como un trabajo de Documental, de Campo e Investigación Experimental. [18]

La investigación aquí presentada es de forma descriptiva ya que permite poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de la información que se tiene sobre el proceso de fabricación de las tapas coronas, así como también el comportamiento que se obtiene de las botellas al ser coronadas.[18]

Se utilizaron técnicas de recolección de datos como los informes de abastecimiento provenientes del Departamento de Logística, documentos de Planta Metalgráfica mediante el Macroproceso, como por ejemplo:

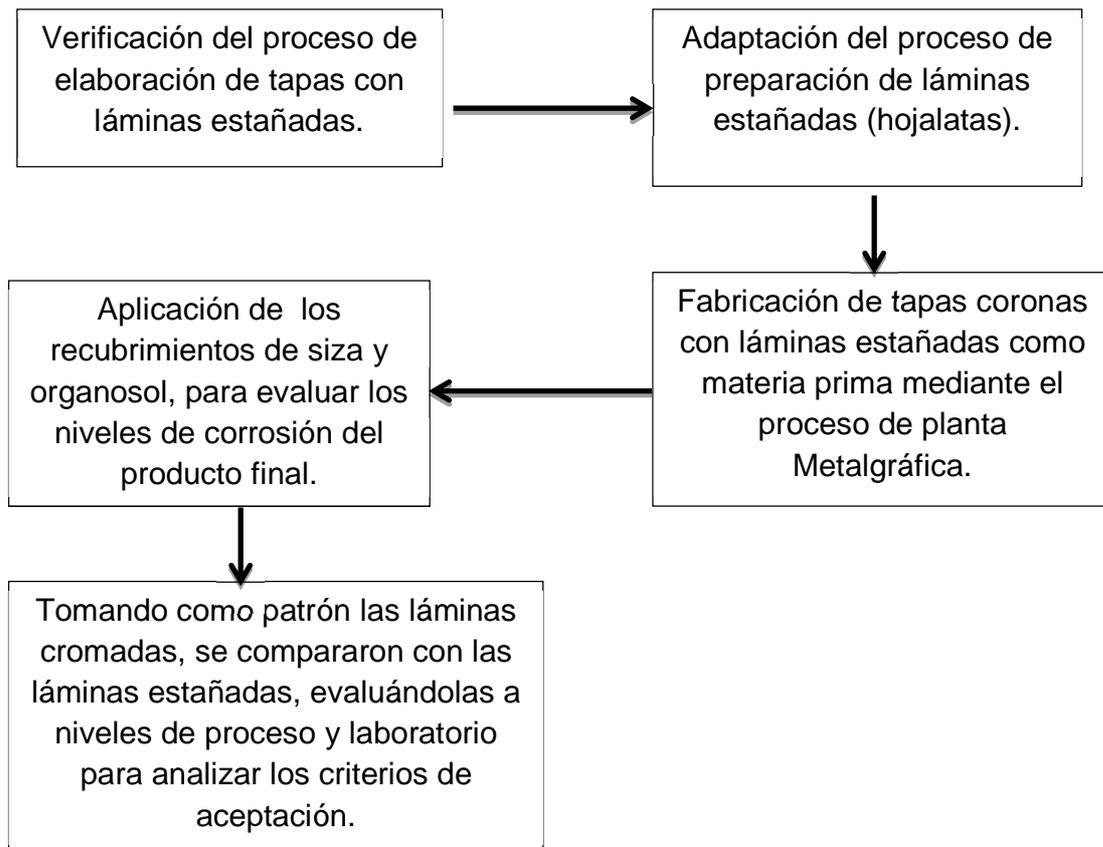
El control de calidad y procesos, seguimientos y mediciones, procesos de la empresa, entre otros y Paquetes de computación: Microsoft Word, Excel, PowerPoint se utilizaran para el procesamiento de los datos y obtener resultados. [1]

Plan de Trabajo.

- 1) Reunión de fijación de la metodología a seguir para el estudio de láminas estañadas.
- 2) Inspección del proceso dimensional de las láminas estañadas, aplicación de recubrimientos internos y externos (Siza y Organosol), proceso de litografiado. Troquelado y moldeo de empaadura.
- 3) Elaboración del ciclo de ensayos y análisis de las tapas coronas, como la determinación de las dimensiones, pesos de los recubrimientos, niveles de óxido por métodos de la resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- 4) Evaluación de las tapas elaboradas en función del oxido obtenido y clasificación de la data obtenida.
- 5) Análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados para cuantificar la cantidad de hierro observado como oxido en los picos de las botellas.
- 6) Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

Esquema general de las actividades realizadas.

El siguiente plan de trabajo general, que se llevó a cabo en la investigación para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.



Esquema 1. Actividades realizadas.

Preparación de láminas estañadas.

Medidas dimensionales: largo, ancho y espesor de las láminas.

Largo y Ancho: Se tomó una cinta métrica y se midió las láminas por cada extremo.



Espesor: Se cortó un trozo de lámina triangular por cada extremo y se midió el espesor con el reloj digital de punta.

Esquema 2. Determinación de largo, ancho y espesor.

Determinación de la dureza.

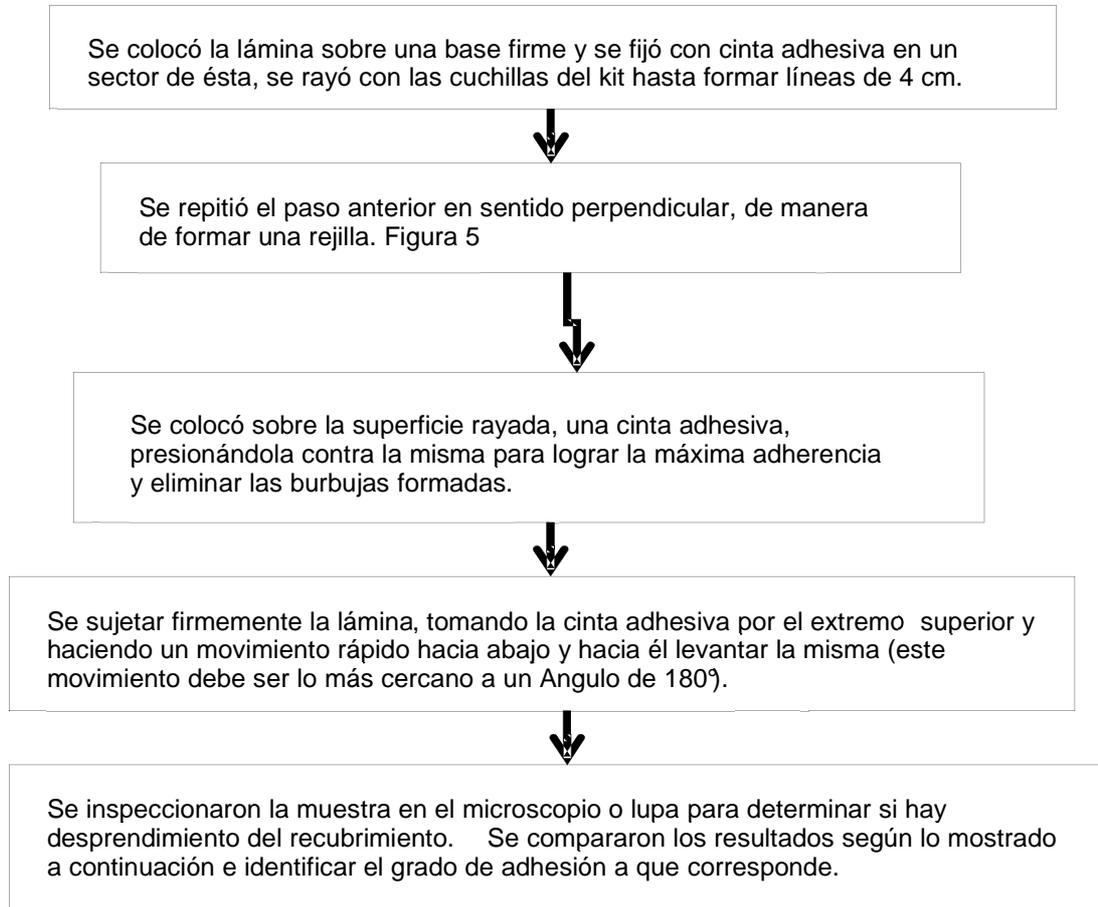
Se cortaron tres probetas triangulares de la muestra (lámina) en las zonas lateral izquierda, centro y lateral derecho de la muestra; teniendo presente que el sentido de laminación quede frente al analista. Cada probeta debe ser identificada según corresponda. (izq., cent., der.)



Verificar en el panel de control la escala en que se realiza el ensayo, según la “Norma Covenin 1589” para el caso HR 30T, base de diamante y que la punta del penetrador esférico sea de tipo de bola “1/16”. Se requiere cambiar la escala.

Esquema 3. Determinación de la dureza de la lámina.

Determinación de la adherencia de Cuadrícula.



Esquema 4. Adherencia de cuadrícula.

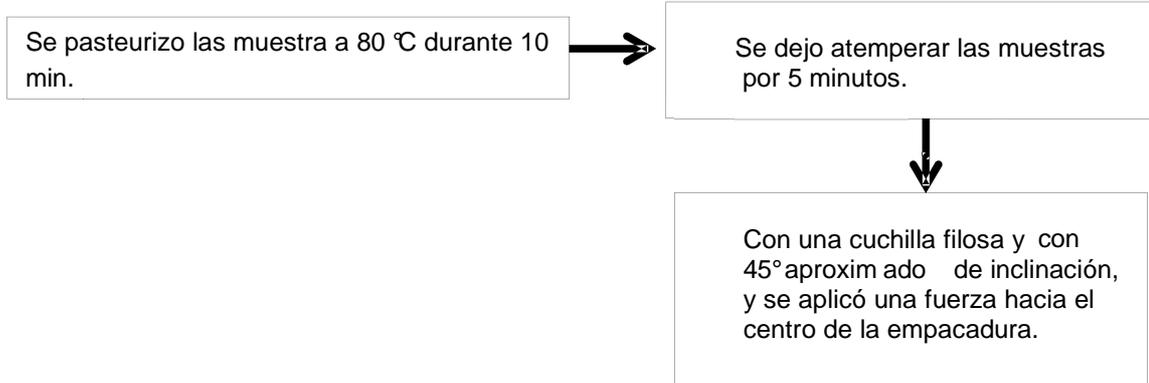


Figura 5. Rejilla.

Tabla 1. Niveles de adherencia de cuadrícula.

CLASIFICACION (grados)	FALLAS EN LA SUPERFICIE (Ejemplo para sus Cortes)	DESCRIPCION
5		100 % de Adherencia.
4		Menos de un 5 % del área es afectada observándose desprendimiento en los cortes.
3		Entre un 5 % y un 15 % del área es afectada. Se presenta desprendimiento a lo largo del corte y las intersecciones.
2		Entre un 15 % y un 35 % del área es afectada. Se ve desprendimiento entre las cuadrículas.
1		Entre un 35 % y un 65 % del área es afectada. Desprendimiento del recubrimiento en casi todas las cuadrículas.
0	Mayor de 65 %	Se desprende todo el recubrimiento fácilmente.

Determinación de la adherencia de la empackadura.



Esquema 5. Adherencia de empackadura.

Tabla 2. Clasificación del grado de adherencia de empackadura.

Tipo de adherencia	Clasificación (grados)
BUENA	3
REGULAR	2
MALA	1

Ref.: [1]



Desempeño de las distintas láminas durante el proceso de fabricación de tapas.

Para determinar el desempeño de las láminas se tomaran en cuenta una serie de parámetros que se muestran en la tabla 3, los cuales serán medidos durante todo el proceso tabla 1, tomando en cuenta que los resultados obtenidos serán evaluados al final los cuales estarán dispuestos para el laboratorio de Calidad de la planta.

Tabla 3. Parámetros estudiados y ecuaciones.

Parámetros	Calculo del Porcentaje de Rechazo (%)
Adherencia de cuadrícula del Organosol (AO) y Siza (AS)	$AO=AS= \frac{\text{Nivel Obtenido}}{\text{Maximo Nivel}} * 100 \text{ Ec:1}$
Adherencia de Empacadura Pasteurizada (AEP)	$AEP: \frac{\text{Cantidad de Tapas rechazada}}{\text{Cantidad de Muestra tomada}} * 100 \text{ Ec:2}$

Proceso de cuantificación de película de recubrimiento.

Tomar tres láminas virgen y la primera: Pasarla por la siza, la segunda por el organosol y la tercera por el barniz.

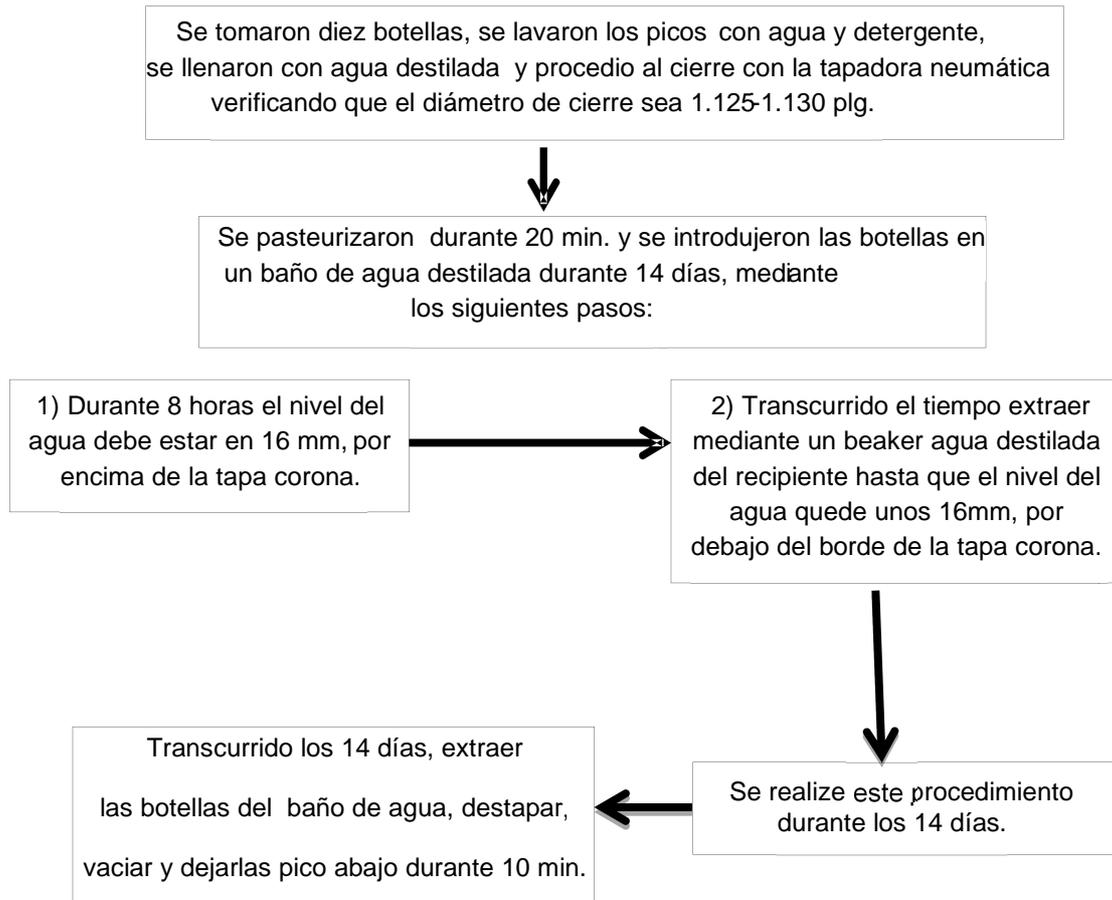


Cortar un troce con un área cuadra especifica y pesarla, después decapar utilizando como solventes: el metil butil cetona para el organosol y cellosolve para la siza y el barniz, pesar de nuevo y por diferencia calcular los gramos por metro cuadrado de recubrimiento.

Esquema 6. Cuantificación del peso de recubrimientos.

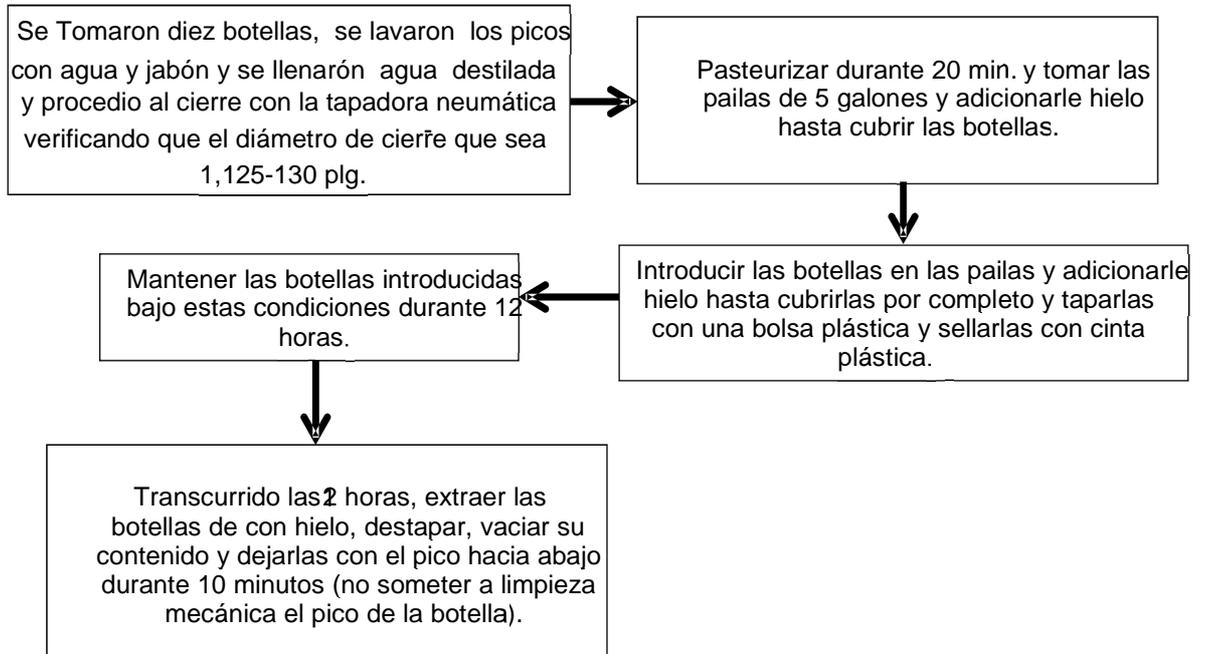
Método diseñado por la empresa para determinar los niveles de corrosión.

1- Resistencia a la corrosión.



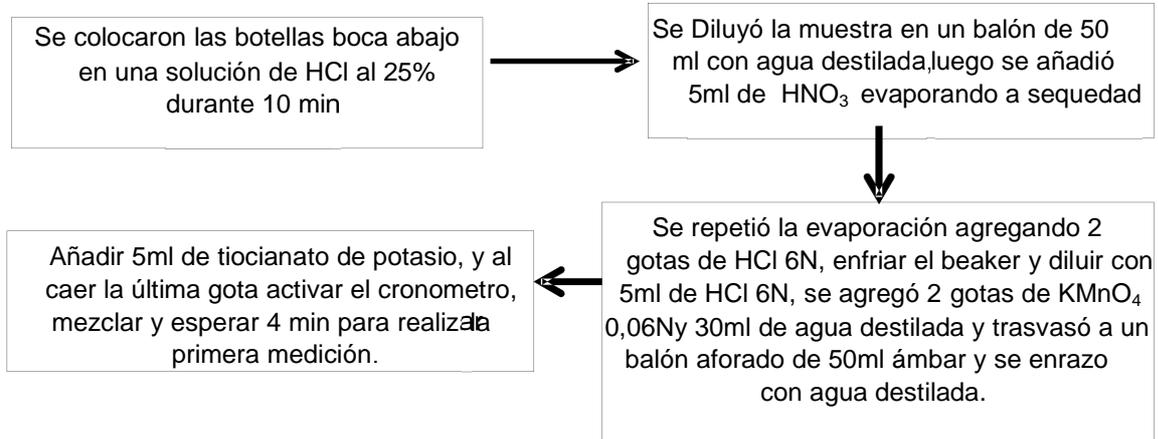
Esquema 7. Método de resistencia a la corrosión.

2- Resistencia de la corrosión en frío.



Esquema 8. Método de la Resistencia a la corrosión al frío.

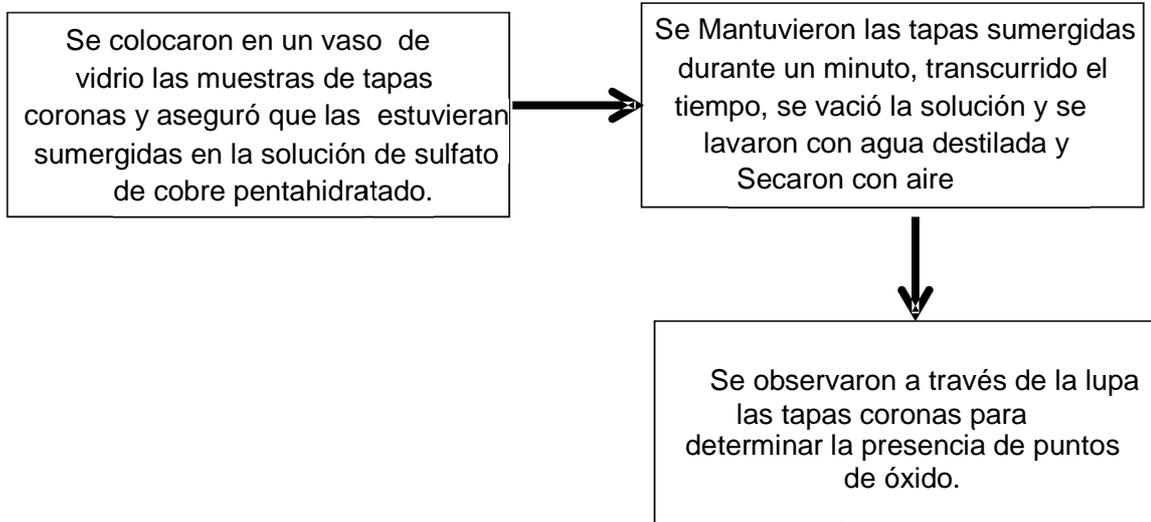
3- Determinación de Fe^{+3} formado en los picos de las botellas.



Esquema 9. Determinación del óxido formado en el pico de la botella.

Nota: Para la resistencia a la corrosión se midió la cantidad de hierro por botella mediante un Spectronic 21D.

Resistencia a la oxidación (Norma Covenin 1921).



Esquema 10. Método de la Resistencia a la oxidación.

Tabla 4. Niveles de corrosión por sulfato de cobre.

CORROSIÓN	NIVEL
NH	1
ML	2
L	3
M	4
F	5

Ref.: [1]

NH: sin óxido **ML:** muy leve **L:** leve **M:** medio **F:** fuerte

Método interno para la determinación del contenido de hierro.

Para la determinación de hierro se utilizó la técnica de espectroscopia, que se basa entre la relación de absorbancia y concentración, donde los patrones de calibración se deben aproximar tanto como sea posible a la composición final del analito. Sigue la ley de Lamber Beer, que describe que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente. [19]

Se utilizó la curva que se muestra a continuación, ya que es la certificada por la corporación de la Gerencia de Calidad de planta de Tapas, a una longitud de onda de 454nm, realizada con patrones de hierro, es utilizada de forma estándar para determinar los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella, en los métodos de corrosión, mediante la obtención de la absorbancia, la cual se extrapola y se obtiene la concentración deseada. [1]

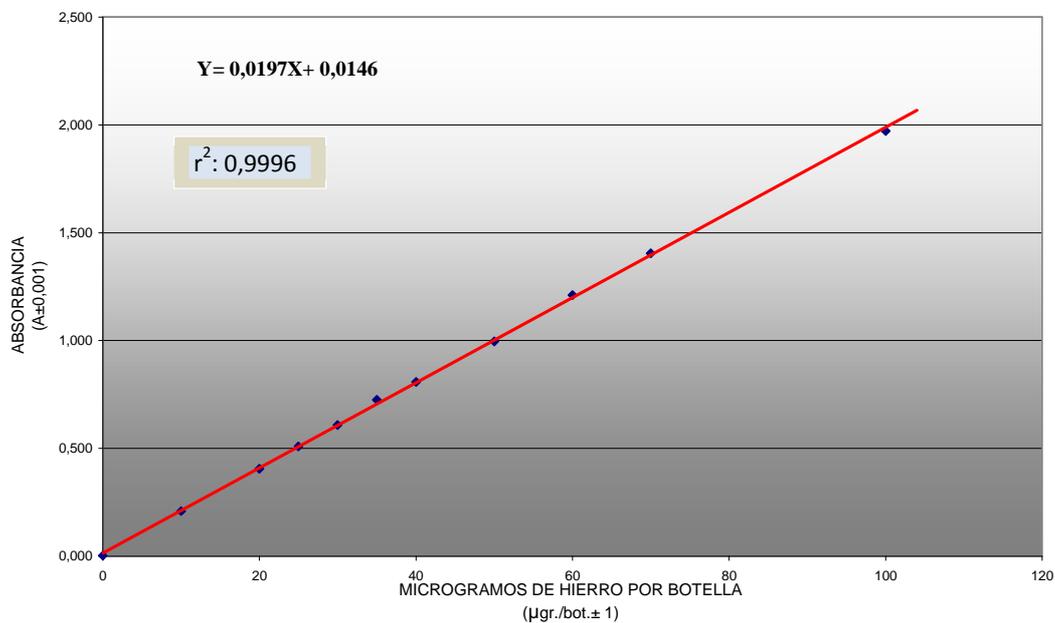


Figura 6. Curva de calibración del espectrofotómetro. Ref.: [1]



Diseño estadísticos aplicados en la determinación de niveles de corrosión.

Las variables independientes:

1- Láminas:

- E1,1S - E1,1H - Estándar.
- E2,2S - E2,2H

Donde E significa lámina estañadas, los números la capa de estaño superior e inferior respectivamente y las letras H y S empleadas para diferenciar los proveedores; la estándar es la lámina cromada utilizada como patrón.

2- Pases:

El número 1 es un solo pase y el 2 con doble pase de recubrimiento (siza y organosol).

- Pases de Recubrimientos: 1 y 2 con diferentes pesos de siza y organosol.

Las variables dependientes:

- Niveles de oxidación por método de sulfato de cobre: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Concentración de Fe^{+3} por botella, mediante espectrofotometría utilizando los procedimientos experimentales de resistencia a la corrosión y resistencia a la corrosión en frío.



Se usó el experimento Factorial, debido a que se tienen dos factores de interés como lo son las láminas y los pases de recubrimientos. Realizando dos replicas por cada experimento se investigaron las posibles combinaciones de cada nivel de los factores, utilizando la herramienta del Minitab, utilizando el diseño estadístico Full Factorial, ya que las muestras son económicas y factibles para los métodos de ensayo. [15]

El experimento Factorial es aquel donde en cada ensayo o replica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de cada factor [16]. Este concepto nos indica que vamos a combinar todos los resultados obtenidos de corrosión, pudiendo así ver el comportamiento de cada lámina con los pases y definir cuál es el mejor material a usar que no genere gran cantidad de óxido.

Se realizaron los métodos para las 20 combinaciones que proporciono el minitab como se muestra a continuación:

↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Láminas	Pases
1	18	1	1	1	E11H	2
2	17	2	1	1	E11H	1
3	12	3	1	1	E22S	2
4	3	4	1	1	E11S	1
5	6	5	1	1	E22H	2
6	8	6	1	1	E11H	2
7	15	7	1	1	E22H	1
8	19	8	1	1	Estandar	1
9	5	9	1	1	E22H	1
10	11	10	1	1	E22S	1
11	7	11	1	1	E11H	1
12	4	12	1	1	E11S	2
13	2	13	1	1	E22S	2
14	10	14	1	1	Estandar	2
15	9	15	1	1	Estandar	1
16	1	16	1	1	E22S	1
17	13	17	1	1	E11S	1
18	14	18	1	1	E11S	2
19	20	19	1	1	Estandar	2
20	16	20	1	1	E22H	2

Figura 7: Combinación generada por el minitab



Herramienta estadística del Minitab.

Minitab ofrece herramientas precisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales y muy especialmente para control de calidad.

La confiabilidad de sus algoritmos estadísticos y la sólida base de la combinación de potencia y simplicidad de manejo. [17]

Es el criterio por lo cual la empresa lo emplea como técnica de evaluación de resultados a nivel estadístico.



Pasos a seguir en el diseño estadístico:

Tutorial de carga de datos.

1- Identificación de variables.

↓	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6
	Lámina	Pase				
1	E22S	1				
2	E11S	2				
3	E22H					
4	E11H					
5	Estandar					
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Figura 8. Colocar los factores y los niveles a evaluar.

Es la primera pantalla que se abre en el programa y se colocan las variables independientes se van a evaluar, con su respectivo nombre y la cantidad que se utilizará, en dicha investigación son las láminas y pases, de cinco y dos variables cada uno respectivamente.

2- Elegir el diseño experimental estadístico a utilizar.

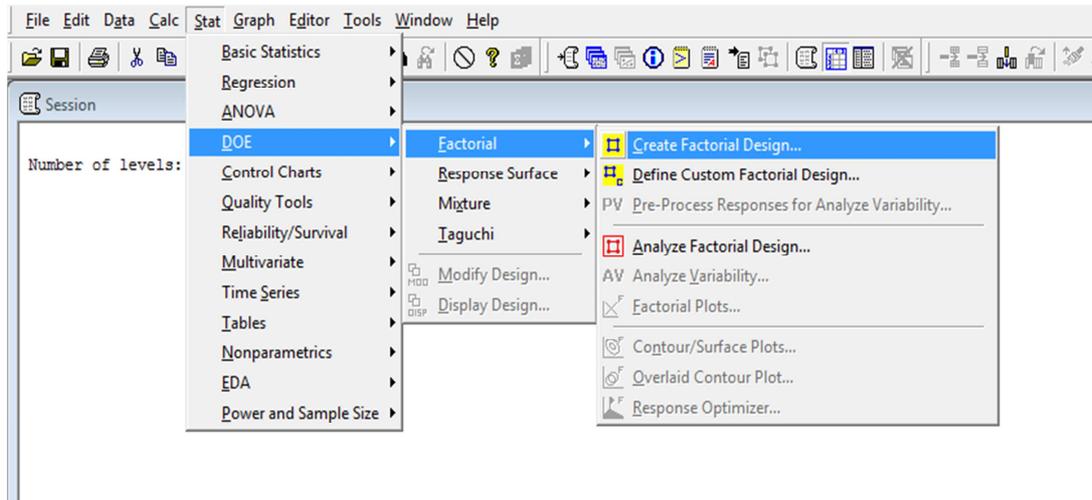


Figura 9. Elección del diseño experimental.

Este paso muestra cómo se debe elegir el diseño estadístico que se quiere estudiar, siendo en esta investigación el diseño factorial.



3- Elección del tipo de diseño experimental y cantidad de factores a estudiar.

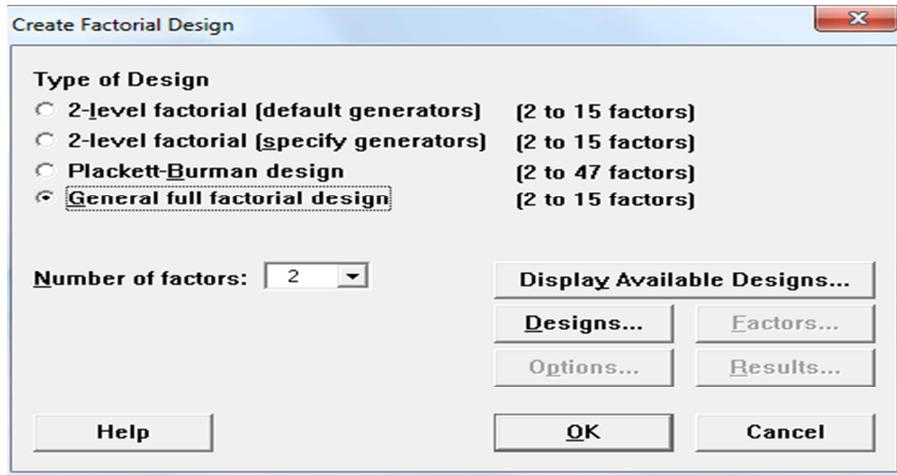


Figura 10. Tipo diseño y cantidad de factores.

Después de elegir el diseño factorial sale la pantalla la cantidad de factores que se desea estudiar (figura 10), siendo en esta investigación el diseño full factorial.



4- Se designa los niveles de las variables y la cantidad de réplicas.

Factor	Name	Number of Levels
A	Láminas	5
B	Pases	2

Number of replicates: 2

Block on replicates

Help OK Cancel

Figura 11. Niveles de los factores estudiados.

Posteriormente se colocan la cantidad de factores que tienen cada variable independiente de esta investigación, como lo son las láminas y pases.



5- Se identifican los niveles de cada factor:

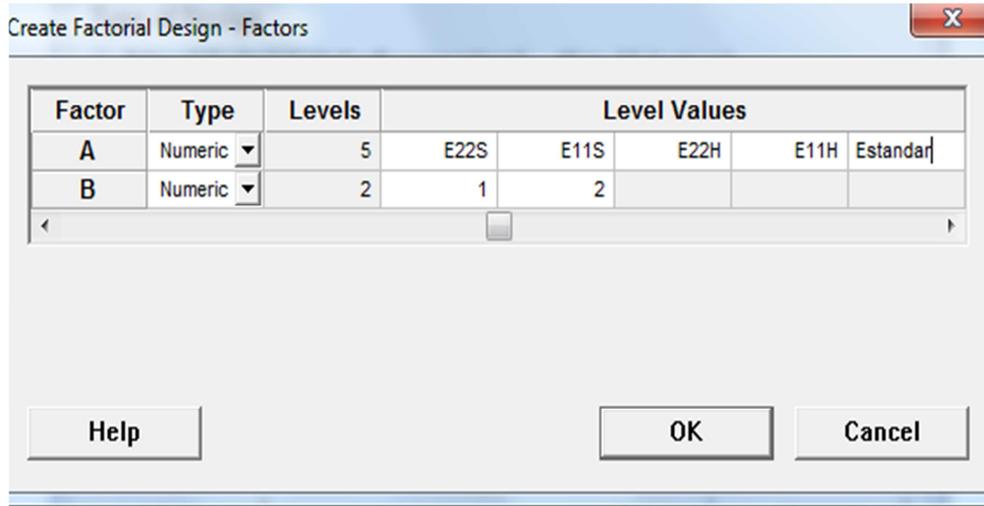


Figura 12. Identificación de los niveles.

Se identifica con un nombre cada factor estudiado proveniente de las variables independientes, como las E2,2S; E1,1H; entre otros.



6- Arreglo de los modelos estadísticos obtenido:

↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Láminas	Pases
1	18	1	1	1	E11H	2
2	17	2	1	1	E11H	1
3	12	3	1	1	E22S	2
4	3	4	1	1	E11S	1
5	6	5	1	1	E22H	2
6	8	6	1	1	E11H	2
7	15	7	1	1	E22H	1
8	19	8	1	1	Estandar	1
9	5	9	1	1	E22H	1
10	11	10	1	1	E22S	1
11	7	11	1	1	E11H	1
12	4	12	1	1	E11S	2
13	2	13	1	1	E22S	2
14	10	14	1	1	Estandar	2
15	9	15	1	1	Estandar	1
16	1	16	1	1	E22S	1
17	13	17	1	1	E11S	1
18	14	18	1	1	E11S	2
19	20	19	1	1	Estandar	2
20	16	20	1	1	E22H	2

Figura 13. Combinaciones generadas por el Minitab.

Ya elegido el diseño, los factores e identificado todas las variables se genera la matriz de combinación, como lo muestra la figura 13, siendo 20 combinaciones por las variables independientes de láminas y pases estudiadas.



7- Organización de las variables dependientes, y los resultados obtenidos de cada combinación.

↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Láminas	Pases	CuSO4	µgFe+3Corrosión	µgFe+3Frio
1	18	1	1	1	E11H	2			
2	17	2	1	1	E11H	1			
3	12	3	1	1	E22S	2			
4	3	4	1	1	E11S	1			
5	6	5	1	1	E22H	2			
6	8	6	1	1	E11H	2			
7	15	7	1	1	E22H	1			
8	19	8	1	1	Estandar	1			
9	5	9	1	1	E22H	1			
10	11	10	1	1	E22S	1			
11	7	11	1	1	E11H	1			
12	4	12	1	1	E11S	2			
13	2	13	1	1	E22S	2			
14	10	14	1	1	Estandar	2			
15	9	15	1	1	Estandar	1			
16	1	16	1	1	E22S	1			
17	13	17	1	1	E11S	1			
18	14	18	1	1	E11S	2			
19	20	19	1	1	Estandar	2			
20	16	20	1	1	E22H	2			

Figura 14: Combinación obtenida.

Obtenida la combinación se procede a asignar las columnas de las variables dependientes a estudiar, colocando en las celdas vacías el resultado obtenido por cada experimento como lo son los niveles por $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ y los μgFe^{+3} por botella en corrosión y corrosión las frío.



8- Seleccionan de las correlaciones utilizando un factor.

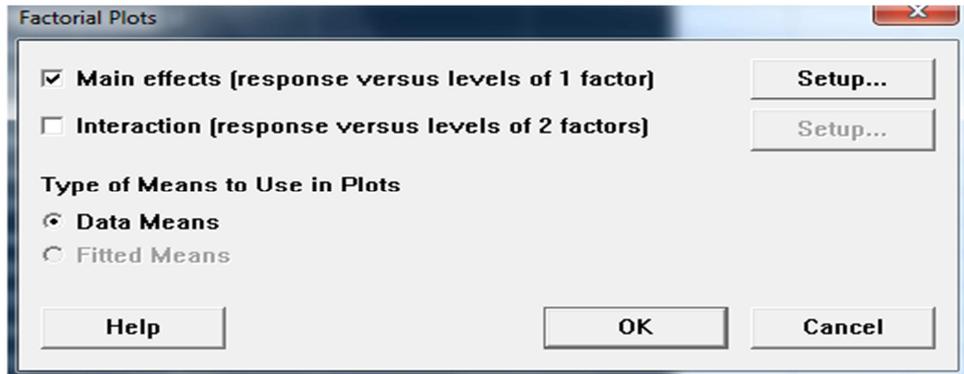


Figura 15: Selección de la correlación de los niveles de óxido respecto a cada factor independiente (Láminas y Peso).

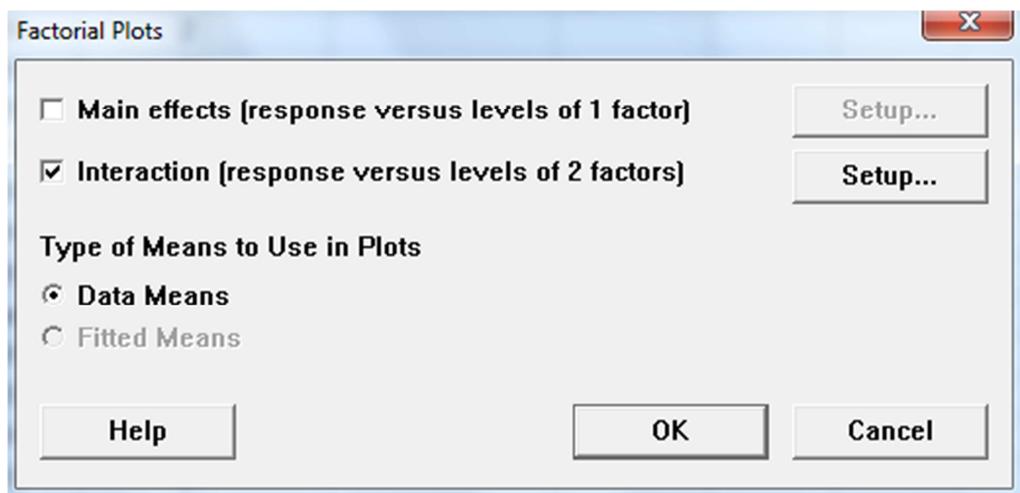


Figura 16: Selección de la correlación de los niveles de óxido respecto a los dos factores (Láminas y Peso).

Ya colocado todos las variables en estudio, tanto las dependientes como independientes, se eligen los factores que se quieren correlacionar, ya sea un solo factor o dos como muestran las figuras 15 y 16 respectivamente.

9- Se grafica dependiendo la interacción seleccionada.

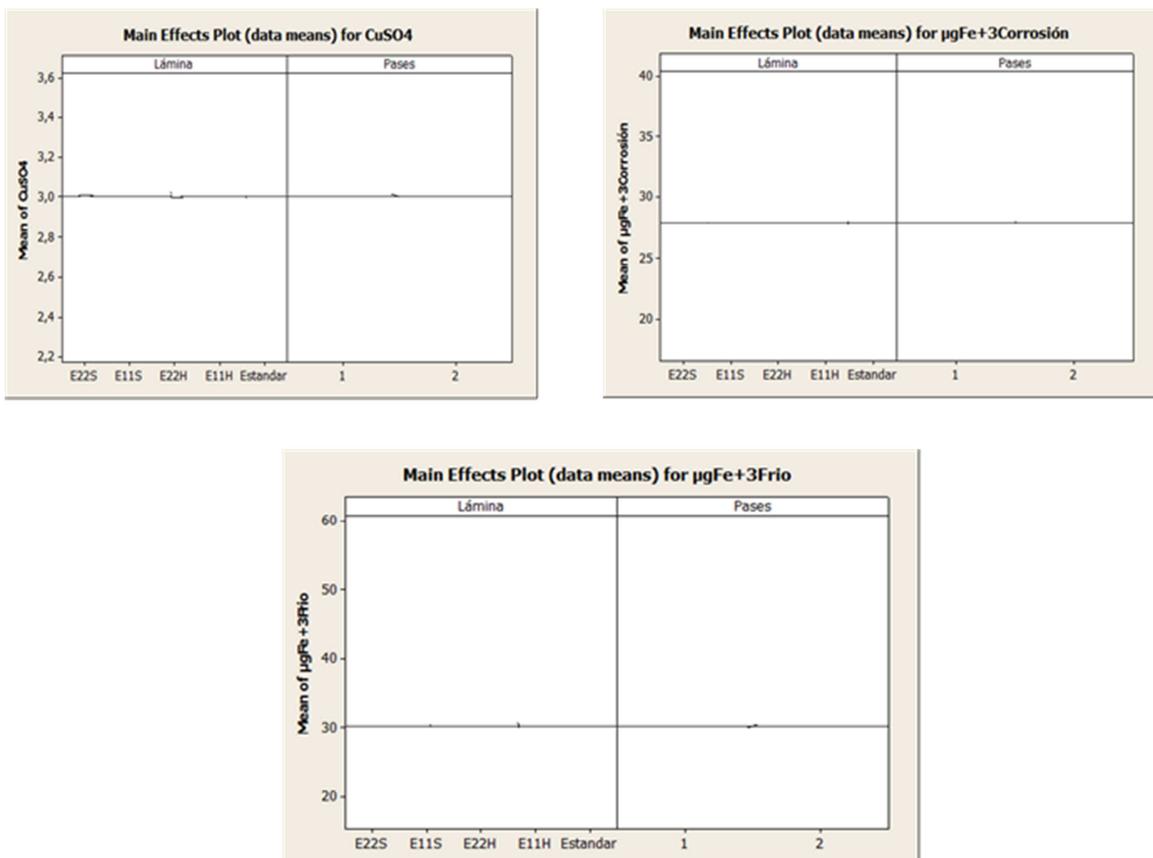


Figura 17. Correlación del efecto seleccionado para cada factor independiente.



La figura 17 muestra la gráfica donde en el eje x va el factor de la variable independiente y el eje y la variable dependiente, correlacionando un solo factor.



Materiales y reactivos.

Materiales: Los materiales que se emplearon en la presente investigación fueron las láminas cromadas y láminas estañadas de origen nacional (S) e internacional (H) las cuales proporcionó el Laboratorio de Calidad de la Empresa Cervecería Polar Planta Metalgráfica C.A.

Reactivos: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Cristal), HCl al 25% y 6N; Permanganato de potasio (KMnO_4) 0,04N; tiocianato de potasio 0,06N (KSCN) y Ácido nítrico (concentrado) (HNO_3).

Equipos:

- *Pasteurizador IM código Sap 37311:* fabricado por Planta Metalgráfica, utilizado para la pasteurización de botellas y tapas coronas.
- *Coronador Neumático IM código Sap :* fabricado por Planta Metalgráfica, se utiliza para tapar las botellas y definir el coronado.
- *Pasa no Pasa IM código Sap: 113245:* medidor de diámetro del coronado de la tapa corona.
- *Spectronic 21D Milton Roy:* para medir los la concentración de hierro.

Capitulo IV.

Análisis de resultados.

El objetivo de este trabajo de investigación fue analizar láminas estañadas, para ser utilizada como un material nuevo para la fabricación de tapas coronas; con el mismo, se busca determinar si usando estas hojalatas se reduce la formación de óxidos en los picos de las botellas, principalmente en las no retornables, presentándose este problema debido a la forma del pico y al empaquetamiento de las mismas. Así mismo, se desea contar este desarrollo, dadas las dificultades de abastecerse de suficiente material cromado.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

➤ **Dimensiones obtenidas de las láminas estañadas:**

Tabla 5. Adecuación dimensional de las láminas estañadas.

Nº Laminas	Capa de estaño	Proveedor	Temple	Promedio de espesor (E ± 0,001) mm	LARGO (L ± 0,1) mm	ANCHO (A ± 0,1) mm	Promedio de dureza (D ± 0,01) Rockwell
1	E1,1	H	4	0,222	890,0	842,6	60,31
2	E2,2	H	4	0,218	890,0	842,6	60,34
3	E1,1	S	4	0,211	892,0	842,6	62,74
4	E2,2	S	4	0,230	890,0	842,6	61,48

➤ **Cantidad de recubrimientos de Siza y Organosol:**

Tabla 6. Pesos de los recubrimientos.

Recubrimientos	Tipo de lámina	Pesos (g/m ²)	
		1 pase	2 pases
Siza	Cromada	1,000	2,000
	Estañada	1,000	2,000
Organosol	Cromada	7,812	15,624
	Estañada	7,812	15,624

➤ **Adherencia de los recubrimientos Siza, Organosol y empacadura:**

Tabla 7. Porcentaje de adherencia de los recubrimientos.

Parametro	Porcentaje de aceptación (%)
AO	100
AS	100
AEP	90

AO: adherencia de Organosol.

AS: adherencia de Siza.

AEP: adherencia de empacadura.



- Niveles de corrosión obtenidos por el método de sulfato de cobre pentahidratado:

Tabla 8. Niveles de corrosión por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Muestra	Nivel de Corrosión
E11H	2,8
E22H	2,6
Estándar	1,4
E11S	1,92
E22S	2,3
Estándar	2
E11S	1,65
E22H	1,9
E22S	1,88
E11H	1,2
Estándar	1,8
E11H	2,75
E11H	2,7
E11S	2
Estándar	2,4
E22S	1,9
E11S	2,3
E22H	1,6
E22S	1,6
E22H	1,6



➤ **Cantidad de hierro (Fe^{+3}) obtenida en los picos de las botellas por los métodos de corrosión:**

Tabla 9. Cantidad de Fe^{+3} por botella.

Pases	Muestra	Corrosión al frío $\pm (0,005)$		Corrosión $\pm (0,005)$	
		$\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$		$\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$	
1	E22H	11,8477	12,7614	151,1168	148,5787
	E11H	16,6393	17,0254	133,3502	130,5584
	E22S	12,8629	13,015	153,1472	150,6091
	E11S	14,7411	14,9949	13,6954	142,4873
	PB	11,4416	11,5431	39,9492	39,1878
2	E22H	10,1726	9,868	49,5939	47,0558
	E11H	14,9949	15,0964	74,9746	74,4670
	E22S	13,3706	13,4213	66,0914	65,3299
	E11S	14,3858	14,4873	94,0102	96,2944
	PC	5,6041	5,2995	25,4822	26,7513

El primer paso para el cumplimiento de los objetivos propuestos fue la adecuación dimensional de las láminas estañadas (E), siendo éstas las E:2,2H, E:1,1H, E:2,2S y E:1,1S, los números que lo acompañan son las capas de recubrimiento de estaño externo e interno respectivamente, las letras H y S es la procedencia y las muestras PB y PC son las estándar con uno y dos pases respectivamente. Las mediciones dimensionales (Tabla 5) muestran que los valores se encuentran en un rango de: espesores entre 0,21 y 0,23 mm; largo 890cm; ancho 842,6cm y una dureza promedio comprendida entre 60,31 y 62,64 (Rockwell); al contrastar estos resultados con los valores requeridos en la Planta Metalgráfica cuya dimensiones se encuentran en los rangos de: espesores entre 0,18 y 0,24mm, largo 888,0-890,5cm, ancho 840,0-843,0cm y una dureza que cumpla con un temple mínimo de 3 y máximo de 5. Se puede inferir que las láminas estañadas son aptas para el proceso, en vista de que las medidas en todo su conjunto se ajustan a las cromadas y a su vez con los especificados por la norma



Covenin 1589 (2003) de hoja cromada y hoja estañada electrolítica que pertenecen a un temple 4 (T4) [4].

Esta adecuación es importante, debido a que el proceso demanda dimensiones específicas para que este funcione adecuadamente, ya que si las láminas no entran dentro de las especificaciones existirán partes de las mismas sin recubrimiento, la litografía estará descentrada y los troqueles podrían atascarse, no siendo posible la fabricación de las tapas coronas.

En la tabla 6 se resume las determinaciones realizadas para los pesos de recubrimiento para las láminas cromadas y estañadas, explicado en la metodología a través del esquema 6; cabe destacar que el proceso actual de la elaboración de las tapas cromadas solo se hace un pase de recubrimiento, sin embargo, en este trabajo a las láminas se le hicieron dos pases de revestimiento a efectos de evaluar el comportamiento del proceso del mismo sobre las láminas; los resultados evidencian que para ambos en el primer pase se tuvo exactamente el mismo peso, de la misma manera el segundo revestimiento, siendo exactamente los duplicados del primer revestimiento, lo cual este resultado denota que el proceso de aplicación de recubrimiento en primera instancia no se observaron problemas con las láminas estañadas, el proceso se podría decir que es homogéneo, es decir, no solo en cuanto a los valores, sino, al comportamiento físico dado que, no se observaron alteraciones en las capas, irregularidades en la superficie ni cambios visibles de morfología.

Es importante resaltar que el segundo pase se aplica para tener una mayor protección en las láminas, ya que se ha demostrado que mientras mayor peso o más pase de recubrimiento se obtiene menor nivel de óxido en



las tapas y picos de las botellas, se hace por la razón, de que son los productos (Siza y Organosol) que se utilizan en la planta para recubrir la lámina y así lograr un buen anclaje de las tintas para la litografía y del PVC, además, que la lámina sea más resistente a la corrosión.

Una vez evaluado los resultados de los revestimientos, la prueba inmediatas fue la de adherencia de cuadrícula, cuyo procedimiento se resume en el esquema 4, para analizar la compatibilidad de las láminas con los recubrimientos, ya que por tratarse de un nuevo material (hojalatas) con un acabado diferente, podría verse afectado el anclaje de los mismos. En la tabla 7 se observan los porcentajes de aceptación calculados de acuerdo a la ecuación (1) para ambos tipos de recubrimientos utilizados, los resultados obtenidos comprueba que el acabado de los tipos de láminas usadas no afecta la compatibilidad con respecto a los recubrimientos.

Se tomaron las muestras y se realizó la adherencia de empaadura, los resultados se muestran en la tabla 7, calculado utilizando la ecuación (2), lo que demuestra que se obtuvo un buen comportamiento utilizando este nuevo material (láminas estañadas); como el porcentaje es mayor al 75%, la adherencia es buena. [1]

Dando cumplimiento al objetivo de la determinación de los niveles de óxido se realizan los ensayos de laboratorio descritos en la metodología en los esquemas 7, 8, 9 y 10, siendo estos los de: resistencia a la corrosión, resistencia a la corrosión en frío, determinación de óxido formado en los picos de las botellas y resistencia a la oxidación respectivamente.

Los resultados para la determinación de corrosión correspondiente a los ensayos de resistencia a la oxidación con $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en medio ácido, según la reacción:



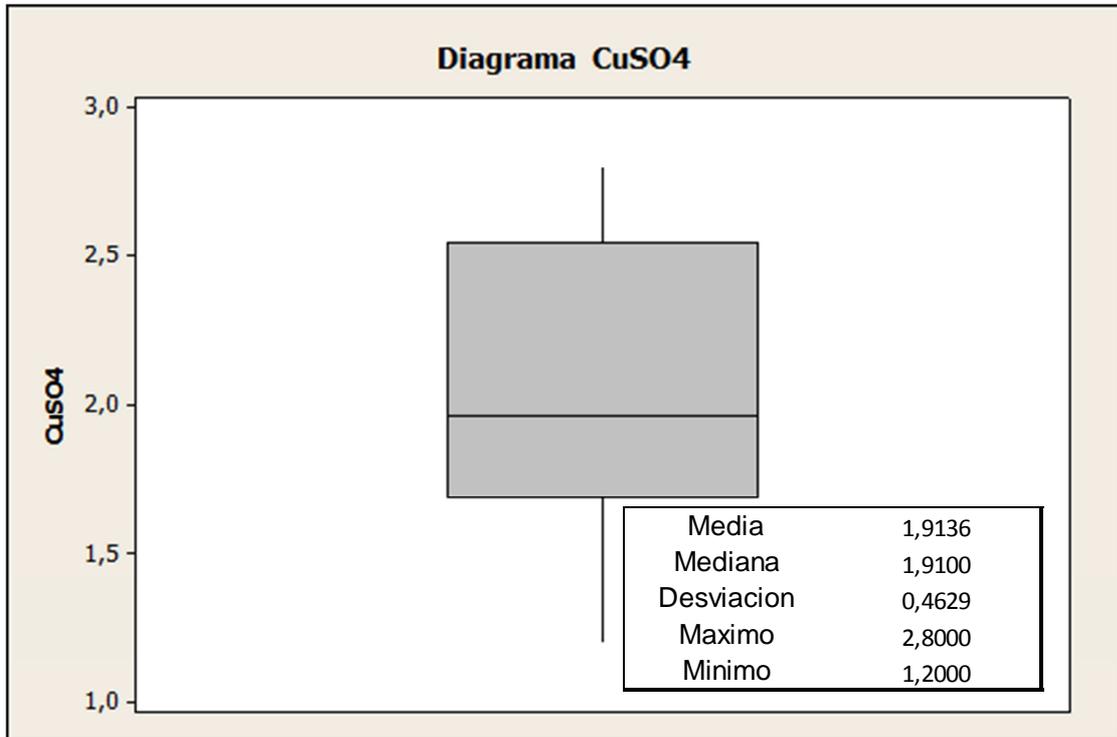
para el cromo y el estaño respectivamente, se resumen en la tabla 8, reportados tomando como referencia la tabla 2, dependiendo el óxido observado a través de la lupa del laboratorio, tomando un promedio de todas las áreas de las tapas, que son la superior, inferior, entre picos, centro de corte e internamente como lo muestra la figura 19.



Figura 18: Áreas de la tapa corona.

Se realizó un diagrama donde muestra el rango donde se encuentran los niveles de óxido, utilizando el diseño de experimento descrito en la

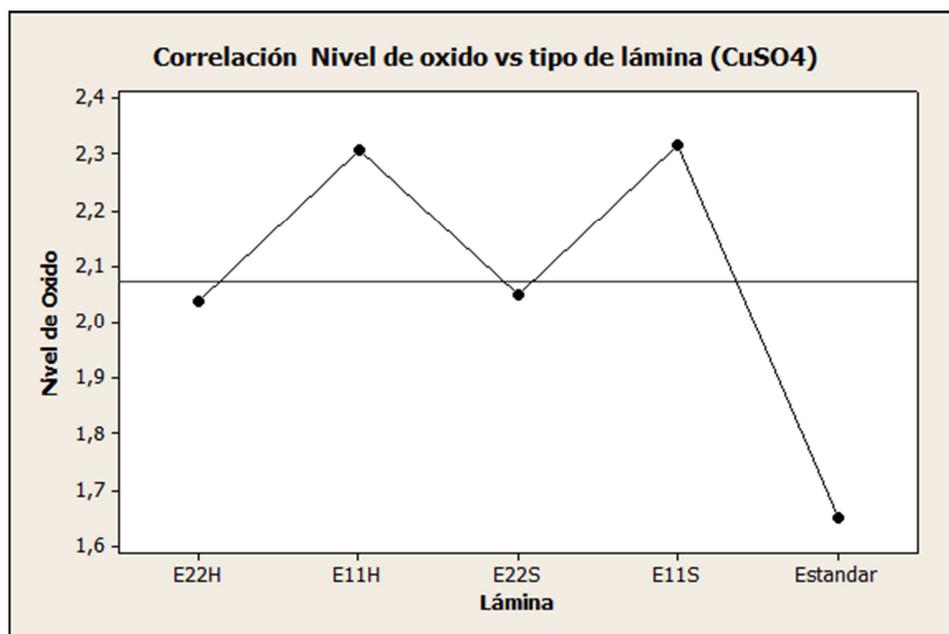
metodología, siendo el máximo 2,8 y el mínimo 1,2 como muestra el gráfico 1, donde en su diagrama de caja incluye todos los resultados obtenidos:



Grafica 1. Diagrama de los niveles de óxido por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

El convenio entre los proveedor y la empresa establecen que el nivel máximo de óxido debe ser 2,5; siendo así, la mayoría de las muestras se encuentran dentro del rango especificado como muestra el diagrama de la Gráfica 1, estando fuera de especificación las tapas fabricadas con las láminas E1,1H; de ambas muestras con uno o dos pases de recubrimientos, los resultados se muestran en la tabla 9, indicando que esta lámina es la que más presenta oxido y es la menos recomendable de usar por no cumplir con las especificaciones.

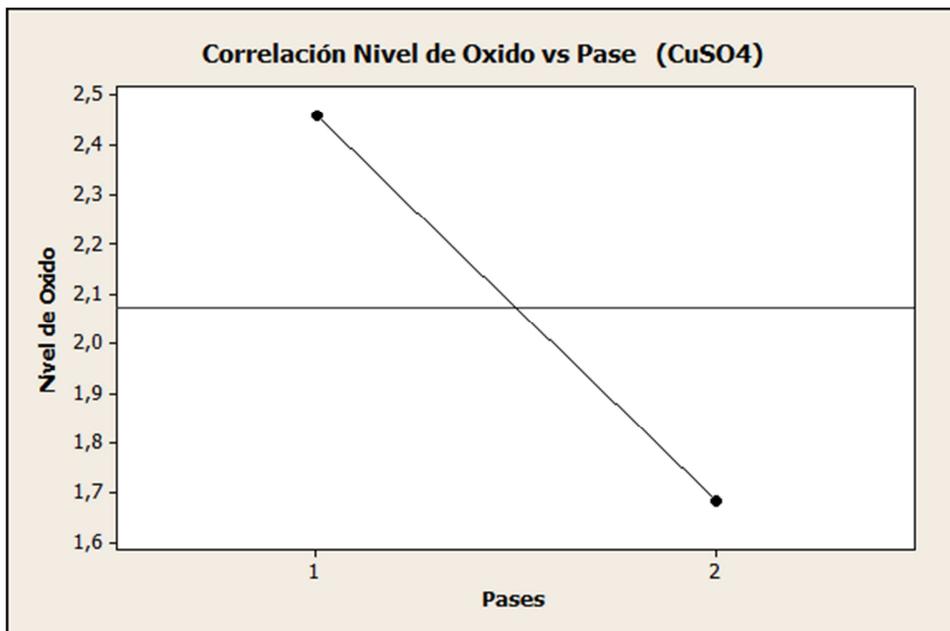
Luego de analizar estos resultados, se procedió a correlacionar el nivel de óxido obtenido por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ con los tipos de láminas y los pases realizados con los recubrimientos, como se muestran en las gráficas a continuación:



Grafica 2. Correlación de tipo de lámina vs nivel de óxido.

La gráfica 2 correlaciona un solo parámetro: la variable independiente que es el tipo de lámina versus la independiente que son los niveles de óxido obtenidos por el método de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, la estándar tiene un mejor comportamiento ya que tiene el menor nivel de óxido y con gran diferencia con respecto a las estañadas; pero entre las láminas estañadas mientras mayor sea la capa de estaño depositada electrolíticamente sobre el acero se observa menor nivel de óxido, siendo así una gran variable que podemos utilizar para dar respuesta a este nuevo material, además nos

demuestra que es indiferente la procedencia ya que las láminas E1,1 y E2,2 reflejan un comportamiento similar. Cabe destacar que los resultados obtenidos por el método con sulfato de cobre es adimensional y resulta del criterio que tenga cada analista, ya que el óxido se observa y se le asigna un número dependiendo de la cantidad, siendo así, el error de vista de cada observador.



Gráfica 3. Correlación del nivel de óxido vs los pases de recubrimiento.

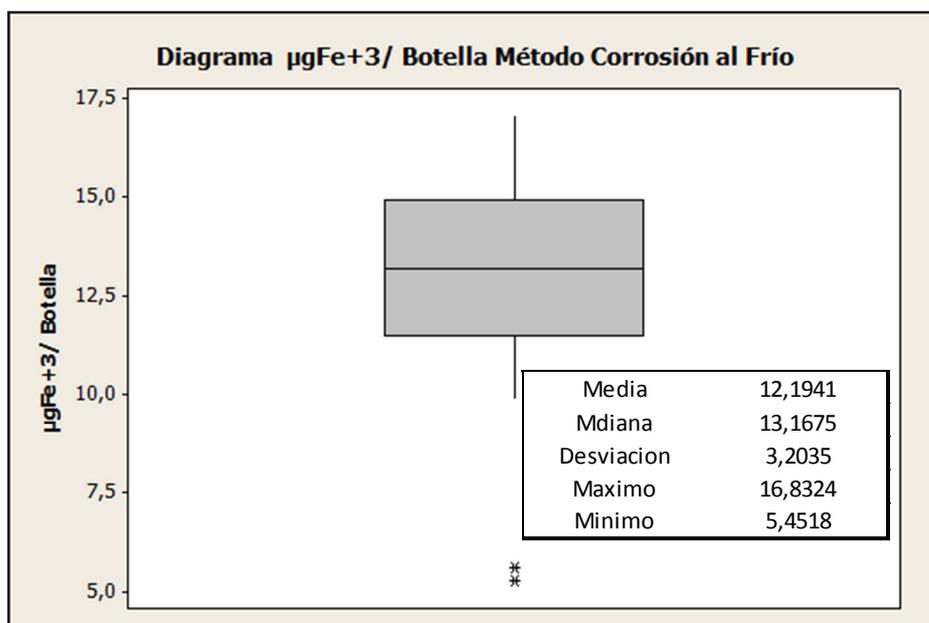
La gráfica 3 correlaciona un solo parámetro dependiente los niveles de óxido obtenidos por el método de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ versus el de la variable independiente pase; se encuentra que mientras mayor cantidad tenga aplicada mejor será el desempeño de las láminas, como se evidencia que los niveles de óxido disminuyen a medida que estén más protegidas con Siza y Organosol, de igual forma que en la correlación que se evidencia en la



gráfica 2 los niveles de óxidos son números adimensionales con el error de cada observador.

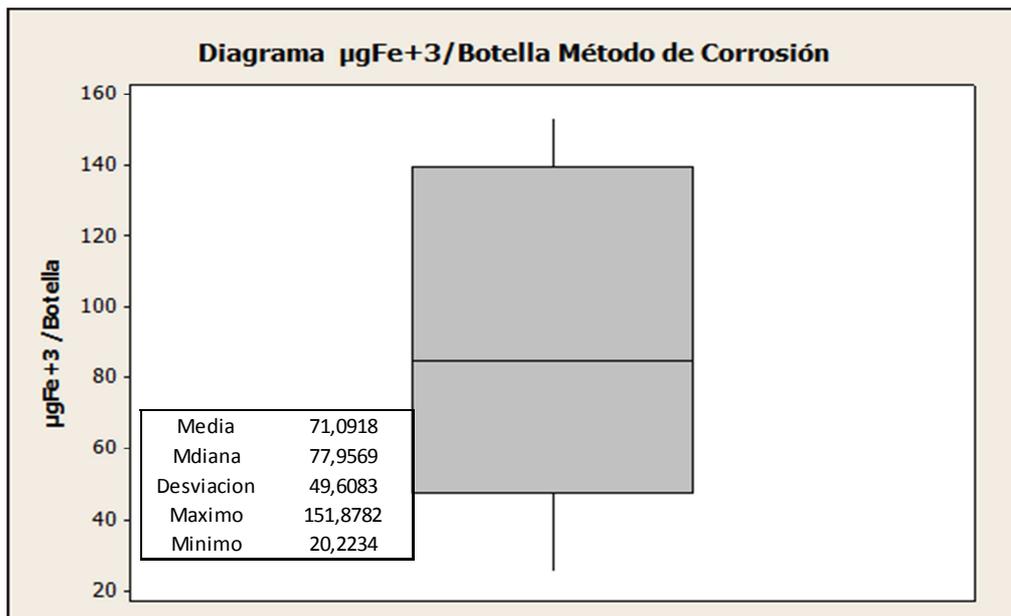
El criterio para determinar los niveles de óxido, es determinando la cantidad de hierro en el pico de las botellas aplicando la metodología descritas en los esquemas 7,8 y 9, los resultados se muestran en la tabla 9; realizando de igual manera un diagrama de cajas de los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella determinados como se muestran a en los gráficos 4 y 5, que se basa en cuartiles en los cuales se encuentran un conjunto de datos bajo una desviación entre mínimos y máximos.

Es necesario o pertinente establecer que de acuerdo a los criterios de la Gerencia de Calidad de la Planta, la cantidad de hierro en el pico de la botella debe ser inferior (o menor) a $90 \mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella, los resultados se muestran en la tabla 9.



Grafica 4. Diagrama de cantidad de hierro Fe^{+3} por botella por el método de corrosión al frío.

Mediante el método de corrosión al frío todas las tapas fabricadas con las láminas estañadas están dentro de los niveles aceptados, porque la cantidad de hierro determinada por botella es menor a la máxima establecida como se observa en el diagrama de caja de la gráfica 4 que no excede de 18 $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella, tomando el conjunto de datos con uno y dos pases, en donde se obtuvieron dos valores muy mínimos como fueron 5,604 y 5,995 $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella que se salen del rango de los valores cercanos siendo los del patrón con dos pases, como muestra el grafico con dos asteriscos (*), indicando que son los picos de las botellas que menos presentaron óxido. Se obtuvo una desviación entandar de 2, despreciando los valores mínimos por estar muy lejos de la secuencia obtenida, donde los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella más altos lo presentaron las tapas elaboradas con láminas estañadas E1,1 y con un solo pase de recubrimiento.



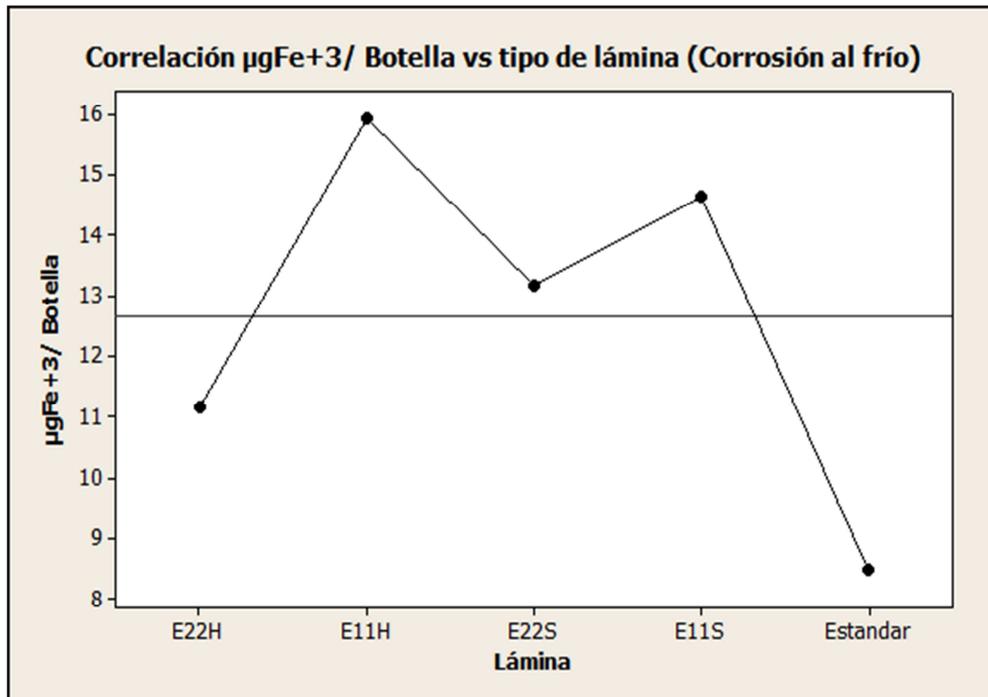
Grafica 5. Diagrama de cantidad de hierro por el método de corrosión.



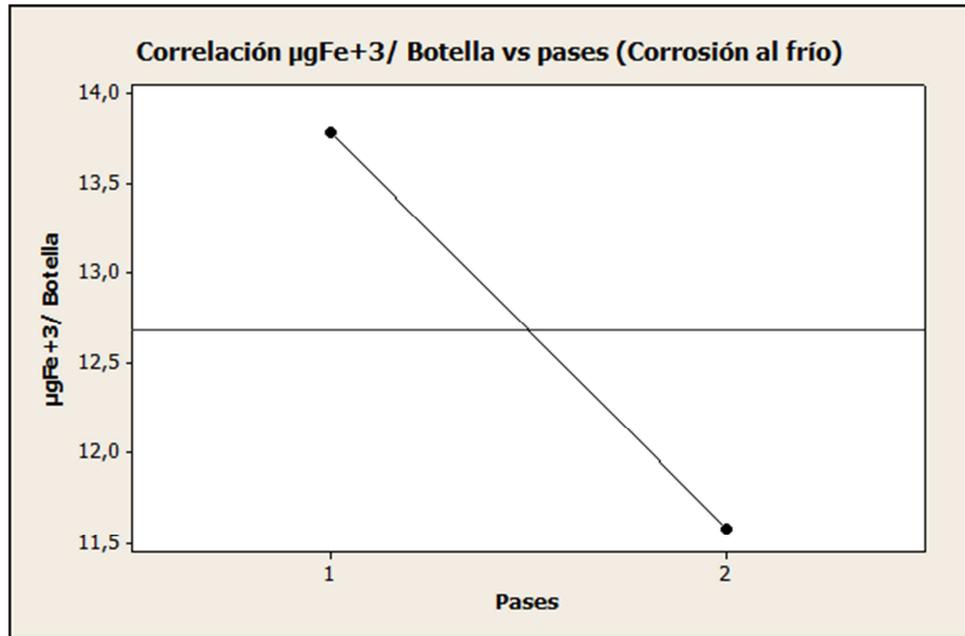
El gráfico 5 muestra $\mu\text{g Fe}^{+3}/\text{botella}$ obtenidos por el método de corrosión con uno y dos pases, donde con un solo pase de recubrimiento las láminas estañadas E1,1 y E2,2 no cumplen porque se exceden de la cantidad de Fe permitida en los picos de las botellas, estando fuera de especificación al igual que las E1,1 con dos pases, mientras que recubriendo las láminas estañadas E2,2 con dos pases con el peso reportado en la Tabla 7, los resultados obtenidos cumplen con el criterio de calidad, como lo muestra el diagrama de caja de la gráfica 8, resultando que las láminas estándar (cromadas) en ambas muestras cumplen con los requerimientos, por lo cual es más satisfactorio utilizar láminas cromadas, obteniendo una desviación de 45 implicando una diferencia significativa entre los resultados de uno y dos pases de recubrimiento.

En los diagramas de caja presentados (gráficos 1, 4 y 5) se observa que los valores de desviación varían en un rango de 0,5 a 50, siendo la desviación correspondiente al método de oxidación (gráfico 1) la que relativamente presenta menos incertidumbre situación que podría estar asociada al hecho de que la metodología implica una respuesta inmediata en el factor evaluado sumado a su vez a las proximidades entre los valores de la escala empleada. Por otro lado los valores de desviación determinados por los métodos de corrosión (gráfico 4 y 5) se encuentran fuera de cifras predecibles lo cual hace suponer que es una consecuencia de la diversidad de factores implícitos. Sin embargo, debe tenerse en consideración que ambos métodos de corrosión, deben ser considerados más tangibles por ser producto de mediciones de propiedades físicas y químicas, y en todos los casos están basados en criterios de evaluación del comportamiento individual de cada lámina.

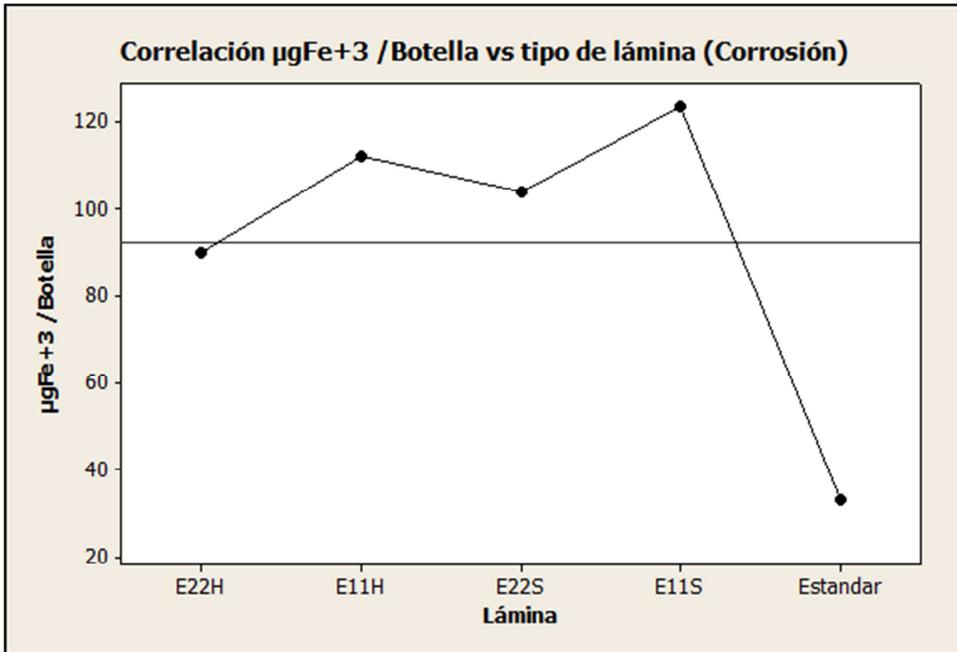
Luego de obtener estos diagramas, se realizó la correlación de los resultados obtenidos por los métodos de corrosión con respecto a los parámetros estudiados (tipos de láminas y pases de recubrimiento), y las gráficas obtenidas se muestran a continuación:



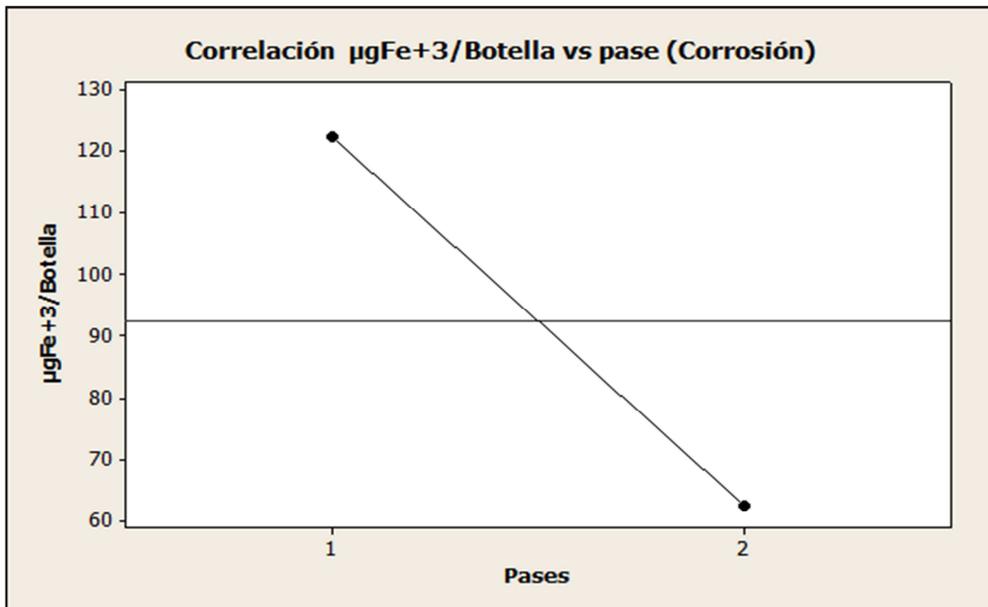
Grafica 6. Correlación de $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella vs tipo de lámina.



Grafica 7. Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella vs pases.



Grafica 8: Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella vs pases.



Grafica 9. Correlación $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella vs pases.

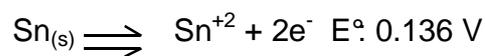


Las Gráficas 6, 7, 8 y 9 muestran el comportamiento de las láminas y pases, los parámetros estudiados para garantizar si es factible utilizar láminas estañadas para fabricar tapas coronas, mientras mayor sea la capa de Sn depositado en las láminas, hay menor cantidad de hierro del mismo modo que recubriendo el material con más pases.

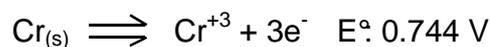
Todos los resultados de las láminas estañadas difieren de significativamente con las lámina cromadas (estándar), ya que hay un 15 % mínimo de diferencia entre los niveles de óxido obtenidos en los patrones con respecto a las estañada, y que en todos los casos se observa más cantidad de óxidos en las tapas coronas fabricadas con Sn, esto es debido a que, el pasivador utilizado para ambas láminas después del depósito electroquímico de metal es oxido de cromo Cr_2O_3 , el cual se ancla con mayor fuerza y rigidez a las láminas cromadas ya que son metales afines debido a que en las láminas cromadas el pasivador es del mismo metal base (Cr), siendo así más resistente a la corrosión.

Planteamiento que se puede extrapolar al analizar los potenciales de oxidación en condiciones estándar:

Para el estaño (Sn)



Y para el cromo:



Potencialmente el que debería oxidarse con más rapidez seria el cromo, pero esta variable es atenuada, debido a que la lámina cromada es afín con el pasivador por ser del mismo metal Cr que la hace mucho más



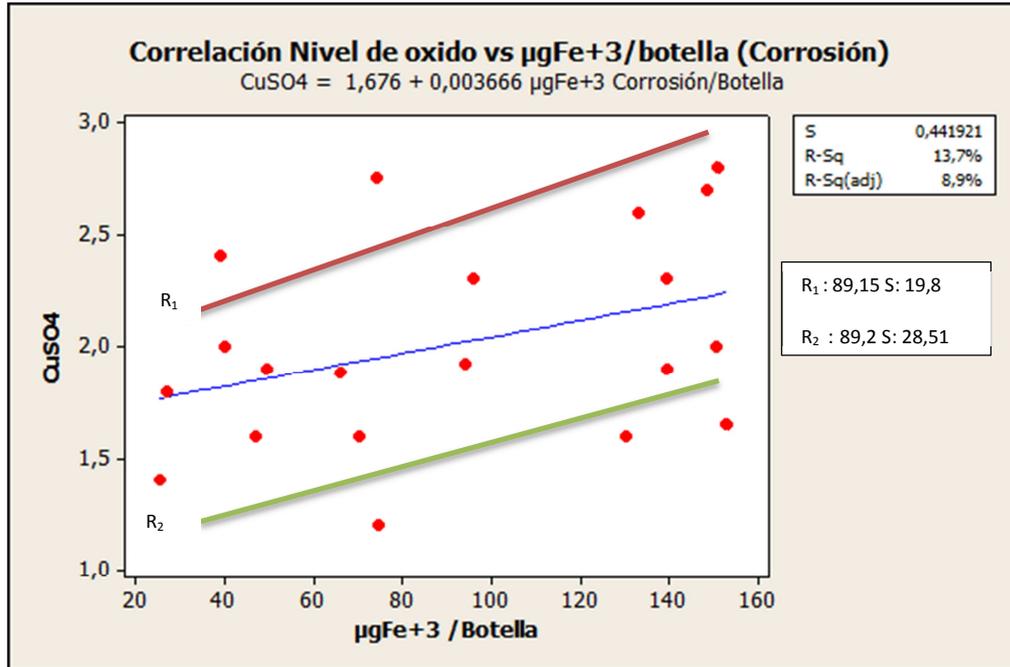
dura y compacta, lo que genera mayor resistencia a la oxidación, pero presentando desventaja respecto a las láminas estañadas debido a que la maleabilidad del estaño resulta más fácil moldear, favoreciendo el área de los módulos, dando una larga vida útil a sus máquinas, ya que los cortadores se desgastan con rapidez por la fuerza aplicada para troquelar la lámina cromada, siendo una ventaja que no se estudió en esta investigación. [1]

Se correlacionaron el nivel de óxido obtenido por el método de resistencia a la oxidación con los de resistencia a la corrosión, donde se calcularon los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella obtenidos mediante las siguientes reacciones:

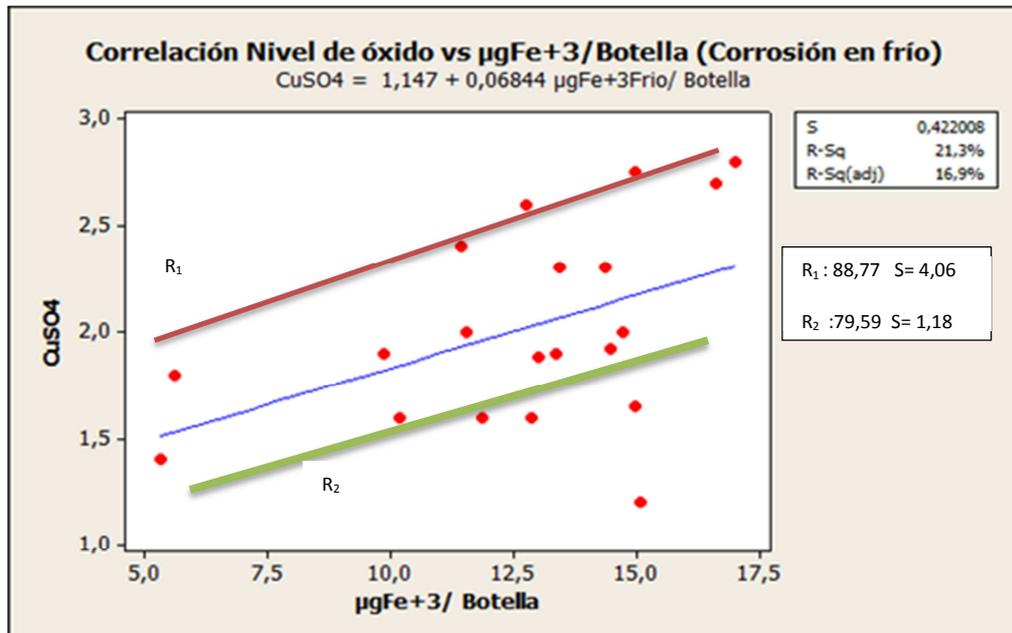
Para la formación del complejo en medio ácido pH ácido en un rango de 4 a 5:



Los resultados se muestran en las Tablas 9 y 10 para el método de resistencia a la oxidación y resistencia a la corrosión respectivamente y se realizaron las siguientes gráficas:



Grafica 11. Correlación de los niveles de óxido obtenidos por el método de resistencia a la oxidación vs resistencia a la corrosión.



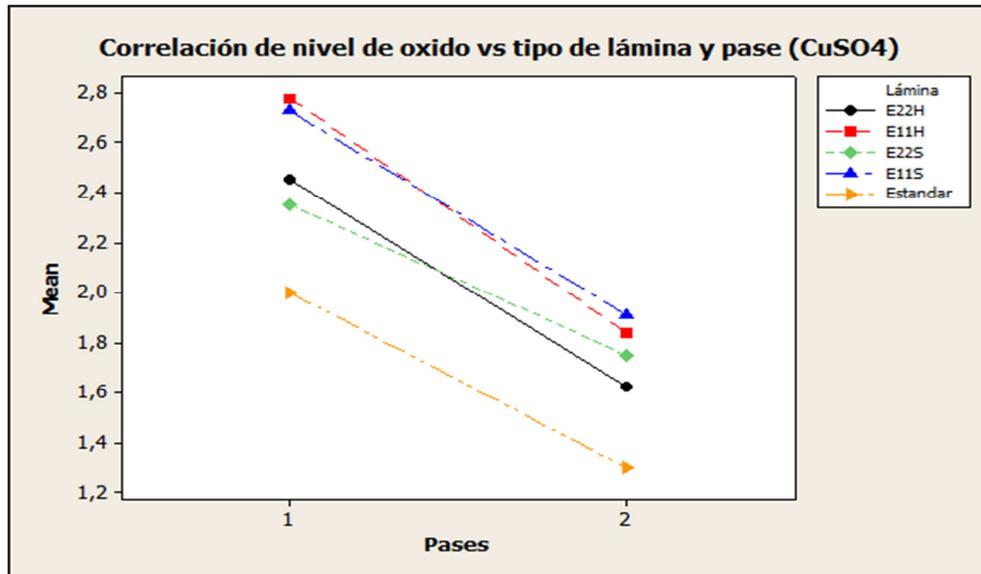
Grafica 10. Correlación de los niveles de óxido obtenidos por el método de resistencia a la oxidación vs resistencia a la corrosión en frío.



Como se puede observar en las Gráficas 10 y 11 de la correlación de los niveles de óxido por $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ con respecto a los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella mediante los métodos de corrosión y corrosión al frío respectivamente, el coeficiente de correlación R^2 debe estar entre el intervalo de 0 y 1, y los obtenidos fueron 0.137 y 0.213 para cada método en la línea central, calculados a partir del diseño estadístico descrito en la metodología, esto transformándose en porcentaje es 13,7 y 21,3 % de variabilidad en los datos, lo que demuestra que hay mucha fluctuación, indicativo que no se miden los mismo parámetros, son métodos que arrojan resultados distintos, donde se debe evaluar por diferentes criterios de aceptación, de igual manera las curvas R_1 y R_2 correspondientes a los gráficos 9 y 10 de los métodos de corrosión que tienen un coeficiente de correlación relativamente altos, indicando que, los valores oscilan en gran magnitud, buscando la mejor recta, siendo así ambos métodos difieren significativamente entre ellos, lo cual se puede interpretar que no hay ninguna posible correlación entre ambos métodos (resistencia a la oxidación y corrosión). Trabajando bajo el criterio de que bajos niveles de óxido, bajo $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella, con un intervalo de confianza del 95% ya que es aceptable para trabajar bajo el criterio de dos métodos con diferentes resultados y bajo una misma tendencia con respecto a los niveles de óxidos y las láminas utilizadas. [5]

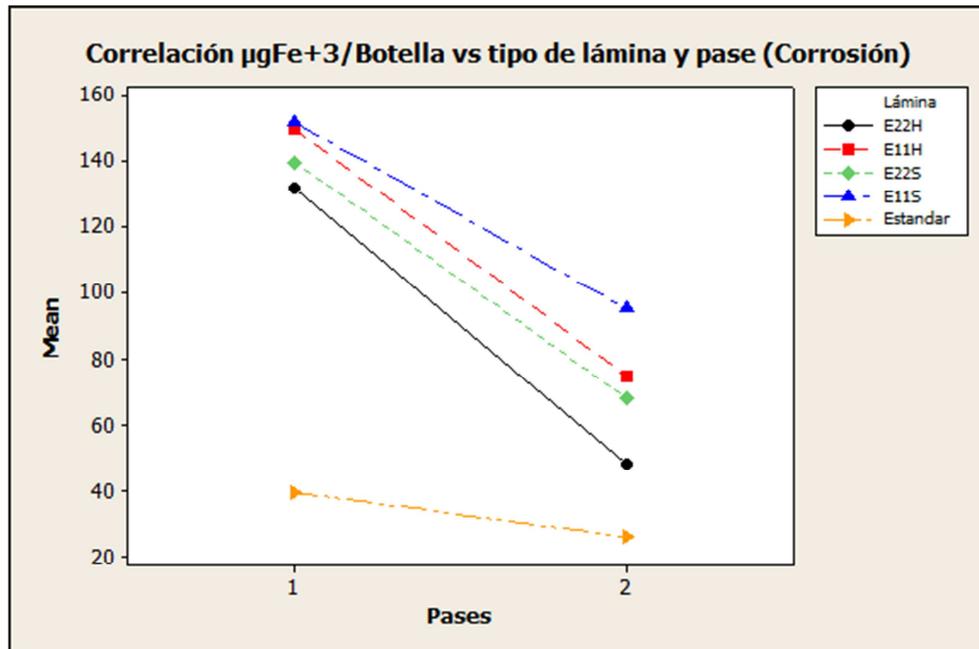
No obstante el método de corrosión para determinar los niveles de óxido es el que más se adaptable a la realidad, ya que pasa por diferentes condiciones, como cambios de temperatura, manipulación, factores aleatorios (adherencia de líquidos, contaminación, entre otros) que podrían afectar el material con el cual se fabrican las tapas los cuales ayudan a generar el óxido que se adhiere al pico de las botellas.

Explorando sobre el comportamiento de los datos, se correlacionó los niveles de óxido versus el conjunto de las variables independientes, como se muestran en las siguientes graficas:



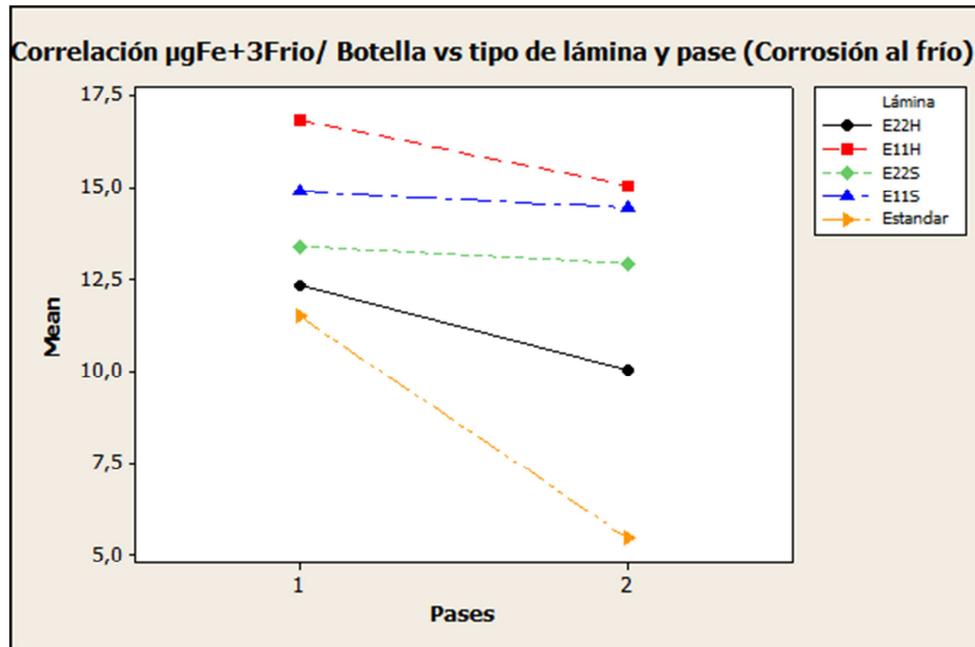
Grafica 12. Correlación entre el nivel vs tipo de lámina y pase por método de sulfato de cobre.

Como se observa en la gráfica 12, la correlación de los niveles de óxido obtenidos por el método de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ versus dos parámetros independientes: los tipos de láminas y pases, se observa que todos tienen una pendiente negativa, lo que explica que a mayor cantidad de capa de estaño y recubrimientos de Siza y Organosol en las láminas menor nivel de óxido se tiene; también que los comportamientos entre las láminas estañadas similares E1,1 y E2,2 de los distintos proveedores tienen un comportamiento similar, lo que afirma que es independiente el proveedor que se utilice, además que las láminas estándar presentan el mejor comportamiento.



Grafica 13. Correlación entre el nivel de óxido vs tipo de lámina y pase por el método de corrosión.

La grafica 13 muestran la correlación entre los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella obtenidos por el método de corrosión versus los dos factores independientes: tipo de láminas y pases, dando como resultado pendientes negativas, pero la estándar tiene una pendiente que tiende a cero, indicando con esto que utilizando uno o dos pases se van a obtener cantidades de hierro similares, siendo así independiente la cantidad de recubrimiento que se utilice, mientras que en las láminas estañadas mientras mayor sea la cantidad de recubrimiento comerciales y capa de estaño menor cantidad de hierro se tiene.



Grafica 14. Correlación entre el nivel de óxido vs el tipo de lámina y pase por el método de corrosión al frío.

Los resultados que se observan en la gráfica 14 de la correlación de los $\mu\text{g Fe}^{+3}$ /botella versus los dos parámetros independientes: tipo de lámina y pases, se observa que tienen pendiente negativa al igual que las gráficas 12 y 13 con correlación similar, y que mientras mayor cantidad de recubrimiento comerciales se tenga menor niveles de hierro se obtendrán, y la estándar siempre tiene el mejor comportamiento, resaltando en este método que las botellas fueron sumergidas en hielo al azar, manteniéndose bajo agua por más tiempo las que se encontraban en el fondo de la paila, por lo cual se observa el cambio tan brusco de la pendiente en la estándar, porque las botellas que estaban coronadas con tapas fabricadas con láminas estándar y un solo pase se encontraban en el fondo manteniéndose por más tiempo en contacto con el agua generando que se oxidara con más rapidez.



Como muestran las Gráficas 12, 13 y 14 en la correlación de las variables se refleja un comportamiento análogo en cuanto al tipo de lámina y los pases, observando con ello que la cromada siempre tienen mejor nivel de óxidos, y mientras más protegidas están mejor comportamiento tienen, por las características explicadas anteriormente; esta investigación ratifica que es más recomendable seguir usando las láminas cromadas si se trata de obtener menores niveles de oxidación, ya que si se utilizan las hojalatas, en vez de reducirlos se va a aumentar con respecto a un solo pase de recubrimiento.

CAPITULO V.

Conclusiones.

Del estudio realizado sobre las láminas estañadas, para la determinación de los niveles de óxido que presentan mediante estudios de laboratorio se concluyó lo siguiente:

- 1- Las dimensiones determinadas en las láminas estañadas tanto de los proveedores internos (S) y externos (H) se encuentran dentro de los rangos establecidos en las normas Covenin y las exigidas por la Planta Metalgráfica, pudiendo ser utilizadas en el proceso de fabricación de tapas coronas sin necesidad de hacer ninguna adaptación especial a los equipos empleados en el proceso.
- 2- Los porcentajes de adherencia de los recubrimientos y empacadura, demuestran que las láminas estañadas fueron compatibles con los revestimientos utilizados actualmente en el proceso y se anclaron satisfactoriamente en las láminas.
- 3- Las láminas estañadas que tenían mayor peso de recubrimiento presentaron menor nivel de óxido, lo que implica que para poder

fabricar tapas coronas con este material se deben realizar dos pases de revestimiento y así cumplir con lo establecido con la Planta.

- 4- Las láminas cromadas presentaron un mejor comportamiento con respecto a las láminas estañadas ya que sus niveles de óxido fueron menores y se mantenía un mismo nivel de producción, mientras que al utilizar láminas estañadas disminuye la producción debido a que se deben aplicar dos pases de recubrimientos (Siza y Organosol) para cumplir con lo exigido por la Planta.

- 5- Los resultados obtenidos por los métodos de oxidación y corrosión se correlacionaron mediante el método estadístico (Full Factorial), observándose que difieren significativamente entre ellos, en razón de considerarse que se contrastaron parámetros que tienen diferentes incidencias, debido a la regresión obtenidas.

- 6- El método de oxidación se obtuvieron resultados con una desviación menor, asociado a resultados inmediatos y aproximaciones en su escala; comparado con los métodos de corrosión, debido a cifras impredecibles, sin embargo, estos métodos (corrosión) son más recomendables tomando en consideración que los mismos contemplan la evaluación de propiedades físicas y químicas y se pueden valorar bajo un criterio individual para cada lámina.



Recomendaciones.

Después de haber finalizado la investigación, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- 1- Realizar estudios de los niveles de óxido empleando recubrimientos diferentes a los usados actualmente, para ver los niveles de óxido disminuyen con respecto a las láminas estañadas.

- 2- Realizar estudios en las plantas cerveceras para analizar cuanto tiempo tarde en oxidarse las tapas después que pasan por el proceso de coronado.

- 3- Estudiar el comportamiento de las tapas durante el almacenamiento después de salir del proceso para realizar una comparación entre los niveles de óxido en las láminas estañadas y cromadas.

- 4- Estudiar el comportamiento de las tapas en el área comercial y calcular los niveles de óxido que presentan las hojalatas y las cromadas y relacionar para ver cuál es más factible.

- 5- Medir los niveles de óxido en los picos de las botellas retornables para observar el comportamiento de las tapas fabricadas con láminas estañadas.



Bibliografía.

1. Ochoa, J. A. (1990). Macroproceso de calidad y procedimientos. Informe Técnico. Metalgráfica C.A. Venezuela.
2. Monroy, C. (2011). *Propiedades de los materiales*. Tecnología Industrial I.E.S.
3. Asociados, V. V. (2007). *Proceso de pasivado en acero inoxidable* . Mexico.
4. Lopez, L.; Ochoa, M. (2005). Evaluación de corrosión en láminas de acero. Universidad Central de Santander. Colombia.
5. Gustavo, V. C. (1989). *Corrosión, Electroquímica, Mecanismo y Métodos de Control*. Colombia.
6. Bastidas, J. D. (1990). An Electrochemical study on the influence of oxygen in tin plate corrosion and inhibition .
7. Morita, J.; Joshida, M. (1994). Effects of free tin on filiform corrosion behavior of lightly tin-coated steel. Ciencias y Corrosión.
8. Do Nacimiento G.G., Dos Santos J.L. (1996). Lacquered tinplate: corrosion resistance. Ciencias directivas.
9. Do Nacimiento G.G., Dos Santos J.L. (1999). Impedance Measurements on lacquered tinplate fitting with equivalent circuits. En *Applied Electrochemistry*.
10. Ballasteros, B.; Gonzalez, C. (2003). *Precursor sites for localised corrosion on lacquered tinplates visualised by means of alternating current scanning electrochemical microscopy*. Ciencias Directivas.



11. Otaiza, L. (2001). *Proceso de Fabricación de tapas coronas*. Informe Técnico, Metalgráfica C.A.Venezuela.
12. Pacheco, I. J. (2005). *Proceso de Corrosion en láminas*. Informe Técnico, Metalgráfica C.A.Venezuela.
13. Solá, P. M. (1990). *Metales Resistente a la Corrosión*. España: Productiva.
14. Galvele, J. (1979). *Corrosión*. Argentina: Secretaría General de la Organización delos Estados Unidos Americanos Washington, D.C.
15. Montgomery, D.; Runger, M. (1996). *Probabilidad y Estadística*. Mexico: Mc Graw Hill.
16. Freund, J.; Simon, G. (1994). *Estadística Elemental*. Mexico: Prentice.
17. Addlink Software Científico, S. (2013). *Minitab Statistical Software*. Recuperado el 19 de 03 de 2013, de <http://www.addlink.es/productos/produccion/minitab-statistical-software-detail>.
19. Skoog, D.; West, D.; Holler, J.; Crouch, S.; (2005). *Fundamentos de Química Analítica*. Mexico. Editorial Thomson. Octava Edición.
20. Landeau, R.; (2007). *Elaboración de trabajos de investigación*. Alfa. Venezuela.