

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE APLICACIÓN DE LOS ADITIVOS  
PARA COBRE EN MEDIO ÁCIDO Y ALCALINO CON MARCA DR. HESSE EN  
LA INDUSTRIA MARROQUINERA Y ELÉCTRICA EN EL SECTOR METÁLICO  
A NIVEL LABORATORIO**

**IVÁN ERNESTO ALBAN RICO  
GABRIEL FELIPE GARCÍA ALVARADO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTÁ D.C  
2016**

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE APLICACIÓN DE LOS ADITIVOS  
PARA COBRE EN MEDIO ÁCIDO Y ALCALINO CON MARCA DR. HESSE EN  
LA INDUSTRIA MARROQUINERA Y ELÉCTRICA EN EL SECTOR METÁLICO  
A NIVEL LABORATORIO**

**IVÁN ERNESTO ALBAN RICO  
GABRIEL FELIPE GARCÍA ALVARADO**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director,  
LUIS ERNESTO BAPTISTA  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTÁ D.C  
2016**

Nota de aceptación

---

---

---

---

**Elizabeth Torres Gámez**  
**Presidente del Jurado**

---

**EDUBIEL SALCEDO**  
**Jurado 1**

---

**DIEGO NICOLAS RODRIGUEZ**  
**Jurado 2**

Bogotá D.C, Agosto, 2016

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros sinceros agradecimientos a:

A Dios, porque incondicionalmente está con nosotros en cada paso que damos.

A nuestros padres, quienes siempre estuvieron pendientes de lo que necesitábamos para ayudarnos y aconsejarnos.

A nuestros orientadores de trabajo de grado, el Ingeniero Juan Carlos Segura, por su colaboración en todo el transcurso y proceso de la ejecución del trabajo de grado.

A la Fundación Universidad de América que nos dio las bases de nuestro conocimiento como ingenieros químicos.

A nuestro director de proyecto de grado Luis Ernesto Baptista quien estuvo en disposición apoyándonos y ayudándonos en el transcurso de la realización del proyecto.

A la empresa Filmtex S.A.S. quien nos prestó sus instalaciones para realizar la experimentación y los análisis respectivos del proyecto de grado.

A las empresas Tiber y G y G Ingeniería quienes hicieron parte primordial del presente trabajo de grado.

Agradecemos especialmente al Ingeniero Jairo Sastoque quien fue de gran aporte para poder desarrollar la metodología y secuencia de análisis del presente trabajo de grado.

A David Santana por su colaboración en el uso del software -Statgraphics Centurion XVII.

A Julieth Pedraza por ayudarnos en la implementación de la norma ICONTEC NTC 1486 en este trabajo de grado.

A Laura Caicedo por estar presta a cualquier inquietud sobre este trabajo de grado.

A nuestros amigos que nos colaboraron, apoyaron y se interesaron por el buen desarrollo de este proyecto

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de grado, esfuerzo y dedicación a Dios cuyo fin siempre ha sido ponerme en el mejor camino diario de aprendizaje.*

*A mis padres, quienes día y noche han confiado en mis capacidades y con sus sacrificios han logrado cumplir otra meta junto a mi dando grata culminación a este proceso profesional. Mi mamá con su compleja combinación de ternura con temple me ha guiado siempre al camino del éxito, mi papá con su imperativo sentido de responsabilidad me ha demostrado que no hay nada más gratificante que un trabajo bien hecho, con buenas intenciones y sin trampa alguna.*

*A mi hermana que me ha estado acompañando en los momentos fáciles y difíciles de mi vida siempre sacando una opinión objetiva con enfoque de solución.*

*A mi abuelita quien irradia cariño, ternura y temple en todo momento en los cuales estoy con ella, dándome un apoyo incondicional en todo sentido.*

*A mi amigo y compañero de tesis cuyo estilo de vida y personalidad fueron un alimento para mi vida complementando mi visión del mundo.*

*A mis amigos, amigas, compañeras y futuros colegas por estar en algún momento de estos 5 años de carrera pendientes para algún trabajo, problema, felicitación o preocupación.*

**IVAN ERNESTO ALBAN**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de grado:*

*A mis padres Gabriel y Carmenza, quienes han sido una fortaleza inigualable en este camino y que me han apoyado en cada instante, con su cariño, sabiduría y esfuerzo diario.*

*A mi hermana María Paula que me ha ayudado en algunos tramos de esta dura pero honrosa carrera.*

*Especial dedicatoria a mi amor Julieth Pedraza quien ha sido una persona inigualable en esta dura travesía y que con su comprensión, carácter y amor esto ha sido posible.*

*A la familia Alvarado por cada instante de fortaleza y fervor por las metas conseguidas.*

*A la familia García por ser un apoyo moral y estar siempre con su voz de aliento.*

*A la familia Pedraza Guarnizo por estar presentes en mi último tramo de carrera, y ser un apoyo indiscutible e incondicional.*

*A mi amigo y compañero de proyecto de grado Ivan Albán, con quien he compartido duros pero también grandes momentos.*

*A mis amigos y amigas de la universidad y a todos aquellos que siempre estuvieron allí, infinitas gracias.*

***“Ni una inteligencia sublime ni una gran imaginación, ni las dos cosas juntas forman al genio; amor, eso es el alma del genio”***

**Joannes Chrysostomus Wolfgang Theophilus Mozart**

**Gabriel Felipe García Alvarado**



## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	23
OBJETIVOS	24
1. MARCO TEORICO	25
1.1 LA EMPRESA	25
1.1.1 Reseña Histórica.	25
1.1.2 Sociedad.	26
1.2 CONCEPTOS	26
1.2.1 Recubrimientos galvánicos.	26
1.2.1.1 Celda electrolítica.	26
1.2.1.2 Celda Hull	27
1.2.2 Formación de los recubrimientos electrolíticos brillantes.	28
1.2.2.1 Formación de un deposito electrolítico.	28
1.2.2.2 Formación de los gérmenes cristalinos.	28
1.2.2.3 Desarrollo de los gérmenes cristalinos.	29
1.2.3 Características de un deposito electrolítico brillante.	31
1.2.4 Influencia de diversos factores sobre el brillo de un recubrimiento electrolítico.	32
1.2.4.1 Influencia de la densidad de corriente	32
1.2.4.2 Influencia de la concentración salina.	32
1.2.4.3 Influencia de los agentes de adición.	32
1.2.5 Definición de insumos.	33
1.2.5.1 Caracterización de los reactivos de cobre alcalino	34
1.2.5.2 Caracterización de los reactivos de cobre acido.	35
1.2.6 Definición equipos.	37
1.2.6.1 Especificación de los Agitadores.	37
1.2.6.2 Rectificadores.	37
1.2.6.3 Ánodo de Cobre.	37
1.2.6.4 Cátodo.	37
1.2.7 Definición tratamientos.	37
1.2.7.1 Desengrase electrolítico	37
1.2.7.2 Activación.	38
1.2.7.3 Tratamiento Electrolítico. (Make- Up).	38

1.2.7.4 Pasivado.	39
2.DIAGNOSTICO DE PROCESO USADOS EN LA INDUSTRIA DE LA MARROQUINERÍA Y ELÉCTRICA EN EL SECTOR METALICO.	40
2.1 G Y G INGENIERIA	40
2.1.1 Esquematización de procesos.	40
2.1.1.1 Definición de materias primas	40
2.1.1.2 Condiciones operacionales.	41
2.1.2 Diagnóstico de fallas.	42
2.1.2.1 Proceso operativo.	42
2.1.2.2 Esquematización de fallas por proceso.	45
2.1.2.3 Análisis de condiciones del electrolito.	45
2.1.2.4 Comparación de datos existentes con la teoría.	46
2.2 INDUSTRIAS TÍBER	49
2.2.1 Esquematización de procesos.	49
2.2.1.1 Definición de materias primas.	49
2.2.1.2 Condiciones Operacionales.	49
2.2.2 Diagnóstico de Fallas.	50
2.2.2.1 Proceso Operativo.	50
2.2.2.2 Esquematización de fallas por proceso.	53
2.2.2.3 Análisis de condiciones del electrolito.	53
2.3 RECHAZO	56
2.3.1 Causas.	56
2.3.2 Posibles resultado para evitar rechazos.	60
2.4 COSTOS DE REPROCESO	57
2.4.1 Disposición de material extra.	57
2.4.2 Recuperación de piezas.	57
2.4.3 Reposición de material extra.	57
3. MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.1 REVISIÓN DE REACTIVOS DEL PROCESO COBRE ALCALINO	58
3.2 REVISIÓN DE REACTIVOS DEL PROCESO COBRE ACIDO	58
3.3 EQUIPOS Y CARACTERÍSTICAS	58
3.3.1 Celda Hull.	58
3.3.2 Agitador mecánico.	59
3.3.3 Rectificadores.	60
3.3.4 Ánodo de Cobre.	61
3.3.5 Cátodo de Latón.	61
3.3.6 Plancha de calentamiento.	62

3.3.7 Brillometro.	63
3.4 ESTABLECIMIENTO DE PRETRATAMIENTOS	63
3.4.1 Desengrase electrolítico.	63
3.4.2 Activación.	64
3.4.3 Consideraciones de interferencia (pre tratamiento).	64
3.4.3.1 Factor desengrase.	64
3.4.3.2 Factor Activación.	65
3.5 PREPARACION DE LOS ELECTROLITOS	66
3.5.1 Cobre en medio ácido	66
3.5.2 Cobre en medio Alcalino.	67
3.6 ESTABLECIMIENTO DE POST TRATAMIENTO	67
3.6.1 Pasivado por inmersión.	67
3.6.2 Secado.	68
3.6.3 Consideraciones de interferencia post tratamiento.	68
3.6.3.1 Factor pasivado	68
3.6.3.2 Factor secado.	69
3.7 METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION	69
3.7.1 Pre-tratamiento.	69
3.7.1.1 Desengrase electrolítico.	70
3.7.1.2 Primer enjuague.	70
3.7.1.3 Activación	71
3.7.1.4 Segundo enjuague	71
3.7.2 Tratamiento electrolítico.	71
3.7.2.1 Cobre Acido	72
3.7.2.2 Cobre Alcalino.	72
3.7.2.3 Parámetros de operación para enjuague #3	73
3.7.3 Post-Tratamiento	73
3.7.3.1 Pasivado	73
3.7.3.2 Parámetros de operación para enjuague #4	74
3.7.3.3 Secado	74
3.7.4 Definición de tratamientos..	75
3.7.4.1 Primus EX – 200.	75
3.7.4.2 Primus EX – 520.	75
3.7.4.3 HAG 90.	76
3.8 METODOLOGIA DEL ANALISIS DE LA PIEZA	77
4. RESULTADOS Y ANALISIS	79
4.1 CONSIDERACIONES DE INTERFERENCIA	79
4.1.1 Factor enjuague.	81

4.2 HIPÓTESIS E INTRODUCCIÓN A LA VARIABLE DE RESPUESTA	81
4.2.1 Comportamientos experimentales para el Cobre Acido.	82
4.2.1.1 PRIMUS EX 200 BRIGHTENER.	82
4.2.1.2 PRIMUS EX 520 Brighthener y Leveller.	84
4.2.2 Comportamientos experimentales para el cobre alcalino.	87
4.3 RESULTADOS Y COMPARACIONES	91
4.3.1 Discusión ANNOVA Primus EX – 200.	92
4.3.2 Discusión ANNOVA Primus EX -- 520.	92
4.3.3 Discusión ANNOVA HAG – 90.	94
4.3.4 Parámetros de operación ideales.	97
4.3.5 Parámetros experimentales Vs Industria.	98
4.4 PROPUESTA EN PLANTA	100
4.4.1 Propuestas para la densidad de corriente.	101
4.4.2 Propuestas para la concentración de aditivos.	103
5. ESTUDIO DE COSTOS	105
5.1 DIFERENCIACIÓN DE COSTOS	105
5.1.1 Costos Energía.	105
5.1.2 Costos Formulación.	106
5.1.3 Costos Producción.	107
5.2 ANALISIS DE COSTOS	108
5.2.1 Rango tolerable de reproceso.	108
5.2.2 Beneficio de la distancia en el costo.	109
6. CONCLUSIONES	110
7. RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFIA	113
ANEXOS	116

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición general del electrolito de Cobre alcalino	34
Tabla 2. Composición general del electrolito de Cobre acido.	35
Tabla 3. Porcentaje de participación del metal base usado en G y G Ingeniería	41
Tabla 4. Insumos y aditivos utilizados dentro del baño electrolítico	41
Tabla 5. Composición y características del baño de cobre alcalino de G y G ingeniería.	42
Tabla 6. Esquemmatización de fallas de la planta G y G Ingeniería.	45
Tabla 7. Propiedades físicas del electrolito de Cobre OH-	45
Tabla 8. Marchas analíticas sobre el electrolito de Cu <sup>OH+</sup> de G y G Ingeniería.	46
Tabla 9. Análisis de Celda Hull y placas de Latón Finales	46
Tabla 10. Reporte Final de las variables existentes versus las de Ficha técnica	48
Tabla 11. Porcentaje de participación del metal base usado en Industrias Tíber ..	49
Tabla 12. Insumos y aditivos utilizados en el baño electrolítico	49
Tabla 13. Composición y características del baño de cobre acido de Industrias Tíber	50
Tabla 14. Esquemmatización de fallas de la planta Industrias Tíber	53
Tabla 15. Propiedades físicas del electrolito de Cobre <sup>H+</sup>	54
Tabla 16. Marchas analíticas empleadas sobre el electrolito de Cobre <sup>H+</sup> de Industrias Tíber	54
Tabla 17. Análisis Celda Hull para Cobre <sup>H+</sup>	55
Tabla 18. Resultados de laboratorio para Cu <sup>H+</sup> Vs parámetros ideales según ficha técnica Dr. Hesse	55
Tabla 19. Inventario de reactivos usados	58
Tabla 20. Inventario de reactivos usados	58
Tabla 21. Características básicas del reactor	58
Tabla 22. Características básicas de los agitadores	59
Tabla 23. Características básicas del rectificador	60
Tabla 24. Características básicas de los ánodos	61
Tabla 25. Características básicas del cátodo	61
Tabla 26. Características básicas de la plancha de calentamiento	62
Tabla 27. Características del brillómetro	63
Tabla 28. Condiciones estándar del desengrase electrolítico	64
Tabla 29. Condiciones estándar de la activación	64
Tabla 30. Connotación de fallas - desengrase	65
Tabla 31. Connotación de fallas – activación	66

Tabla 32. Make up cobre ácido	66
Tabla 33. Make Up cobre alcalino	67
Tabla 34. Condiciones generales del pasivado	68
Tabla 35. Condiciones generales del secado	68
Tabla 36. Connotaciones de fallas – pasivado	69
Tabla 37. Connotaciones de falla - secado	69
Tabla 38. Parámetros de operación para el desengrase	70
Tabla 39. Parámetros de operación para el enjuague #1	70
Tabla 40. Parámetros de operación para la activación	71
Tabla 41. Parámetros de operación para enjuague #2	71
Tabla 42. Parámetros de operación para el tratamiento de cobre acido	72
Tabla 43. Parámetros de operación para el tratamiento de cobre alcalino	72
Tabla 44. Parámetros de operación para el enjuague #3	73
Tabla 45. Parámetros de operación para pasivado	73
Tabla 46. Parámetros de operación para enjuague	74
Tabla 47. Parámetros de operación para secado	74
Tabla 48. Tratamientos del proceso Primus EX – 200	75
Tabla 49. Concentraciones del proceso Primus EX – 520	76
Tabla 50. Interacción de los aditivos con su replica	76
Tabla 51. Concentraciones del proceso HAG 90	77
Tabla 52. Interacción de los aditivos con su replica	77
Tabla 53. Interferencias controladas y no controladas	79
Tabla 54. Tabla de hipótesis	82
Tabla 55. Desratización de medición para el brillo	82
Tabla 56. ANNOVA de las interacciones entre la densidad de corriente y el aditivo EX 200.	83
Tabla 57. ANNOVA del análisis de varianza para el porcentaje de brillo – suma de cuadrados tipo 3	86
Tabla 58. Tasa de cambio del % de brillo	86
Tabla 59. Análisis de Varianza para brillo	90
Tabla 60. Tasa de cambio del % de brillo 2.	90
Tabla 61. Tabla de verdad para hipótesis directas	92
Tabla 62. Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis	92
Tabla 63. Tabla de verdad para hipótesis directas	93
Tabla 64. Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis	93
Tabla 65. Tabla de verdad para interacciones triples de hipótesis	94
Tabla 66. Tabla de verdad para hipótesis directas	94
Tabla 67. Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis	95
Tabla 68. Tabla de verdad para interacciones triples de hipótesis	95

Tabla 69. Parámetros de operación ideales	97
Tabla 70. Parámetros de operación de los procesos Dr. Hesse	98
Tabla 71. Calculo de distancias por densidad de corriente	102
Tabla 72. Continuación cálculo de distancias por densidad de corriente	102
Tabla 73. Datos para cálculo de amperios	103
Tabla 74. Costos Energía para Industrias Tiber	105
Tabla 75. Costos Energía para GyG Ingeniería	106
Tabla 76. Costos formulación Industrias Tiber	106
Tabla 77. Costos formulación GyG Ingeniería	107
Tabla 78. Definición de parámetros para costos	107
Tabla 79. Costos Producción Industrias Tiber	108
Tabla 80. Definición de parámetros para costos	108
Tabla 81. Costos producción GyG Ingeniería	108
Tabla 82. Rango tolerable de reproceso	109

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Factor de interferencia en experimentación Primus EX200	80
Gráfica 2. Factor de interferencia en experimentación EX520	80
Gráfica 3. Factor de interferencia en experimentación HAG 90	81
Gráfica 4. Comportamiento de la densidad de corriente versus la concentración de aditivo.	83
Gráfica 5. Comportamiento de los aditivos vs el porcentaje de Brillo	84
Gráfica 6. Comportamiento del aditivo Leveller versus la densidad de corriente	85
Gráfica 7. Comportamiento de la concentración del aditivo Brightener versus la densidad de corriente	85
Gráfica 8. Interacción de la concentración de Brightener y Carrier	87
Gráfica 9. Interacción de la densidad de corriente versus concentración de Brightener	88
Gráfica 10. Interacción de la densidad de corriente Vs la concentración de Carrier	89
Gráfica 11. Tasa de cambio del brillo Primus EX - 520	96
Gráfica 12. Tasa de cambio de brillo HAG - 90	96
Gráfica 13. Comportamiento ideal de los procesos Primus	99
Gráfica 14. Comportamiento ideal del proceso HAG-90	99



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación esquemática de la electrolisis de NaCl fundido.	27
Figura 2. Celda Hull desde la superficie	27
Figura 3. Densidad de corriente a través de la pared de la Celda Hull.	28
Figura 4. Cristales grupo I	30
Figura 5. Cristales grupo II	30
Figura 6. Cristales grupo III	30
Figura 7. Esquema geométrico de la reflexión de la luz.	31
Figura 8. Comparación de aditivos individuales Vs típicos problemas	36
Figura 9. Rendimiento Catódico de baños galvánicos	38
Figura 10. Película pasivada	39
Figura 11. Operaciones realizadas en la planta de G y G Ingeniería	43
Figura 12. Tratamiento de cobrizado alcalino	44
Figura 13. Operaciones Realizadas en Industrias Tiber	51
Figura 14. Procedimiento de Cobrizado acido	52
Figura 15. Fotografías del reactor tanque	59
Figura 16. Fotografías del agitador mecánico	59
Figura 17. Fotografías del agitador neumático	60
Figura 18. Fotografía del rectificador	60
Figura 19. Fotografía del ánodo	61
Figura 20. Cátodo de Latón por la cara con mayor refinamiento de grano	62
Figura 21. Vista lateral de la plancha de calentamiento	62
Figura 22. Brillómetro	63
Figura 23. Tren electrolítico experimental	75
Figura 24. Plantilla de análisis de % de brillo vs densidad de corriente	78
Figura 25. Identificación de elementos para modificación de la densidad de corriente	100
Figura 26. Identificación de elementos para modificación de los aditivos	100
Figura 27. Dimensiones reactor Celda Hull	101

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Fichas técnicas por aditivo	116
Anexo B. Fichas técnicas por equipos	146
Anexo C. Certificados de reactivos y aditivos	160
Anexo D. Calculo de área	177

## ABREVIATURAS

**Cu<sup>OH-</sup>**: Cobre en medio Alcalino  
**Cu<sup>H+</sup>**: Cobre en medio acido  
**CO<sub>2</sub>**: Dióxido de carbono  
**% V/V**: Porcentaje volumen-volumen  
**FT**: Ficha técnica.  
**mS**: Mili siemens  
**°C** Grados Celsius  
**°Be**: Grados Baume  
**g/L**: Gramos sobre litro  
**ATP**: Adenosin tri-fosfato  
**Amp**: Amperios  
**MEAS**: Unidad de medida del pH  
**Cu+2**: Cobre con estado de oxidación +2  
**Cu+**: Cobre con estado de oxidación +1  
**mL/L**: Mililitros sobre litro  
**s**: Segundos  
**HCl**: Ácido Clorhídrico  
**mL**: mililitros  
**cm<sup>2</sup>**: Centímetros cuadrados  
**RPM**: Revoluciones por minuto  
**g**: gramos  
**psig**: Unidad de presión libra-fuerza por pulgada cuadrada.  
**ppm**: partes por millón  
**CuSO<sub>4</sub>**: Sulfato de Cobre  
**NaCl**: Cloruro de sodio  
**W**: Watts  
**V**: Voltaje  
**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**: Ácido sulfúrico  
**KCN**: Cianuro de potasio  
**CuCN**: Cianuro de cobre  
**K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**: Carbonato de potasio  
**KOH**: Hidróxido de potasio

## GLOSARIO

**ANIÓN:** ión que tiene carga negativa y procede de un elemento negativo

**ÁNODO:** el ánodo es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones, incrementa su estado de oxidación.

**BARRIL:** dispositivo cilíndrico, hecho en materia inerte como un PVC o Polietileno, el cual está perforado para dejar ingresar el electrolito líquido dentro del dispositivo mientras está sumergido en el tanque o baño; este tiene dos contactos los cuales simulan el ánodo y cátodo del proceso galvánico.

**BAÑO BARRERA:** baño electrolítico que se usa para evitar la migración de los óxidos de capas electros depositados anteriormente con un menor potencial de oxidación.

**CACIÓN:** ión que tiene carga positiva y procede de un elemento electropositivo

**CACIÓN POLARIZANTE:** es el tipo de ión que tiene la capacidad covalente más arraigada que otro que no esté polarizado.

**CÁTODO:** electrodo negativo de una celda electrolítica al cual se dirigen los cationes de la disolución.

**COBRE:** (del latín Coprium). Elemento de número atómico 29 (símbolo Cu) metal nativo rojizo de la primera serie de los metales de transición. Sus números de oxidación son I y II. El cobre es un conductor eléctrico y térmico excelente. Sus aleaciones, bronce y latones. Tienen múltiples aplicaciones. El sulfato de cobre se aplica en la agricultura y en viticultura como anti criptogámico.

**COBREADO:** tren que se debe respetar para dar un adecuado recubrimiento de Cobre a piezas metálicas puras o aleaciones.

**CONDUCTIVIDAD:** es la medida de la capacidad (o de la aptitud) de un material o sustancia para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son buenos conductores porque tienen una estructura con muchos electrones con vínculos débiles, y esto permite su movimiento. La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material, y de la temperatura.

**CORRIENTE:** la corriente eléctrica o intensidad eléctrica es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del material.

**CORROSIÓN:** es el ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción electroquímica con su medio ambiente

**DESENGRASE:** consiste en someter las piezas, actuando como cátodos, en la acción de una solución alcalina. Las grasas saponificables son atacadas y saponificadas por la acción de la solución alcalina, y el hidrógeno originado en la electrólisis sobre el cátodo favorece que las grasas se liberen de la pieza.

**DIFERENCIAL DE POTENCIAL:** la tensión eléctrica o diferencia de potencial (también denominada voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

**ELECTRICIDAD:** es el conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas. También se describe como un **fenómeno físico originado por las fuerzas que son causadas por la interacción de partículas subatómicas.**

**ELECTRODOS:** un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón), etc.

**ELECTROLITO:** un electrolito o electrólito es cualquier sustancia que contiene iones en su composición orbitando libres, los que le ayudan a comportarse como un conductor eléctrico. Debido a que generalmente se encuentran iones en una solución, los electrólitos también son conocidos como soluciones iónicas, pero también son posibles electrolitos fundidos y electrolitos sólidos.

**ELECTROQUIMICA:** es el estudio de la producción de las corrientes eléctricas a través de una reacción química, no obstante también una carga eléctrica puede influir en el comportamiento e interacción de las partículas al momento de llevarse a cabo la reacción<sup>1</sup>.

**GALVANOPLASTIA:** desde el punto de vista físico, este se denomina como la electrodeposición de un metal sobre una superficie para mejorar sus características.

**PASIVADO:** la pasivación es 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.

**RECUBRIMIENTO:** es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto.

---

<sup>1</sup>WOLFGANG GERHARTZ, FRITZ ULLMANN. 1987. *ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY*. Michigan : VCH, 1987, 1987. 3527201106, 9783527201105.

## RESUMEN

El presente proyecto de grado tiene como fin evaluar las condiciones de aplicación de los aditivos HAG 90 (Carrier, Brighthener) con marca alemana Dr. Hesse en las electrodeposiciones de cobre en medio alcalino para la industria G y G Ingeniería y de los aditivos Primus EX – 200 Brighthener, Primus EX -520 Brighthener y Primus EX – 520 Leveller, para cobre en medio ácido en la Industria Tiber.

Para ello se tomaron muestras de cada una de estas empresas, posteriormente se llevaron dichas muestras al laboratorio y se les hicieron los análisis respectivos acorde con lo descrito con las fichas técnicas (marchas analíticas, propiedades físicas y rendimiento en celda Hull) ,de allí se logró demostrar que los electrolitos no cumplían con las especificaciones operacionales adecuadas ni con las concentraciones de aditivos correctas, por tal motivo se procedió a esquematizar los procesos y fallas respectivas. Sabiendo esto, mediante el uso de 3 diseños experimentales se procedió a realizar la evaluación de las condiciones de aplicación utilizando como variable de respuesta el porcentaje de brillo y como variables independientes, la densidad de corriente y las diferentes concentraciones de aditivos, según sea el caso. Se procedió a utilizar el Software Stagraphics Centurion como soporte a los datos obtenidos en la experimentación y a las hipótesis ya antes propuestas, allí se obtuvieron las gráficas y anovas de comportamiento de cada aditivo, dependiendo el proceso utilizado; estipulando parámetros de comportamiento encontrados en los análisis matemáticos insinuados en el anova.

Continuando con la resolución de los objetivos, con los datos obtenidos se estipulo una propuesta en planta para cada empresa, utilizando los datos arrojados por el experimento y haciendo un análisis de costo beneficio.

**Palabras clave:** Hag 90 Carrier, Hag 90 Brighthener, Primus EX 520 Brighthener, Primus EX 520 Leveller, Primus EX 200 Brighthener, Cobre en medio ácido, Cobre en medio alcalino, Celda Hull, Densidad de Corriente, Brillo.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se basó en el uso de la electroquímica y la corrosión mediante los aportes de Michael Faraday<sup>2</sup> y los análisis que se pueden realizar en una “Celda Hull” como celda galvánica. Tener acabados estéticos con más luminiscencia, traduce en el aumento del brillo, que a *instancias de la Física*, “*el brillo corresponde a la cantidad de flujo luminoso emitido. Esta luminosidad estará relacionada con el número de partículas por unidad de superficie y también por unidad de tiempo que haya en un haz de luz*”<sup>3</sup>.

Para GyG Ingeniería e Industrias Tiber el uso de este parámetro se encuentra directamente relacionado con su rubro comercial y técnico.

Por todo lo anterior, en el documento a continuación se mostraran una serie de estrategias experimentales mediante el uso de aditivos orgánicos y la distancia posible entre ánodo y cátodo para obtener un estándar ideal entre estas dos variables que aumenten el brillo, por lo cual se realizara sobre una superficie de latón cuando se electro deposita cobre en medio alcalino (GyG Ingeniería) y en medio ácido (Industrias Tiber).

---

<sup>2</sup>ZERMEÑO, LIC.FRANCISCO JAVIER DE LA TORRE Y ESCOBAR, LIC. ALICIA FLORES. 2003.El mundo de la Física 2. Mexico D.F : PROGRESO DE S.A C.V., 2003.

<sup>3</sup>ABC, DEFINICIÓN. 2007. Definición ABC tu diccionario hecho facil. Definición ABC. [En línea] Definición ABC, 1 de Enero de 2007. [Citado el: 22 de Mayo de 2016.] <http://www.definicionabc.com/general/brillo.php>.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las condiciones de aplicación de los aditivos para Cobre en medio ácido y alcalino con marca Dr. Hesse en la industria eléctrica (G y G Ingeniería) y marroquinera en el sector metálico (Industrias Tiber) a nivel laboratorio.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diagnosticar las condiciones de aplicación del producto, que se usan actualmente en la industria marroquinera y eléctrica en el sector metálico.
- Determinar las condiciones ideales de aplicación a nivel laboratorio.
- Escoger las condiciones de operación que se deben aplicar a planta
- Realizar el estudio de costos inmerso dentro de la evaluación.



## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 LA EMPRESA

En el año 1976 FILMTEX S.A.S. se consolida como una empresa dedicada a la producción de películas de PVC mediante el proceso de calandrado. Como empresa innovadora, utiliza la más avanzada tecnología para su fabricación, ofreciendo respaldo y garantía de calidad para sus clientes<sup>4</sup>. Por esta razón Filmtext goza de amplio reconocimiento en más de 20 países, razón que les obliga a un mejoramiento permanentemente.

Dentro de sus divisiones, como DGcal, Pharma y Geomembranas, se encuentra la sección de galvanostegia, quien solo se dedica a la distribución de aditivos para el gremio industrial de la Bisutería, marroquinería y el sector funcional.

**1.1.1 Reseña Histórica.** En 1986 Filmtext S.A. logra una alianza estratégica con Plástiquímica S.A en la cual Plástiquímica se concentra en la producción y comercialización de productos soportados y expandidos, orientados hacia la industria marroquinera, del calzado y tapicería.

En 1988 se moderniza la calandra 1, adquiriendo un tren de postcalandrado que le permite atender clientes industriales con los más altos estándares de calidad.

En 1995 debido al crecimiento en las ventas se compra la segunda calandra duplicando así su capacidad instalada y se pone en marcha el proyecto de mezclas. En los últimos años se adquirió la segunda laminadora, se montó la línea de producción de sellado de Geomembranas y se adquiere una línea de recubrimiento para productos adhesivados PSA continuando así la estrategia de dar más valor agregado a sus productos.

En el año 2007 se modernizó el área de corte de empaque farmacéutico con los más altos estándares de la industria, en cumplimiento de regulaciones FDA y BPM.

También se han logrado alianzas de muy largo plazo con representantes directos de toda la línea de productos Filmtext S.A.S. en Ecuador, Chile, Argentina, Venezuela, Costa Rica, Guatemala y Estados Unidos.

---

<sup>4</sup>FILMTEX S.A.S. 2013. FILMTEX S.A.S. [En línea] FILMTEX - Todos los derechos reservados © Copyright 2013, 2013. [Citado el: 15 de 11 de 2015.] <http://www.filmtext.com/index.php/es/>.

**1.1.2 Sociedad.** Dr. HESSE es una compañía Alemana de más de 120 años de experiencia en el mercado de la galvanostegia y galvanoplastia<sup>5</sup>; ellos, se dedican al desarrollo integral de aditivos para las diferentes necesidades industriales de clientes a nivel internacional. Junto con ellos, FILMTEX S.A.S. se convirtió en su distribuidor único en Colombia.

## 1.2 CONCEPTOS

**1.2.1 Recubrimientos galvánicos<sup>6</sup>.** Desde el punto de vista físico, este se denomina como la electrodeposición de un metal sobre una superficie para mejorar sus características. El proceso se resume en el traslado de iones metálicos desde un ánodo, hasta un cátodo, en un medio líquido (electrolito), compuesto fundamentalmente por sales metálicas y ligeramente acidulado. La deposición de los iones metálicos sobre la superficie preparada para recibirlos se efectúa siguiendo con fidelidad los detalles que componen dicha superficie, cohesionándose las moléculas al perder su carga positiva y adhiriéndose fuertemente entre ellas, formando así una superficie metálica, con características correspondientes al metal que la compone.

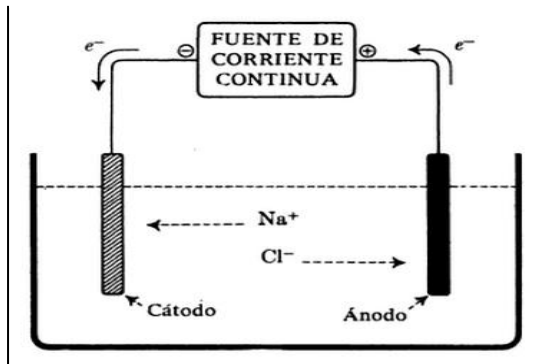
**1.2.1.1 Celda electrolítica.** Cuando se pasa una corriente eléctrica a través de una solución salina, se producen cambios químicos en los puntos por los que entra y sale la corriente en la sal fundida. Los electrones salen por el punto terminal de la fuente de la corriente que señalado con un signo (-) y penetran a través del electrodo de la pila (celda galvánica).

---

<sup>5</sup>DR. HESSE GMBH & CIE KG. 2012.GALVANO.DE. [EN LÍNEA] © 2012 DR. HESSE GMBH & CIE KG | SPECIAL FACTORY FOR ELECTROPLATING, 2012. [CITADO EL: 15 DE 11 DE 2015.] <http://www.galvano.de/index.php?L=1&id=undefined>.

<sup>6</sup>ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. 2013. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS metodologías en recubrimientos basado en galvanoplastia. [aut. libro] Enrique Vera López, Dionisio Laverde Cataño William Aperador Chaparro.

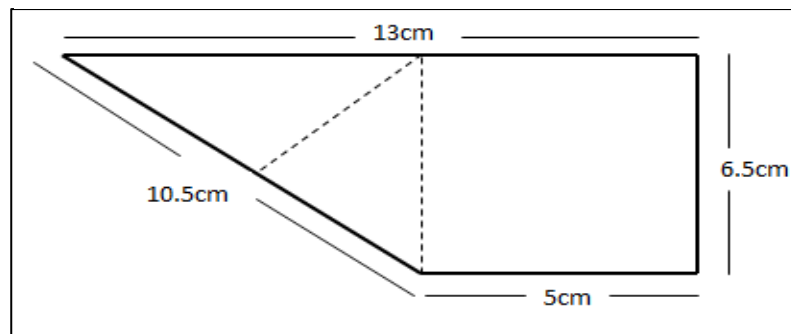
**Figura 1.** Representación esquemática de la electrolisis de NaCl fundido.



**Fuente:** Recuperado del texto Ingeniería de Materiales (Donald R. Askeland, 2004)

**1.2.1.2 Celda Hull<sup>6</sup>.** Teniendo en cuenta que las mediciones del presente trabajo tienen como fin llevarse a cabo a nivel laboratorio se optara por utilizar como herramienta básica la celda Hull quien es un tipo de célula de prueba utilizado para comprobar cualitativamente la condición de un baño galvánico. Se permite la mejora para el rango de densidad de corriente, el punto ideal de la concentración de aditivo, el reconocimiento de los efectos de la impureza. La celda Hull replica el baño de recubrimiento en una escala de laboratorio (Fig. 2.) Se llena con una muestra de la solución de metalización, un ánodo apropiado que está conectado a un rectificador.

**Figura 2.** Celda Hull desde la superficie



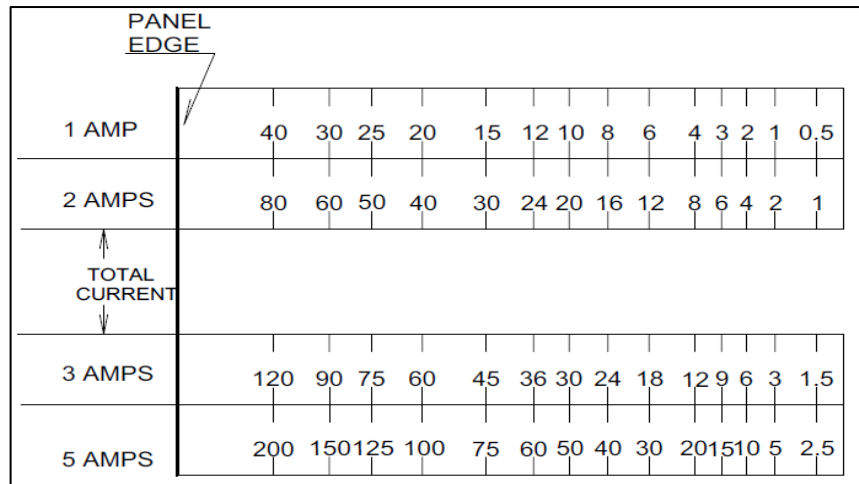
Analizando el potencial de la celda también se conoce que la corriente de electrones fluye del ánodo al cátodo porque hay una diferencia de energía potencial entre los dos electrodos. El potencial de la celda o fuerza electromotriz (fem) que aparece reflejado en el voltímetro se obtiene de:

$$E_{pila} = E_{cátodo} - E_{ánodo} \text{ (Ecuación 1)}$$

Hay que tener en cuenta que no podemos medir los potenciales absolutos, con los instrumentos de medida de voltaje sólo podemos medir diferencia de potencial, para ello será necesario hacer uso de un rectificador que sea capaz de medir esta variación en el tiempo.

Por otro lado se deben tener en cuenta las mediciones de electricidad sobre la celda Hull, por tal motivo se conoce que mientras la pieza de latón(cátodo) se distribuye a través del lado con 10.5 cm adquiere una más alta cercanía a la zona anódica y por ende más densidad de corriente, provocando así una electrodeposición irregular a lo largo del cátodo; la figura 3 muestra desde la perspectiva del borde de la celda, este suceso.

**Figura 3.** Densidad de corriente a través de la pared de la Celda Hull.



Fuente: (Kocour Company, 2016)

## 1.2.2 Formación de los recubrimientos electrolíticos brillantes.

**1.2.2.1 Formación de un depósito electrolítico.** Se han dado diversas teorías para explicar el mecanismo de la formación de un depósito cristalino. De todas ellas, la expuesta por Blum y Rawdon es la más sencilla y racional. En todo proceso de cristalización cabe considerar dos partes fundamentales: formación de los gérmenes cristalinos, y el desarrollo de los mismos para dar lugar a la estructura cristalina final.

**1.2.2.2 Formación de los gérmenes cristalinos.** Según los citados autores Bulm y Rawdon, el proceso de la formación de los primeros gérmenes cristalinos descansa en tres postulados fundamentales:

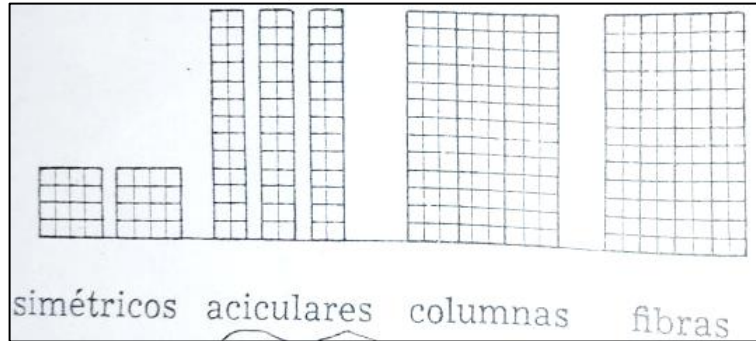
- *“La descarga de los iones sobre el cátodo y la cristalización del metal a depositar son simultáneas. Es decir, el ion metálico no se transforma en átomo perdiendo su carga hasta que entra en contacto con el cátodo, fijándose entonces definitivamente en el punto del mismo en que se efectuó el contacto.”*
- *“La presión o tensión de disolución depende del grosor del cristal metálico considerado. En cualquier punto del cristal, las fuerzas atractivas que mantienen los átomos del metal en una posición fija y perfectamente determinada deben contrarrestar la tendencia de los mismos a pasar a la disolución, tendencia que mide la presión de disolución.”*
- *“La descarga de los iones se realiza en los puntos del cátodo donde la diferencia de potencia solución-cátodo es mínima, semejante a lo que ocurre con dos metales, ambos con la misma concentración iónica, contenidos en una solución, depositándose en primer lugar el más electropositivo de los dos.”*

**1.2.2.3 Desarrollo de los gérmenes cristalinos.** Una vez formados estos primeros gérmenes cristalinos, la estructura definitiva del depósito dependerá de las velocidades respectivas de crecimiento y la formación de nuevos gérmenes. Es decir, los iones se descargarán de tal manera que los átomos a que den lugar se encontrarán en una posición de orientación tal que contribuyan al crecimiento de los cristales microscópicos existentes, o bien se descargarán en posiciones completamente independientes al orden cristalino establecido, dando lugar a nuevos cristales.

Cualquiera que haya sido el proceso de crecimiento, podemos dividir los recubrimientos metálicos obtenidos por electrolisis en tres grupos:

- En el primer grupo quedan comprendidos los recubrimientos caracterizados por el crecimiento continuo de todos los gérmenes cristalinos originalmente formados, sin que parezcan nuevos cristales.

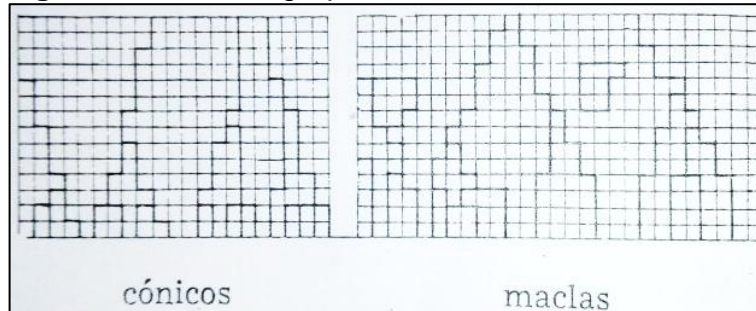
**Figura 4. Cristales grupo I**



**Fuente:** Recuperado de (Salvado, 1963) 35 p.

- En los depósitos comprendidos en el segundo grupo solamente una parte de los gérmenes cristalinos primitivamente formados, continúa el crecimiento, sin formarse; sin embargo, nuevos cristales.

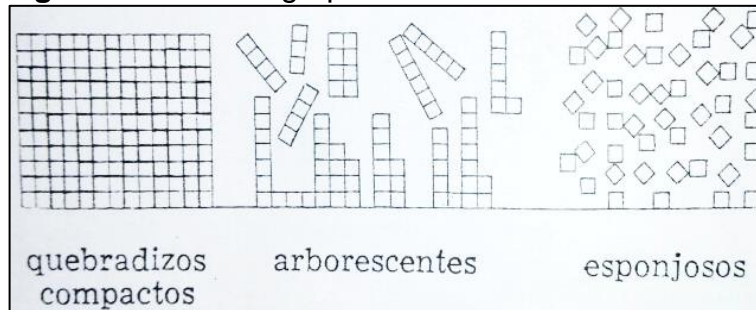
**Figura 5. Cristales grupo II**



**Fuente:** : Recuperado de (Salvado, 1963) 35 p.

- En los depósitos comprendidos en el tercer grupo, los gérmenes formados al principio apenas se desarrollan, formándose continuamente nuevos cristales.

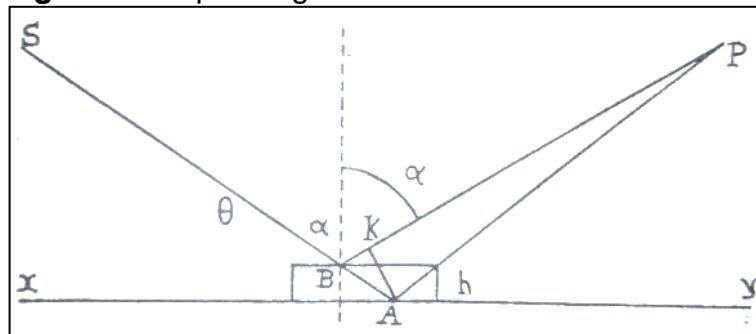
**Figura 6. Cristales grupo III**



**Fuente:** : Recuperado de (Salvado, 1963) 35 p.

**1.2.3 Características de un deposito electrolítico brillante.** Un deposito brillante está caracterizado por el hecho de que, al incidir sobre su superficie un haz de rayos luminosos, estos no son difundidos uniformemente en todas direcciones (como ocurre en una superficie mate, tal como el papel), sino que estos rayos son fuertemente reflejados en una dirección, comportándose, en suma, tal recubrimiento como un espejo. A continuación se presentara un esquema el cual vendrá a colación el concepto físico que a este trabajo de grado le compete el cual es la de reflexión y difracción de las ondas de luz.

**Figura 7.** Esquema geométrico de la reflexión de la luz.



**Fuente:** : Recuperado de (Salvado, 1963) 36 p.

Si la diferencia de marcha entre los rayos SAP y SBP es pequeña comparativamente con la longitud de onda del rayo luminoso incidente, el efecto del rayo luminoso en P después de la reflexión sobre la rugosidad, es el mismo que después de la reflexión sobre la superficie lisa. La figura 4 muestra que la diferencia de marcha de los rayos SAP y SBP, está ligada a la altura de la rugosidad de la superficie, por la relación siguiente:

$$SAP - SBP = 2h \cos \theta \text{ (Ecuación 2)}$$

Siendo:

$h$  = La altura de la rugosidad

$\theta$  = ángulo de incidencia

Y que la reflexión geométrica de una onda luminosa debe satisfacer la relación siguiente:

$$\lambda p = 2h \cos \theta \text{ (Ecuación 3)}$$

Siendo:

$\lambda$  = long. De onda de la luz

$p$  = fracción muy pequeña

Para la luz visible podemos considerar como valor de la longitud de onda el siguiente:

$$\lambda = 5000 \text{ \AA} = 0,5\mu$$

Si suponemos que  $p = 0,1$  y  $\theta = 0$ , la relación última nos da el siguiente valor de  $h$ :

$$h = 0,025\mu$$

De todo ellos se deduce que, para obtener un brillo “especular”, es preciso que la altura de la rugosidad sea 20 veces más pequeña que la longitud de onda media de la luz visible, siempre que la incidencia sea normal.

#### **1.2.4 Influencia de diversos factores sobre el brillo de un recubrimiento electrolítico.**

**1.2.4.1 Influencia de la densidad de corriente.** La densidad de corriente aplicada es un factor esencial en la obtención de depósitos electrolíticos brillantes.

Es visible que una variación en la densidad de corriente involucrara una variación en el empobrecimiento de la película líquida catódica. Un aumento de dicha densidad de corriente, provoca un mayor empobrecimiento de la película líquida catódica, obteniéndose estructuras finas a la continua aparición de gérmenes cristalinos.

Así, pues, cuanto mayor sea la densidad de corriente mayor será el brillo del depósito obtenido. Sin embargo existe un máximo para esta densidad de corriente que al sobrepasarse produce depósitos quebradizos, debido a la aparición de formas cristalinas esponjosas.

**1.2.4.2 Influencia de la concentración salina.** Considerando lo dicho con respecto a la formulación y desarrollo de los gérmenes cristalinos, el importante papel que sobre el brillo del depósito electrolítico es obtener desempeños en la concentración de las sales disueltas.

La composición más conveniente de una solución-electrolito será aquella que posea pocos iones a depositar y muchas moléculas no disociadas dispuestas a disociarse rápidamente, liberando de este modo, iones metálicos que sustituirán a los que desaparecen de la película líquida catódica durante la electrolisis.

**1.2.4.3 Influencia de los agentes de adición.** En general se aplica el término “agente de adición” a todos aquellos compuestos de naturaleza química diversa que, añadidos a la solución-electrolito en cantidades pequeñas, son capaces de modificar la textura cristalina del depósito, dejándola más fina y regular.

Se ha observado por una serie de hechos que la mayoría de los agentes de adición de tipo orgánico sufren transformaciones químicas en el seno del electrolito, dando origen a nuevos compuestos, que pueden ser más eficaces en su acción que los primitivos. Se ha observado, por ejemplo, que por adición de una pequeña dosis de fenol a un baño sulfúrico de cobre, se produce un recubrimiento de estructura cristalina grosera. Ahora bien, una vez ha funcionado



dicho baño durante varias horas, se obtienen recubrimientos constituidos por una estructura mucho más fina, lo que parece indicar la transformación del fenol en un derivado sulfonado del mismo, de mayor influencia sobre la estructura del recubrimiento.

En general podemos indicar que la acción de estas sustancias abrillantadoras se manifiesta, unas veces por supresión de la forma esponjosa de los depósitos, otras por una disminución del grosor de los cristales, y otras, en fin, por un impedimento de la formación de excrecencias.

Algunos autores han clasificado a los abrillantadores en diversos tipos, basándose en su naturaleza química.

Así Hughes, distingue tres clases, según estén constituidos por sustancias de tipo mineral, sustancias orgánicas cristaloides y sustancias orgánicas de tipo coloidal.

Salauce clasifica los agentes de adición atendiendo a su modo de acción sobre el depósito. Distingue así varios tipos de abrillantadores: 1. Cationes metálicos susceptibles de descargarse en el cátodo, incorporándose así al depósito, 2. Sustancias capaces de reaccionar químicamente con el cátodo, evitando, generalmente, la formación de hidratos y sales básicas insolubles, que darían lugar a depósitos esponjosos, 3. Sustancias capaces de formar cortinas viscosas delante del cátodo, paralizando las corrientes de convección líquidas, e impidiendo así el intercambio entre la solución y la película líquida catódica, 4. Sustancias capaces de dar productos que se incorporen mecánicamente al depósito, formando verdaderas inclusiones en él y 5. Sustancias capaces de formar iones complejos que se descarguen sobre el cátodo.

Glénat, finalmente, clasifica a los compuestos orgánicos utilizados como agentes de adición, según el efecto producido en el baño galvánico. Distingue así tres grandes grupos: 1. Agentes acomplejantes, 2. Productos tenso activos y sobre tensores y 3. Abrillantadores propiamente dichos y auxiliares.

De todo lo expuesto se desprende que, en general, los abrillantadores utilizados para la producción de recubrimientos de alto brillo son sustancias de tipo coloidal o bien productos orgánicos que en la mayor parte de los casos poseen un elevado peso molecular.

**1.2.5 Definición de insumos<sup>7</sup>.** Aspectos como densidad, pH, conductividad, humedad, punto de calcinación, concentración, punto de ebullición, sólidos, entre otros, son las características que se demostraran en el ANEXO C para las diferentes sales usadas para la construcción de los electrolitos respectivos.

---

<sup>7</sup>BREMICKER, NICOLAI. 2015. *ACID COPPER, HIGH TECH ACID COPPER PLATING ON COMPLEX SHAPED PARTS*. Bielefeld : Dr. Hesse, 2015.

**1.2.5.1 Caracterización de los reactivos de cobre alcalino.** Este tipo de baños posee cualidades superiores a las del resto de los electrolitos utilizados para la deposición de cobre. Su adherencia y poder de cubrición sobre el metal base (constituido generalmente por hierro, zinc o aluminio) son muy superiores a las del citado baño ácido sulfatado, debido, en parte, a la acción disolvente de óxidos, desengrasante y pasivante, que ejercen los cianuros alcalinos sobre el metal base.

La solución-electrolito más comúnmente empleada como base para la deposición de cobre brillante, posee la composición siguiente:

**Tabla 1.** Composición general del electrolito de Cobre alcalino

Compuesto	Formula	Rangos	Unidades
<b>Cianuro cuproso</b>	CuCN	110 - 130	g/L
<b>Cianuro sódico</b>	NaCN	125 - 145	g/L
<b>Hidróxido sódico</b>	NaOH	20 - 40	g/L

**Fuente:** : Recuperado de (Salvado, 1963) 38 p.

La mayoría de estos baños operan a una temperatura de 75 a 85 °C, con una densidad de corriente de 3-6 Amp/dm<sup>2</sup> y una tensión de 2,5-4 voltios, requiriendo una buena agitación y filtración continua o en breves periodos de tiempo.

Estos baños, de igual modo que los ácido, son particularmente sensibles a la presencia de materias extrañas, debiendo ser eliminadas cuando rebasen una concentración crítica. Las impurezas más corrientes las constituyen los iones de Zinc, hierro, cadmio, níquel, cromo hexavalente, plomo, mercurio y materia orgánica diversa.

Como sustancias aditivos orgánicos de acción moderada se han utilizado el HAG-90 Brightener y Carrier<sup>8</sup>. Aditivos orgánicos formulados netamente para un proceso de cobre en medio alcalino. A continuación se enunciarán datos que son resaltados en el catálogo de estos aditivos y son información puramente comercial.

Sus beneficios según bibliografía del proveedor Dr. Hesse son:

- Acelera la deposición del metal
- Genera capas brillantes y brillante-espejo de cobre
- Persevera el buen anclaje del cobre al cátodo
- Muy buena penetración del metal

<sup>8</sup>DR. HESSE. 2012.HIGH-EFFICIENCY BRIGHT COPPER BATH HAG-90. BIELEFELD, GERMANY : DR. HESSE, 2012. KN CC0132.

- Conjunto de aditivos estables para altos rangos de temperatura con tiempos de producción muertos.

**1.2.5.2 Caracterización de los reactivos de cobre ácido.** Un baño electrolítico de esta clase contiene sulfato de cobre cristalino ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). El cometido de este último es mantener en disolución las sales básicas de cobre que forman por hidrólisis durante el funcionamiento del baño, las cuales darían lugar a reacciones secundarias, Al mismo tiempo, el ácido sulfúrico aumenta considerablemente la conductividad de la solución de cobre.

En general, un baño del tipo sulfato, posee la composición siguiente:

**Tabla 2.** Composición general del electrolito de Cobre ácido.

Compuesto	Formula	Rangos	Unidades
<b>Sulfato de Cobre crist.</b>	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	150 - 250	g/L
<b>Ácido Sulfúrico conc.</b>	$\text{H}_2\text{SO}_4$	25 - 60	g/L

**Fuente:** : Recuperado de (Salvado, 1963) 37 p.

Si este tipo de baño trabaja a temperatura ambiente, la densidad de corriente aplicada es de  $2 \text{ A/dm}^2$ , pudiendo aumentarse hasta  $5-6 \text{ Amp/dm}^2$  cuando el baño es sometido a fuerte agitación.

Cuando el baño trabaja a temperaturas más elevadas, hasta  $50^\circ\text{C}$ , pueden emplearse, asimismo, densidades de corrientes mayores, de hasta  $15 \text{ Amp/dm}^2$ , siempre que la agitación sea suficientemente intensa.

Desde su introducción industrial hasta nuestros días, han sido muchas las sustancias agregadas a este tipo de baños para mejorar las condiciones de trabajo de los mismos, y obtener recubrimientos satisfactorios.

El abrillantador a trabajar en este electrolito es denominado Primus EX 200 Brightener<sup>9</sup>, Primus EX 520 Brightener y Leveller<sup>10</sup>.

Primus es la familia que agrupa todos los aditivos orgánicos para procesos de cobre en medio ácido. En la bibliografía del desarrollador Dr. Hesse expone que la base de esta familia es el Primus EX 520 ya que se dividen en los dos componentes orgánicos fundamentales, mientras que el Primus EX 200 ya es una mezcla predeterminada de aditivos el cual da como resultado un único aditivo que

<sup>9</sup>DR. HESSE. 2014. *ACID COPPER BATH PRIMUS EX-200*. BIELEFELD, ALEMANIA : DR.HESSE GMBH & CIE KG, 2014. KN AC0130

<sup>10</sup>DR. HESSE. 2014. *ACID COPPER BATH PRIMUS EX-520*. BIELEFELD, ALEMANIA : DR.HESSE GMBH & CIE KG, 2014. KN AC0130

tiene todas las características a cubrir en un rango específico. Estas características son las siguientes:

- Brillo Alto
- Nivelación media
- Penetración baja

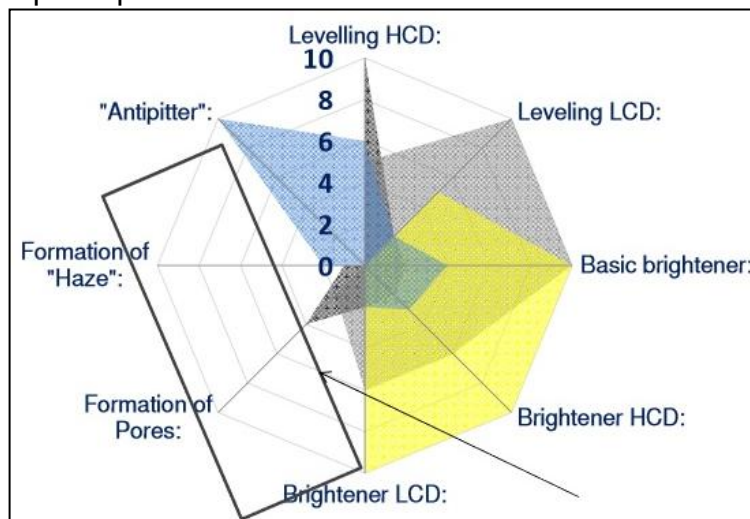
Con la manipulación de la formulación del Primus EX 520 al Primus EX 200 se puede lograr una mejora en los aspectos de nivelación y penetración, aunque el brillo pueda que se afecte.

El proceso Primus EX tiene como ventajas:

- Reduce la posibilidad de poros en las piezas.
- Reduce la posibilidad de velos.
- Capas con brillo espejo.
- Alta nivelación sin riesgo a picaduras.
- Aplicable a temperaturas mayores a 37°C
- Sistema ácido libre de anilinas.
- La posibilidad de acumulación de cobre por geometrías convexas se disminuye.
- Proceso tolerante a altos niveles de sobredosis en sus aditivos orgánicos.

Para resumir el desempeño de los aditivos de esta familia por separado se citara una imagen comparativa que el desarrollador Dr. Hesse ha diseñado.

**Figura 8.** Comparación de aditivos individuales Vs típicos problemas



**Fuente:** Recuperado de la exposición del técnico (Bremicker, 2015)

**1.2.6 Definición equipos<sup>11</sup>.** Al igual que los insumos químicos, se debe cumplir el requerimiento técnico de equipos para un desarrollo a cabalidad de este trabajo; en el ANEXO B se encuentran las fichas técnicas y certificados de los equipos a utilizar.

**1.2.6.1 Especificación de los Agitadores.** Según la especificación dada por las fichas técnicas procedimentales para las electrodeposiciones de *Cobre en medio Alcalino* y *Cobre en medio Acido* se deben usar dos tipos de agitación, en este caso para el medio alcalino debe ser mecánica, mientras que para la acida debe ser vía neumática.

**1.2.6.2 Rectificadores.** Este instrumento es de vital importancia en la electrodeposición ya que es capaz de transformar la corriente alterna de Filmtex S.A.S con tomas bifásicas de hasta 220V en corriente continua con bajos niveles de energía, esto teniendo en cuenta que la función base de esta herramienta es movilizar a mayor velocidad los electrones de  $\text{Cu}^+$  para que puedan ser electro depositados sobre la lámina de Latón, agilizando la experimentación.

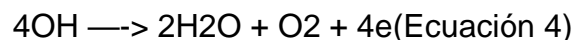
Además de lo anterior cabe resaltar que su uso a nivel industrial es común ya que agiliza notablemente la electrodeposición de un metal sobre una superficie, sin utilizar grandes cantidades de energía.

**1.2.6.3 Ánodo de Cobre.** El ánodo en las electrodeposiciones es quien entrega los electrones para que sean llevados al punto a recubrir.

**1.2.6.4 Cátodo.** En una celda electrolítica es quien se encarga de recibir los electrones entregados por el ánodo.

**1.2.7 Definición tratamientos.**

**1.2.7.1 Desengrase electrolítico.** Este se encarga de la limpieza electrolítica de la pieza, este proceso se lleva a cabo conectando la pieza a la parte anódica del rectificador y utilizando una lámina de acero inoxidable en el cátodo, considerando que esta funciona como material inerte al momento de la inmersión de la corriente, por otro lado el medio en el que se efectúa este proceso debe ser alcalino para que se produzca la electrolisis del agua (Ec. 4):



El oxígeno formado en la reacción produce un efecto de fregamiento en la superficie y arrastra los contaminantes limpiando las piezas.

---

<sup>11</sup>KOCOUR COMPANY. 2016. HULL CELLS. *HULL CELL TESTING EQUIPMENT*. CHICAGO, ILLINOIS : 3M, 2016. 4/97.

**1.2.7.2 Activación.** Proceso el cual adecua la superficie del metal base seguidamente del mordentado (si aplica); este, se basa en un ataque químico ácido muy leve sobre la superficie para erradicar trazas diminutas de moléculas orgánicas que se le hayan escapado retirar al desengrase o las mismas moléculas orgánicas saponificables que usan los distintos desengrases, más aun los iones  $H^+$  tienen una participación importante en la superficie de una pieza que fue desengrasada electrolíticamente por el proceso de la electrolisis del agua en un medio alcalino que es normalmente el medio en el que los desengrases electrolíticos son formulados. Para regular esta concentración de iones  $H^+$  se acostumbra a usar sustancias que actúen como “tampones” constituidos generalmente por ácidos muy poco disociados, por esta razón las concentraciones de ácido sulfúrico en la preparación del activado no sobrepasan el 5% v/v.

**1.2.7.3 Tratamiento Electrolítico. (Make- Up).** Un electrolito es aquel que tiene la capacidad contener iones en su composición orbitando libres, los que le ayudan a comportarse como un conductor eléctrico, en la industria química existen diversos tipos y se han definido según las capacidades de algunos metales la figura 9 explica el rendimiento catódico de diferentes metales, es decir de la capacidad que tienen de reducirse partiendo de los postulados de Michael Faraday.

**Figura 9.** Rendimiento Catódico de baños galvánicos

<i>Rendimiento catódico de baños galvánicos</i>	
<i>Elemento</i>	<i>Rendimiento catódico</i>
Plomo	90 + 100 %
Bronce	95 + 100 %
Cromo brillante	8 + 12 %
Cromo duro	12 + 28 %
Cadmio	85 + 95 %
Cobre cianurado	95 + 100 %
Cobre ácido	95 + 100 %
Latón	60 + 85 %
Níquel	90 + 100 %
Plata	95 + 100 %
Zinc cianurado	75 + 95 %
Zinc ácido	95 + 100 %

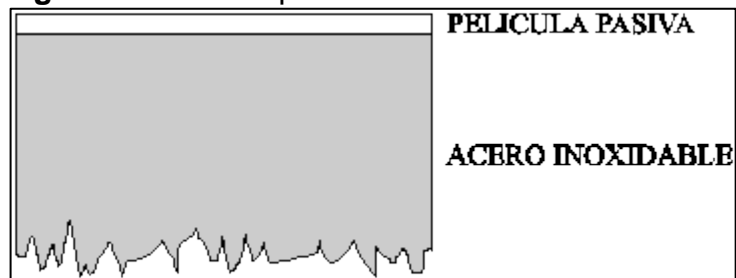
**Fuente:** Corrosión Industrial, Jose Maiquez, 1990 pág. 96

La aplicación principal en este documento se basa en el recubrimiento de Cobreeste reside en el hecho de constituir un depósito intermedio para el niquelado y posterior cromado de muchos metales, además de cumplir con la función directa de proteger contra diversos agentes corrosivos, proporciona al hierro y sus aleaciones.

En otros casos, el cobreado ha sido empleado con fines de reproducción de ciertas superficies, e incluso se han utilizado baños electrolíticos de cobre para obtener en mayor estado de pureza, chapa o hilo de cobre.

**1.2.7.4 Pasivado.** Es la formación de una película relativamente inerte sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal) (Fig10), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos. Para la actual experimentación se utilizara esta técnica para poder observar el brillo sobre la pared de Latón, quien será el cátodo utilizado.

**Figura 10.** Película pasivada



**Fuente:** Ciencia de ingeniería de matriales Donald R. Askeland, 2004 pag. 87

## 2. DIAGNOSTICO DE PROCESO USADOS EN LA INDUSTRIA DE LA MARROQUINERÍA Y ELÉCTRICA EN EL SECTOR METALICO

Mediante este capítulo se buscara obtener una secuencia lógica de actividades, que lleven al diagnóstico y posibles fallos de los procesos de electrodeposición en las industrias marroquinera y eléctrica en el sector metálico, para ello se utilizaron muestras de las empresas G y G Ingeniería e Industrias Tiber, quienes pertenecen a este rubro comercial.

### 2.1 G Y G INGENIERIA<sup>12</sup>

G y G Ingeniería es una empresa que se dedica al tratamiento de piezas mediante baños electrolíticos de diferentes metales sin embargo su principal actividad es la de electro depositar cobre alcalino ( $\text{Cu}^{\text{OH}+}$ ) por tal motivo se optara por realizar los análisis respectivos sobre ese electrolito en cuestión, el baño con estas características arroja fallas en la terminación final del producto de la operación final de la empresa, por tal motivo sobre este electrolito se empezaran a realizar los análisis correspondientes; con el fin de encontrar posibles errores y una solución acorde a las peticiones del cliente.

**2.1.1 Esquematización de procesos.** A continuación se explicaran los procesos que son llevados a cabo por G y G Ingeniería quien hace la representación de empresa con intensión comercial hacia el sector eléctrico.

**2.1.1.1 Definición de materias primas.** En los siguientes cuadros se explica el uso del metal base como cátodo, el cual solo se encuentra en el 5 % de los materiales usado por G y G Ingeniería, es decir el que se someterá a la electrodeposición además de los insumos y aditivos que fueron utilizados en el baño (Tab. 4).

---

<sup>12</sup>INGENIERIA, G Y G. 2015. VISITA INDUSTRIAL. *Ing. Quimica*. Bogota, 15 de Noviembre de 2015.



**Tabla 3.** Porcentaje de participación del metal base usado en G y G Ingeniería

Metal	% Participación
Cobre	60
Aluminio	25
Acero	10
Latón	5

**Fuente:** Gy GIngenieria, 2015, visita industrial

**Tabla 4.** Insumos y aditivos utilizados dentro del baño electrolítico

Electrolito Cobre Alcalino	
Insumos de los baños	Aditivos utilizados
Cianuro de Cobre	HAG-90 Brightener
Cianuro de Potasio	HAG-90 Carrier
Hidróxido de Potasio	

**Fuente:** : Gy GIngenieria, 2015, visita industrial

Estos datos están basados las fichas técnicas proporcionadas por Dr. Hesse (Anexo C).

**2.1.1.2 Condiciones operacionales.** A pesar que G y G ingeniería dentro de sus divisiones más destacadas encuentra la sección de plateado y estañado para el presente trabajo solamente se analizara el proceso de cobrizado, la tabla 5 enuncia los compuestos que hacen parte del electrolito de cobre alcalino correspondiente a lo descrito por la empresa en cuestión.

**Tabla 5.** Composición y características del baño de cobre alcalino de G y G ingeniería.

<u>Proceso Cobre Alcalino</u>			
Variables de operación	Densidad	18	°Be
	[CN <sup>Libres</sup> ]	32	g/L
	[Sal Rochelle]	17,2	g/L
	[Cu <sup>-</sup> ]	57	g/L
	Temperatura	65	°C
	Ánodo	Cobre	-
	Corriente	1,5	Amp
	PH	11,5	MEAS
	Agitación	Aire	-
Variables Aditivos	[Carrier]	5	g/L
	[Brightener]	15	g/L

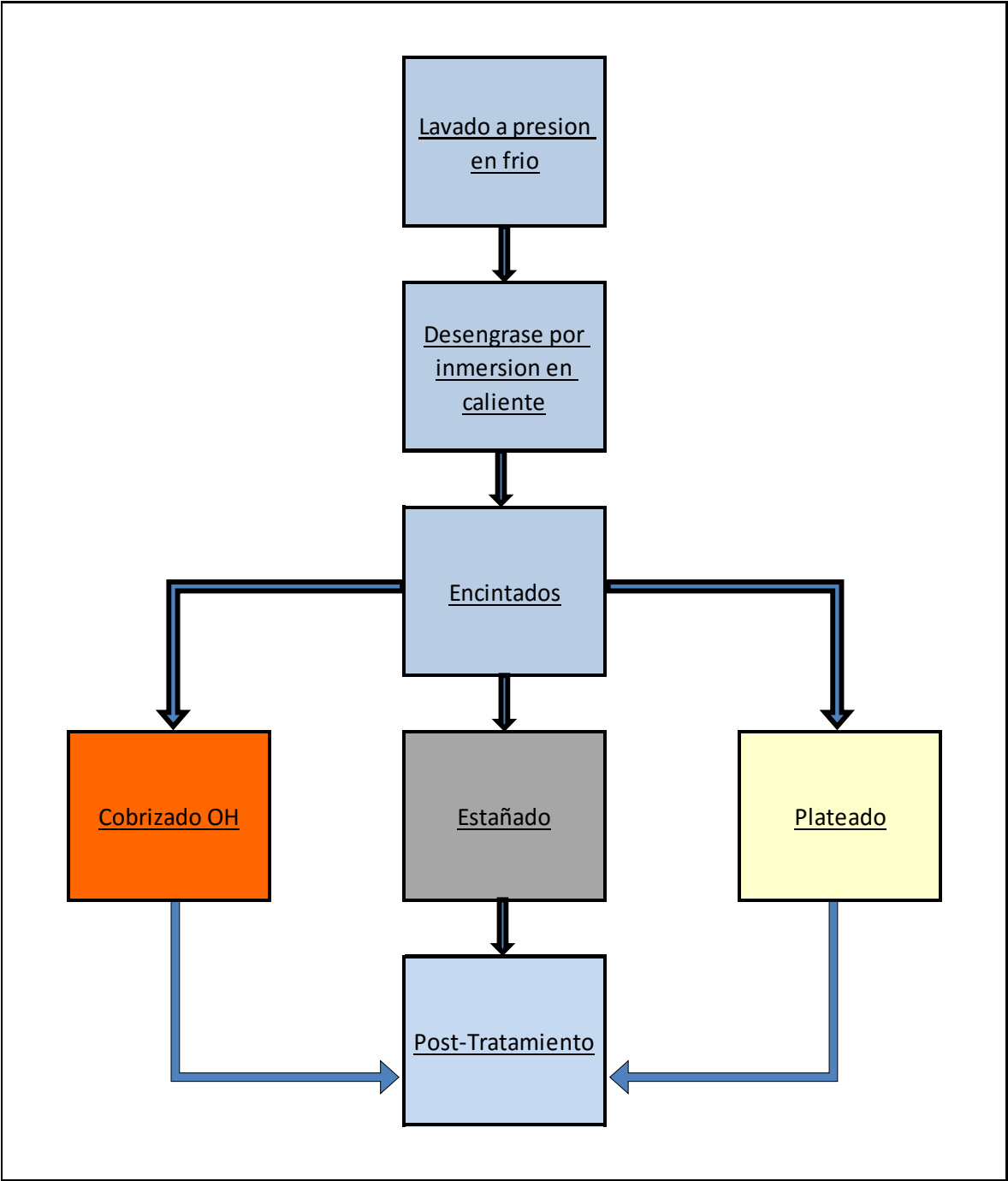
**Fuente:** : Gy GIngenieria, 2015, visita industrial

**2.1.2 Diagnóstico de fallas.** A continuación se procederá a esquematizar y posteriormente identificar las posibles fallas que arrojan los procesos en cuestión, con el mero fin de descartar los errores de la solución electrolítica.

**2.1.2.1 Proceso operativo.** Para realizar este procedimiento se utilizaron los diagramas de Grafcet (Funciones gráficas para comandos etapas y transiciones del *Frances Graphe Fonctionnel de Commande Etapes- transitions*) y se utilizó la normativa para preparación de diagramas funcionales para sistemas de control IEC 848, este modelo de diagrama se usó teniendo en cuenta su naturaleza secuencial, a pesar que G y G aún no ha automatizado este proceso es factible la utilización de esta herramienta si se sabe que su estructura está basada en etapas y transiciones y permite representar cualquier diagrama de estados. Se debe indicar además que esta clase de herramienta está diseñado para operaciones con procesos electro-neumáticos y electro-hidráulicos lo cual representa una alta relación con los indicados en el actual trabajo de grado.

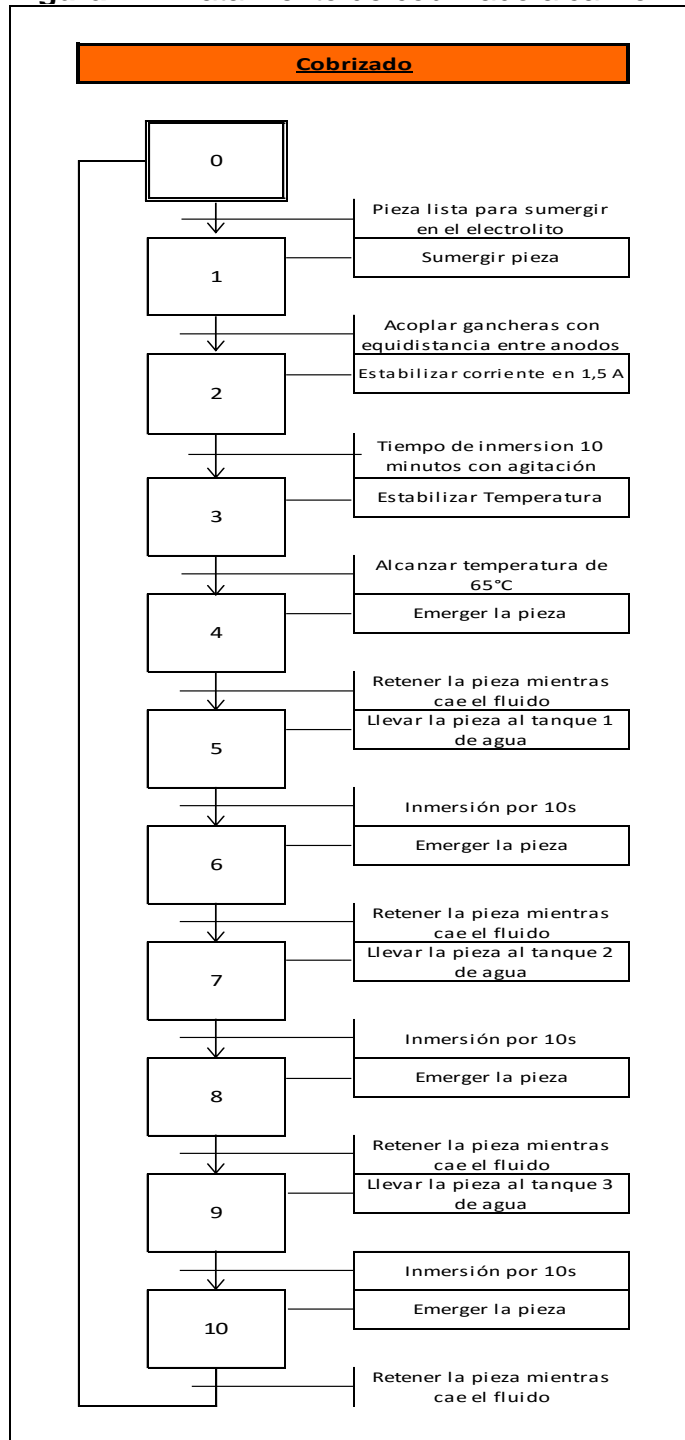
La Figura 11. Corresponde al tren de tratamientos de la planta G y G y se efectúa sin hacer uso de la norma IEC 848 sin embargo muestra un bosquejo de las operaciones unitarias realizadas por G y G Ingeniería.

Figura 11. Operaciones realizadas en la planta de G y G Ingeniería



## Tratamientos electrolíticos GyG Ingeniería

Figura 12. Tratamiento de cobrizado alcalino



**2.1.2.2 Esquematación de fallas por proceso.** A continuación en la tabla 6 se muestra información paso a paso, conforme avanza el proceso, hasta el producto final (Proceso, posible fallo, supuesto de fallo y parámetros de devolución).

**Tabla 6.** Esquematación de fallas de la planta G y G Ingeniería.

Proceso	Posible fallo	Supuestos de falla	Parámetros por devolución
<u>Cobrizado OH</u>	<u>Lenta deposición</u>	<u>Falta de sales</u> <u>Falta de aditivos</u>	<u>Espesores no aptos en un tiempo moderado</u> <u>Brillo con picado y velos evidentes</u>

La tabla 6. enuncia datos netamente cualitativos que fueron un aporte de la visita industrial de G y G Ingeniería en su proceso de cobrizado alcalino ( $\text{Cu}^{\text{OH}+}$ ), cabe resaltar que no se encontraron fallas en el post-tratamiento y por ende se logra sesgar aún más, por otro lado y teniendo en cuenta que el cobre se utiliza como baño barrera algunas de las fallas más comunes encontradas en las placas finales, se evidenciaron en los procesos electrolíticos posteriores; es decir en los de Estaño y plata. Sin embargo en el pre-tratamiento, en la sección de encintados, la mala postura de los mismos implicaba un desgaste excesivo de los ánodos, para este caso el de plata y cobre.

**2.1.2.3 Análisis de condiciones del electrolito.** De las tabla 6 se concluye que el electrolito en cuestión presenta fallas, por tal motivo se realizó un muestreo preventivo y se llevó a los análisis respectivos de laboratorio allí se analizaron, variables físicas Tab 7, químicas Tab. 8 y de celda Hull Tab. 9.

Para la tabla 7 se analizaron las variables físicas del electrolito, estas fueron de carácter físico neto.

**Tabla 7.** Propiedades físicas del electrolito de Cobre OH-

Análisis medido	Parámetro medido	Cantidad	Unidad 1	Cantidad	Unidad 2
Medición de pH, Densidad y Conductividad	PH	11,5	MEAS	-	-
	Conductividad	131,5	mS	-	-
	Temperatura	Ambiente	°C	-	-
	Densidad	18	°Be	1,14	<b>g/mL</b>
	<b>Color</b>	<b>Transparente amarillento leve opaco</b>			

Para la tabla 8 se utilizaron las marchas analíticas que fueron especificadas por Enthoneomi de Méxicoesto con el fin de hacer una comparación objetiva sobre los estándares de los electrolitos según la marca Dr. Hesse. (Ver Tab 8)

**Tabla 8.** Marchas analíticas sobre el electrolito de  $\text{Cu}^{\text{OH}+}$  de G yG Ingeniería.

Marcha analítica empleada	Parámetro medido	Cantidad	Unidad	Parámetro calculado	Resultado	Unidad
<i>Contenido de cianuros de Sodio, Potasio y Cobre mediante titulación.</i>	EDTA	16,2	mL	Cianuro de Cobre	79,5	g/L
	Nitrato de Plata	14,1	mL	Cianuro de Potasio	36,6	g/L
<i>Determinación de Hidróxido de Sodio y Potasio mediante titulación.</i>	Ácido Clorhídrico	23,1	mL	Hidróxido de Potasio	25,9	g/L
<i>Determinación Sal de Rochelle mediante titulación.</i>	Permanganato de Potasio	0,6	mL	Sal de Rochelle	1,4	g/L

Para la tabla 9 se realizaron análisis sobre la celda Hull en donde se evidenciaron los parámetros que debe conllevar el recubrimiento electrolítico, al finalizar se utilizó un método netamente objetivo para enunciar las fallas sobre las pieza final, para este caso una placa de latón, allí mediante una experimentación con replica se observa que los rangos en los que oscila G y G Ingeniería están entre 9 y 40%, un rango inaceptable si se conoce que los rangos de aceptación a nivel industrial se encuentran entre los 55 y 65 %.

**Tabla 9.** Análisis de Celda Hull y placas de Latón Finales

Nombre	Amperaje (A)	Temperatura (°C)	Agitación	Tiempo	Brillo % (1)	Brillo % (2)	Brillo % Neto	Observaciones
	Voltaje (V)	PH						
$\text{Cu}^{\text{OH}^-}$	1,1	56	Aire	5 min	9,43	40,51	24,97	Algunas manchas de grasa; Alta penetracion; Lluviosidad.
	4,1	10,9						

**2.1.2.4 Comparación de datos existentes con la teoría.** A continuación en la tabla 10 se evidencia el estado del electrolito de Cobre alcalino presentado por GyG Ingeniería.

Con un ponderado del porcentaje de concentración con respecto a los valores ideales el electrolito de GyG Ingeniería está en un 54,1% de viabilidad en sus sales. Con respecto al único parámetro por encima del rango ideal se tiene un 863,3% por encima de una concentración normal de Hidróxido de Potasio, por la cual la relación entre sales no está bien.

Según lo anterior, el análisis en laboratorio arroja que es un electrolito el cual no está completamente en sus mejores condiciones de operación.

**Tabla 10.** Reporte Final de las variables existentes versus las de Ficha técnica

Parámetros	Resultados	Optimo	Rango de Operación		Unidad
			Mínimo	Máximo	
Cianuro de Potasio	36,6	150	140	160	g/L
Cianuro de Cobre	79,5	83	73	93	g/L
Cianuros Libres	14,6	32	30	34	g/L
Cobre Metálico	56,3	62	60	64	g/L
Hidróxido de Potasio	25,9	3	2	4	g/L
Sal de Rochelle	1,4	37	27	47	g/L
PH	11,5	-	-	-	MEAS
Corriente	1,1	-	-	-	A
Diferencial de potencial	4,1	-	-	-	V
Conductividad	131,5	-	-	-	MS
Temperatura	25	-	-	-	°C
Densidad	1,14	-	-	-	g/mL
Color	Amarillo traslucido leve opaco	-	N.A.	N.A.	N.A.



## 2.2 INDUSTRIAS TÍBER<sup>13</sup>

Industrias Tíber es una empresa que se especializa en dar un tratamiento electrolítico a herrajes pasando por muchos trenes de tratamiento para dar un finalizado ya sea de Níquel y oro. En estos, están inmersos los electrolitos de cobre ácido y níquel electrolítico, los cuales se optara por realizar los análisis respectivos en cuestión.

**2.2.1 Esquematización de procesos.** A continuación se explicaran los procesos que son llevados a cabo por Industrias Tíber quien hace la representación de empresa con intensión comercial hacia el sector de herrajes aplicados a la marroquinería.

**2.2.1.1 Definición de materias primas.** En la tabla 11. se explica el uso del metal base como cátodo, es decir el que se someterá a la electrodeposición además de los insumos y aditivos que fueron utilizados en el baño (Tab.12).

**Tabla 11.** Porcentaje de participación del metal base usado en Industrias Tíber

Metal	% Participación
ZAMAK	90
Latón	10

**Fuente:** (Tiber, 2015) todos los derechos reservados 2015

**Tabla 12.** Insumos y aditivos utilizados en el baño electrolítico

Electrolito Cobre Acido	
Insumos del baño	Aditivos Utilizados
Sulfato de Cobre	Primus EX 200
Ácido Sulfúrico	

**Fuente:** (Tiber, 2015) todos los derechos reservados 2015

**2.2.1.2 Condiciones Operacionales.** Aunque en la empresa Industrias Tíber se analizan en control de calidad solo las piezas finalizadas de Níquel y Oro, para el presente trabajo solamente se analizaran los procesos de cobrizado que esta empresa tienen en ejecución; el pre-tratamiento y post-tratamiento se tendrá en cuenta pero como una variable estandarizada debido a que no es del interés de

<sup>13</sup>**TIBER, INDUSTRIAS. 2015.** VISITA INDUSTRIAL. *ING. QUIMICA.* Bogota, 30 de Noviembre de 2015.

este trabajo profundizar en los pasos mencionados anteriormente. Teniendo en cuenta los electrolitos a trabajar, se anuncian en la tabla 2.0 los compuestos que hacen parte del electrolito de cobre ácido correspondiente al análisis hecho.

**Tabla 13.** Composición y características del baño de cobre ácido de Industrias Tíber

<u>Proceso Cobre Acido</u>			
Variables de operación	Densidad	22	°Be
	[CuSO <sub>4</sub> ]	381	g/L
	[H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]	75	g/L
	NaCl	74.4	g/L
	Temperatura	25	°C
	Ánodo	Cobre	-
	Corriente	2	Amp
	PH	0.25	MEAS
	Agitación	Aire	-
Variables Aditivos	[Brightener]	5	mL/L

Con estas características se desdibuja una realidad parcializada del que pueden ser las fallas en la operación de estos electrolitos dentro de la empresa, por tal motivo sobre estas muestras se generan hipótesis para poder desarrollar en consecuencia la posible preparación y experimentación con el fin de encontrar los posibles errores y una solución acomodada a las necesidades del cliente.

**2.2.2 Diagnóstico de Fallas.** A continuación se procederá a esquematizar y posteriormente identificar las posibles fallas que arrojan los procesos en cuestión, con el mero fin de descartar los errores de la solución electrolítica.

**2.2.2.1 Proceso Operativo.** Los procesos que son llevados en Industrias Tíber se pueden esquematizar en diferentes modelos gráficos los cuales describen un paso a paso acorde a los diferentes procesos que manejan las industrias; en este caso, los diagramas de Grafcet (contextualización dada en el subcapítulo anterior) servirá para la descripción detallada de los procesos a analizar en esta empresa. Al tener en cuenta la norma instituida por estos diagramas (IEC 848<sup>10</sup>) y además dar el resumen general de la práctica de todos los trenes que usa Industrias Tíber como los que se irán a trabajar en el presente documento, estos, se representan a continuación:

**Figura 13.** Operaciones Realizadas en Industrias Tiber

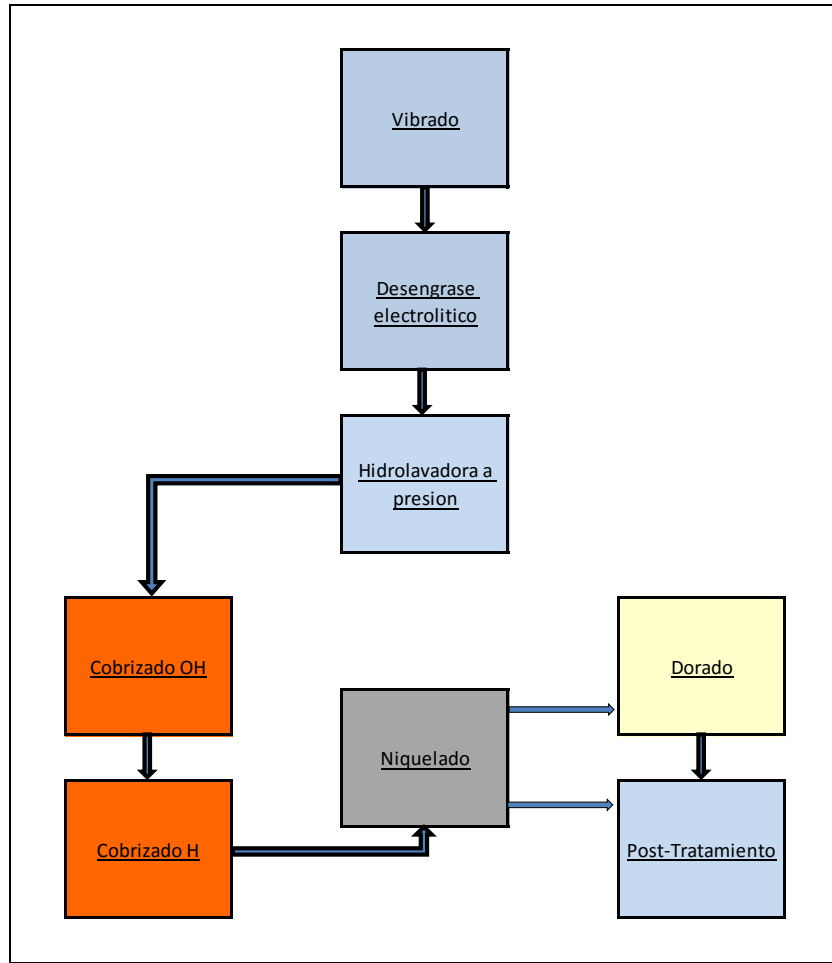
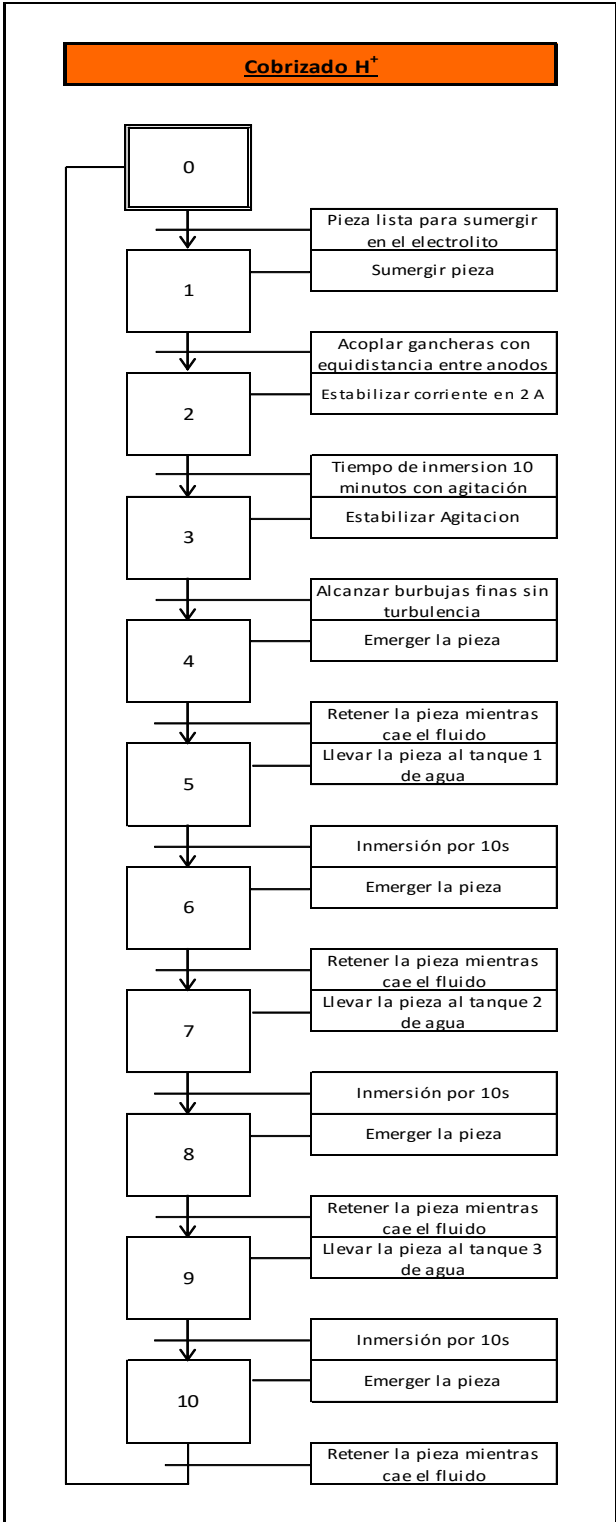


Figura 14. Procedimiento de Cobrizado acido



**2.2.2.2 Esquematación de fallas por proceso.** Realizando un seguimiento riguroso en el paso a paso descrito en los diagramas Grafcet del sub capítulo anterior, se discrimina cuatro aspectos importantes para la localización al igual que contextualización de posibles fallas de procesos que tenga la empresa en cuestión; estos aspectos se exponen a continuación:

**Tabla 14.** Esquematación de fallas de la planta Industrias Tíber

Operación Unitaria	Posible fallo	Supuestos de falla	Parámetros por devolución
Cobrizado H <sup>+</sup>	Aditivos	1. Mala Operación.	Lluviosidad
		2. Relaciones de adición no adecuadas	No Nivelada
		3. Combinación de aditivos	-
	Requerimientos del tanque	1. No hay consistencia día a día con el control de operación (Bombeo, Parámetros del electrolito)	-
Operatividad	1. Evaluación subjetiva.	-	

De la tabla 14 se extraen datos netamente cualitativos aportados por Industrias Tíber y se puede concluir que el “Nubado, Veteado, Lluviosidad y la no nivelación” son los principales factores que hacen efectiva la mayoría de las devoluciones. Segando un poco la tabla anterior este trabajo se enfocara en el área de tratamiento de las piezas, más específicamente en el cobrizado el cual es la fuente de la mayoría de las causales por devolución en el producto final cuya cifra actual está entre el 2% y 3% para G y G y Tíber respectivamente; se ahondará este tema en el capítulo 5. La baja especificación técnica, bajas calidades en las materias primas, rangos de temperatura muy grandes y diferencial de potencial muy irregular son algunos factores y variables que pueden ser responsables de los parámetros por devolución de Industrias Tíber y a la vez responsables por la oportunidad de mejora existente.

**2.2.2.3 Análisis de condiciones del electrolito.** Como ya se había especificado en el diagnostico pasado se utilizaran 3 tablas que especifican las condiciones del electrolito, (carácter físico, químico y rendimiento en celda hull). Para las primeras tablas se analizaron las variables físicas del electrolito, estas fueron de carácter netamente físico.

**Tabla 15.**Propiedades físicas del electrolito de Cobre<sup>H+</sup>

Procedimiento	Parámetro medido	Cantidad	Unidad 1	Cantidad	Unidad 2
Medición de pH, Densidad y Conductividad	PH	0,25	MEAS	-	-
	Conductividad	>199,9	Ms	-	-
	Temperatura	Ambiente	°c	-	-
	Densidad	22	°Be	1,19	g/MI
	Color	Azul profundo translucido			

Para la segunda parte se utilizaron procedimientos analíticos redactados, especificados y verificados por ENTHONE OMI la cual tiene su casa matriz en Estados Unidos con sede en México.

**Tabla 16.**Marchas analíticas empleadas sobre el electrolito de Cobre<sup>H+</sup> de Industrias Tíber

Marcha analítica empleada	Parámetro medido	Cantidad	Unidad	Parámetro calculado	Resultado	Unidad
Determinación de sulfato de cobre mediante titulación.	EDTA	7,5	mL	Sulfato de Cobre	187,1	g/L
Determinación de ácido sulfúrico mediante titulación	Hidróxido de Sodio	22,4	mL	Acido Sulfúrico	109,7	g/L
Determinación de cloruros mediante titulación	Nitrato de Mercurio 1	14,8	mL	Cloruros	76,6	ppm
	Nitrato de Mercurio 2	4	mL			

En la siguiente tabla se evidencia un informe de la práctica especializada para electrodeposiciones; allí mediante una experimentación con replica se observa que los rangos en los que oscila Industrias Tíber están entre 19 y 39%, un rango inaceptable si se conoce que los rangos de aceptación a nivel industrial se encuentran entre los 65 y 75 %.

**Tabla 17.** Análisis Celda Hull para Cobre<sup>H+</sup>

Nombre	Amperaje (A)	Temperatura (°C)	Agitación	Tiempo	Brillo % (1)	Brillo % (2)	Brillo % Neto	Observaciones
	Voltaje (V)	pH						
Cu <sup>H+</sup>	2,4	25	Aire	5 min	18,83	39,19	29.01	Manchas de grasa, lluviosidad, baja penetración, se realizaron dos pruebas donde se observaron notables fallas.
	2,9	0,3						

**2.2.2.4 Comparación de datos existentes con la teoría.** En la tabla 18 se mostrara al detalle los resultados de los parámetros analizados en cuanto a las sales disueltas, contrastados con los rangos de operación que según las fichas técnicas proporcionadas por Dr. Hesse deben estar situadas.

**Tabla 18.** Resultados de laboratorio para Cu<sup>H+</sup> Vs parámetros ideales según ficha técnica Dr. Hesse

Parametros	Resultados	Optimo	Rango de Operación		Unidad	Metodo de Analisis
			Minimo	Maximo		
Níquel Metalico (II)	90,4	70	60	80	g/L	Volumetria (EDTA)
Cloruros	29,2	20	15	25	g/L	Volumetria (AgNO <sub>3</sub> )
Acido Bórico	28,3	42,5	35	50	g/L	Volumetria (NaOH)
pH	4,2	-	-	-	MEAS	OAKTON 11
Conductividad	160,1	-	-	-	mS	Series (Calibracion - Tecniespectro S.A.S)
Temperatura	Ambiente	-	-	-	°C	Densimetro Baume
Densidad	1,2	-	-	-	g/mL	Organoleptica
Color	Verde Semiopaco	-	N.A.	N.A.	N.A.	

Las relaciones entre las sales de este electrolito son de 93,5% para el Sulfato de Cobre, 156,7% del Ácido Sulfúrico y del 76,6% en cuanto a los cloruros respecto a una concentración de los mismos según bibliografía técnica del proveedor.

Se puede mejorar estas condiciones dejando un electrolito apto para un buen funcionamiento, aunque, para la experimentación actual estas concentraciones no están en una tolerancia menor al 5% lo cual es indicativo de posibles fallas en el depósito brillante.

## **2.3 RECHAZO**

**2.3.1 Causas.** Para los procesos de galvanizado las principales causas de rechazo son las visuales, aunque todo depende de la aplicación de las piezas, en este caso GyG Ingeniería e Industrias Tíber tiene parámetros como el brillo estudiado en este proyecto en su área de calidad.

Los rangos que comúnmente se exponen en la industria son CUALITATIVOS por lo tanto expresiones de “velos”, “halos”, “piel de naranja”, “mate”, “coloraciones”, “quemado”, entre otros son los parámetros que las industrias utilizan, calor esta, que estos calificativos los realizan personas en los cuales han sido entrenadas un tiempo prudente para poder identificar y diferenciar cada uno de estos parámetros.

En el capítulo 4 se describirán rangos cuantitativos para la descripción de la aceptación o rechazo de las piezas por medio de Unidades de Brillo las cuales son unidades representativas para medir la variable en cuestión.

**2.3.2 Posibles resultado para evitar rechazos.** Al desarrollar las diferentes metodologías propuestas se pretende aumentar el desempeño de la formulación de los aditivos para los procesos de cobre ácido y cobre alcalino sin olvidar tener un margen económico en cuanto a la operación de la densidad de la corriente.

Posibles resultados como:

- Aumento en el brillo
- Brillo constante con densidad de corriente menor.
- Brillo constante pero aumento en la densidad de corriente mediante manipulación de distancias entre ánodo/cátodo.

Son posibilidades de resultados los cuales nos pueden afectar directamente la tasa de rechazo, generando una disminución en un porcentaje determinado cuyo valor económico se multiplicara por el 300% por razones de operación industrial que conlleva realizar un tren de reproceso al material rechazado. En el siguiente numeral se ahondara en el tema.



## **2.4 COSTOS DE REPROCESO**

En el gremio industrial de la galvanoplastia y galvanostegia es común tener porcentajes de rechazo en un rango entre 5% y 0.25. Estos rechazos son separados y adecuados para un proceso llamado reproceso, cuyo objetivo es recuperar el metal base para poderlo volver a electro depositar. Los pasos son los siguientes:

**2.4.1 Disposición de material extra.** Descompletar el lote de seguridad para dar una respuesta rápida al pedido rechazado.

**2.4.2 Recuperación de piezas.** Identificar las piezas rechazadas, y empezar el tren de tratamiento de reproceso el cual empieza con un desplaque completo o parcial, seguido de fundición para corrección del material base y finalmente el tratamiento galvánico predeterminado.

**2.4.3 Reposición de material extra.** Completar el stock de seguridad.

De acuerdo a los anteriores tres pasos, la industria asume un costo de reproceso de un 300% por unidad de material manejado sea por pieza o por área. Por esto, es imperativo tratar de disminuir estos datos de rechazo al mínimo ya que se puede estar ahorrando cada unidad el triple del costo original.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 REVISIÓN DE REACTIVOS DEL PROCESO COBRE ALCALINO

Las sales y aditivos de este proceso están presentadas en la tabla 19. :

**Tabla 19.** Inventario de reactivos usados

Reactivos	Cantidad	Unidad	Aditivos	Cantidad	Unidad
KCN	825	G	HAG-90 Brightener	27,5	mL
CuCN	459,25	G	HAG-90 Carrier	82,5	mL
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	82,5	G	Nota: Factor de seguridad del 10%		
KOH	16,5	G			
Rochelle	206,25	G			

#### 3.2 REVISIÓN DE REACTIVOS DEL PROCESO COBRE ACIDO

Para la preparación y realización del presente trabajo experimental, se requirieron los siguientes insumos para el proceso en cuestión.

**Tabla 20.** Inventario de reactivos usados

Reactivos	Cantidad	Unidad	Aditivos	Cantidad	Unidad
CuSO <sub>4</sub>	1100	G	Primus EX200 Brightener	27,5	ML
NaCl	0,55	G	Primus EX520 Brightener	22	ML
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	385	ML	Primus EX520 Leveller	44	ML
Carbon Act.	27,5	G	Nota: Factor de seguridad del 10%		

#### 3.3 EQUIPOS Y CARACTERÍSTICAS

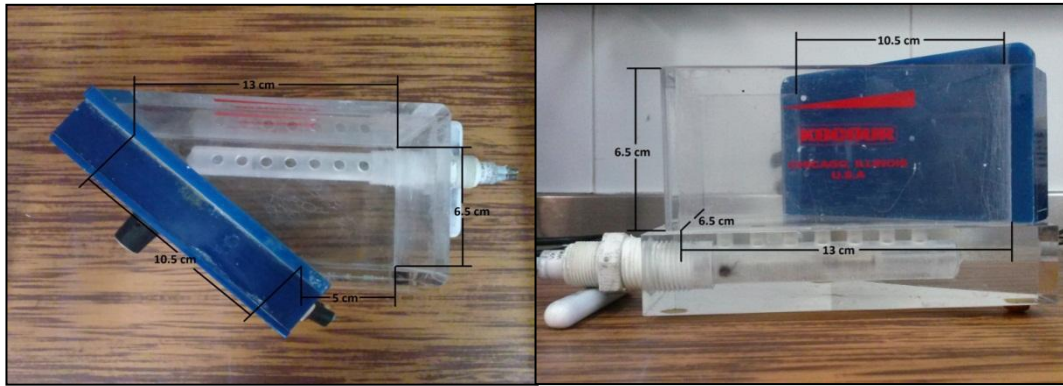
**3.3.1 Celda Hull.** Se da a conocer a continuación algunos parámetros y características de este reactor y evidencias fotográficas del mismo.

**Tabla 21.** Características básicas del reactor

<b>Área Total</b>	58.50 cm <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	380.25 cm <sup>2</sup>
<b>Masa Total</b>	728.20 G

**Fuente:**(Kocour Company, 2016)

**Figura 15.** Fotografías del reactor



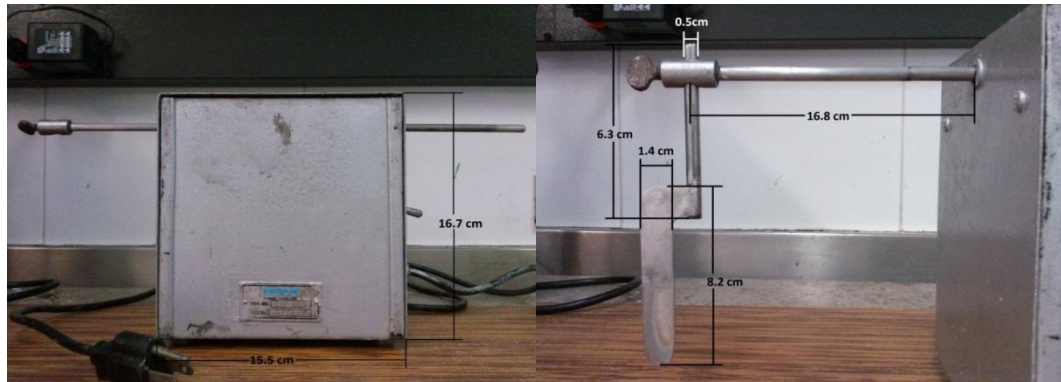
**3.3.2 Agitador mecánico.** Se utilizó un agitador de marca Kocour con una paleta de acero inoxidable, en la Figura 16 se especifican las medidas del mismo y de la paleta.

**Tabla 22.** Características básicas de los agitadores

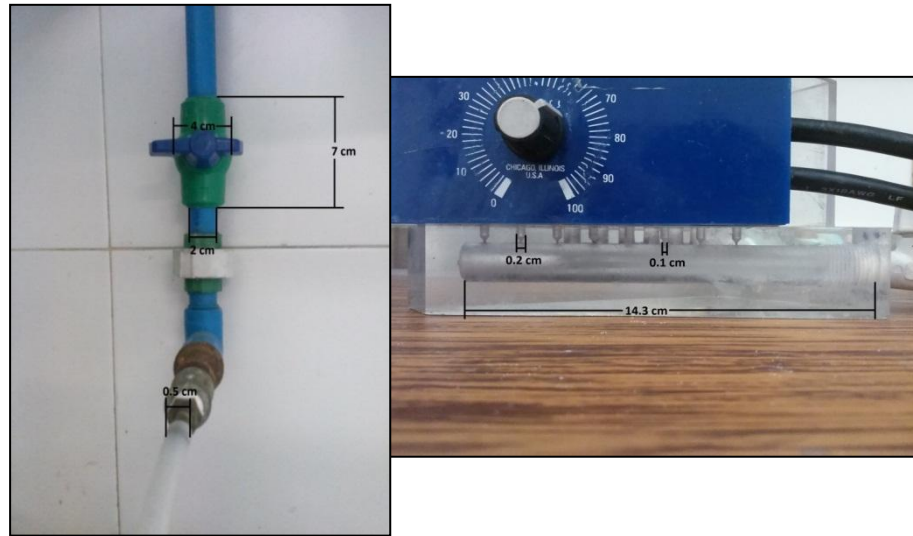
Mecánico	Velocidad de agitación en aire	0.0817	m/s
	Velocidad de agitación fluido	0.0810	m/s
Neumático	Energía empleada	4.908	W
	Presión Máxima	1500	psig
	Presión de Operación	14.50 - 29.01	psig

**Fuentes:** Ficha tecnica, Kocour Company, 2016

**Figura 16.** Fotografías del agitador



**Figura 17.** Fotografías del agitador neumático



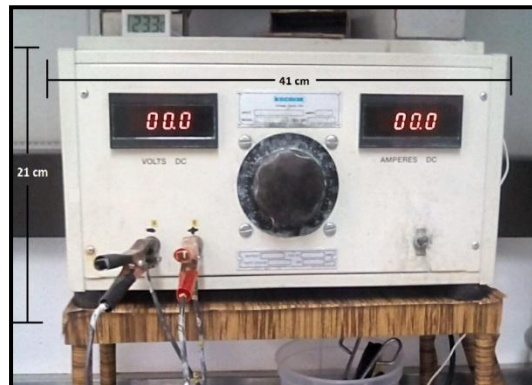
**3.3.3 Rectificadores.** Los experimentos a realizar son a nivel laboratorio, por lo que se cuenta con un rectificador de potencia nominal y frecuencia baja.

**Tabla 23.** Características básicas del rectificador

Potencia nominal	115 V ac
Corriente nominal	3 Amp
Energía empleada	345 W

**Fuente:** Ficha técnica Kocour Company, 2016

**Figura 18.** Fotografía del rectificador



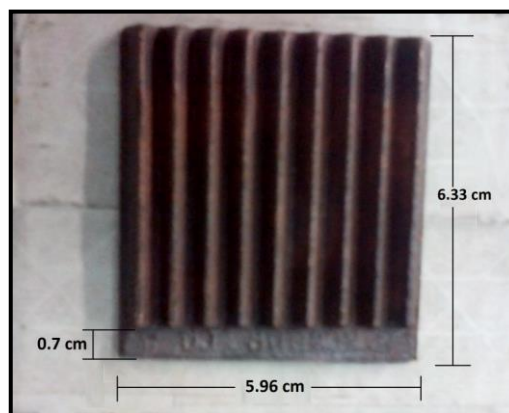
**3.3.4 Ánodo de Cobre.** Para la presente experimentación se utilizó un ánodo de cobre fosforado de forma rectangular lo cual es de gran utilidad ya que al ser fosforado su tiempo de autopasivado aumenta.

**Tabla 24.** Características básicas delos ánodos

Área de transferencia	33.55	cm <sup>2</sup>
Masa de Cobre	7.54	G

**Fuente:** Ficha tecnica Kocour Company, 2016

**Figura 19.** Fotografía del ánodo



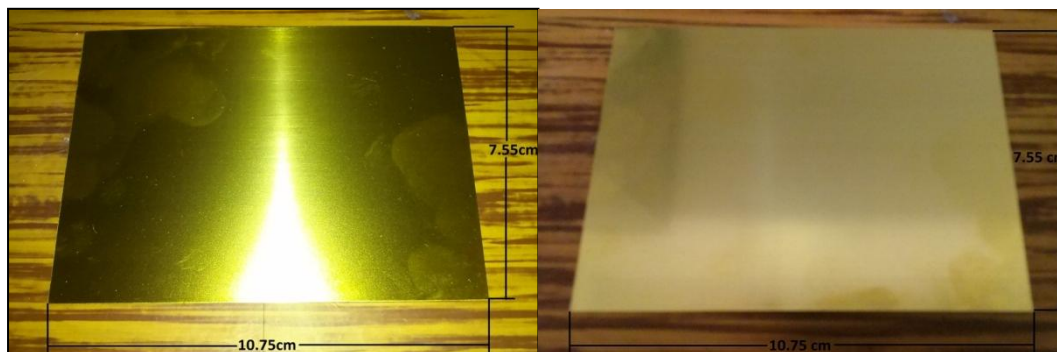
**3.3.5 Cátodo de Latón.** En esta experimentación se utilizaron láminas de Latón, con una cara lista de fábrica y una mate.

**Tabla 25.** Características básicas del cátodo

Área de transferencia	164.15	cm <sup>2</sup>
Masa de latón	4.06	G

**Fuente:**(Kocour Company, 2016)

**Figura 20.** Cátodo de Latón por la cara con mayor refinamiento de grano



### 3.3.6 Plancha de calentamiento.

**Tabla 26.** Características básicas de la plancha de calentamiento

Energía empleada	680 W
Potencia nominal	110 V ac
Temperatura máxima	380 °C

**Fuente:** Hot plate an magnetic Jisico, 2013

**Figura 21.** Vista lateral de la plancha de calentamiento



### 3.3.7 Brillometro.

**Tabla 27.** Características del  
brillometro

Brillometro	
Valores	0-2000 (UB)
Precisión	+1,5(UB)
Dimensiones	180 x 60 mm
Alimentación	1 pila alcalina AA

**Figura 22.** Brillometro



**Fuente:** Representaciones  
Adenfor -2016

Nota: Las especificaciones más detalladas de los equipos utilizados se encuentran en el Anexo B FICHAS TECNICAS POR EQUIPOS.

## 3.4 ESTABLECIMIENTO DE PRETRATAMIENTOS

Para la actual experimentación se utilizó un tren de pretratamiento básico el cual consiste de un desengrase electrolítico (última fase de un tren de desengrases en serie) y un activado; cabe resaltar que en la industria el uso de la etapa de decapado en un pretratamiento es importante ya que los materiales base que llegan a estas empresas se encuentran contaminados con distintas clases de grasas, óxidos y agentes externos sin identificar, sin embargo como se resaltaba en el capítulo anterior el cátodo utilizado cumplía con especificaciones de limpieza ya predeterminadas, lo cual, hacia innecesario el uso de un pretratamiento completo.

**3.4.1 Desengrase electrolítico.** Se utilizó el desengrase electrolítico recomendado por la ficha técnica de Dr. Hesse (Anexo C), si además se tiene en cuenta que la variable desengrase en un tren de pre tratamiento puede ser influyente se debe denotar que para la actual experimentación se dejó constante,

por tal motivo en la tabla 27. Se evidencian cuales fueron estas condiciones operacionales de este proceso.

**Tabla 28.** Condiciones estándar del desengrase electrolítico

<b>Tipo de desengrasante</b>	Electrolítico	
<b>Aditivo</b>	FETTEX EN	
<b>Condiciones operacionales</b>		
Temperatura	50	°C
Tiempo de inmersión	30-80	s
Densidad de corriente	2	A
Cantidad para 900 mL	0.0405	Kg

**3.4.2 Activación.** Para la actual experimentación se utilizó la activación como pre tratamiento y sus condiciones operacionales fueron constantes ;en el capítulo 1 se explica la función de este parámetro y en el Anexo C se encuentra el certificado de calidad del ácido utilizado;en la tabla 28 se muestran los datos constantes que fueron participes en el tren de pre tratamiento.

**Tabla 29.** Condiciones estándar de la activación

<b>Tipo de activación</b>	Acida	
<b>Reactivo</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5% v/v
<b>Condiciones operacionales</b>		
Temperatura	30	°C
Tiempo de inmersión	60	s
Densidad de corriente	N.A.	N.A.
Cantidad	1	L

**3.4.3 Consideraciones de interferencia (pre tratamiento).** El desengrase y la activación tienen variables las cuales son factores de interferencia, temperatura, tiempo de inmersión, concentraciones que manejen son factores los cuales repercuten en la variable respuesta del proyecto.

**3.4.3.1 Factor desengrase.** La densidad de corriente, tiempo, diferencial de potencial y temperatura son variables inmersas en este proceso; aunque anteriormente se estandarizaron estas condiciones es propicio aclarar que en el momento en el que alguna de estas cambie pueden afectar la pieza de la siguiente manera:



**Tabla 30.** Connotación de fallas - desengrase

Variable	Consideración	Rango	Falla en el cátodo
Densidad de corriente	Muy Alto	$> 4 \text{ A/dm}^2$	Deja rastros de carbonización, quema de la superficie.
Densidad de corriente	Muy bajo	$< 1 \text{ A/dm}^2$	No hay proceso de hidrogenación, no hay desengrase.
Tiempo de inmersión	Muy alto	$> 10 \text{ min}$	Debilitamiento en la superficie; genera picaduras.
Tiempo de inmersión	Muy bajo	$< 30 \text{ s}$	Remoción parcial de las impurezas; no hay buen desengrase.
Diferencial de potencial	Muy alto	$> 5 \text{ V}$	Quema en los cables de conducción eléctrica; pasivación del ánodo; no hay desengrase.
Diferencial de potencial	Muy bajo	$< 1 \text{ V}$	Conductividad excesiva; desengrase muy alcalino, ataque químico al cátodo, genera picaduras.
Temperatura	Muy alta	$> 70 \text{ }^\circ\text{C}$	Deformación de la geometría; desnaturalización de los tenso activos en el electrolito; mal desengrase.
Temperatura	Muy baja	$< 25^\circ\text{C}$	Aumento del diferencial de potencial

**Fuente:**(Dr. Hesse, 1996)

**3.4.3.2 Factor Activación.** La concentración acida, tiempo y temperatura son las variables operativas de este procedimiento; no es un paso muy sensible a los cambios en la naturaleza del cátodo pero se pueden dar las siguientes consecuencias:

**Tabla 31.** Connotación de fallas – activación

Variable	Consideración	Rango	Falla en el cátodo
Concentración del ácido	Muy Alto	> 5% v/v	Generación de poros, rajaduras y ampollas.
Concentración del ácido	Muy bajo	< 1% v/v	Falta de neutralización de álcalis sobre la superficie; fallos visuales notorios en el tratamiento.
Tiempo de inmersión	Muy alto	> 10 min	Generación de poros, rajaduras y ampollas.
Tiempo de inmersión	Muy bajo	< 10 s	Falta en la neutralización de álcalis sobre la superficie; fallos visuales notorios en el tratamiento
Temperatura	Muy alto	> 40°C	Sube el ataque químico del ácido sobre la superficie, mismos efectos como si la concentración fuera muy alta
Temperatura	Muy bajo	< 10°C	Sin efectos representativos

### 3.5 PREPARACION DE LOS ELECTROLITOS

Se busca una preparación homogénea para todas las experimentaciones hechas con un mismo electrolito, los tipos y clases de electrolitos se explican en el capítulo 1.

#### 3.5.1 Cobre en medio ácido

**Tabla 32.** Make up cobre ácido

Materias primas	Formula	Cantidades	Unidades
Sulfato de cobre pentahidratado	$\text{CuSO}_4$	200	g/L
Cloruro de Sodio	NaCl	0,1	g/L
Ácido Sulfúrico	$\text{H}_2\text{SO}_4$ [98%]	70	mL/L
Carbón activado	$\text{C}^{\text{activado}}$	5	g/L

**Fuente:**(Dr. Hesse, 2014)

El procedimiento consiste en 4 pasos:

- Se llena el recipiente en 2/3 con agua des ionizada caliente.
- Se agregan las cantidades de Sulfato de cobre pentahidratado y de Cloruro de sodio lentamente con agitación.

- Por último se agrega el ácido sulfúrico.
- Se trata la solución con carbón activado durante 30 minutos de agitación, 30 minutos de decantación y se pasa al filtrado.

### 3.5.2 Cobre en medio Alcalino.

**Tabla 33.** Make Up cobre alcalino

<b>Materias primas</b>	<b>Formula</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Unidades</b>
Cianuro de Potasio	KCN	150	g/L
Cianuro de Cobre	CuCN	83,5	g/L
Carbonato de Potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15	g/L
Hidróxido de Potasio	KOH	3	g/L
Sal de Rochelle	-	37,5	g/L

**Fuente:**(Dr. Hesse, 2012)

El procedimiento consiste en 3 pasos:

- Llenar el tanque a 2/3 del volumen final con agua des ionizada caliente.
- Disolver las sales en el siguiente orden:
  - KOH
  - K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
  - Sal de Rochelle
  - CuCN
  - KCN
- Llevar a volumen final

### 3.6 ESTABLECIMIENTO DE POST TRATAMIENTO

Como post tratamiento se denominan los procesos de pasivado y secado, los cuales aumentan la resistencia a la corrosión; esto con el fin de darle tiempo al experimentador de medir los brillos originales sin tener alguna interferencia por este fenómeno.

**3.6.1 Pasivado por inmersión.** Consiste en el siguiente Make Up: referenciado en la tabla 34; este proceso tiene como finalidad retardar la acción de la oxidación para las piezas de cobre a tratar, abriendo una brecha de tiempo prudente para la medición del brillo sobre estas piezas.

**Tabla 34.** Condiciones generales del pasivado

<b>Sales</b>	<b>Concentración</b>
Cromato de Sodio	0,83 g/L
Cloruro de Sodio	2,50 g/L
<b>Parámetros de operación</b>	
Temperatura	Ambiente
Ánodo	No aplica
Amperaje	No aplica
Tiempo de inmersión	60 s
PH	No aplica
Agitación	Sin agitación

**Fuente:** (DR. HESSE GMBH & CIE KG, 2012)

**3.6.2 Secado:** Este proceso consiste en insuflar aire por medio de un mecanismo neumático a presión para secar la pieza de la humedad lo más rápido posible evitando un posible mapeo por trazas de agua sobre la pieza. A continuación se referencia las condiciones de este proceso

**Tabla 35.** Condiciones generales del secado

<b>Secado</b>	
<b>Parámetros de operación</b>	
Temperatura	Ambiente
Presión	14.5 - 29.01 psig

### **3.6.3 Consideraciones de interferencia post tratamiento.**

**3.6.3.1 Factor pasivado.** En esta etapa del post-tratamiento es fundamental tener un buen control de las condiciones de operación ya que este procedimiento es sensible a cambios en la superficie del metal electro depositado en un tiempo muy corto.

La clase de reactivo a usar, la concentración del reactivo, el tiempo y la temperatura son las variables a tener en cuenta en este procedimiento

**Tabla 36.** Connotaciones de fallas – pasivado

Variable	Consideración	Rango	Falla en el cátodo
Clase de reactivo	Dicromato de potasio	No aplica	Experimentación requerida para distintas clases de reactivos.
Concentración del reactivo	Muy alto	> 5 g/L	Grumos de Oxido de cobre sobre la superficie; genera puntos marrones.
Concentración del reactivo	Muy bajo	< 0.1 g/L	Riesgo a oxidación rápida en ambiente.
Tiempo de inmersión	Muy alto	> 2 min	Velos y lluviosidad en superficie.
Tiempo de inmersión	Muy bajo	< 10 s	Riesgo a oxidación rápida en ambiente.
Temperatura	Muy alta	> 40 °C	Baja protección contra la corrosión.
Temperatura	Muy baja	< 10°C	Baja protección contra la corrosión.

**Fuente:**(Bremicker, 2015)

**3.6.3.2 Factor secado.**El tiempo y temperatura de secado son los factores de ruido a controlar.

**Tabla 37.** Connotaciones de falla - secado

Variable	Consideración	Rango	Falla en el cátodo
Tiempo	Muy Alto	> 30 min	Sin efectos representativos
Tiempo	Muy bajo	<1 min	Humedad en la pieza, oxidación rápida en los puntos húmedos.
Temperatura	Muy alto	> 100°C	Sin efectos representativos
Temperatura	Muy bajo	< 10 °C	Sin efectos representativos

### 3.7 METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION

Esta experimentación se fundamenta en un paso a paso secuencial dinámico, ya que cualquier interrupción dentro de los procedimientos puede causar un daño óptico a la pieza tal como la oxidación. La metodología que a continuación se presentara, se divide en tres grandes procesos, Pre-tratamiento, Tratamiento y Post-tratamientos, cada uno de ellos dividiéndose en sus procedimientos independientes.

#### 3.7.1 Pre-tratamiento.

**3.7.1.1 Desengrase electrolítico.** Los parámetros teóricos de este se explican en la sección 1.2.7.1 de este documento.

**Tabla 38.** Parámetros de operación para el desengrase

<b>Desengrase</b>		
Proceso	Fettex EN	
Polaridad	Catódica	
Corriente	2,0	A
Tiempo	60	s
Voltaje	3,8	V
T	48	°C

El procedimiento consiste en 4 pasos:

- Se sumerge las piezas en la solución acomodándose en el barraje catódico.
- Evaluar si hay efervescencia sobre las piezas tratadas.
- Esperar el tiempo parametrizado.
- Descolgar del barraje catódico sin dar mucha espera para el enjuague.

**3.7.1.2 Primer enjuague.**

**Tabla 39.** Parámetros de operación para el enjuague #1

<b>Enjuague</b>		
Proceso	Lavado	
Reactivo	Agua de la llave	
Tiempo	10	S

El procedimiento para el enjuague consiste en:

- Sumergir las piezas un corto periodo de tiempo
- Sacarlas del enjuague; evaluar su terminado
- Repetir sumergidas tanto como a evaluación subjetiva lo dicte (No dejar sumergidas las piezas, posible oxidación acelerada).

### 3.7.1.3 Activación

**Tabla 40.** Parámetros de operación para la activación

Activación		
Proceso	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[5%]
Tiempo	60	s
Tiempo	Ambiente	°C

La activación es un procedimiento el cual tiene 5 pasos:

- Se sumergen las piezas dentro de la solución activadora.
- Al estar sumergidas se evalúa posible efervescencia de la pieza.
- Si hay efervescencia pasiva esperar el tiempo parametrizado.
- Si hay efervescencia activa sacar las piezas de inmediato. No esperar mucho después de sacar las piezas en el ambiente proseguidas por un enjuague.

### 3.7.1.4 Segundo enjuague

Proceso idéntico al enjuague # 1.

**Tabla 41.** Parámetros de operación para enjuague #2

Enjuague		
Proceso	Agua Llave	
Tiempo	10	s

**3.7.2 Tratamiento electrolítico.** En este procedimiento se tiene parámetros de operación distintos en los dos procesos desarrollados (Industrias Tiber y GyG Ingeniería) ; como la naturaleza de cada uno de los electrolitos son distintos, estas condiciones también lo son:

### 3.7.2.1 Cobre Acido

**Tabla 42.** Parámetros de operación para el tratamiento de cobre acido

<b>Agitación</b>	Aire	
<b>Polaridad</b>	Catódica	
<b>Ánodo</b>	Cobre	
<b>Tiempo</b>	5	min
<b>PH</b>	0,35	MEAS
<b>T</b>	20	°C
<b>Corriente</b>	2	A
<b>Voltaje</b>	1.5	V

**Fuente:** Recuperado Dr. Hesse, 2014

El primer paso para electrolizar las piezas debe ser el adecuamiento del electrolito; para este es necesario que la densidad de corriente en el barraje tanto del cátodo como del ánodo estén ya energizados con la densidad de corriente a trabajar. Posterior a esto el electrolito debe estar con su agitación neumática encendida con sus parámetros fijos. Al tener estos dos parámetros operacionales listos ya se puede decir que el electrolito esta adecuado para aceptar la pieza a electrolizar. Como última medida las piezas se cuelgan en el barraje catódico esperando su tiempo parametrizado. Al finalizar el tiempo, que en este caso son los cinco minutos referenciados en la tabla número 41 se retiran las piezas del barraje catódico e inmediatamente se procede con los enjuagues para no tener manchas por gotas de electrolito acido fresco.

### 3.7.2.2 Cobre Alcalino.

**Tabla 43.** Parámetros de operación para el tratamiento de cobre alcalino

<b>Agitación</b>	Mecánica	
<b>Polaridad</b>	Catódica	
<b>Ánodo</b>	Cobre	
<b>Tiempo</b>	5	Min
<b>PH</b>	12,36	MEAS
<b>T</b>	60	°C
<b>Corriente</b>	1	A
<b>Voltaje</b>	1.7	V

**Fuente:** Recuperado de Dr. Hesse, 2012



Dando continuación a la descripción de los procedimientos; para este proceso alcalino el adecuamiento es prácticamente el mismo que el ácido, con la diferencia que antes de electro depositar las piezas este debe estar a la temperatura parametrizada y su agitación constante medidas en distancia por tiempo. Al tener este adecuamiento se procede a electrodepostiar las piezas.

Inmediatamente se termina el tiempo propuesto se descuelgan del barraje catódico, se evalúa su brillo y nivelación visualmente (este proceso no debe durar más de un minuto) y se toma la decisión de enviar para su respectivo enjuague o darle un par de minutos más para solucionar el problema visual detectado mediante la evaluación visual propuesta.

### 3.7.2.3 Parámetros de operación para enjuague #3

**Tabla 44.** Parámetros de operación para el enjuague #3

<b>Enjuague</b>		
Proceso	Agua Llave	
Tiempo	10	s

Procedimiento idéntico al enjuague #1.

### 3.7.3 Post-Tratamiento

#### 3.7.3.1 Pasivado

**Tabla 45.** Parámetros de operación para pasivado

<b>Pasivado</b>		
Proceso	Dicromato de Sodio	
Tiempo	60	S
T	Ambiente	°C

El pasivado es un proceso que se debe tener un control de tiempos muy bueno; ya que al exceder de los tiempos condicionado hay probabilidades de que la pieza pierda su recubrimiento o que queden defectos visuales.

Este procedimiento consiste en 3 pasos básicos:

- Sumergir la pieza en la solución.

- Activar algún temporizador para la medición exacta del tiempo propuesto.
- Al termino de este, se saca la pieza, se inspecciona y sigue su proceso al enjuague final

### 3.7.3.2 Parámetros de operación para enjuague #4

**Tabla 46.** Parámetros de operación para enjuague

<b>Enjuague</b>		
Proceso	Agua Llave	
Tiempo	10	s

Este procedimiento es idéntico al enjuague # 1.

### 3.7.3.3 Secado

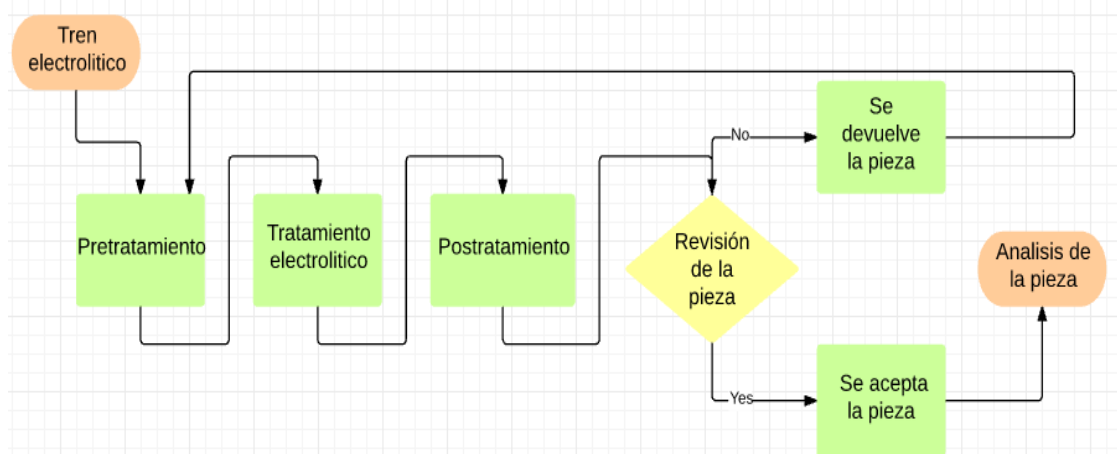
**Tabla 47.** Parámetros de operación para secado

<b>Secado</b>		
Proceso	Aire comprimido	
Tiempo	El requerido	
T	Ambiente	

Proceso el cual respeta estos pasos básicos:

- Manipular las piezas por medio de una pinza o algún material inerte y completamente limpio (Tratar de no manipular con guantes ya que estos tienen grasa y puede imprimir huellas sobre la superficie tratada).
- Exponer la pieza a un chorro de aire comprimido.
- Esperar el tiempo necesario para su secado total.
- Pieza lista para empacar.

**Figura 23.** Tren electrolítico experimental



La figura 23 resume el tren de tratamiento.

**3.7.4 Definición de tratamientos.** Consecuente al procedimiento individual de cada tratamiento, se esbozara como se definieron los niveles, los factores y los diferentes tratamientos para poder definir las series de experimentos a correr.

**3.7.4.1 Primus EX – 200.** El proceso del aditivo en cuestión fue una serie de tratamientos en serie y lineal; ya que se diseñó en base a tres niveles con un solo factor que es el único abrillantador que tiene este proceso; con esto, la combinatoria de tratamientos para este aditivo es la siguiente:

**Tabla 48.** Tratamientos del proceso Primus EX – 200

Aditivos Orgánicos	Niveles	Equivalencia en FT	Concentración	Unidad
Primus EX200 Brightener	3	1/3 FT	2,7	mL/L
		2/3 FT	5,3	mL/L
		3/3 FT	8	mL/L

Para la experimentación del aditivo se realizó una réplica para un total de 6 experimentos.

**3.7.4.2 Primus EX – 520.** La experimentación con estos dos aditivos fue un diseño factorial  $3^2$  con una réplica, es decir un total de 18 experimentos, esto con el único fin de disminuir el ruido en los resultados finales, la tabla 48 muestra las concentraciones a las cuales se efectuó la experimentación, la tabla 49 muestra las interacciones que se realizaron en el diseño factorial, en donde “B1” y “L1” hacen alusión a la concentración más baja de Brighthener y Leveller respectivamente; mientras que “B3” y L3 a la concentración más alta.

**Tabla 49.** Concentraciones del proceso Primus EX – 520

<b>Aditivos</b>	<b>Niveles</b>	<b>Concentración</b>	
PRIMUS EX520 Brightener	3	1,3	mL/L
		2,7	mL/L
		4.0	mL/L
PRIMUS EX520 Leveller	3	2,7	mL/L
		5,3	mL/L
		8.0	mL/L

**Tabla 50.** Interacción de los aditivos con su replica

<b>Cantidad de Experimentos</b>	<b>Tratamiento</b>
1	B1 y L1
2	Replica
3	B1 y L2
4	Replica
5	B1 y L3
6	Replica
7	B2 y L1
8	Replica
9	B2 y L2
10	Replica
11	B2 y L3
12	Replica
13	B3 y L1
14	Replica
15	B3 y L2
16	Replica
17	B3 y L3
18	Replica

**3.7.4.3 HAG 90.** Se utilizaron dos aditivos de la línea de aditivos “HAG 90” los cuales fueron el HAG 90 Carrier y HAG 90 Brighthener a estos se les efectuó un diseño experimental de naturaleza factorial  $3^2$  con una réplica aportando al final 18 experimentos la tabla 50 muestra las concentraciones usadas por cada aditivo, mientras que la tabla 51 muestra las interacciones de cada aditivo en donde “C1 y B1” son las concentraciones de Carrier y Brighthener más bajas y “ C3 y B3 las más elevadas correspondientes a las descritas por ficha técnica.

**Tabla 51.**Concentraciones del proceso HAG 90

<b>Aditivos Orgánicos</b>	<b>Niveles</b>	<b>Concentración</b>	
HAG 90 Carrier	3	1,7	mL/L
		3,3	mL/L
		5	mL/L
HAG 90 Brighthener	3	3,3	mL/L
		6,7	mL/L
		10	mL/L

**Tabla 52.** Interacción de los aditivos con su replica

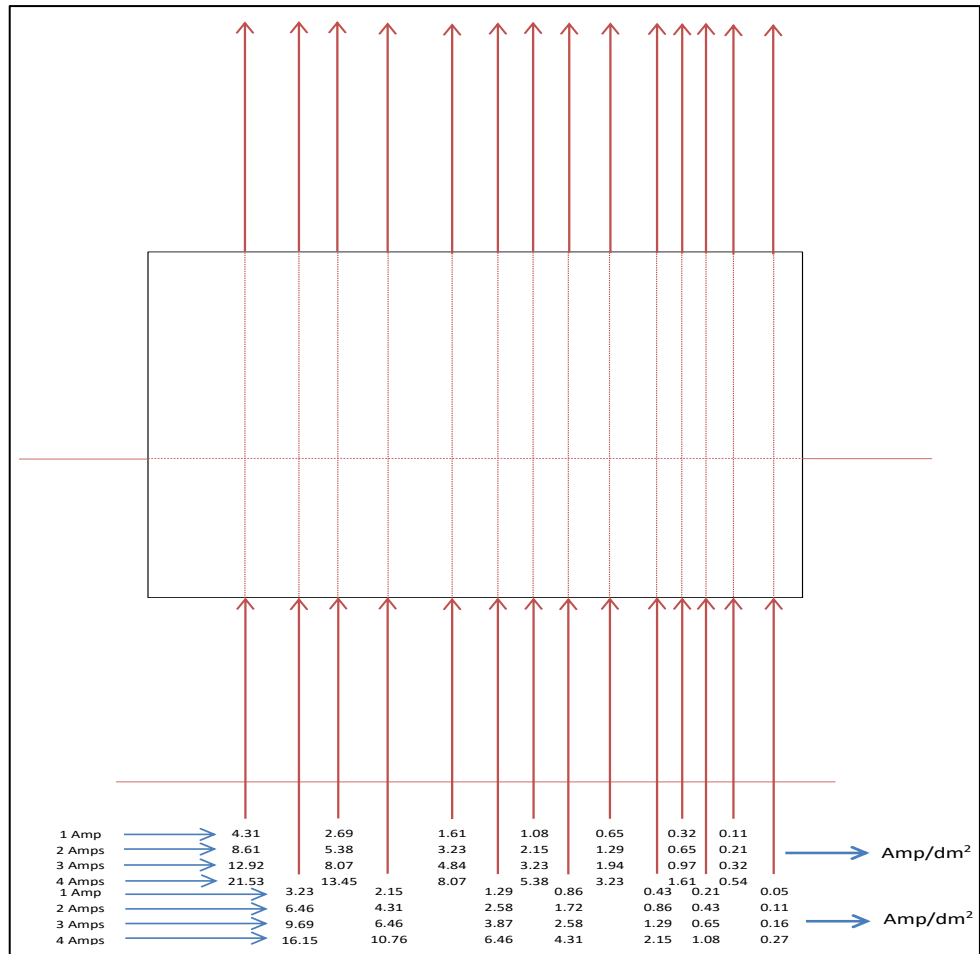
<b>Cantidad de experimentos</b>	<b>Tratamiento</b>
1	C1-B1
2	Replica
3	C1-B2
4	Replica
5	C1-B3
6	Replica
7	C2-B1
8	Replica
9	C2-B2
10	Replica
11	C2-B3
12	Replica
13	C3-B1
14	Replica
15	C3-B2
16	Replica
17	C3-B3
18	Replica

Para tener en cuenta, se tomaron como variables independientes la densidad de corriente y la concentración de aditivo mientras que el porcentaje de brillo fue la variable dependiente de cada tratamiento.

### 3.8 METODOLOGIA DEL ANALISIS DE LA PIEZA

Posterior a la experimentación se procedió al análisis de porcentaje de Brillo sobre cada intersección de densidad de corriente según ficha técnica operacional de "celda Hull" ver Figura 3, se utilizó esta plantilla y se creó una conforme a los parámetros del cátodo evaluado (Fig. 20), en la Figura 24 se observan 4 tipos de mediciones sin embargo solo se utilizarán dos, una para  $\text{Cu}^{\text{OH}^-}$  (1 Amp) y otra para  $\text{Cu}^{\text{H}^+}$  (2 Amp), las mediciones se realizaron con el brillómetro con un Angulo de reflexión de  $20^\circ$ .

**Figura 24.**Plantilla de análisis de % de brillo vs densidad de corriente



## 4. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación se mostraran los parámetros que fueron llevados a cabo para la interpretación, valoración y posterior argumentación de los datos recopilados dentro de la experimentación.

A lo largo de este documento se han descrito los conceptos, métodos y parámetros concebidos para realizar el análisis experimental de este trabajo de grado; a considerar, parámetros como el pre-tratamiento y post-tratamiento son procesos que se han dejado estandarizados y por consecuente el análisis va entorno al tratamiento que es donde se realizaron las mediciones de nuestra variable fundamental de medición que es el brillo.

### 4.1 CONSIDERACIONES DE INTERFERENCIA

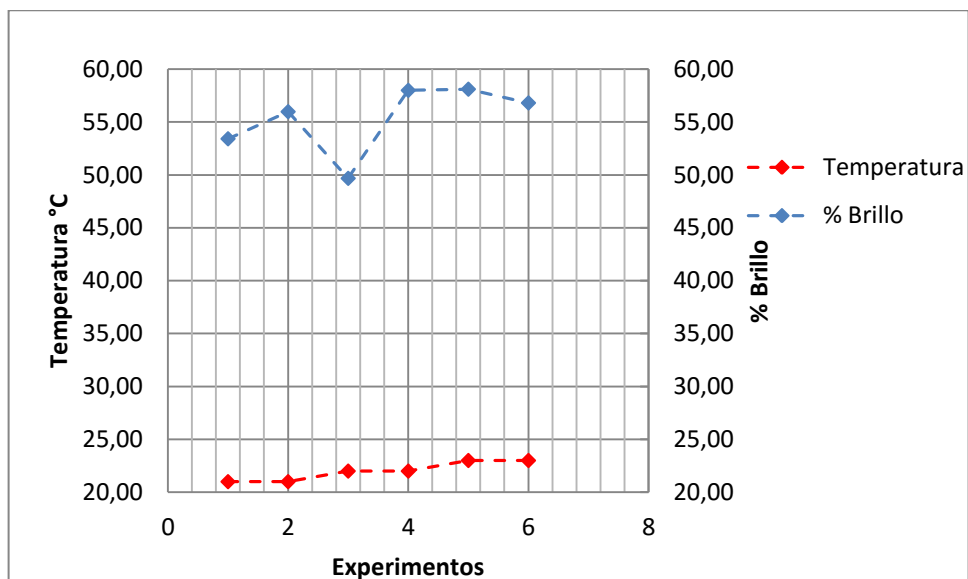
Los factores nuisance o ruido en la experimentación están focalizados en los dos procesos del pre-tratamiento (desengrase y activación) como en los procesos de post-tratamiento (pasivado y secado). De acuerdo al capítulo de materiales y métodos, los resultados arrojados para darle un buen manejo a las consideraciones de interferencia fueron:

**Tabla 53.** Interferencias controladas y no controladas

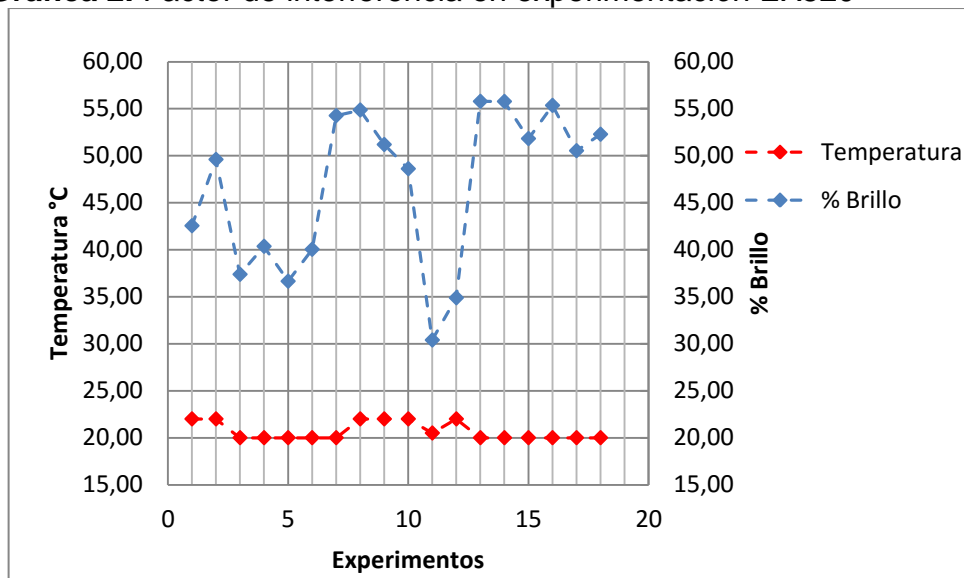
Proceso	Factores críticos	Controlado
Desengrase	Densidad de corriente	Si
	Tiempo de inmersión	Si
	Temperatura	Si
Activación	Concentración del acido	Si
	Tiempo de inmersión	Si
	Temperatura	No
Pasivado	Concentración del reactivo	Si
	Tiempo de inmersión	Si
	Temperatura	No
Secado	Tiempo de secado	No
	Temperatura	No

Siendo las temperaturas ambiente las únicas variables no controladas a continuación se mostrara como cambian estas con respecto a las experimentaciones.

**Gráfica 1.** Factor de interferencia en experimentación Primus EX200

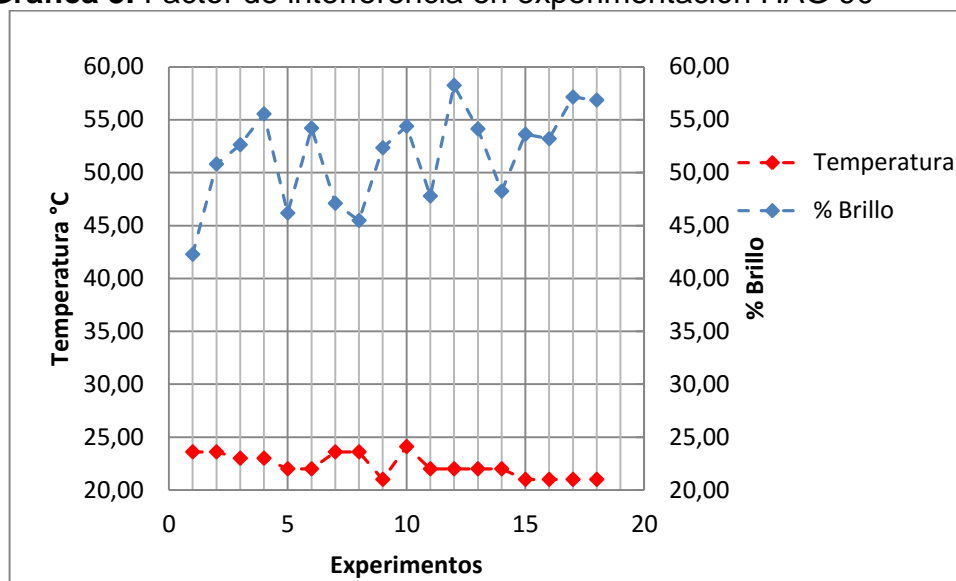


**Gráfica 2.** Factor de interferencia en experimentación EX520





**Gráfica 3.** Factor de interferencia en experimentación HAG 90



No hay relación entre estas variaciones de temperaturas insignificantes en el ambiente de tolerancia aproximadamente  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . En este punto este factor de interferencia es nulo para nuestra experimentación.

**4.1.1 Factor enjuague.** No se clasifico como un factor ruido ya que este es un procedimiento muy sencillo el cual no tiene parámetros específicos a seguir a nivel laboratorio que requieran de mayor atención.

## 4.2 HIPÓTESIS E INTRODUCCIÓN A LA VARIABLE DE RESPUESTA

Las hipótesis empleadas para el desarrollo de la presente experimentación fueron basadas en un el hecho básico de querer aclarar si los parámetros operativos de densidad de corriente y formulación de aditivos tienen un ligando formal hacia el brillo; variable cuantificada en esta experimentación; las hipótesis de los tres procesos se expondrán formalmente a continuación:

**Tabla 54.** Tabla de hipótesis

H <sub>1</sub>	La densidad de corriente por área afecta el porcentaje de brillo
H <sub>01</sub>	La densidad de corriente por área no afecta el porcentaje de brillo
H <sub>2</sub>	La concentración de aditivos orgánicos afecta el porcentaje de brillo
H <sub>02</sub>	La concentración de aditivos orgánicos no afecta el porcentaje de brillo
H <sub>3</sub>	La densidad de corriente por área y la concentración de aditivos orgánicos afectan el porcentaje de brillo
H <sub>03</sub>	La densidad de corriente por área y la concentración de aditivos orgánicos no afectan el porcentaje de brillo

El porcentaje de brillo se puede discretizar en rangos cuantitativos basados en el hecho de una medición estandarizada máxima además de partir de un mínimo igual a un valor de cero.

**Tabla 55.** Desratización de medición para el brillo

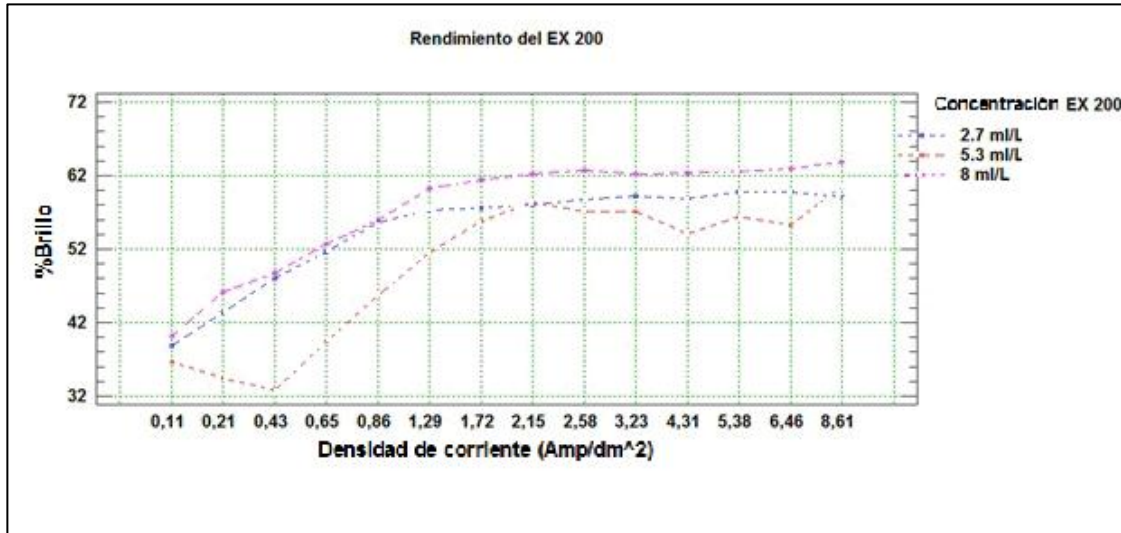
Geometría	Máximo UB	Discretización	
20°	2000	0 - 40 %	Inaceptable
		41 - 60 %	Aceptable
		61 - 80 %	Bueno
		81 - 100 %	Excelente

**Fuente:** KOKOUR y FICHA TECNICA BRILLOMETRO

**4.2.1 Comportamientos experimentales para el Cobre Acido.** Como se había dicho anteriormente el cobre en medio ácido fue evaluado mediante el uso de tres aditivos los cuales fueron el PRIMUS EX 200 BRIGHTENER, PRIMUS EX 520 BRIGHTENER y PRIMUS EX 520 LEVELLER estos dos últimos evaluados al mismo tiempo.

**4.2.1.1 PRIMUS EX 200 BRIGHTENER.** El primer aditivo que se utilizó según ficha técnica de Dr. Hesse asegura tener propiedades de abrillantamiento, la siguiente gráfica, muestra el comportamiento del brillo a diferentes concentraciones de este aditivo.

**Gráfica 4.** Comportamiento de la densidad de corriente versus la concentración de aditivo.



**Fuente:** Software Statgraphics centurion.

En la tabla 55 se muestran los resultados del ANNOVA propuesta desarrollado mediante el software Statgraphics.

**Tabla 56.** ANNOVA de las interacciones entre la densidad de corriente y el aditivo EX 200.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Densidad de Corriente	3610,21	13,00	277,71	26,13	0,00
B:Ex 200	565,48	2,00	282,74	26,61	0,00
INTERACCIONES					
AB	219,09	26,00	8,43	0,79	0,72
RESIDUOS	297,57	28,00	10,63		
TOTAL (CORREGIDO)	4776,08	69,00			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Fuente:** Software Statgraphics centurion

De la tabla 55 se evidencia que dos de los factores P son menores que 0.05 y que además de eso el software arroja un nivel de confianza del 95% esto indica que el brillo se ve afectado por la densidad de corriente y concentración de Primus EX – 200 de forma independiente y que la interacción entre estas dos variables no afecta en proporción significativa el brillo.

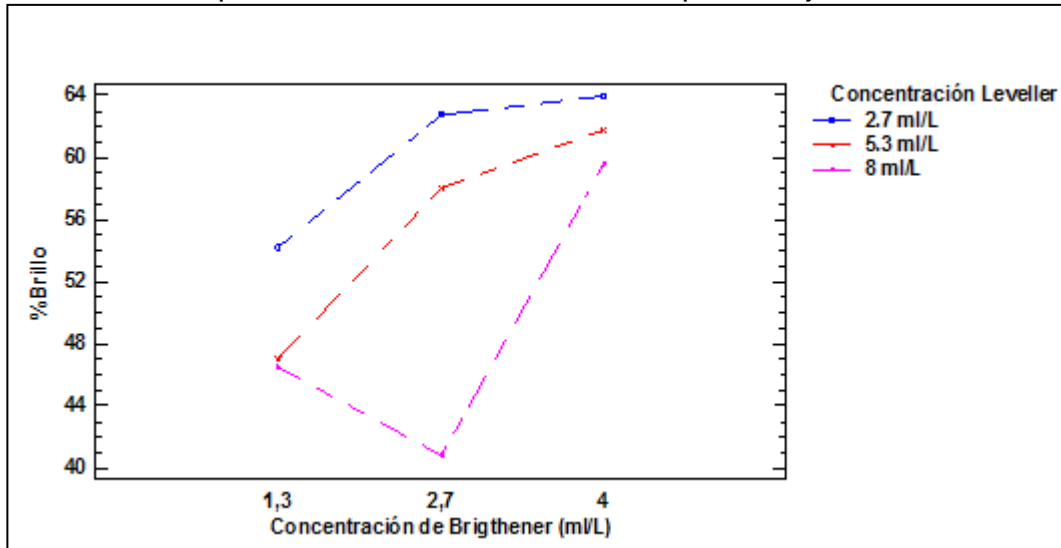
En la gráfica 4, la zona de baja densidad de corriente comprendida entre los valores 0,11 y 0,86 Amp/dm<sup>2</sup> muestra una pendiente de crecimiento elevada, por otro lado la zona de alta densidad de corriente comprendida entre 3,23 y 8,61 Amp/dm<sup>2</sup> muestra una pendiente de crecimiento baja, generando sospechas de la

mejor zona de desempeño del brillo con respecto a la utilización de la densidad de corriente y el aditivo.

Hallando la mejor concentración de aditivo para incrementar el brillo la cual fue de 8mL/L se deja como un estándar para la siguiente experimentación que cobija la adición de la mejor formulación del proceso Primus EX – 200.

**4.2.1.2 PRIMUS EX 520 Brighthener y Leveller.** Al hacer uso del software Statgraphics se obtuvieron las gráficas 5, 6 y 7 cuyos propósitos son ilustrar todas las interacciones que existían entre las variables independientes (P. 520 Brighthener, P. 520 Leveller y densidad de corriente) con respecto al porcentaje de brillo, esta última dependiente.

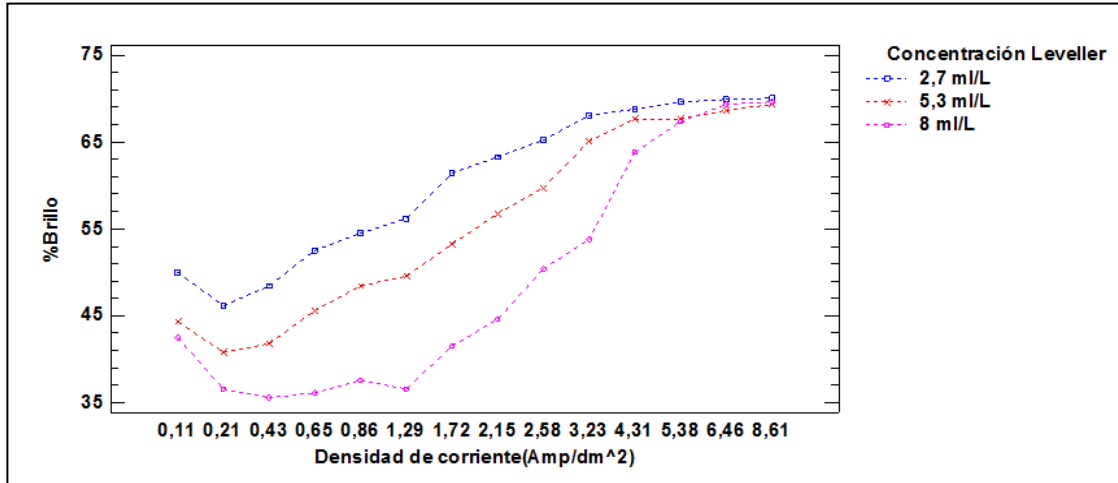
**Gráfica 5.** Comportamiento de los aditivos vs el porcentaje de Brillo



Fuente: : Statgraphics centurión

De esta grafica es factible observar cuales fueron los puntos con más variación partiendo de la premisa que la única evaluación pertinente para esta grafica es la interacción entre los dos aditivos orgánicos cuya densidad de corriente fue de 2Amp/dm<sup>2</sup>.

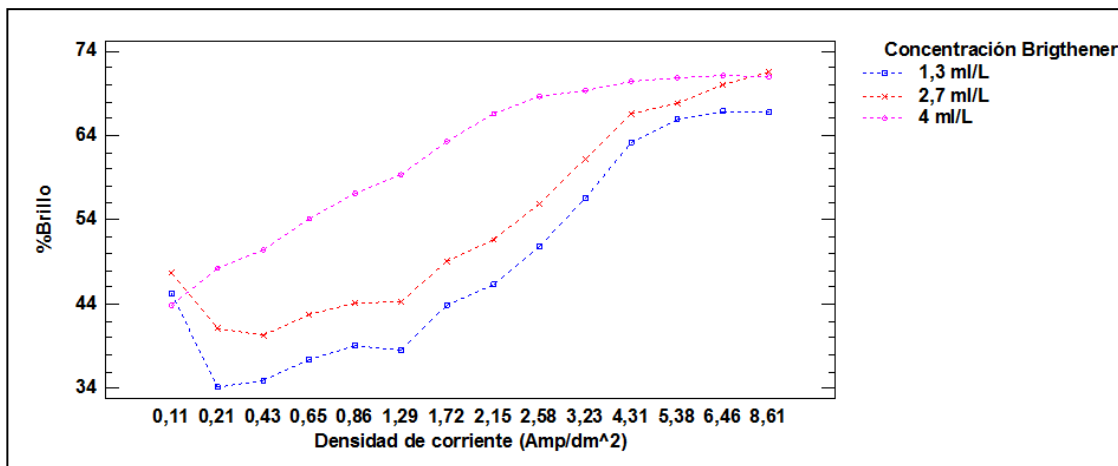
**Gráfica 6.** Comportamiento del aditivo Leveller versus la densidad de corriente



Fuente: : Software Statgraphics centurion

La gráfica 6 muestra el comportamiento del aditivo PRIMUS EX 520 Leveller con respecto a la densidad de corriente, de allí se puede interpretar que cada vez que la concentración de aditivo aumentó, la tasa de cambio positivo en el brillo disminuye. También, se nota que entre más elevada este la densidad de corriente la diferencia entre concentraciones de Leveller se hace nula por lo cual hay posibilidades de aprovechar una concentración de Leveller baja con altas densidades de corriente, esto es técnicamente viable sin asegurar que sea rentable.

**Gráfica 7.** Comportamiento de la concentración del aditivo Brighthener versus la densidad de corriente



Fuente: : Software Statgraphics centurión

**Tabla 57.** ANNOVA del análisis de varianza para el porcentaje de brillo – suma de cuadrados tipo 3

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Concentración Brighthener	6705,66	2,00	3352,83	186,99	0,00
B:Concentración Leveller	5458,28	2,00	2729,14	152,21	0,00
C:Densidad de corriente	26831,70	13,00	2063,98	115,11	0,00
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	3325,47	4,00	831,37	46,37	0,00
AC	2427,03	26,00	93,35	5,21	0,00
BC	2136,09	26,00	82,16	4,58	0,00
ABC	985,49	52,00	18,95	1,06	0,39
RESIDUOS	2259,24	126,00	17,93		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>50128,90</b>	<b>251,00</b>			

**Fuente:** Software Statgraphics centurión

Teniendo en cuenta los comportamientos tanto en las gráficas 6 y 7 como en el ANNOVA, se puede analizar desde un punto de vista de tasas de crecimiento para ver su relación en el resultado del brillo. A continuación se presenta la tabla de comportamientos de crecimiento:

**Tabla 58.** Tasa de cambio del % de brillo

Rangos Densidad de Corriente (Amp/dm <sup>2</sup> )	Rangos [ ] Leveller (ml/L)	Valores (Leveller)	Promedio por zona	Rangos [ ] Brightener (mL/L)	Valores (Brightener)	Promedio por zona	
0,11	2.70 - 8.00	7,00		1.30 - 4.00	1,00		
0,21	2.70 - 8.00	9,70		1.30 - 4.00	14,00		
0,43	2.70 - 8.00	12,50	12,64	1.30 - 4.00	15,30	12,96	Zona de alta densidad de corriente
0,65	2.70 - 8.00	17,00		1.30 - 4.00	16,50		
0,86	2.70 - 8.00	17,00		1.30 - 4.00	18,00		
1,29	2.70 - 8.00	19,20		1.30 - 4.00	21,00		
1,72	2.70 - 8.00	20,00	18,10	1.30 - 4.00	19,20	19,40	Zona de media densidad de corriente
2,15	2.70 - 8.00	18,20		1.30 - 4.00	20,00		
2,58	2.70 - 8.00	15,00		1.30 - 4.00	17,40		

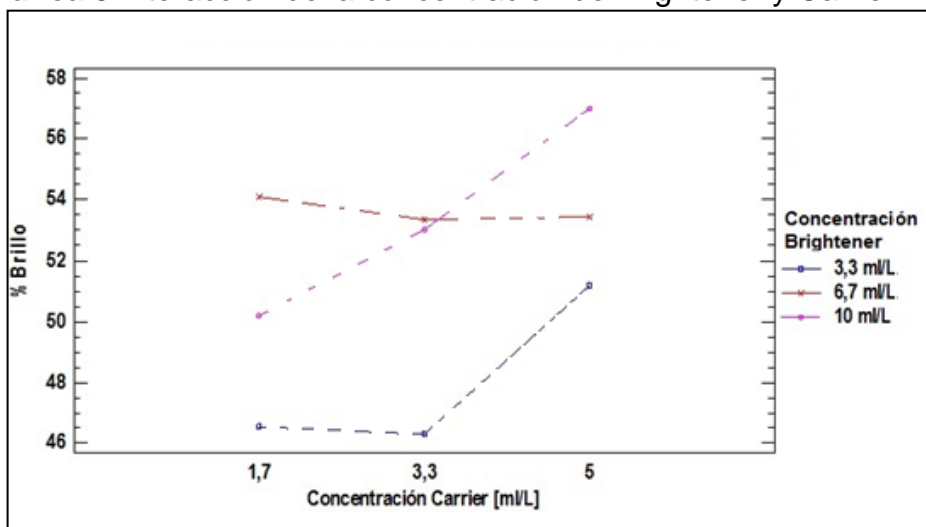
Tabla 57 ( Continuación)

Rangos Densidad de Corriente (Amp/dm <sup>2</sup> )	Rangos [ ] Leveller (ml/L)	Valores (Leveller)	Promedio por zona	Rangos [ ] Brightener (mL/L)	Valores (Brightener)	Promedio por zona	
3,23	2.70 - 8.00	14,20	4,84	1.30 - 4.00	12,20	7,18	Zona de baja densidad de corriente
4,31	2.70 - 8.00	5,20		1.30 - 4.00	6,20		
5,38	2.70 - 8.00	2,30		1.30 - 4.00	5,80		
6,46	2.70 - 8.00	1,90		1.30 - 4.00	5,80		
8,61	2.70 - 8.00	0,60		1.30 - 4.00	5,90		

Por lo cual la opción más viable es trabajar en un rango de densidad de corriente en zona media, para evidenciar las diferencias más marcadas de brillo con respecto a la concentración de aditivos; mas sin embargo de las gráficas se puede sustraer información de la operación en una zona de alta densidad de corriente y con una concentración de aditivo orgánico en el rango inferior.

**4.2.2 Comportamientos experimentales para el cobre alcalino.**El Brightener y el Leveller son los integrantes de este proceso cuyas interacciones son importantes para esclarecer la mejor formulación entre ellos dos; a continuación se dará alusión a las representaciones graficas de cada una de las interacciones posibles entre variables independientes y las respuestas en porcentaje de brillo.

**Gráfica 8.** Interacción de la concentración de Brightener y Carrier



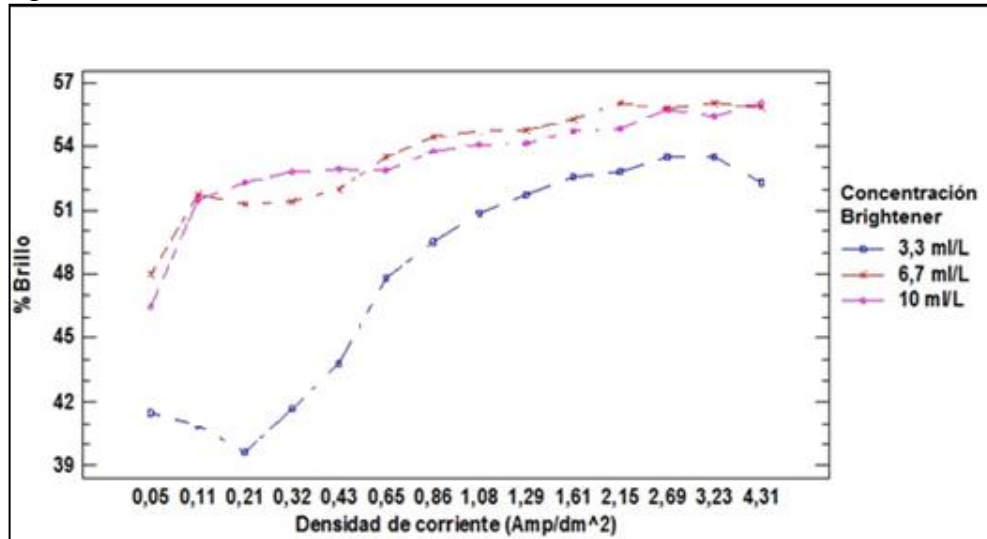
Fuente: Software Statgraphics centurión

En la gráfica 8 las diferentes formulaciones fueron evaluadas a una densidad de corriente de 2Amp/dm<sup>2</sup>. En este caso la combinación 6.7 mL/L de Brightener con

los diferentes niveles de formulación del Carrier no es una opción viable en desempeño.

Aunque se expone claro en la gráfica 8 no hay que olvidar la afectación que tiene estos parámetros junto con cambios en la densidad de corriente que repercute en el % de brillo. A Continuación se hará referencia a esa gráfica.

**Gráfica 9.** Interacción de la densidad de corriente versus concentración de Brightener



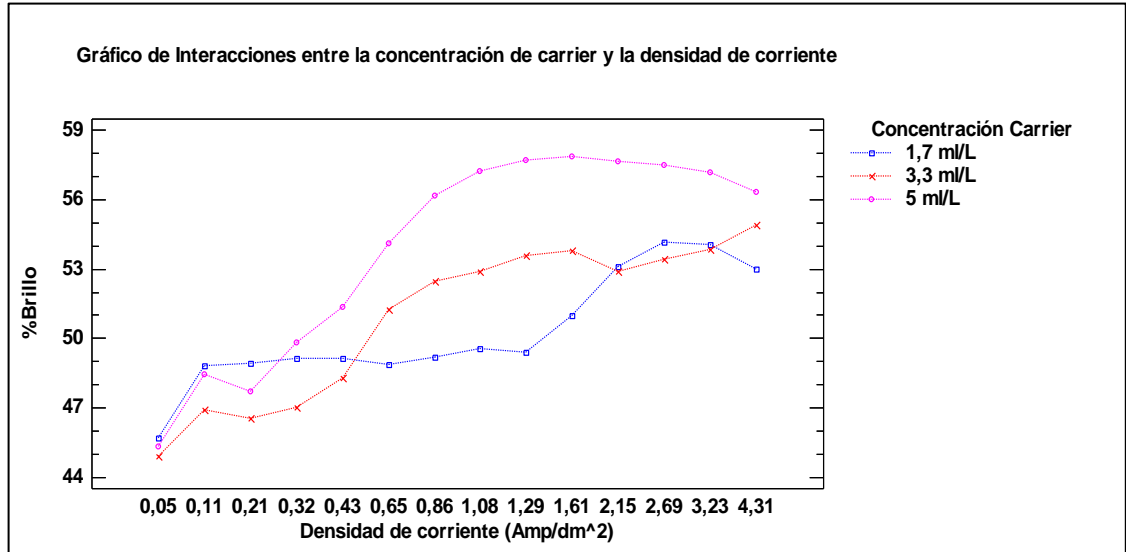
**Fuente:** Software Statgraphics centurión

Al igual que en los otros análisis se ve una relación directa entre el brillo y la densidad de corriente; siguiendo con el comportamiento de la formulación del Brightener a 6,7mL/L, se expone una mejoría en el porcentaje de brillo solo con la manipulación de la corriente, estamos hablando de una diferencia de 4 puntos de brillo tomando como referencia el desempeño más alto en la gráfica 8 con el desempeño más alto en la gráfica 9.

Para este proceso se usan dos aditivos, por consecuente es necesario también evidenciar el Carrier con su comportamiento a distintos puntos de densidad de corriente.



**Gráfica 10.** Interacción de la densidad de corriente Vs la concentración de Carrier



**Fuente:** Statgraphics centurión

Conviene subrayar que la gráfica número 10 tiende a tener un comportamiento parecido a la gráfica número 9 que compete al aditivo Brightener contra los distintos puntos de densidad de corriente. Lo interesante en esta grafica es que 2 de 3 tendencias van disminuyendo en los últimos tres rangos de densidad de corriente. Esto expone en el rango definido de esta grafica unos máximos aparecen los cuales tiene brillos de 58% y 54% en una zona de alta densidad de corriente la cual por costos no es operativamente viable.

El ANNOVA correspondiente a este proceso se describe a continuación en la tabla número 52:

**Tabla 59.** Análisis de Varianza para brillo

<b>Análisis de Varianza para Brillo - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razó n-F</b>	<b>Valor-P</b>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Concentración Brighthener	1701,17	2,00	850,59	26,22	0,00
B:Concentración Carrier	620,94	2,00	310,47	9,57	0,00
C:Densidad de corriente	2434,38	13,00	187,26	5,77	0,00
INTERACCIONES					
AB	470,21	4,00	117,55	3,62	0,01
AC	670,16	26,00	25,77	0,79	0,75
BC	435,50	26,00	16,75	0,52	0,97
ABC	439,54	52,00	8,45	0,26	1
RESIDUOS TOTAL (CORREGIDO)	4088,24	126,00	32,45		
	10860,10	251,00			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Fuente:** Software Statgraphics centurion

Teniendo en cuenta los comportamientos tanto en las gráficas 9 y 10 como en el ANNOVA, se puede analizar desde un punto de vista de tasas de crecimiento para ver su relación en el resultado del brillo. A continuación se presenta la tabla de comportamientos de crecimiento:

**Tabla 60.** Tasa de cambio del % de brillo 2.

<b>Rangos Densidad de Corriente (Amp/dm<sup>2</sup>)</b>	<b>Rangos [ ] Brighthener (ml/L)</b>	<b>Valores (Brighthener)</b>	<b>Promedio por zona</b>	<b>Rangos [ ] Carrier (mL/L)</b>	<b>Valores (Leveler)</b>	<b>Promedio por zona</b>	
0,05	3.3 - 10	5,00		1.7 - 5	0,40		Zona de alta densidad de corriente
0,11	3.3-10	10,80		1.7 - 5	0,50		
0,21	3.3 - 10	12,40	9,68	1.7 - 5	1,30	1,04	
0,32	3.3 - 10	11,10		1.7 - 5	0,80		
0,43	3.3 - 10	9,10		1.7 - 5	2,20		

Tabla 60 (Continuación)

Rangos Densidad de Corriente (Amp/dm <sup>2</sup> )	Rangos [ ] Brightener (ml/L)	Valores (Brightener)	Promedio por zona	Rangos [ ] Carrier (mL/L)	Valores (Leveler)	Promedio por zona	
0,65	3.3 - 10	5,00	3,65	1.7 - 5	5,10	7,05	Zona de media densidad de corriente
0,86	3.3 - 10	4,40		1.7 - 5	7,00		
1,08	3.3 - 10	3,00		1.7 - 5	7,70		
1,29	3.3 - 10	2,20		1.7 - 5	8,40		
1,61	3.3 - 10	2,10		1.7 - 5	6,90		
2,15	3.3 - 10	2,00	2,38	1.7 - 5	4,70	4,28	Zona de baja densidad de corriente
2,69	3.3 - 10	2,40		1.7 - 5	3,40		
3,23	3.3 - 10	1,70		1.7 - 5	3,10		
4,31	3.3-10	3,70		1.7 - 5	3,30		

Este proceso expone diferencias marcadas de brillo en las zonas de densidad de corriente para su operación dependiente de los aditivos en cuestión. Se puede apreciar que un 9.68% de tasa de crecimiento en diferencias de brillo en zona de baja densidad de corriente es viable para apreciar las bondades de los tres niveles de formulación para el Carrier, no siendo lo mismo para el Brightener con un 7.05% en zona media de densidad de corriente.

Es un proceso que para definir el rango de mejor desempeño técnico es complejo. Como medida general tiene sus desviaciones en sus tres interacciones en diferentes rangos, definiendo que en la interacción aditivo-aditivo se presenta un escenario de mejoría en los niveles medio y bajo (6.7 y 1.7mL/L de Brightener y Carrir respectivamente), interacción de aditivo-corriente que se divide en zona de baja y otra en zona media como lo ilustra la tabla 59, dejando al criterio netamente financiero las posibilidades para escoger el mejor desempeño industrial.

#### 4.3 RESULTADOS Y COMPARACIONES

Como un análisis final la Ficha técnica denotada por la casa matriz Dr. Hesse, indica que cada vez que se le suministra aditivo al electrolito de Cu H<sup>+</sup> (Cobre Acido), acierta en su afirmación, esto debido a que el aditivo con nombre “abrillantador” cumple la función y el grano cuanto más aditivo se le agregue.

La estipulación de parámetros y comportamientos encontrados se argumentaran con las hipótesis enmarcadas, con las observaciones de brillos encontrados para comparar los parámetros de fichas técnicas entregadas por el proveedor Dr. Hesse con las dos empresas problema.

**4.3.1 Discusión ANNOVA Primus EX – 200.** Para poder explicar el ANNOVA arrojado por las interacciones de este aditivo se muestran a continuación las siguientes hipótesis:

**Tabla 61.**Tabla de verdad para hipótesis directas

Directas	Valor -P	Decisión
H <sub>1</sub> : pc afecta %B H <sub>01</sub> : pc no afecta %B	0.00	H <sub>1</sub>
H <sub>2,1</sub> : []Brighthener afecta %B H <sub>02,1</sub> : []Brightener no afecta %B	0.00	H <sub>2,1</sub>

**Tabla 62.**Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis

Interacciones dobles	Valor P	Relación propicia
H <sub>1</sub> y H <sub>2,1</sub> H <sub>1</sub> y H <sub>02,1</sub> H <sub>01</sub> y H <sub>2,1</sub> H <sub>01</sub> y H <sub>02,1</sub>	0,7226	H1 y H02.1

En las interacciones dobles, el método ANNOVA define el parámetro densidad de corriente como el más influyente. En este caso aunque el fin del proyecto es evaluar el desempeño de los aditivos orgánicos primero se debe definir el rango de densidad de corriente para poder percibir de distintas maneras el desempeño de estos orgánicos. Como se manejó en la sección 4.2 dependiendo de la zona de densidad de corriente se evidenciara distintos comportamientos de los aditivos.

El proceso Primus EX – 200 trabajando en la zona de baja densidad de corriente con fines de disminuir costos de operación este aditivo se trabajaría a una concentración máxima de 8mL/L, más sin embargo si se desea economizar en uso de aditivo se trabajaría en una densidad de corriente alta con una concentración de 2.7mL/L basándose en la gráfica 4.

**4.3.2 Discusión ANNOVA Primus EX -- 520.** Para poder explicar el ANNOVA arrojado por las interacciones de este aditivo se muestran a continuación las siguientes hipótesis:

**Tabla 63.**Tabla de verdad para hipótesis directas

Directas	Valor - P	Decisión
H <sub>1</sub> : pc afecta %B H <sub>01</sub> : pc no afecta %B	0.00	H <sub>1</sub>
H <sub>2.1</sub> : []Brighthener afecta %B H <sub>02.1</sub> : []Brightener no afecta %B	0.00	H <sub>2.1</sub>
H <sub>2.2</sub> : []Leveller afecta %B H <sub>02.2</sub> : []Leveller no afecta %B	0.00	H <sub>2.2</sub>

**Tabla 64**Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis

Interacciones dobles	Valor P	Relación propicia
H <sub>1</sub> y H <sub>2.1</sub>	0	H1 y H02.1
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>2.2</sub>	0	H1 y H02.2
H <sub>01</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>	0	H2.1 y H02.2
H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>2.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		

**Tabla 65.**Tabla de verdad para interacciones triples de hipótesis

Interacciones triples	Valor P	Relación propicia
H <sub>1</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>	0,3935	No se encuentra interacción alguna
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>2.2</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		

De lo anterior se denota que cada vez que las interacciones se realizaron de manera directa con respecto al porcentaje de brillo se evidencio que cada una de las interacciones por aparte tenía una incidencia grande (Tabla 62) al igual cuando las interacciones fueron duales (Tabla 63).

Si se tiene en cuenta la tabla 64 allí se observa que, cuando las interacciones se efectuaban al mismo tiempo, el brillo no tiene una incidencia notable. Realizando énfasis en la operación a bajas densidades de corriente podemos decir que de la triple interacción da: una mínima concentración de Leveller (2.7mL/L) con una máxima concentración de Brightener (4mL/L) obteniendo aumento en la incidencia del brillo de 12.96% y un 12. 64% respectivamente; no es el mayor aumento que se pueda obtener con este proceso ya que según la tabla 57, un aumento de 19.40% puede ser obtenido si se opera a corrientes más altas.

**4.3.3 Discusión ANNOVA HAG – 90.**Esta ANNOVA nos conduce a los siguientes supuestos desglosados de nuestras tres hipótesis principales:

**Tabla 66.** Tabla de verdad para hipótesis directas

Directas	Valor -P	Decisión
H <sub>1</sub> : ρ <sub>c</sub> afecta %B	0.00	H <sub>1</sub>
H <sub>01</sub> : ρ <sub>c</sub> no afecta %B		
H <sub>2.1</sub> : [ ] <sub>Brightener</sub> afecta %B	0.00	H <sub>2.1</sub>
H <sub>02.1</sub> : [ ] <sub>Brightener</sub> no afecta %B		
H <sub>2.2</sub> : [ ] <sub>Carrier</sub> afecta %B	0.00	H <sub>2.2</sub>
H <sub>02.2</sub> : [ ] <sub>Carrier</sub> no afecta %B		

**Tabla 67.** Tabla de verdad para interacciones dobles de hipótesis

Interacciones dobles	Valor P	Relación propicia
H <sub>1</sub> y H <sub>2.1</sub>	0.75	H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub>
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>2.2</sub>	0.97	H <sub>1</sub> y H <sub>02.2</sub>
H <sub>01</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>	0.01	H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>
H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>2.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		

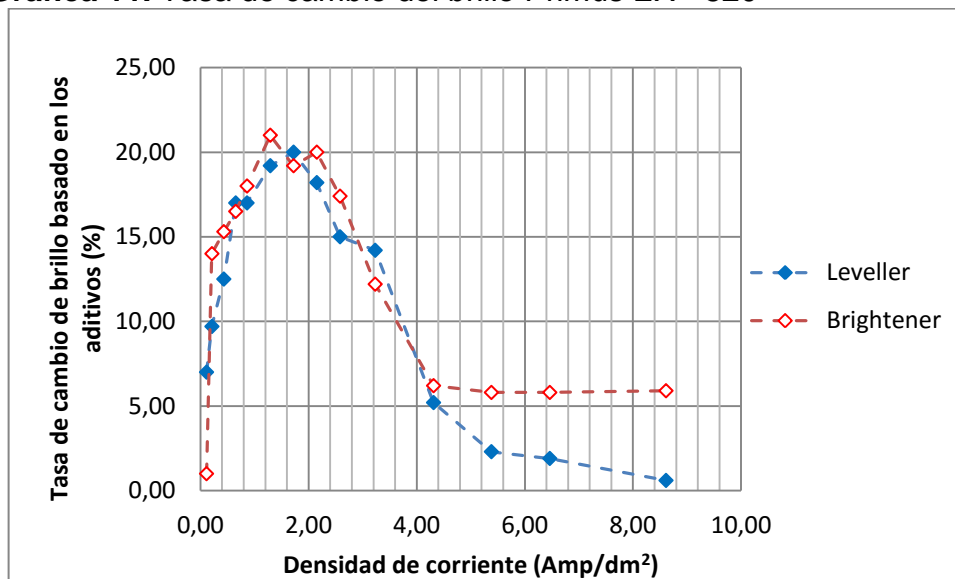
**Tabla 68.** Tabla de verdad para interacciones triples de hipótesis

Interacciones triples	Valor P	Relación propicia
H <sub>1</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>	1	No hay interacción propicia
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>2.2</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>2.2</sub>		
H <sub>1</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>2.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		
H <sub>01</sub> y H <sub>02.1</sub> y H <sub>02.2</sub>		

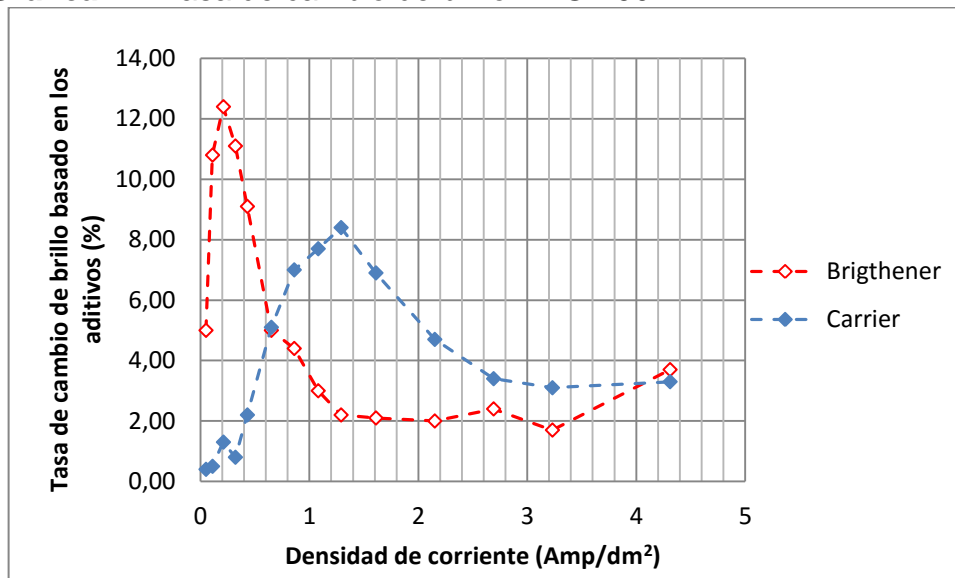
Avanzando en nuestro razonamiento es claro que las interacciones directas son significantes con el desempeño del brillo. No tan importante es el impacto que tienen las relaciones dobles y es claro que las relaciones triples en este proceso no tienen efecto sinérgico alto.

Dando esto por hecho es necesario identificarlos rangos de mejor desempeño para de este fenómeno inusual de este proceso. Teniendo claro estas relaciones y el impacto que tienen sobre nuestra variable respuesta se puede explicar mediante las siguientes graficas basándose en los aumentos de brillo por cada aumento de corriente y concentración de aditivo.

**Gráfica 11.** Tasa de cambio del brillo Primus EX - 520



**Gráfica 12.** Tasa de cambio de brillo HAG - 90



En consonancia con la gráfica 11 el Brightener y Leveller tiene un impacto sobre el brillo en la zona media de densidad de corriente para sus tres niveles de formulaciones llegando a una tasa de cambio mayor de 20% por cada interacción triple que se imponga en este punto. No tanto en el resto de zonas las cuales el nivel sinérgico de las tres variables de respuesta no superan el 5% de variación para el brillo. Caso distinto sucede en el segundo proceso que da lugar a la gráfica 12 donde no hay un punto máximo focalizado para estas interacciones dejando un rango abierto de decisión entre las zonas de baja y media densidad de corriente oscilando entre un 12% y un 8% de impacto para el brillo. Con esto, se



puede afirmar que el impacto en relaciones triples no es alto en comparación con las directas.

**4.3.4 Parámetros de operación ideales.** Recopilando la información de los comportamientos descritos hasta el momento; las condiciones de operación que se acomodan a mejorar el brillo en nuestra pieza de control experimental son las siguientes:

**Tabla 69.** Parámetros de operación ideales

<b>Tipo de proceso</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
<b>Primus EX -200</b>	Polaridad	Catódica
	Ánodo	Cobre Fosforado
	Tiempo	5 min
	pH	0.34
	Temperatura	Ambiente
	Agitación	Aire
	[ ]Brightener	8 mL/L
	Densidad de Corriente	2 Amp/dm <sup>2</sup>
	Polaridad	Catódica
	Anodo	Cobre Fosforado
<b>Primus EX - 520</b>	Tiempo	5 min
	pH	1.07
	Temperatura	Ambiente
	Agitación	Aire
	[ ]Brightener	4.0 mL/L
	[ ]Leveller	2.7 mL/L
	Densidad de Corriente	2 Amp/dm <sup>2</sup>
	Polaridad	Catódica
	Ánodo	Cobre Puro
	Tiempo	5 min
<b>HAG - 90</b>	pH	12.45
	Temperatura	60 °C
	Agitación	Mecánica
	[ ]Brightener	10 mL/L
	[ ]Carrier	3.3 mL/L
	Densidad de Corriente	0.76 Amp/dm <sup>2</sup>

### 4.3.5 Parámetros experimentales Vs Industria.

**Tabla 70.** Parámetros de operación de los procesos Dr. Hesse

<b>Industrias Tiber</b>	<b>Primus EX - 200</b>	[ ] Brightener $\rho_c$	5 mL/L 2 Amp/dm <sup>2</sup>
	<b>Primus EX - 520</b>	[ ] Brightener [ ] Leveller $\rho_c$	No Aplica No Aplica No Aplica
<b>GyG Ingenieria</b>	<b>HAG - 90</b>	[ ] Brightener [ ] Carrier $\rho_c$	15 mL/L 5 mL/L 1.5 Amp/dm <sup>2</sup>

**Fuentes:**(Ingenieria, 2015) (Tiber, 2015)

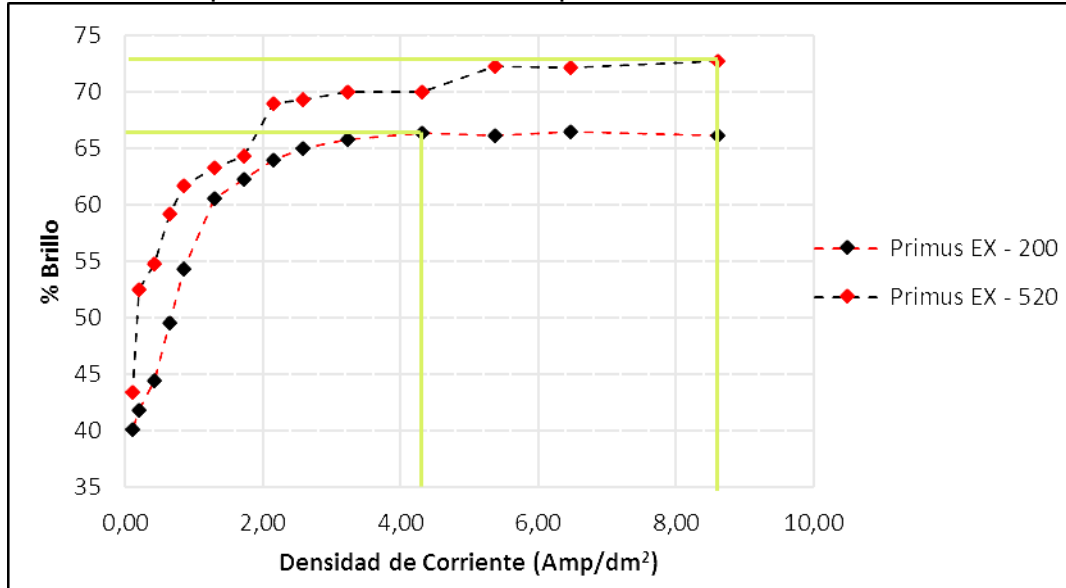
Para el aditivo Primus EX – 200 Brightener se recomienda aumentar la dosificación nominal en 3 mL/L, esto con el fin de alcanzar el máximo desempeño de brillo que se logró mediante la experimentación.

Consideremos ahora el proceso Primus EX – 520 donde las concentraciones estipulan que es necesario este proceso para mejorar las condiciones de operación de Industrias Tiber.

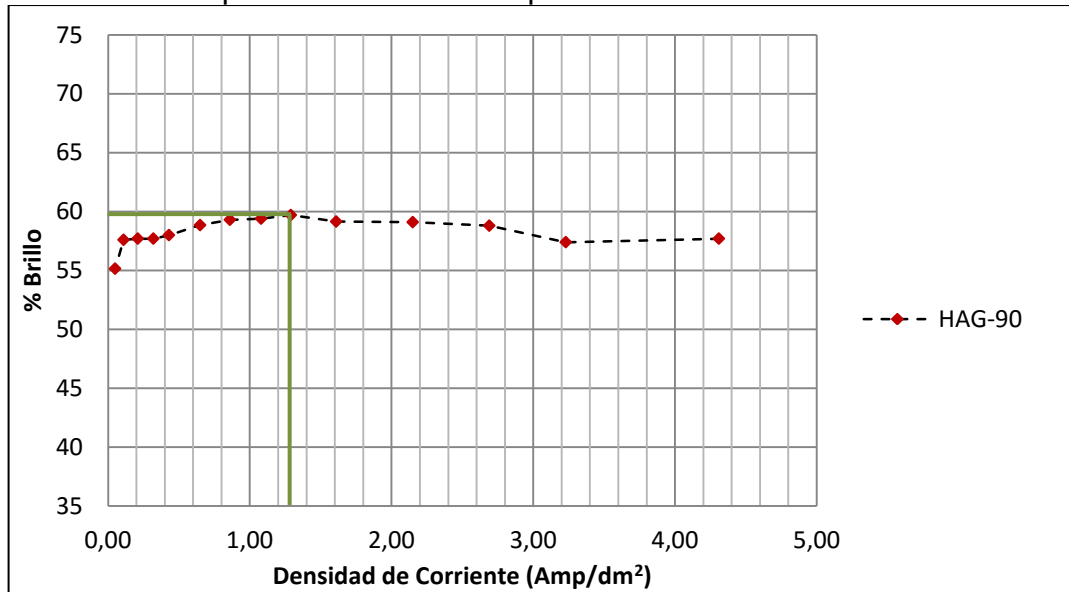
Examinaremos brevemente ahora el proceso HAG – 90, consecuente con la experimentación, indica que la concentración del Brightener esta especificada como 5mL/L por debajo de la de operación para GyG Ingeniería, por el contrario el Carrier debe disminuir su traza de adición en 1.7mL/L por lo que las adiciones actuales están en 5mL/L.

Consideremos ahora la segunda parte de las hipótesis, las cuales adicionaban la variable densidad de corriente como algo muy palpable dentro de los procesos industriales que se pueden modificar con una cierta facilidad que puede generar grandes costos, como reducciones de los mismos; ahora veamos el comportamiento de los procesos ideales en función de la densidad de corriente.

**Gráfica 13.** Comportamiento ideal de los procesos Primus



**Gráfica 14.** Comportamiento ideal del proceso HAG-90



La densidad de corriente para el proceso Primus EX – 200 que se acomoda a las mejores exigencias de este electrolito es de 4.33 Amp/dm<sup>2</sup> por otro lado para el proceso EX – 520 es de 8.61 Amp/dm<sup>2</sup>. Lo que indica que Industrias tiber necesita subir su densidad de corriente 2.33 amperios en la escala manejada para poder obtener un buen desempeño a la formulación sugerida anteriormente.

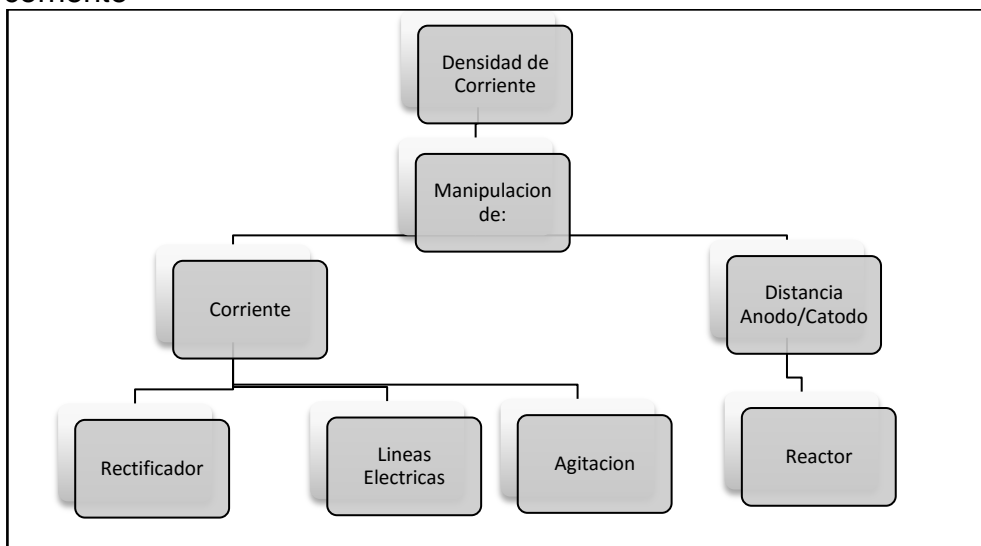
De manera semejante al proceso de GyG Ingeniería puede aumentar su desempeño al acomodar su densidad de corriente al bajar 0.21 puntos de la

escala manejada; así, el comportamiento electrolítico puede ser mucho más homogéneo en las tres zonas de corriente.

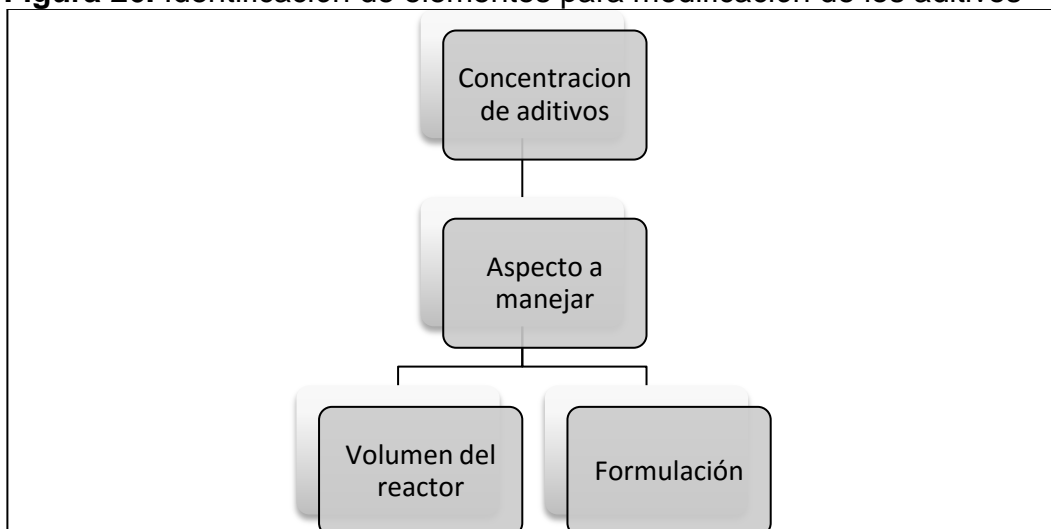
#### 4.4 PROPUESTA EN PLANTA

La densidad de corriente y la concentración de los aditivos a formular son los grados de libertad que disponemos, por esta razón el esquema que se presenta a continuación demuestra las posibles maneras mejorar o aminorar alguna de estas variables en planta.

**Figura 25.** Identificación de elementos para modificación de la densidad de corriente

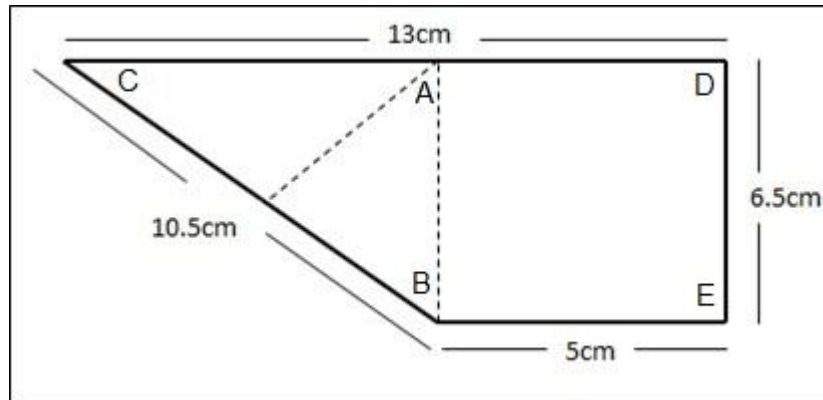


**Figura 26.** Identificación de elementos para modificación de los aditivos



**4.4.1 Propuestas para la densidad de corriente.** Como segunda medida las variables intrínsecas en la operación se definen dependiendo la necesidad de cada empresa. Lo más económico a realizar es describir la distancia ánodo/cátodo que cumpla los nuevos cambios propuestos. Se requiere un conocimiento de la geometría del reactor en este caso es el siguiente:

**Figura 27.** Dimensiones reactor Celda Hull



Desarrollando una geometría básica se calcularon los ángulos del triángulo; los resultados fueron:

- $A=90^\circ$
- $B=46.45^\circ$
- $C=43.54^\circ$

La pared del reactor comprendida de los ángulos BC es la encargada de sostener el cátodo; este tiene sus respectivas medidas las cuales se usan para saber la densidad de corriente por decímetro cuadrado que se expresa en ese punto específico. El objetivo es medir las distancias X que unen las paredes DE con BC para definir en planta la distancia propuesta en los parámetros experimentales.

**Tabla 71.** Calculo de distancias por densidad de corriente

Corriente de operación	Densidad de Corriente (Amp/dm <sup>2</sup> )						
	1 Amp	4,31	3,23	2,69	2,15	1,61	1,29
2 Amp	8,61	6,46	5,38	4,31	3,23	2,58	2,15
3 Amp	12,92	9,69	8,07	6,46	4,84	3,87	3,23
4 Amp	21,53	16,15	13,45	10,76	8,07	6,46	5,38
<b>Distancias</b>	<b>Distancia Ánodo/Cátodo (cm)</b>						
B – C	1,50	2,30	2,90	3,65	4,65	5,40	5,90
ED - BC	14,04	14,59	15,01	15,53	16,22	16,74	17,09

**Tabla 72.** Continuación cálculo de distancias por densidad de corriente

Corriente de operación	Densidad de Corriente (Amp/dm <sup>2</sup> )						
	1 Amp	0,86	0,65	0,43	0,32	0,21	0,11
2 Amp	1,72	1,29	0,86	0,65	0,43	0,21	0,11
3 Amp	2,58	1,94	1,29	0,97	0,65	0,32	0,16
4 Amp	4,31	3,23	2,15	1,61	1,08	0,54	0,27
<b>Distancias</b>	<b>Distancia Ánodo/Cátodo (cm)</b>						
B - C	6,50	7,10	7,85	8,20	8,60	9,00	9,65
ED - BC	17,50	17,92	18,44	18,68	18,96	19,24	19,69

Las observaciones al finalizar este cálculo determinan que en Industrias Tiber los 2,33 Amp/dm<sup>2</sup> de más se pueden modificar disminuyendo la distancia en 1,56 cm si la densidad de corriente de operación que ellos manejasen fuese de 2 Amp. Para el proceso EX – 520 la distancia ideal sería de 14,04cm con una corriente de 2 Amp.

Por el lado de GyG Ingeniería deben bajar 0,21 Amp/dm<sup>2</sup> lo cual en distancia ánodo cátodo se representa en 0,52cm más retirados.

En cuanto al rectificador; es simplemente la disminución o el aumento de la densidad de corriente para cada caso estudiado con la aclaración de que la resistividad en las líneas eléctricas tiene influencia en esta modificación de la corriente desde el rectificador. No obstante se debe tener en cuenta más que todo el electrolito en cuestión, ya que las líneas eléctricas se manejarán más adelante.

Según la formulación de un electrolito ácido tal como se usa para los procesos Primus EX – 200 y EX – 520, su capacidad de carga por litro está en un rango de 0.3 – 0.5 A/L. Eso indica que al subir los 2.33Amp/dm<sup>2</sup> se deben electrolizar los 800L que tiene el baño de Industrias Tiber, por consiguiente de 1.17 Amp/L debe llegar a 2.53 Amp/L; para realizar el cálculo se dejó constante la distancia

ánodo/cátodo partiendo de los datos experimentales que se obtuvieron (Primus EX – 200: 17,09cm). La secuencia de cálculo se encuentra en el ANEXO D:

**Tabla 73.** Datos para cálculo de amperios

Industrias Tiber EX - 200 Actual			Industrias Tiber EX - 200 Ideal		
$\rho_c$	2,00	Amp/dm <sup>2</sup>	$\rho_c$	4,33	Amp/dm <sup>2</sup>
<b>X</b>	17,09	Cm	<b>X</b>	17,09	Cm
$V_{tanque}$	800	L	$V_{tanque}$	800	L

Así mismo se calcula para el proceso EX – 520 con distancia ánodo/cátodo de 14,04cm constante, el cual, tiene un valor de 6,13 Amp/L, y el proceso que le adjudica a GyG Ingeniería que actualmente trabaja a 0,84 Amp/L, pero debería estar en 0,72 Amp/L con una base de cálculo en distancia de 17,92cm basada en la tabla 70 y 71.

Según bibliografía acerca de la conductividad de los materiales, la conductividad de la plata y el cobre es la más alta entre los metales; por esta razón no es de imperativa necesidad ahondar en el tema ya que se requiere unos costos de inversión considerablemente altos para el cambio de todas las líneas eléctricas ya sean en cable o en placas para Industrias Tiber y GyG Ingeniería a Plata. No obstante las características de estas líneas para Industrias Tiber son en Cobre cuya resistividad es muy poca en comparación de la plata, pero, GyG Ingeniería las tiene en Aluminio cuyo impacto en cuanto a costos no es un argumento para cambiar todo el barraje de Cobre o Plata.

Examinaremos brevemente ahora el tema de la agitación, como se expuso en el numeral 3.3.2 “Agitador Mecánico” la velocidad ideal de agitación es de 0,08m/s mientras que en uno neumático la presión de operación es de 14.50 - 29.01 psig. En electrolitos a temperatura ambiente como el cobre ácido la agitación beneficia variables como la penetración y nivelación de las capas de cobre pero no influencia más del 5% a la conductividad del electrolito, por esta razón en cuanto al mejoramiento del rendimiento de conductividad para la mejora del brillo mediante la agitación no es de alto impacto. No obstante para electrolitos atemperados la agitación es importante ya que la relación temperatura – agitación al parecer tiene un gran impacto en la variable densidad de corriente, por consecuente en el brillo tendrá algún impacto.

**4.4.2 Propuestas para la concentración de aditivos.** Dándole continuidad a la Figura 26 la extrapolación de estas variables es un proceso netamente multiplicativo, ya que, como su nombre lo indica son concentraciones las cuales están dadas en una unidad patrón que son los Litros; por esta razón al tener los volúmenes totales de los tanques a trabajar los electrolitos tales como los 800L en Industrias Tiber y los 260L que contienen los reactores de GyG Ingeniería se realizan los cálculos de extrapolación dando como resultados:

- Primus EX – 200 Brightener: 2400 mL
- Primus EX – 520 Brightener: 3200 mL
- Primus EX – 520 Leveller: 2160 mL
- HAG – 90 Brightener: 0 mL
- HAG – 90 Carrier: 442 mL

Anotando que el Aditivo Brightener para el proceso HAG-90 esta en exceso es recomendable dejar pasar un tiempo hasta que la concentración baje 5mL/L del orgánico o 1,3L; esto se relaciona íntimamente con el consumo amperios-hora. Para este aditivo el rango de consumo es de 1,5 a 1,8 L por cada 10 KAh. Suponiendo que cada corrida en este electrolito dura 20min y se esté operando a  $0,76 \text{ Amp/dm}^2$  loque indicaría una carga total de 197,6 Amp cada 20 min, duraría en llegar a los 10kA aproximadamente en 16,8 h de producción continua el cual sería el punto ideal en el que el Brightener disminuiría 1,5L de su concentración.



## 5. ESTUDIO DE COSTOS

### 5.1 DIFERENCIACIÓN DE COSTOS

Dando cabalidad al último objetivo de este documento se describirán los costos inmersos que deben incurrir las empresas problema para poder generar un aprovechamiento a este estudio técnico que se realizó durante el cuerpo del presente.

Los costos que van intrínsecos en las hipótesis desarrolladas para la mitigación de algunos costos de producción como lo son la energía con respecto a los rectificadores, formulación con respecto a los aditivos y producción, se realizan con respecto a una base de cálculo para obtener una panorámica de un posible comportamiento del porcentaje de rechazos con la situación actual de estas empresas versus la situación planteada con los resultados técnicos propuestos.

**5.1.1 Costos Energía.** Conviene subrayar que estos costos van directamente ligados solo al consumo que tiene el rectificador en la incidencia de los costos de energía, por supuesto estos costos están basados en la plantilla tarifaria por zona de Codensa, calculando estos costos con un referente de 8 horas al día.

**Tabla 74.** Costos Energía para Industrias Tiber

Primus EX - 200				Primus EX - 520		
Actual		Ideal		Actual	Ideal	
937,0	Amp	2.027,0	Amp	No aplica	4.906,0	Amp
1,5	Volts	1,5	Volts	No aplica	1,5	Volts
1.405,5	Watts	3.040,5	Watts	No aplica	7.359,0	Watts
11,2	kWh/dia	24,3	KWh/dia	No aplica	58,9	kWh/dia
		<b>447,0</b>				<b>\$/Kwh</b>
5.026,1	\$/dia	10.872,8	\$/dia	No aplica	26.315,8	\$/dia

**Fuente:** Emoresa Codensa Grupo Enel, 2016, informe anual.

**Tabla 75. Costos Energía para GyG Ingeniería**

HAG - 90			
Actual		Ideal	
218,0	Amp	188,0	Amp
2,0	Volts	2,0	Volts
436,0	Watts	376,0	Watts
3,5	kWh/dia	3,0	kWh/dia
	<b>447</b>		<b>\$/kWh</b>
1.559,1	\$/dia	1.344,6	\$/dia

**Fuente:** (Codensa Grupo Enel, 2016)

**5.1.2 Costos Formulación.** Hay que mencionar que las formulaciones implícitas en la siguiente tabla son basadas a un consumo diario según las adiciones que sugiere ficha técnica por cada 10000 Amp/h, por esta razón los costos al mes son similares a realizar un nuevo make up. Esto deja un campo de acción interesante al tener estos gastos en función del tiempo para que en el subcapítulo "Análisis de costos" podamos ver una diferencia significativa entre procesos.

A continuación se mostraran los costos de aditivos por formulación completa.

**Tabla 76. Costos formulación Industrias Tiber**

Primus EX - 200						Primus EX - 520				
Actual			Ideal			Actual	Ideal			
Brightener	5	mL/L	Brightener	8	mL/L	No aplica	Brightener	4	n L / L	n L / L
V <sub>tanque</sub>	800	L	V <sub>tanque</sub>	800	L	No aplica	Leveller	2,7	n L / L	n L / L
Total <sub>Brightener</sub>	4	L	Total <sub>Brightener</sub>	6,4	L	No aplica	V <sub>tanque</sub>	800	L	L
Precio	28.600	\$/L	Precio	28.600	\$/L	No aplica	Total <sub>Brightener</sub>	3,2	L	L
Precio <sub>Total</sub>	114.400	\$	Precio <sub>Total</sub>	183.040	\$	No aplica	Total <sub>Leveller</sub>	2,16	L	L
						No aplica	Precio <sub>Brightener</sub>	27.200	\$/L	\$/L
						No aplica	Precio <sub>Leveller</sub>	21.000	\$/L	\$/L
						No aplica	Precio <sub>Total</sub>	132.400	\$	\$

**Fuente:** Empresa Filmtex S.A.S, 2013

**Tabla 77.** Costos formulación GyG Ingeniería

<b>HAG - 90</b>					
Actual			Ideal		
Brightener	15	mL/L	Brightener	10	mL/L
Carrier	5	mL/L	Carrier	3,3	mL/L
$V_{\text{tanque}}$	260	L	$V_{\text{tanque}}$	260	L
Total <sub>Brightener</sub>	3,9	L	Total <sub>Brightener</sub>	2,6	L
Total <sub>Carrier</sub>	1,3	L	Total <sub>Carrier</sub>	0,858	L
Precio <sub>Brightener</sub>	33.000	\$/L	Precio <sub>Brightener</sub>	33.000	\$/L
Precio <sub>Carrier</sub>	36.000	\$/L	Precio <sub>Carrier</sub>	36.000	\$/L
Precio <sub>Total</sub>	175.500	\$	Precio <sub>Total</sub>	116.688	\$

**Fuente** Empresa Filmtex S.A.S, 2013

**5.1.3 Costos Producción.** Más aun los costos de producción se deben tomar en cuenta. Las piezas de producción, los días laborales al mes, los porcentajes de eproceso en cuanto a producción, el costo del reproceso y el costo de cada pieza, fueron manejadas por medio de una base de cálculo la cual nos deja con cero grados de libertad para poder desarrollar la tabla de costos destinada a continuación.

**Tabla 78.** Definición de parámetros para costos

Piezas por día	Días laborales al mes	Reproceso Tiber	Costo del reproceso	Costo por pieza	Piezas reproceso
500	20	3%	300%	10.000 \$	15

**Fuente:** Industrias Tiber, Visita industrial. 2015

El costo de reproceso mostrado en la tabla anterior se define en el numeral 2.3 del capítulo de diagnóstico.

En la definición de los costos de producción una base de \$5.000.000 de pesos al día deben ser cuantificados por las operaciones de fundición, moldeado, pre-tratamientos, tratamientos, post-tratamientos y empaque que van implícitos en este proceso industrial; adicional a esto se expone la diferencia de costos entre el proceso actual con el ideal.

**Tabla 79.** Costos Producción Industrias Tiber

Actual				Ideal		
Energía		\$ 5.026	\$/día	Energía	\$ 10.873	\$/día
Aditivos		\$5.720	\$/día	Aditivos	\$ 9.152	\$/día
Costo reproceso	300%/pieza	\$ 450.000	\$/día	Costo Reproceso	\$ -	\$/día
Total		\$ 460.746	\$/día	Total	\$ 20.025	\$/día

**Tabla 80.** Definición de parámetros para costos

dm <sup>2</sup> Por día	Días laborales al mes	Reproceso GyG	Costo del reproceso	Costo dm <sup>2</sup>	Piezas reproceso
250	20	2%	300%	20000	5

**Fuente:** Gy GIngeniería, Visita Industrial 2015

**Tabla 81.** Costos producción GyG Ingeniería

Actual				Ideal		
Energía		\$ 1.559	\$/día	Energía	\$ 1.345	\$/día
Aditivos		\$ 8.775	\$/día	Aditivos	\$ 5.834	\$/día
Costo Reproceso	300%/pieza	\$300.000	\$/día	Costo Reproceso	\$ -	\$/día
Total		\$310.334	\$/día	Total	\$ 7.179	\$/día

## 5.2 ANALISIS DE COSTOS

La disminución de costos es visible sea en GyG Ingeniería o Industrias Tiber, comparando las tablas 78 y 80.

**5.2.1 Rango tolerable de reproceso.** Para analizar los rechazos se deben analizar en función de varios factores que se ven evidenciados desde el diagnóstico (Capítulo 2), la experimentación realizada (Capítulo 3) y los antecedentes propuestos por las empresas.

Para el siguiente análisis se tuvo en cuenta un hecho ideal el cual es que si el lote de piezas tienen una valoración de brillo del 100% el rechazo repercutirá a un valor de 0%; con esto claro la metodología de análisis que se aplicó es una regresión lineal teniendo en cuenta el porcentaje de rechazo actual con el parámetro de brillo actual comparándolo con el porcentaje de brillo mejorado gracias a la experimentación hecha para ambas empresas.

**Tabla 82.** Rango tolerable de reproceso

Análisis % rechazo GyG		Análisis % rechazo Industrias Tiber	
% Brillo	% Rechazos	% Brillo	% Rechazos
100	0	100	0
60,25	Y	75,45	Y
24,97	2	29,01	3
Y = 1,09		Y = 1,04	

La interpolación lineal anterior define que se reducen los porcentajes de rechazo en GyG Ingeniería en 1,09% si se aplican las modificaciones técnicas propuestas en el capítulo anterior y en Industrias Tiber se reduce en un 1,04% el rechazo.

**5.2.2 Beneficio de la distancia en el costo.** Si se conoce lo anterior se logra deducir que cuando la distancia entre ánodos y cátodos es menor, se afirma que la densidad de corriente es mayor y por ende logra cumplir con los requerimientos eléctricos necesarios, lo que se traduce en una disminución directa de costos, con una buena manipulación de esta distancia, se debe ser cuidadoso con este parámetro esto debido a que si la distancia es muy cercana y hay un aumento de la energía en el sistema, la pieza puede sufrir quemaduras y por ende una pérdida económica.

## 6. CONCLUSIONES

- Por medio del diagnóstico realizado mediante las visitas técnicas, fue posible evidenciar una clara falencia en el uso de las condiciones de aplicación al momento de realizar las electrodeposiciones como las concentraciones en sales (Hidróxido de Potasio en exceso por más de 20g/L y Cianuro de Potasio por debajo en más de 100 g/L para el proceso alcalino mientras por más de 30 g/L en exceso de Ácido Sulfúrico para el proceso ácido), densidades de corriente (brechas de 2,33 Amp/dm<sup>2</sup> para el proceso ácido y exceso de 0.12 Amp/dm<sup>2</sup> para el proceso alcalino) y brillos, como es el caso de Gy G ingeniería que reporta valores de 24.97 % de brillo en y 1.1 Amp en Cu<sup>OH-</sup>, mientras que para Tiber de 29,01% de brillo y 2.4 Amp. en Cu<sup>H</sup>
- Mediante el uso de técnicas de laboratorio fue posible obtener un estándar ideal de aplicación cuyos valores para el proceso alcalino son de 0.76 Amp/dm<sup>2</sup>, 60°C, 10mL/L y 3.3mL/ en cuanto a densidad de corriente, temperatura, concentración en Brightener y concentración en Carrier respectivamente mientras que para el proceso ácido reporta valores de 4.33Amp/dm<sup>2</sup>, 25°C y 8mL/L en densidad de corriente, temperatura y concentración de Brightener respectivamente obteniendo valores de hasta 75.45% de brillo en el cobre ácido y 60.25 % de brillo en el alcalino, teniendo en cuenta que únicamente se varió la posición del cátodo y las concentraciones de los aditivos.
- Se evidencio que el baño de cobre alcalino siempre obtuvo valores de porcentajes de brillo entre 10% y 15% menores en comparación a los efectuados en medio ácido.
- Se encontró que para mejorar las condiciones de operación Industrias Tiber debe modificar la distancia en 1,56 cm en la distancia entre ánodo y cátodo, si la densidad de corriente de operación que ellos manejasen fuese de 2 Amp/dm<sup>2</sup>. Para el proceso EX – 520 la distancia ideal sería de 14,04cm con una corriente de 2 Amp. Por el lado de GyG Ingeniería deben bajar 0,21 Amp/dm<sup>2</sup> lo cual en distancia ánodo - cátodo se representa en 0,52cm que se deben retirar del proceso; realizando estos cambios se obtendrá condiciones de corriente y temperatura anexas en la conclusión 2.
- La implementación de los parámetros técnicos arrojados en laboratorio representan una tasa de rechazo de 1.09% para G y G Ingeniería y para industrias Tiber de 1.04%, pasando de sus valores originales de un 2% y un 3% respectivamente; indicadores de alto impacto económico puesto que se reduce el costo de producción en un 200% al tener en cuenta que el costo de reproceso por unidad se identifica en un 300% de sobre costo.

## 7. RECOMENDACIONES

- A la persona que quiera continuar con la experimentación de este tipo de electrolito, se le recomienda utilizar otro cátodo (Hierro, Acero inoxidable, Acero al Carbón, Aluminio, plomo, etc.) realizar la misma metodología.
- Se recomienda realizar una metodología similar al momento de hacer un análisis de electrodeposición de Zn, Ni, Sn, Ag, Au, etc.
- Evaluar cuáles son las implicaciones directas de la agitación sobre los baños electrolíticos, lograr determinar cuál tipo de agitación es más eficiente.
- Realizar una experimentación con aditivos orgánicos por encima de las especificaciones técnicas y compararlas con el actual proyecto de grado.
- Utilizar los electrolitos de  $\text{Cu}^{\text{OH}^-}$  y someterlos a concentraciones más bajas de KOH y verificar su rendimiento en Ceda Hull.
- Evaluar cómo afecta el tiempo de electro depositado sobre el espesor de la pared de Latón.
- Realizar un estudio de factibilidad del uso de aditivos orgánicos en la industria de la galvanostegia.

## BIBLIOGRAFÍA

Abc, Definición. 2007. Definición Abc Tu Diccionario Hecho Facil. *Definición Abc*. [En Línea] Definición Abc, 1 De Enero De 2007. [Citado El: 22 De Mayo De 2016.] [Http://Www.Definicionabc.Com/General/Brillo.Php](http://www.Definicionabc.Com/General/Brillo.Php).

Bremicker, Nicolai. 2015. *Acid Copper, High Tech Acid Copper Plating On Complex Shaped Parts*. Bielefeld : Dr. Hesse, 2015.

Codensa Grupo Enel. 2016. *Tarifas De Energia Electrica (\$/Kwh) Reguladas Por La Comision De Regulación De Energia Y Gas (Creg) Abril 2016*. Bogota : Codensa, 2016.

Colombia, Consejo Profesional De Ingeniería Química De. 2013. Consejo Profesional De Ingeniería Química De Colombia. *Consejo Profesional De Ingeniería Química De Colombia*. [En Línea] 2013. [Citado El: 17 De Agosto De 2015.] [Http://Www.Cpiq.Org.Co/Actividades-17/](http://www.Cpiq.Org.Co/Actividades-17/).

Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay Wendelin J. 2004. *Ciencia E Ingenieria De Materiales*. [Aut. Libro] Donald R. Askeland. *Ciencia E Ingenieria De Materiales*. S.L. : Thomson, 2004.

Dr. Hesse. 2014. *Acid Copper Bath Primus Ex-200*. Bielefeld, Alemania : Dr.Hesse Gmbh & Cie Kg, 2014. Kn Ac0130.

—. 1996. *Fettex En*. Bielefeld, Alemania : Dr. Hesse, 1996. Kn 172100.

Dr. Hesse Gmbh & Cie Kg. 2012. *Galvano.De*. [En Línea] © 2012 Dr. Hesse Gmbh & Cie Kg | Special Factory For Electroplating, 2012. [Citado El: 15 De 11 De 2015.] [Http://Www.Galvano.De/Index.Php?L=1&Id=Undefined](http://www.Galvano.De/Index.Php?L=1&Id=Undefined).

Dr. Hesse. 2012. *High-Efficiency Bright Copper Bath Hag-90*. Bielefeld, Germany : Dr. Hesse, 2012. Kn Cc0132.

Enthoneomi. 2004. *Contenidos De Cianuro De Sodio/Potasio/Cobre*. Mexico D.F : Enthone, 2004. -.

Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. 2013. Implementación De Nuevas Metodologías En Recubrimientos Basado En Galvanoplastia. [Aut. Libro] Enrique Vera López, Dionisio Laverde Cataño William Aperador Chaparro. *Implementación De Nuevas Metodologías En Recubrimientos Basado En*



*Galvanoplastia*. Bogotá. D.C. : Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2013.

Filmtex S.A.S. 2013. Filmtex S.A.S. [En Línea] Filmtex - Todos Los Derechos Reservados © Copyright 2013, 2013. [Citado El: 15 De 11 De 2015.]  
[Http://Www.Filmtex.Com/Index.Php/Es/](http://Www.Filmtex.Com/Index.Php/Es/).

Ingenieria, G Y G. 2015. Visita Industrial. *Ing. Quimica*. Bogota, 15 De Noviembre De 2015.

INSTITUTO COLOMBIANO DENORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN.  
Documetación.Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.NTC1486.Sexta actualización. Bogotá.D.C: El instituto, 2008. 110 p

\_\_\_\_\_. Referencias bibliograficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C: El instituto, 2008. 38 p.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales, para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C: El instituto, 2008. 30 p.

Jisico. 2013. Hot Plate & Magnetic Stirrer. *J-Hms Manual*. Seongdong, Seoul : S.N., 2013. 133-835.

Kg, Dr.Hesse Gmbh & Cie.*Dr. Hesse. 2014. Acid Copper Bath Primus Ex-200. Bielefeld, Alemania : Dr.Hesse Gmbh & Cie Kg, 2014. Kn Ac0130.*

Kocour Company. 2016. Hull Cells. *Hull Cell Testing Equipment*. Chicago, Illinois : 3m, 2016. 4/97.

Maiquez, Jose Antonio Ortega. 1990.*Corrosión Industrial*. Barcelona : Marcombo, S.A. , 1990. Isbn 84-267-0779-3.

Nal., Agencia De Noticias De U. 2015. [Www.Elespectador.Com](http://Www.Elespectador.Com). [En Línea] 20 De Enero De 2015. [Citado El: 07 De Agosto De 2015.]  
[Http://Www.Elespectador.Com/Noticias/Nacional/Migracion-Y-Bajos-Salarios-Realidad-De-Ingenieros-Quimi-Articulo-538878](http://Www.Elespectador.Com/Noticias/Nacional/Migracion-Y-Bajos-Salarios-Realidad-De-Ingenieros-Quimi-Articulo-538878).

S.A.S, Filmtex. [En Línea]

Salvado, Enrique Julve. 1963.*Recubrimientos Electroliticos Brillantes*. Barcelona : Eds. Cedel, 1963. 671.732 J85r.

Solé, Antonio Creus. 2011.*Neumatica E Hidráulica* . Barcelona : Marcombo, S.A. , 2011.

Tiber, Industrias. 2015. Visita Industrial. *Ing. Quimica*. Bogota, 30 De Noviembre De 2015.

U.Nal., Agencia De Noticias De La. 2015. El Espectador. [En Línea] 18 De Enero De 2015. [Citado El: 17 De Agosto De 2015.]  
[Http://Www.Elespectador.Com/Noticias/Nacional/Migracion-Y-Bajos-Salarios-Realidad-De-Ingenieros-Quimi-Articulo-538878](http://Www.Elespectador.Com/Noticias/Nacional/Migracion-Y-Bajos-Salarios-Realidad-De-Ingenieros-Quimi-Articulo-538878).

Vanguardia.Com. 2014. Vanguardia.Com. [En Línea] 28 De Enero De 2014. [Citado El: 17 De Agosto De 2015.]  
[Http://Www.Vanguardia.Com/Actualidad/Colombia/244032-La-Industria-Colombiana-Camina-Hacia-La-Recuperacion-En-Este-2014-Anif](http://Www.Vanguardia.Com/Actualidad/Colombia/244032-La-Industria-Colombiana-Camina-Hacia-La-Recuperacion-En-Este-2014-Anif).

Wolfgang Gerhartz, Fritz Ullmann. 1987. *Ullmann's Encyclopedia Of Industrial Chemistry*. Michigan : Vch, 1987, 1987. 3527201106, 9783527201105.

Zermeño, Lic.Francisco Javier De La Torre Y Escobar, Lic. Alicia Flores. 2003. *El Mundo De La Física 2*. Mexico D.F : Progreso De S.A C.V., 2003.

# **ANEXOS**