



BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN BOTÓN DE LA LÍNEA DE HIERRO (REF. DT-0057-27L) EN LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S.

ANGIE LORENA RANGEL CÁRDENAS
HEFZI-BÁ YANETH RODRÍGUEZ NÚÑEZ



CONSTRUIMOS FUTURO



**BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN BOTÓN DE
LA LÍNEA DE HIERRO (REF. DT-0057-27L) EN LA EMPRESA FANTAXIAS
S.A.S**

**ANGIE LORENA RANGEL CÁRDENAS
HEFZI-BA YANETH RODRÍGUEZ NÚÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA 2012**

**BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN BOTÓN DE
LA LÍNEA DE HIERRO (REF. DT-0057-27L) EN LA EMPRESA FANTAXIAS
S.A.S**

**ANGIE LORENA RANGEL CÁRDENAS
HEFZI-BA YANETH RODRÍGUEZ NÚÑEZ**

Monografía para optar al título de Ingeniero Químico

**Director
FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS
INGENIERO QUÍMICO, AMBIENTAL Y DE PROCESOS, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA 2012**

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestros más sinceros agradecimientos:

A la empresa **FANTAXIAS S.A.S** por poner su confianza en nosotras y darnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de grado en sus instalaciones. Además de su apoyo técnico y valiosos aportes en la elaboración de este estudio.

A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**, en especial a la Escuela de Ingeniería Química, por brindarnos las herramientas necesarias para ser unas excelentes profesionales.

Al Doctor **FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS**, por su colaboración como Director en este proyecto.

Al Ingeniero **GUILLERMO ACERO**, por su orientación en los laboratorios de biotecnología de la Escuela de Ingeniería Química.

A **NATHALIA BEDOYA CARVAJAL**, por su ayuda incondicional y desinteresada, su orientación y su paciencia durante la realización de las pruebas de laboratorio.

A los señores **EDUARDO CARREÑO** y **WILSON CARREÑO**, técnicos del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química por su asesoría y disposición.

A la persona con quien realicé este arduo trabajo, por su paciencia, comprensión a lo largo de esta experiencia, que más de una compañera se convirtió en una amiga muy especial, de la cual me llevo los mejores recuerdos de esta etapa. Y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

A Dios, por brindarme la oportunidad de completar una etapa más de mi vida

A mis padres, Javier y Luzmila, mi motivo para salir adelante y mi impulso para dar lo mejor de mí. Mis ejemplos a seguir. Los pilares de mi vida.

A Javier Andrés, mi hermano y amigo, quien siempre me ha tendido la mano de manera incondicional.

A mis amigos, quienes de forma desinteresada, han estado en todo momento. Me impulsaron cuando fue necesario y han compartido conmigo toda clase de experiencias en estos últimos años.

Y a todos aquellos que de una u otra manera aportaron su granito de arena a la culminación de esta etapa de mi vida.

Angie Loerena Rangel Cárdenas

A Dios, en primer lugar por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza para salir adelante, por colmarme de tantas bendiciones, solo puedo decir gracias por ser el mejor Padre que puedo tener.

A mi madre Lucy Yaneth Núñez, por ser el pilar de mi vida, por enseñarme con amor todo lo que soy como persona, porque soy la niña de tus ojos, definitivamente eres mi ejemplo a seguir.

A mi hermano Diego O. Rodríguez, por su cariño, respaldo y apoyo incondicional, eres mi complemento.

A mi tío Gustavo Rodríguez que mas un tío es como un padre para mi, gracias por confiar en mi, y ayudarme en mi formación como profesional.

A mis amigos de la U y colegas: Jennifer Ayala, Andrea Pérez, Diana Galvis, Ma. Consuelo Salcedo, Adriana Ramírez, Ma. Alejandra Romero, Diana Carrillo, Joao García, Guillermo Cohen, Wilson Gallardo, Ma. Consuelo Santos, Silvia Araujo, Paula Casanova, Ma. Camila Gélvez, Katherin Jaimes, Camila Báez, Yuly Camacho, Angie Rangel, Ana Ma. Ardila, Sergio Serrano, Cesar Mayorga y los elenos con quienes compartí tantas alegrías, angustias, trasnochadas, gracias por hacer parte de este logro.

A mis amigas de toda la vida: Ma. Angélica Gómez, Silvia Pérez, Sandra Gómez, Ma. Juliana Reyes, Laura Gavilán, Johanna Rodríguez porque a pesar de los años, y las circunstancias siempre están a mi lado por eso quiero compartir este triunfo con ustedes.

Y una dedicación muy especial a Yago Q.E.D.P, siempre estarás en mi corazón.

Hefzi-bá Yaneth Rodríguez Núñez

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	18
2. METODOLOGÍA	24
2.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO	25
2.2 BALANCE DE MASA	25
2.2.1 Recolección de datos y toma de muestras	25
2.2.2 Determinación de propiedades físicas y químicas.....	25
2.2.2.1 Determinación de densidades	26
2.2.2.2 Determinación de metales pesados.....	26
2.2.2.3 Determinación de grasas y aceites	26
2.2.2.4 Determinación de cianuros.....	27
2.2.2.5 Secado.....	27
2.3 BALANCE DE ENERGÍA	27
2.4 MEDICIÓN DE OTROS ASPECTOS DE IMPORTANCIA AMBIENTAL	27
2.4.1 Niveles de ruido.....	28
2.4.2 Mediciones de pH.....	28
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO	28
3.2 BALANCE DE MASA	28
3.2.1 Troquelado (<i>T</i>).....	28
3.2.2 Galvanización	30

3.2.2.1 Determinación de metales pesados.....	30
3.2.2.2 Determinación de cianuros.....	33
3.2.2.3 Determinación de grasas y aceites.....	35
3.2.3 Ensamble.....	36
3.2.4 Proceso de producción de la puntilla R-0124.....	37
3.2.5 Empaque.....	38
3.3 BALANCE DE ENERGÍA.....	38
3.4 NIVELES DE RUIDO.....	40
3.5 MEDICIONES DE pH.....	41
4. CONCLUSIONES.....	42
5. RECOMENDACIONES.....	43
6. REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos a tener en cuenta en la elaboración de un eco-balance.	19
Tabla 2. Densidades de los lubricantes de la troqueladora.	29
Tabla 3. Consumo de lámina de hierro y % de pérdidas.	29
Tabla 4. Reproducibilidad del método para grasas y aceites.	35
Tabla 5. Datos para los secados.	37
Tabla 6. Descripción de las corrientes de Empaque.	38
Tabla 7. Consumo energético en el troquelado.	39
Tabla 8. Consumo energético en el área de galvanizado por cada kilogramo de hierro procesado.	39
Tabla 9. Gasto energético del proceso de producción de la puntilla.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un eco-balance.....	18
Figura 2. Pirámide de la gestión ambiental.	20
Figura 3. Botón DT-0057-27L.....	18
Figura 4. Puntilla R-0124.....	23
Figura 5. Metodología	25
Figura 6. Proceso general del sistema en estudio.	28
Figura 7. Troquelado.....	29
Figura 8. Galvanización.	30
Figura 9. Ensamble.	36
Figura 10. Proceso de producción de la puntilla R-0124.....	37
Figura 11. Empaque.....	38

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Cantidad de botones vendidos de cada referencia por año.....	22
Gráfica 2. Concentraciones de cobre.....	31
Gráfica 3. Concentraciones de níquel.....	32
Gráfica 4. Concentraciones de hierro.....	32
Gráfica 5. Resultados análisis de cianuros.....	33
Gráfica 6. Resultados grasas y aceites.....	35
Gráfica 7. Resultados de otros componentes.....	36
Gráfica 8. Niveles de ruido.....	40
Gráfica 9. pH en los puntos de muestreo.....	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Descripción detallada del proceso de producción del botón DT-0057-27L.....	48
Anexo B. Datos de entrada y salida.....	53
Anexo C. Determinación de metales pesados – Curvas de calibración.....	58
Anexo D. Resultados Análisis de Cianuros – Laboratorio Químico de Consultas Industriales (UIS)	60

RESUMEN

TÍTULO: BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN BOTÓN DE LA LÍNEA DE HIERRO (REF. DT-0057-27L) EN LA EMPRESA FANTAXIAS.*

AUTOR: Angie Lorena Rangel Cárdenas y Hefzi-bá Yaneth Rodríguez Núñez.**

PALABRAS CLAVES: Eco-balance, Troquelado, Galvanización, Impacto Ambiental.

CONTENIDO:

La problemática ambiental actual ha llevado a gobiernos y otras organizaciones a implementar programas de Producción Más Limpia (PML), con el fin de disminuir el impacto de las industrias sobre el medio. FANTAXIAS S.A.S es una empresa santandereana comprometida con esta labor, razón por la que se decidió desarrollar este estudio que consiste en un balance ambiental en el que se cuantifican los gastos de insumos y energéticos, así como las emisiones al aire, agua y suelo del proceso de obtención del botón de hierro ref. DT-0057-27L. El sistema seleccionado consta de una etapa de troquelado, galvanización, ensamble, producción de una puntilla de aluminio (que se usa para acoplar el botón a prendas de vestir) y, finalmente, el empaque. La etapa más contaminante y de mayor consumo energético resultó la de galvanización, sobrepasando en algunas sub-etapas los límites permisibles para aguas residuales de metales pesados (Cu, Ni, Fe), grasas y aceites, cianuros y pH; los límites de ruido se encontraron dentro de los valores normales. Los consumos de agua y energéticos por kilogramo de hierro procesado resultaron: $2,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O/kg de Fe}$ y $7126,05 \text{ kJ/kg de Fe.}$, más 39131 kJ que corresponden al gasto de las resistencias que se usan en el galvanizado, cuya energía no depende de la masa sino del tiempo que toman los baños electrolíticos, por lo que se recomienda usarlos a su máxima capacidad para desperdiciar menos energía.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Director Ph.D. Fredy Avellaneda Vargas

ABSTRACT

TITLE: ENVIRONMENTAL BALANCE OF THE PRODUCTION PROCESS OF AN IRON BUTTON REF. DT-0057-27L AT FANTAXIAS S.A.S*

AUTHOR: Angie Lorena Rangel Cárdenas y Hefzi-bá Yaneth Rodríguez Núñez.**

KEYWORDS: Eco-balance, Die-cutting, Galvanization, Environmental Impact.

CONTENT:

The current environmental situation has taken governments and other organizations to start Cleaner Production (CP) programs in order to decrease the environmental impact of some industries. FANTAXIAS S.A.S is a factory from Santander committed with this kind of work, so, as a result this study was carried out. It is based on eco-balances, resulting on the quantification of raw materials and energy consumption, as well as air, water and soil emissions of the production process of an iron button ref. DT-0057-27L. The selected system included a die-cutting stage, galvanization, assemblage, production of an aluminum screw (used to assemble the button on garments) and, finally, a packing stage. Galvanization resulted as the most pollutant stage, infringing at some sub-stages the allowable levels for waste-water of heavy metals (Cu, Ni, Fe), oils and greases, cyanides and pH; noise levels remained under normal levels. Water and energy consumption per kilogram of iron used resulted on: $2,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{kg de Fe}$ y $7126,05 \text{ kJ}/\text{kg de Fe}$, plus 39131 kJ from the resistance heaters used in the galvanization process, and which energy does not depend on the mass, but on the time the electrolytic baths lasts. So, in order to decrease energy waste, it is recommended to use these baths at maximum mass capacity.

* Undergraduate Project

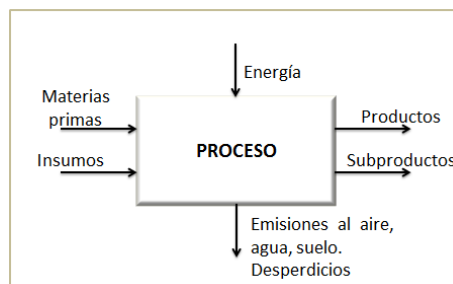
** Chemical Engineering School, Physical and Chemical Engineerings Faculty, Industrial University of Santander, Director Ph.D. Fredy Avellaneda Vargas

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial y tecnológico de la sociedad ha generado en las últimas décadas grandes alteraciones en el medio ambiente, no sólo por el gasto desmedido de recursos sino por la contaminación ocasionada en la transformación de ellos, produciendo fenómenos naturales tales como el calentamiento global, cambio climático, la reducción de la capa de ozono, etc. Como medida preventiva, se han creado diferentes entidades encargadas de establecer metodologías y reglamentaciones estandarizadas que buscan analizar y regular el impacto de las prácticas industriales en el ambiente.

Existen herramientas que permiten definir el estado ambiental de un proceso o producto, que ayudan a la planeación y organización de estrategias además de la evaluación de impactos ambientales, facilitando así la toma de decisiones en una empresa orientada a la producción más limpia (PML). Una de estas herramientas es el eco-balance o balance ambiental, cuya función principal es organizar datos para encontrar estrategias de prevención de contaminación e identificar las partes del proceso que necesitan especial atención para mejorar el desempeño ambiental. En un eco-balance se asignan y cuantifican los flujos de entrada y salida del sistema en estudio para determinar el gasto de materias primas, insumos y energía, así como las emisiones al aire, agua y suelo del proceso productivo [SAIC, 2006] (ver **Figura 1**). Los elementos que se deben tener en cuenta para realizar un balance ambiental se muestran en la **Tabla 1**.

Figura 1. Esquema general de un eco-balance.



Fuente: Van Hoof, 1999.

Tabla 1. Elementos a tener en cuenta en la elaboración de un eco-balance.

Elementos	Información necesaria
Materias primas	- Cuáles se transforman en el producto final del proceso. - Calcular las cantidades. - Distinguir entre las que tienen su destino en el producto final y cuáles se utilizan para procesos de transformación.
Energía	- Información detallada de las cantidades de los diferentes tipos de energía y sus fuentes. - Distinguir entre fuentes renovables (energía hidroeléctrica) y no renovables (combustibles fósiles).
Aditivos	- Determinar los materiales necesarios para el proceso de transformación pero no forman parte del producto final.
Residuos sólidos	Información detallada sobre cantidades y diferentes tipos: - Residuos del proceso (materia prima sobrante, productos fuera de especificación, materiales necesarios para el proceso como filtros, aceite). - Residuos de productos, residuos de empaques.
Residuos líquidos	- Información sobre cantidades, concentraciones y diferentes tipos de vertimientos. - Distinguir entre soluciones y suspensiones.
Residuos de gases	Información detallada de las cantidades y tipos de emisiones.
Producto terminado	Determinar el producto principal del proceso de transformación, el cual puede ser producto terminado, un subproducto, un compuesto o un material refinado.

Fuente: Tobón y Hoyos, 2010.

En la actualidad, donde el cuidado del medio ambiente cada vez cobra más importancia, la calidad ambiental se reconoce como una ventaja competitiva. Como respuesta a la crisis ambiental, el objetivo general de las industrias y el gobierno es lograr el desarrollo sostenible. Para estimular su evolución existen programas y convenios internacionales como Cambio Climático o la Agenda 21, además de varias iniciativas a nivel nacional como el programa de Producción Más Limpia del Ministerio de Ambiente, CECODES y otros programas gremiales que buscan promover estrategias para la preservación del medio. La implementación de estos programas está favorecida por sistemas como el ISO 14000, pues proporciona metodologías para desarrollar o mejorar la política ambiental de empresas en desarrollo continuo. Algunos de estos programas y herramientas aplicables en Colombia se muestran en la **Figura 2.** [VAN HOOFF, 1999].

Un balance ambiental proporciona ventajas comparativas y competitivas a las empresas que deseen certificar sus productos bajo esquemas de etiquetas ecológicas, éstas buscan premiar con un liderazgo ambiental a aquellos que no

Figura 2. Pirámide de la gestión ambiental.



Fuente: Van Hoof, 1999.

contaminen [ROMERO, 2003]. La misma Organización Mundial del Comercio sugiere que cada vez son más utilizadas las etiquetas ecológicas por parte de los gobiernos, empresas y organizaciones no gubernamentales, así como también se intensifica el uso de las que se fundamentan en los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [OMC, 2010]. En un ACV, un eco-balance representa las primeras dos fases, pues de los balances de masa y energía se obtienen los datos necesarios para completar un estudio de este tipo [COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, 2001].

Además de las etiquetas, existen certificaciones que garantizan que una empresa cuenta con programas estándar de sistemas de gestión ambiental que les permiten producir de forma sana para el entorno, como es el caso de la norma ISO 14000. Las certificaciones ISO no resultan en productos que obtengan premios económicos del mercado, como los “productos verdes” o ecológicos, sino que cada vez se consideran más como un requisito para permanecer en él [VAN HOOF y RODRÍGUEZ, 2004].

Estudios sobre el impacto ambiental de los recubrimientos metálicos se han estado desarrollando en los últimos años. Garrain *et al.* utilizaron la metodología del ACV para comparar el impacto ambiental de recubrimientos con pinturas conductoras, deposición química (*electroless*) y deposición a alto vacío,

encontrando que esta última presenta el mejor perfil medioambiental y el recubrimiento con pinturas como el de mayor impacto, sin embargo por su menor costo sigue siendo el más utilizado [Garrain *et al.*, 2010]. Motorola Electronics Ltd. (China) también realizó un ACV comparando los 4 métodos de recubrimientos más utilizados: pintado, decorado en el molde (IMD), deposición de vapor (VDM) y chapado electrolítico (*electroplating*), hallando éste, en comparación con el pintado y el IMD, con un mayor impacto en las categorías de Potencial de Calentamiento Global (GWP) y Potencial de Acidificación (AP) [YANG *et al.*, 2004]. En ambos casos, para el análisis de inventario (balances de masa y energía) se tomaron datos suministrados por las empresas, cálculos sugeridos por la literatura, bases de datos y especificaciones técnicas de los equipos.

Resultados de estudios de impacto ambiental realizados a plantas que se dedican al chapado electrolítico en China, muestran que los lodos y aguas residuales de estos procesos son muy contaminantes, ya que presentan altas concentraciones de metales pesados como Ni, Cu, Zn, Mn, Cr, Pb y Cd que pueden ser transportados a corrientes fluviales con mucha facilidad contaminando los organismos que viven en ellas o acumulándose en los sedimentos de los ríos, así como pueden entrar en la cadena alimenticia y amenazar la salud humana [HANG *et al.*, 2008]. Igualmente, se han llevado a cabo estudios similares en empresas colombianas como FANTAXIAS S.A.S (Bucaramanga, Santander) cuyos resultados han mostrado valores de concentración de metales pesados y cianuros por encima de los niveles permisibles por la normatividad vigente para aguas residuales en el país [GUERRERO y ROMERO, 2006; BALLESTEROS y MARTÍNEZ, 2007].

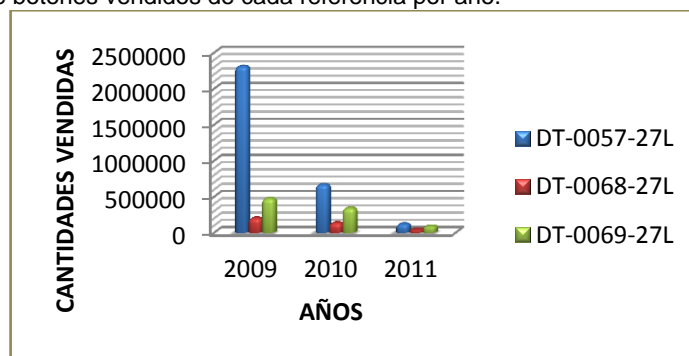
Para la minimización de residuos y emisiones de procesos de producción industrial se recomienda seguir cuatro pasos: 1) dibujar un diagrama de flujo con las corrientes de masa y energía, 2) hacer un análisis de las etapas donde los residuos y emisiones se generan, 3) definir la idealidad de esas etapas: seleccionar materias primas ideales, mejorar el control del proceso, reducir la

interacción humana identificando oportunidades de implementar control automatizado, buscar tecnologías alternativas, etc, y 4) recolectar datos de flujos y costos de materias primas, datos de energía y residuos, y evaluar la viabilidad de las alternativas [FRESNER *et al.*, 2010].

FANTAXIAS S.A.S es una compañía Santandereana que por más de 20 años se ha dedicado al diseño, fabricación y comercialización de hebillas, herrajes, regalos institucionales y artículos de ferretería para la industria del calzado, la confección, el cuero y la madera en materiales base como hierro, aluminio, latón y zamac (aleación de zinc, cobre, aluminio y magnesio). En sus políticas ambientales FANTAXIAS se compromete a “preservar el medio ambiente natural y del entorno mediante la disminución y control de los elementos contaminantes del aire, agua y suelo” [FANTAXIAS, 2007], por lo que se llevó a cabo este proyecto que realizan de manera conjunta cuatro grupos de estudiantes de pregrado y maestría de la Universidad Industrial de Santander, consistiendo el alcance de pregrado en un balance ambiental para un producto representativo de una línea de materiales base. Este proyecto se ocupa de la línea de hierro.

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionó el producto más representativo de la línea de hierro de FANTAXIAS, la cual está subdividida en líneas de botones, herrajes y hebillas, siendo la primera la más representativa. De ellos, las tres referencias más vendidas son: DT-0057-27L, DT-0068-27L y DT-0069-27L. La **Gráfica 1** muestra las ventas anuales de cada una de estas referencias.

Gráfica 1. Cantidad de botones vendidos de cada referencia por año.



Fuente: FANTAXIAS, 2011.

De la gráfica se puede ver que la mayor producción la representa la ref. DT-0057-27L, motivo por el que fue seleccionada como el producto objetivo de este estudio. El sistema seleccionado ha sido el proceso de obtención de este producto, desde el momento en que las materias primas llegan a la empresa hasta que se despacha el producto final; estos sistemas son conocidos como “puerta a puerta”. El botón DT-0057-27L se vende junto con una puntilla de aluminio ref. R-0124, que se usa para ensamblarlo a las prendas de vestir. Éste se obtiene de un proceso de troquelado (corte por presión) donde se producen cabezas y cuerpos; estos se someten a baños electrolíticos de cobre y níquel para darles el acabado. Estas piezas junto con un respaldo polimérico (polipropileno) y un adorno plástico se ensamblan como se muestra en la **Figura 3**; finalmente, se empacan por separado los botones terminados y las puntillas (**Figura 4**).

Figura 3. Botón DT-0057-27L.



Figura 4. Puntilla R-0124.



Como es de esperar, a lo largo de este proceso se generan gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Entre los residuos sólidos se encuentran los restos de lámina de hierro del proceso de troquelado, éstos se almacenan por un par de días hasta que una chatarrería envía un camión que los recoge en calidad de venta; por otro lado se encuentran los restos de alambre de aluminio provenientes del proceso de producción de la puntilla, que son acumulados hasta tener una cantidad significativa y se venden al mismo proveedor del alambre. De este proceso también se generan residuos líquidos, ya que las puntillas se lavan con un aditivo desengrasante en solución (ULTRADIT DS). La solución residual se almacena y se entrega a Albedo S.A.S, una empresa especializada en tratamiento

de aguas residuales, ya que por el alto poder de contaminación del desengrasante no se puede verter directamente a la alcantarilla. En el área de galvanizado hay gran cantidad de residuos líquidos provenientes de los baños y enjuagues que contienen sustancias contaminantes como metales pesados, cianuros, grasas y aceites, sulfuros, entre otros, que son vertidos directamente a la alcantarilla. Conociendo las cantidades de residuos de cada etapa se podrá observar cuáles son los puntos críticos del proceso, pero anticipadamente se espera que el área de galvanizado resulte la más contaminante de la empresa.

De esta manera, el objetivo de este proyecto es realizar un balance ambiental del proceso de fabricación del botón ref. DT-0057-27L de la empresa FANTAXIAS determinando y cuantificando las corrientes de entrada y salida del proceso general y cada una de sus etapas, para definir el perfil ambiental de la empresa y determinar las falencias actuales comparando con las normas vigentes nacionales. La reglamentación colombiana está dada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; actualmente, los estándares de descarga de contaminantes a la atmósfera y emisión de ruido se encuentran en la resolución 8321 de 1983. El reglamento en cuanto al uso del agua y residuos líquidos, se encuentra consignado en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 1074 del 28 de octubre de 1997.

FANTAXIAS es una empresa que cuenta con más de 8000 productos, de manera que realizar un balance ambiental para cada uno no sería apropiado. Sin embargo, es posible extrapolar los resultados de este estudio a otros artículos de la línea de hierro con procesos productivos similares. No obstante, ese no es el objetivo del presente proyecto.

2. METODOLOGÍA

En la **Figura 5** se muestran los pasos desarrollados para completar este estudio. Estos, aunque secuenciales, no son necesariamente dependientes.

Figura 5. Metodología



2.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO

En el tiempo de duración de la práctica, se realizaron visitas periódicas a la empresa con el fin de detallar el proceso productivo del botón objeto de este proyecto. Se recopilaban los datos necesarios para completar este estudio, siempre y cuando estuvieran disponibles en los registros de producción; en caso contrario, estos datos debieron ser obtenidos de forma analítica o experimental. A partir de los datos proporcionados, se realizó un diagrama general del proceso y diagramas específicos para cada etapa.

2.2 BALANCE DE MASA

2.2.1 Recolección de datos y toma de muestras: Para completar los balances de masa en cada etapa se recolectaron de los archivos de la empresa datos como gasto de insumos, tiempos y concentraciones; por otro lado se hicieron las mediciones y se tomaron las muestras necesarias para los análisis físico-químicos con el fin de cuantificar las corrientes de las que no se tenía información alguna. Los valores restantes se calcularon de los mismos balances.

2.2.2 Determinación de propiedades físicas y químicas: Los resultados de éstas se dieron en unidades del sistema internacional, excepto las concentraciones y el

ruido que se presentaron en partes por millón [ppm] y decibeles [dB], respectivamente, unidades que referencia el art. 3 de la resolución 1074 de 1997.

2.2.2.1 Determinación de densidades: Estas se determinaron experimentalmente con un picnómetro VILLAB de 2 mL y una balanza marca PRECISA BJ410C.

2.2.2.2 Determinación de metales pesados: Para cuantificar las concentraciones de metales pesados (Ni, Cu y Fe) en los efluentes de la zona de galvanizado se utilizó la técnica de espectroscopia de absorción atómica con un equipo PERKIN-ELMER 372. Para esto debían hacerse las curvas de calibración a partir de patrones de 1 a 5 ppm de cada metal; las muestras originales debieron ser diluidas en caso de que el equipo no registrara ningún dato debido a altas concentraciones y así extrapolar los resultados. La curva de calibración permite hallar la función que relaciona la absorbancia con la concentración de cada metal en las muestras.

2.2.2.3 Determinación de grasas y aceites: Estas pruebas se hicieron tomando como guía el protocolo sugerido por la US EPA (*Environmental Protection Agency*): "Hexane Extractable Gravimetric Method, Method 10056" adaptado del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Este método usa una extracción líquido-líquido con n-hexano como solvente para separar grasas y aceites de aguas residuales. Éste se modificó levemente teniendo en cuenta otro método del *Standard Methods* [STANDARD METHODS, 1939], utilizando así 20 mL de solvente por cada 10 mL de muestra.

Se escogieron como puntos de muestreo los que se desechan en la alcantarilla del área de galvanizado; además de esto, a una misma muestra se le realizó el procedimiento tres veces con el fin de analizar la reproducibilidad del experimento. Para dicho análisis se halló el promedio de los resultados obtenidos y la desviación estándar.

En general, el montaje se hizo en una cámara de extracción donde por medio de un embudo de decantación se obtenía la solución solvente/aceites que

posteriormente se llevó a un Rotoevaporador BÜCHI R-200; para recuperar el n-hexano las condiciones de operación se fijaron en 50°C y 335 m bar, y se calcularon los aceites por diferencia de peso. Para esto se utilizó una balanza digital PRECISA XB-220A.

2.2.2.4 Determinación de cianuros: Estos análisis se solicitaron al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander. Ver Anexo D. Dado que en Colombia no existe una reglamentación para cianuros en el aire, se toma como punto de referencia lo sugerido por un estudio de la EPA (*Environmental Protection Association*).

2.2.2.5 Secado: Dentro del proceso productivo hay tres operaciones de secado: dos en el subproceso de producción de la puntilla y uno en la etapa de galvanizado. La empresa utiliza secadores centrífugos fabricados por ellos mismos; la cantidad de agua perdida se calculó por diferencia de peso.

2.3 BALANCE DE ENERGÍA

Para calcular el gasto energético de las máquinas involucradas en el proceso se midieron la intensidad eléctrica y la tensión de los motores y las resistencias de calentamiento con un Tester multifuncional UNI-T UT70B. Dado que los motores de las máquinas utilizadas en este proceso son trifásicos, se utilizó la siguiente ecuación para calcular el consumo de potencia [WILDI, 2007]:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ [Watt]} \quad (3)$$

La potencia de los sistemas monofásicos (resistencias) se calcula de la misma forma que en la ecuación (3) pero despreciando el factor $\sqrt{3}$. Con los tiempos medidos de los procesos, se calculan los consumos energéticos.

2.4 MEDICIÓN DE OTROS ASPECTOS DE IMPORTANCIA AMBIENTAL

Para complementar este estudio se quisieron hacer aproximaciones del pH de las aguas residuales que se vierten a la alcantarilla y de los niveles de ruido producidos en el proceso

2.4.1 Niveles de ruido: Para estimar los niveles de ruido se utilizó un sonómetro RADIO SHACK. Cabe señalar que las mediciones se realizaron en un día normal de trabajo, en donde era imposible evitar el sonido de las demás máquinas.

2.4.2 Mediciones de pH: Las aproximaciones de pH se hicieron con papel tornasol.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para presentar los diagramas del proceso se usó la siguiente nomenclatura:

Corrientes de masa: FX_i , donde X: Letra inicial de la etapa; i: numeración.

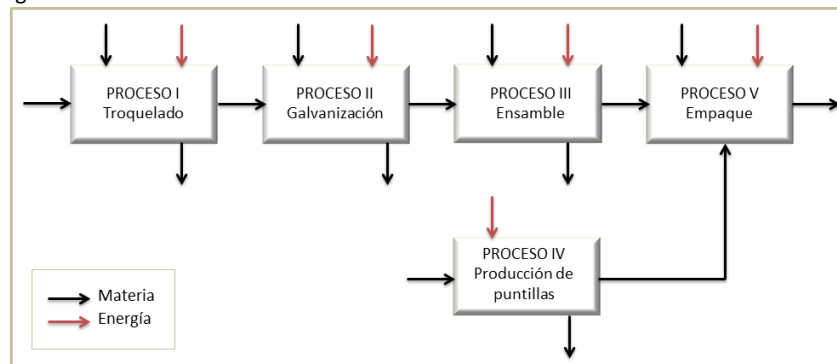
Corrientes de energía: EX_i , donde X: Letra inicial de la etapa; i: numeración.

Así, por ejemplo FT_1 y ET_1 son las primeras corrientes de masa y energía en la etapa de troquelado, respectivamente.

3.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO

Se determinaron las entradas y salidas del proceso en general y de cada una de sus etapas; la descripción en detalle se encuentra en el Anexo A. La **Figura 6** muestra el diagrama general del proceso.

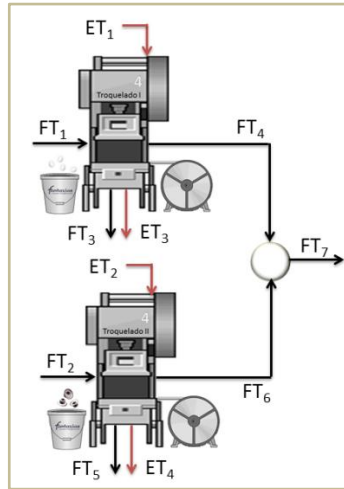
Figura 6. Proceso general del sistema en estudio.



3.2 BALANCE DE MASA

3.2.1 Troquelado (T): Para obtener los cuerpos y cabezas se utiliza una troqueladora RASKIN B-4 a la que se alimenta lámina de hierro calibre 0.25. Para su funcionamiento se necesita lubricarla con dos tipos diferentes de aceites: valvulina SAE-250 y taladrina. En la **Figura 7** se muestra el proceso.

Figura 7. Troquelado.



Los datos de gastos entregados por la empresa se encuentran en el Anexo B. Las densidades de los lubricantes involucrados en este proceso se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Densidades de los lubricantes de la troqueladora.

Sustancia	Wsust+pic [g]	Wsust [g]	ρ [kg/m ³]
Valvulina	7,84	1,76	926
Taladrina	7,86	1,78	937

A continuación se plantean las ecuaciones del balance de masa.

$$FT_1 + FT_2 = FT_3 + FT_4 \quad (1)$$

$$FT_5 + FT_6 = FT_7 + FT_8 \quad (2)$$

$$FT_4 + FT_8 = FT_9 \quad (3)$$

Con la información de entrada se calculó la masa de hierro necesaria para producir una tapa y un cuerpo y los porcentajes de pérdida (**Tabla 3**).

Tabla 3. Consumo de lámina de hierro y % de pérdidas.

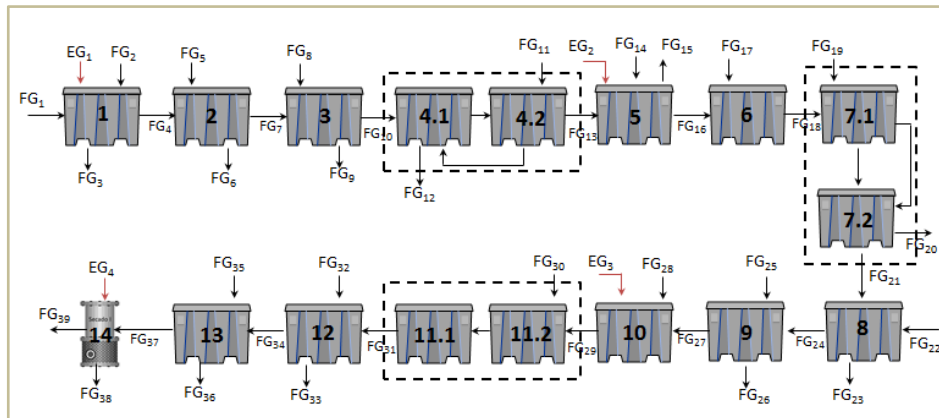
Parte	Consumo [kg/unidad]	Pérdidas [%/unidad]
(1) tapa	0,0012	41,57%
(1) cuerpo	0,001	40%

Con las densidades halladas en el laboratorio se calcularon los gastos de lubricantes y agua por unidad producida: $1,46 \times 10^{-6}$ kg valvulina, $2,84 \times 10^{-4}$ kg taladrina y $7,58 \times 10^{-5}$ kg H₂O. Los residuos de lámina se venden a chatarrerías y las piezas impregnadas de aceites se lavan en la sección de galvanizado, por lo que FANTAXIAS no está generando ningún tipo de contaminación en esta etapa.

3.2.2 Galvanización: El sistema se muestra en la **Figura 8** y está compuesto por una serie de cubas así: 1) desengrase electrolítico (T=50-55°C, desengrasante Z120); 2) enjuague con agua limpia; 3) neutralizado con H₂SO₄; 4) enjuague tipo cascada; 5) baño de cobre (T=25-40°C); 6) enjuague recuperador; 7) enjuague con agua limpia; 8) neutralizado con H₂SO₄; 9) enjuague; 10) baño de níquel (T=55-60°C); 11) enjuague recuperador; 12) enjuague tipo cascada; 13) enjuague final; 14) secador centrífugo. Los puntos que necesitan temperaturas superiores a la del ambiente, utilizan una resistencia de calentamiento. Las piezas se transportan a lo largo del proceso en un tambor de capacidad 30 kg, que se mueve manualmente por un riel ubicado sobre las cubas.

Como puntos de muestreo para los análisis se tomaron los vertimientos: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12 y 13. Las densidades de estas soluciones y los valores de las corrientes de entrada por cada kilogramo de hierro procesado se encuentran en el Anexo B.

Figura 8. Galvanización.



3.2.2.1 Determinación de metales pesados: Para ver las curvas de calibración, remitirse al Anexo C.

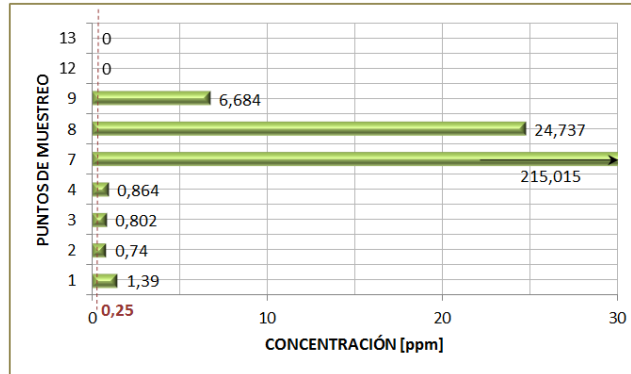
Cobre: De la curva de calibración se obtuvo una correlación de:

$$Abs = 0,0323C - 0,0019 \quad (4)$$

Con $R^2 = 0,9997$ y donde Abs = Absorbancia; y C = Concentración [ppm].

A continuación se muestran los resultados finales de las concentraciones y se señala en rojo el nivel máximo permitido por la resolución 1074 de 1994.

Gráfica 2. Concentraciones de cobre.



En todos los puntos, excepto el 12 y 13, se excede el nivel permisible, observándose los mayores valores en las cubas subsecuentes al baño de cobre (6), lo cual era de esperar ya que en estas se enjuagan las piezas inmediatamente salen de este baño. La presencia de cobre en puntos diferentes al 6 se atribuye al arrastre ocasionado por el tambor que transporta las piezas de cuba en cuba, sumergiéndose en todas las soluciones repetidas veces antes de agotarlas. Para disminuir la concentración, se sugiere tratar las aguas en una lechada de cal con hipoclorito de sodio y sulfato ferroso, de modo que el metal se precipite en forma de sulfuro de cobre (CuS) para posteriormente, enviar los lodos a relleno sanitario [FRESNER y ECOEFICIENCIA, 2008]. A partir de los datos experimentales y los proporcionados por la empresa se hizo el balance de cobre (**Ec. 5**); despejando el cobre adherido y reemplazando por las respectivas corrientes se obtiene la **Ec. 6**.

$$Cu_{entra} - Cu_{adherido} = Cu_{sale} \quad (5)$$

$$Cu_{adh} = FG_{14,Cu} - (FG_{3,Cu} + FG_{6,Cu} + FG_{9,Cu} + FG_{12,Cu} + FG_{20,Cu} + FG_{23,Cu} + FG_{26,Cu}) \quad (6)$$

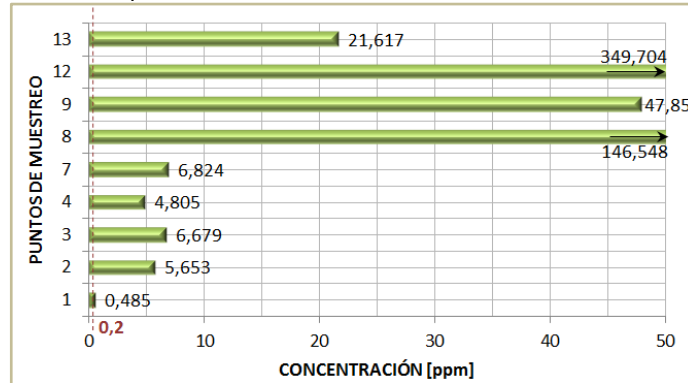
Por cada 1 kg de hierro procesado deben alimentarse 0,00571 kg de cobre y salen $4,42 \times 10^{-5}$ kg (Anexo B); a partir de esto se calcula que el cobre adherido es 0,00567kg, es decir, un 99,31%.

Níquel: De la curva de calibración se obtuvo una correlación de:

$$Abs = 0,0507C + 0,0214 \quad (7)$$

Con $R^2=0,9886$. Los resultados se muestran en la **Gráfica 3** y se señala el nivel máximo permisible.

Gráfica 3. Concentraciones de níquel.



Todos los puntos sobrepasan el nivel permitido, notándose grandes aumentos en los puntos más cercanos al baño de níquel: 8, 9, 12 y 13. Para mitigar el impacto se recomienda aumentar el pH a 10 en una lechada de cal para que el níquel se precipite [FRESNER y ECOEFICIENCIA]. La presencia de níquel en otras cubas diferente a la 11, se atribuye al arrastre generado por el tambor. A partir de estos datos y los proporcionados por la empresa se hizo el balance de níquel.

$$Ni_{entra} - Ni_{adherido} = Ni_{sale} \quad (8)$$

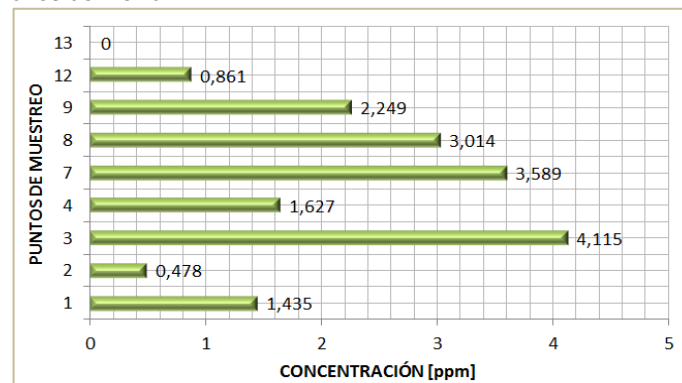
$$Ni_{adh} = FG_{28,Ni} - (FG_{3,Ni} + FG_{6,Ni} + FG_{9,Ni} + FG_{12,Ni} + FG_{20,Ni} + FG_{23,Ni} + FG_{26,Ni} + FG_{33,Ni} + FG_{36,Ni}) \quad (9)$$

Por cada 1kg de hierro procesado deben alimentarse 0,0142 kg Ni y salen $1,1 \times 10^{-4}$ kg (Anexo B); a partir de esto se calcula que el Ni adherido es 0,01409 kg, es decir, un 99,23% de adherencia.

Hierro: La curva de calibración es la **Ec. 10**, con $R^2=0,9972$. La **Gráfica 4** muestra las concentraciones en cada punto de interés.

$$Abs = 0,0209C \quad (10)$$

Gráfica 4. Concentraciones de hierro.



El hierro no tiene establecido un nivel máximo según la resolución 1074 de 1997, y acorde a la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) éste no es considerado peligroso [WHO, 1996]. Igualmente, la presencia de éste en otros puntos se atribuye al arrastre del tambor. A partir de los datos experimentales y los proporcionados por la empresa se hizo el balance de hierro.

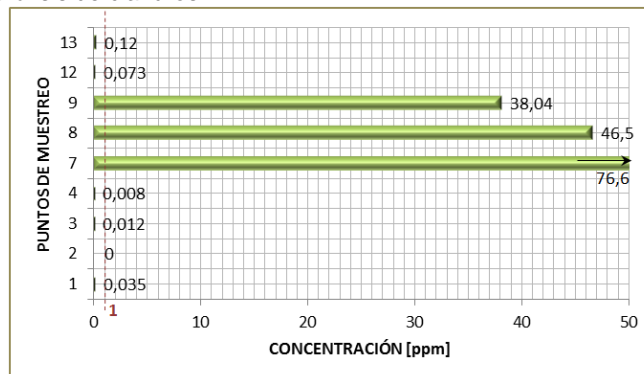
$$Fe_{entra} - Fe_{desprende} = Fe_{sale} \quad (11)$$

$$Fe_{Sale} = FG_1 - (FG_{3,Fe} + FG_{6,Fe} + FG_{9,Fe} + FG_{12,Fe} + FG_{20,Fe} + FG_{23,Fe} + FG_{26,Fe} + FG_{33,Fe} + FG_{36,Fe}) \quad (12)$$

Siendo el que sale el total que pasa a la siguiente cuba y el que se desprende las trazas que salen a la alcantarilla. Sabiendo que la base de cálculo es 1 kg de Fe procesado, se estimó que el hierro que sale es 0,999 kg (Anexo B), es decir, hay un porcentaje de pérdidas de 0,0003% en total. Por ser un valor tan pequeño, la pérdida de peso se consideró despreciable para el balance en las corrientes entre cubas (F_4 , F_7 , F_{10} ...etc).

3.2.2.2 Determinación de cianuros: La **Gráfica 5** muestra los resultados entregados por el Laboratorio Químico de Consultas Industriales y señala el nivel permisible en aguas residuales (Originales en el Anexo D).

Gráfica 5. Resultados análisis de cianuros.



De la gráfica anterior se puede observar, como era de esperarse, que los cianuros sólo se exceden en los puntos consecuentes al baño de cobre (7, 8 y 9), debido a que en ellos se enjuagan las piezas provenientes de este baño, donde se utilizan sales de cianuro para mejorar la adherencia en piezas con formas complejas. La presencia de éste en las demás cubas se atribuye al arrastre generado por el

tambor. Se recomienda remplazar esta clase de baños por baños alcalinos no cianurados, puesto que no son tóxicos y simplifican el tratamiento de las aguas residuales. En ECOMETAL, una empresa española, se sugiere que estos generan menores concentraciones del metal en los residuos y alta velocidad de deposición; por ejemplo, podría sustituirse por cobre piro sulfato [RIBERA y BOSCH, 2006]. Las aguas cianuradas se pueden tratar adicionando sulfato de hierro como se ha hecho en plantas de galvanización en Egipto [ISMAIL *et. al.*, 2008]. A partir de los datos experimentales y los entregados por la empresa se hizo el balance de cianuros; se sabe que de las soluciones acuosas con cianuros, si el medio es ácido, se desprende cianuro de hidrógeno, un gas muy tóxico [UNAM, 2008]. Si se considera la posibilidad de que se esté produciendo este gas, el balance es como se muestra en la **Ec. 13**.

$$CN_{entra} = CN_{sale} + CN_{evap.} \rightarrow CN_{evap.} = CN_{entra} - CN_{sale} \quad (13)$$

$$FG_{15} = FG_{14,CN} - (FG_{3,CN} + FG_{9,CN} + FG_{12,CN} + FG_{20,CN} + FG_{23,CN} + FG_{26,CN} + FG_{33,CN} + FG_{36,CN}) \quad (14)$$

Por cada 1 kg de hierro procesado se alimentan 0,0156 kg de NaCN, es decir, 0,0083 kg CN y 0,011 de CuCN, es decir, 0,0032 kg CN, y salen $2,8 \times 10^{-5}$ kg (Anexo B), entonces se calculan los cianuros evaporados.

$$FG_{15} = (0,0083 \text{ kg} + 0,0032 \text{ kg}) - 2,77 \times 10^{-5} \text{ kg} = 0,01 \text{ kg} \quad (15)$$

En Colombia no hay un nivel máximo permisible establecido para la concentración de cianuros en el aire, sin embargo se requiere hacer un análisis de los posibles impactos que la liberación de estos aporta al medio ambiente. Para esto se tomó como punto de comparación lo que describe la EPA en un estudio emitido en su sitio de Tóxicos en el Aire [EPA, 2007], en el cual la concentración letal estimada para los seres humanos es de 100 mg/m^3 . Dado que el valor obtenido del balance no aporta información que permita hacer una valoración de este impacto, con el fin de tener un punto de referencia se asume que estos vapores se disipan en toda el área de galvanizado, despreciando el volumen ocupado por los equipos, la presencia de un extractor y el perfil de concentración en la habitación; teniendo en cuenta que ésta área tiene dimensiones de alrededor de $15 \times 6 \times 5 \text{ m}$, se calcula que

la concentración de gases de cianuros, es de 25,5 mg/m³. Aunque esta aproximación se encuentra relativamente lejos del nivel letal sugerido por la EPA, aun sigue siendo un valor alto; por lo tanto los cianuros son un importante foco de contaminación y por ende, de atención por parte de la empresa, puesto que puede afectar la salud de quienes trabajan en este sitio.

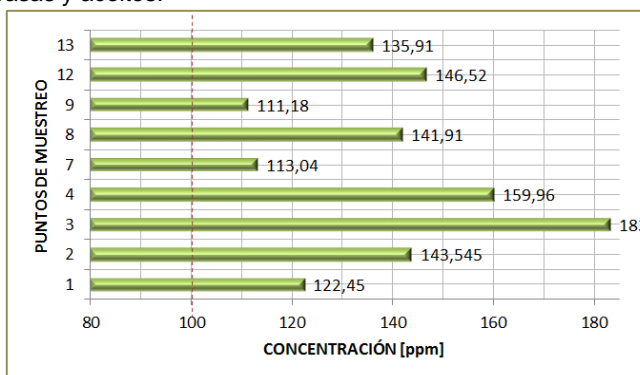
3.2.2.3 Determinación de grasas y aceites: En la **Tabla 4** se muestra el estudio preliminar que se realizó para el punto 2.

Tabla 4. Reproducibilidad del método para grasas y aceites.

Muestra	Prueba	Total [ppm]
2	1	139
	2	148
	3	143

De esto se obtiene un promedio, $\bar{X} = 143,3$ [ppm] y una desviación estándar, $\sigma = \pm 4,51$ [ppm], por lo que se acepta el procedimiento elegido. A continuación se muestran los valores encontrados para cada punto y se señala el nivel permitido.

Gráfica 6. Resultados grasas y aceites.

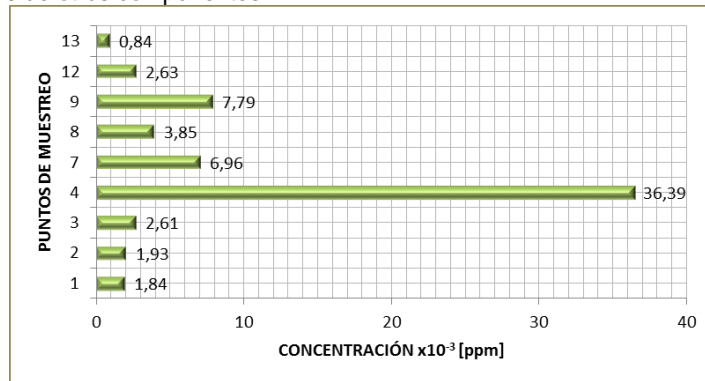


Se puede observar que los aceites exceden el nivel permitido en todos los puntos, observándose en el punto más alto una extralimitación de aproximadamente el 83%. Se esperaba que la mayor concentración de grasas y aceites se diera en el punto 1, el desengrase electrolítico, sin embargo se encontraron altas concentraciones en los demás puntos. Cabe resaltar que estos resultados son aproximaciones, pues siempre se introducen errores experimentales, y se sabe que una fuente de ellos fue el vertimiento de muestras de un envase a otro por

insuficiencia de recipientes de almacenaje. Además, el arrastre a causa del tambor influye en las concentraciones en los demás puntos.

Finalmente, para concluir el balance de masa en el área de galvanizado, por diferencia de peso se tiene que en el secador se eliminan 0,041 kg de H₂O/kg de Fe procesado; de esta manera se calcularon las cantidades de masa necesarias para cerrar los balances. En la **Gráfica 7** se muestran estas concentraciones.

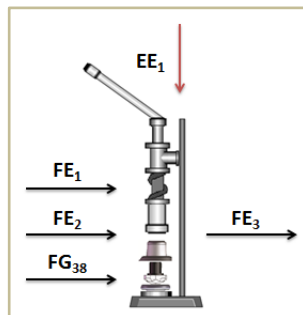
Gráfica 7. Resultados de otros componentes.



Estas concentraciones se asignan a otros componentes presentes en las soluciones que no se tuvieron en cuenta; estos incluyen sustancias orgánicas, ácidos y sales de azufre, boro, entre otros.

3.2.3 Ensamble (*E*): Para producir un botón se toman una tapa, un cuerpo, un respaldo polimérico y una “piedra” de plástico y se ensamblan para obtener el producto final. El sistema se muestra en la **Figura 9**.

Figura 9. Ensamble.

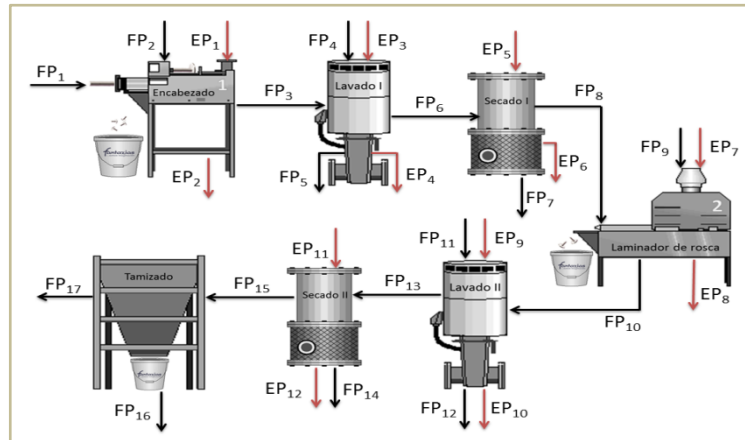


Donde FE₁ es el respaldo polimérico, FE₂ la “piedra” de adorno, FG₃₈ son las tapas y cabezas niqueladas y FE₃ es el botón terminado. En esta etapa no se genera

ningún tipo de contaminación ya que no hay residuos; se toma una unidad de cada componente, se ensambla el botón y nada de esto se desecha.

3.2.4 Proceso de producción de la puntilla R-0124 (*P*): En esta etapa se produce una puntilla enroscada de aluminio que se utiliza para acoplar el botón a las prendas de vestir. El proceso de producción consta de una etapa de encabezado donde se alimenta alambre de aluminio y se obtienen puntillas lisas; posteriormente, éstas son lavadas y secadas antes de entrar a una laminadora de rosca. De esta etapa se obtienen las puntillas terminadas, éstas se lavan y secan de nuevo para, finalmente, pasar por un tamiz donde se retiran los residuos de aluminio. La encabezadora y la laminadora de rosca necesitan lubricarse con aceites 20W-50 y aceite de roscado. En el lavado se utiliza una solución 50%v de ULTRADIT DS. El sistema se muestra en la **Figura 10**.

Figura 10. Proceso de producción de la puntilla R-0124.



El gasto de insumos como alambre de aluminio, lubricantes y agua suministrados por la empresa y las corrientes de entrada se muestran en el Anexo B. Para definir los procesos de lavado y secado, se tomaron los siguientes datos.

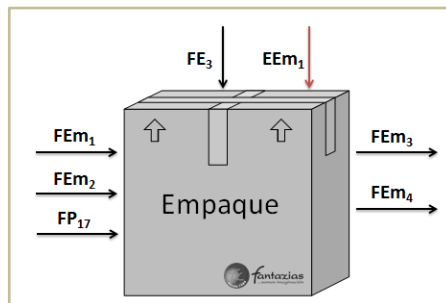
Tabla 5. Datos para los secados.

Insumo	Masa [kg]	Unidades
P. Lisa + aceite	2,40	10166
P. Lisa + agua (no aceite)	2,40	10166
P. Lisa seca	2,24	10166
P. anillada + aceite	7,40	33600
P. anillada + agua (no aceite)	7,40	33600
P. anillada seca	6,70	33600

Con los datos anteriores y conociendo que el peso de una puntilla lisa es 0,000235kg y el de una anillada 0,000205 kg, se calculó que el porcentaje de pérdidas a causa del anillado es de 12,77%. Con esto se cierra el balance; para ver los valores de cada corriente de masa, ver Anexo B. Finalmente, de este proceso los únicos residuos contaminantes son las aguas residuales, pero FANTAXIAS las entrega a una empresa especializada en ello, de modo que no se está generando ningún impacto ambiental negativo en los vertimientos.

3.2.5 Empaque (*Em*): En esta etapa se empacan los botones terminados y las puntillas por aparte según la cantidad requerida por el cliente. El sistema se muestra en la **Figura 11**.

Figura 11. Empaque.



Asumiendo que todos los empaques que entran son utilizados, no se genera ningún tipo de contaminación en este subproceso. En la **Tabla 6** se describen las corrientes.

Tabla 6. Descripción de las corrientes de Empaque.

Corriente	Descripción
FE ₃	Botón terminado
FP ₁₇	Puntilla terminada
FEm ₁	Empaques para botón
FEm ₂	Empaques para puntilla
FEm ₃	Botones empacados
FEm ₄	Puntillas empacadas

3.3 BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía expresado en forma general para todas las máquinas es:

$$E_{entra} = E_{sale} = Q + W \quad (16)$$

En la etapa de troquelado se sabe por medición de tiempos que la tasa de producción es de 7000 unidades/h. En la **Tabla 7** se muestran las mediciones de tensión y corriente, así como la potencia y energía consumida.

Tabla 7. Consumo energético en el troquelado.

Corriente	Máquina	Sistema	Corriente [A]	Tensión [V]	Potencia [kW]	Tiempo [s]	Energía [kJ/unidad]
ET1	Troqueladora No. 4	Trifásico	8	220	3,05	0,51	1,57
ET2	Troqueladora No. 4	Trifásico	8	220	3,05	0,51	1,57

Entonces, se están consumiendo 3,14 kJ/botón producido, los cuales se dividen en energía disipada como calor y trabajo útil. Conociendo el peso de una tapa y un cuerpo, 0,45 g y 0,55 g, respectivamente, se calcula que el consumo en cada troquelado es de aproximadamente 3488,8 kJ/kg Fe (ET₁) y 2854,5 kJ/kg (ET₂). Estas máquinas son muy antiguas, por lo que posiblemente no estén funcionando con la eficiencia para la que fueron diseñadas; sin embargo, una alternativa es equipar los motores con convertidores de frecuencia variable (VSD), que regulan la velocidad de estos y pueden llegar a reducir su consumo energético hasta un 50% [ABB COLOMBIA, 2012].

Para el área de galvanica los datos de energía se muestran en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Consumo energético en el área de galvanizado por cada kilogramo de hierro procesado.

Corriente	Máquina	Sistema	Corriente [A]	Tensión [V]	Potencia [kW]	Tiempo [s]	Energía
EG1	Resistencia desengrase	Monofásico	8	220	1,76	600,00	1056 kJ
EG2	Resistencia baño Cu	Monofásico	34	220	7,48	2700,00	19364 kJ
EG3	Resistencia baño Ni	Monofásico	20,3	220	4,47	4500,00	18711 kJ
EG4	Motor secadora	Trifásico	8	220	3,05	20,00	60,97 kJ/kg
	Resistencia secadora	Monofásico	2,2	220	0,48	20,00	9,68 kJ/kg

En esta zona se ve un incremento considerable en el consumo energético. El valor más grande lo aportan las resistencias, sobretodo las de los baños de cobre y níquel. Estos valores son independientes de la masa, pero sí dependen del tiempo que dure cada sub-etapa, por esto se recomienda utilizar el tambor a su máxima capacidad de manera que se malgaste la menor energía posible.

Los gastos energéticos en el proceso de producción de la puntilla se muestran en la **Tabla 9**. Los tiempos y la energía se registran por una (1) puntilla producida. Si se sabe que para mantener la proporción 1:1 entre botones y puntillas se necesitan 1000 puntillas al procesar 1 kg de Fe (aprox. 1000 botones), se calcula la energía específica en kJ/kg de Fe.

Tabla 9. Gasto energético del proceso de producción de la puntilla.

Corriente	Máquina	Sistema	Corriente [A]	Tensión [V]	Potencia [kW]	Tiempo [s]	Energía [kJ/kg]
EP ₁	Encabezadora	Trifásico	2,2	220	0,84	0,38	310
EP ₃ y EP ₉	Lavadora I	Trifásico	4	220	1,52	0,03	40
EP ₅ y EP ₁₁	Motor secadora	Trifásico	12	220	4,57	0,02	80
	Resistencia secadora	Monofásico	2,4	220	0,53	0,02	10
EP ₇	Laminadora de Roscas	Trifásico	2	220	0,76	0,67	510

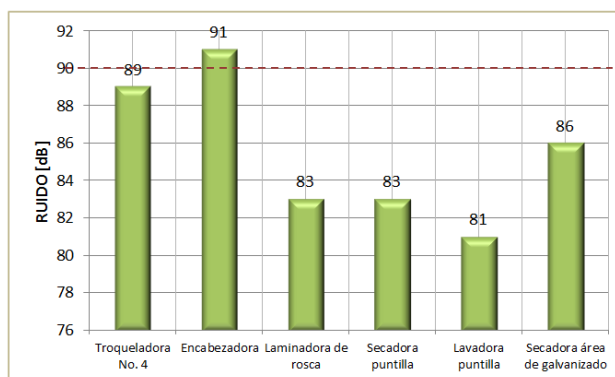
Este proceso demuestra ser el más eficiente energéticamente, pues tiene los menores consumos energéticos y la mayor productividad (unidades producidas/tiempo).

Las etapas de ensamble y empaque se hacen manualmente. Para efectos de este estudio, la energía impartida por el hombre se consideró despreciable.

3.4 NIVELES DE RUIDO

La **Gráfica 8** muestra los niveles de ruido que se perciben en el ambiente cuando está funcionando cada máquina del proceso, y señala el nivel máximo permitido para intervalos de exposición de 8 horas (duración de los turnos en FANTAXIAS).

Gráfica 8. Niveles de ruido.

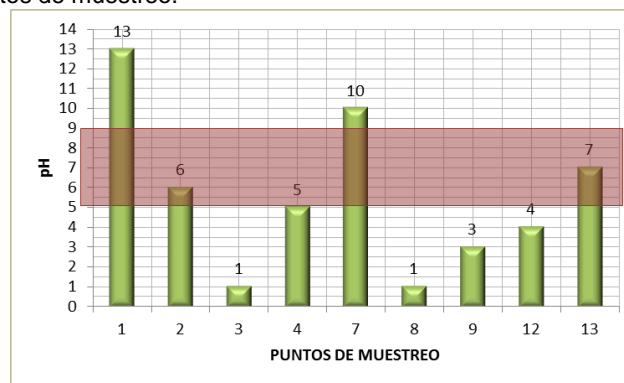


Como se puede ver, el nivel permitido sólo se excede en el encabezado; cabe resaltar que esta máquina no dura en funcionamiento un turno completo (8h). No obstante, se recomienda usar protección auditiva, pues el ruido del ambiente es influenciado por otros procesos que puedan estar (o no) en marcha en determinado momento.

3.5 MEDICIONES DE pH

Los resultados de pH y el rango permitido se muestran en la **Gráfica 9**.

Gráfica 9. pH en los puntos de muestreo.



De la gráfica anterior se puede ver que los dos neutralizados están generando las soluciones más ácidas, algo que era de esperar ya que en ellos se utiliza ácido sulfúrico con el fin de preparar las superficies de las piezas para los baños de metales. El enjuague posterior al baño de cobre (7) y el desengrase electrolítico resultaron básicos, debido a que en este último se utiliza un desengrasante alcalino y en el baño se usan gran cantidad de sales que las piezas pueden arrastrar hasta enjuagarse en el punto 7. Finalmente, se observa que únicamente los puntos del primer y último enjuague (2 y 13) se encuentran dentro del rango de aceptación del pH; el punto 5 se encuentra en el límite, y dado que estos enjuagues son sensibles a variaciones por arrastre, se le debe prestar especial atención al igual que a los puntos fuera de rango. Para cumplir con los requisitos ambientales estipulados por la normatividad colombiana, se recomienda que antes de verter estas soluciones a la alcantarilla se neutralicen con ácido sulfúrico o cal.

4. CONCLUSIONES

De los cinco (5) subprocesos que conforman el sistema de estudio, cuatro de ellos no representan una amenaza ambiental: troquelado, ensamble, empaque y la producción de la puntilla. La falencia ambiental de FANTAXIAS se observa principalmente en el área de galvanizado. En las categorías de impacto que se pueden afectar a mediano o largo plazo se encuentran: a) Disminución de Recursos Naturales debido al consumo de agua, b) Contaminación del Agua por la generación de residuos peligrosos (aceites y solventes usados) y de vertidos en general, y c) Salud Humana por la inhalación de gases tóxicos (cianuros).

El impacto ambiental del consumo energético del área de galvanizado y la troqueladora se clasifica en la categoría de impacto de Disminución de Recursos Naturales; los niveles de ruido a largo plazo pueden incurrir en la Salud Humana y los bajos valores de pH en la Acidificación de los cuerpos acuáticos.

De los balances de masa y energía, resultaron los factores de consumo de agua y consumo energético para el procesamiento de un (1) kg de hierro en: $2,32 \times 10^{-3} \frac{m^3 H_2O}{kg Fe}$ y $8634,28 \frac{kJ}{kg Fe}$. Con este estudio, los resultados expresados por un (1) kilogramo de materia prima procesada se pueden extrapolar a otros productos de la línea de botones troquelados.

5. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de las eficiencias energéticas de las máquinas involucradas en el proceso, para cuantificar la cantidad de energía que están usando como trabajo útil con el fin de evaluar si funcionan correctamente o necesitan ser reemplazadas. Además, se recomienda tener en cuenta las energías de arranque, dado que en ese momento las máquinas alcanzan un pico de potencia.

Por otra parte, se recomienda hacer un análisis más profundo acerca del contenido de cianuros en el aire, debido a que este proyecto se limitó a aproximar un punto de referencia comparable a estudios previos.

Algunas de las mejoras que podrían ser aplicables serían: a) la cogeneración de energía, utilizando el calor de algunos equipos como fuente para el funcionamiento de otros; b) la extracción ultrasónica de metales pesados y sustancias peligrosas [LI *et al.*, 2010];

Para mejorar la eficiencia de los enjuagues se recomienda aumentar la turbulencia con el fin de favorecer el contacto de las piezas con el agua y homogeneizar las concentraciones de las sales evitando que se concentren en ciertas zonas del tanque. Esto se puede lograr agitando con aire o utilizando enjuagues por aspersión. Y, finalmente, una alternativa para disminuir el consumo energético y las emisiones al aire, es la disposición de esferas de polipropileno en las superficies de las cubas que requieren energía, ayudando así al almacenamiento de calor dentro del tanque y evitando el escape de gases. [FRESNER y ECOEFICIENCIA, 2008].

6. REFERENCIAS

ABB EN COLOMBIA. El gasto energético en la industria. Colombia : ABB, 2012. [en línea]. [consultado 30 jul. 2012]. Disponible en <<http://www.abb.com.co/product/ap/seitp322/1cd437389b2ade20c12575c8004b638e.aspx> >

BALLESTEROS CARRILLO, Eduin y MARTÍNEZ MONSALVE, Rubén. Diseño de alternativas para la oxidación de cianuros y remoción de metales presentes en los efluentes de la empresa de electrorecubrimiento FANTAXIAS LTDA. Bucaramanga, 2007, 119p. Proyecto de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Proyecto Minimización de residuos provenientes de envases y embalajes: Guía metodológica estudio de ciclo de vida ECV. Chile : CNMA, 2001. [en línea]. [consultado 15 abr. 2012]. Disponible en <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclo.pdf> >

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Technology Transfer Network : Air Toxics Web Site. Estados Unidos : EPA, 2007. [en línea]. [consultado 20 jul. 2012]. Disponible en <<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/cyanide.html#ref5> >

FANTAXÍAS S.A.S. [en línea]. [consultado 17 abr. 2012]. Disponible en <http://www.fantaxias.com/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=35>

FRESNER, Johannes, *et al.* The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects. En : Journal of Cleaner Production. Vol. 18 (2010); p. 128-136.

FRESNER, Johannes y ECOEFICIENCIA. P + L en el sector de Galvanoplastia. Colombia : Noviembre, 2008. [en papel]. Disponible en: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

GARRAÍN, Daniel, *et al.* Análisis del Ciclo de Vida de los Procesos de Recubrimiento Metálico de Termoplásticos. En : Revista Información Tecnológica. Vol. 21, No. 2 (2010); p. 59-64.

GUERRERO GÓMEZ, Andrés y ROMERO CABEZAS, Ludwink. Evaluación de la carga contaminante de las vertientes líquidas de la empresa de herrajes FANTAXIAS S.AS. Bucaramanga, 2006, 128p. Proyecto de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

HANG, Xiaoshuai, *et al.* Characteristics and accumulation of heavy metals in sediments originated from an electroplating plant. En : Journal of Hazardous Materials. Vol. 163 (2009); p. 922-930.

ISMAIL, Ibrahim, *et al.* Treatment of a synthethic solution of galvanization effluent via the conversion of sodium cyanide into an insoluble safe complex. En : Journal of Hazardous Materials. Vol 166 (2008); p. 978.983.

LI, Chuncheng *et al.* Multiple heavy metals extraction and recovery from hazardous electroplating sludge waste via ultrasonically enhanced two-stage acid leaching. En : Journal of Hazardous Materials. Vol. 178 (2010); p. 823-833.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO (OMC). Etiquetado. Medio Ambiente (2010). [en línea]. [consultado 17 abr. 2012]. Disponible en <http://www.wto.org/spanish/tratop_s/envir_s/labelling_s.htm>

RIBERA FERRANDO, Jesús y BOSCH MOSSI, Francisco. Herramientas de concienciación y sensibilización para la prevención de la contaminación en el sector metal-mecánico. España : AIMME, 2006. [en línea]. [consultado 15 abr. 2012]. Disponible en
<<http://ecometal.aimme.es/observatorio/guias/docs/manualgalvanotecnia.pdf>>

ROMERO RODRÍGUEZ, Blanca Iris. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. En : Tendencias Tecnológicas. [en línea]. Boletín 11E julio-septiembre (2003). [consultado 17 abr. 2012]. Disponible en
<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/tend.pdf>>

SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. Life Cycle Assessment: Principles and practice. Estados Unidos : SAIC, 2006. [en línea]. [consultado 15 abr. 2012]. Disponible en
<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf>

SCOTT, Wilfred. Standard Methods of Chemical Analysis. 5 ed. New York : Lancaster Press, 1939. v. 2, p. 2078-2079.

TOBÓN, Olga Lucía y HOYOS, Paula. Ecobalances : Balances de materia y energía. Colombia : Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), 2010. 35p. [en línea]. [consultado 17 abr. 2012]. Disponible en
<<http://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Memorias/Modulo2/BALANCESDEMATERIAYENERGIA.pdf>>

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Hoja de seguridad XX : Cianuro de hidrógeno y cianuros. México : UNAM, 2008. 12p. [en línea]. [consultado 20 jun. 2012]. Disponible en
<<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/20cianuros.pdf>>

VAN HOOFF, Bart. LCA (Life Cycle Analysis): Una herramienta de la industria para conciliar la crisis ambiental y el desarrollo empresarial. En : Revista de Ingeniería. [en línea]. No. 9, 1999, pp. 44 – 51. [consultado 24 abr. 2012] Disponible en <<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev9art6.pdf>>

VAN HOOFF, Bart y RODRÍGUEZ BECERRA, Manuel. Para que la PYME sea competitiva se requiere una gestión ambiental preventiva : Cepal, 2004. [en línea]. [consultado 12 may. 2012]. Disponible en < <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/bajar/pymes.pdf> >

WILDI, Theodore. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. 6 ed. México : Pearson Education, 2007. p. 134-180

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health criteria and other supporting information. 2 ed. Geneva : Guidelines for drinking-water quality, 1996. 9 p.

YANG, Jian-xin, *et al.* Life cycle assessment of mobile phone housing. En : Journal of Environmental Sciences. Vol. 16, No. 1 (2004); p. 100-103.

ANEXOS

Anexo A. Descripción detallada del proceso de producción del botón DT-0057-27L

Proceso I – Troquelado: En este proceso se utiliza una troqueladora Raskin B-4 la que se obtienen los cuerpos y las cabezas que conformarán el botón a partir de láminas de hierro calibre 0.25; esta troqueladora es la No.4 de la empresa. Para el funcionamiento de la máquina es necesario lubricarla con dos tipos diferentes de aceites: valvulina SAE-250 y taladrina.



Proceso II – Galvanización (**Figura 8**): Dado que el acabado final del botón es niquelado, y que el níquel únicamente se adhiere a superficies de cobre, las tapas y cuerpos provenientes del troquelado ser sometidos a dos baños de chapado electrolítico. Este proceso consta de una secuencia de cubas así: En la sub-etapa (1) se lleva a cabo un desengrase por inmersión que tiene como fin eliminar cualquier impureza de las piezas utilizando desengrase Z-120 en una concentración de 50-60 g/L; en (2) se encuentra una cuba con agua limpia para enjuagar las tapas y cabezas. (3) es una etapa de neutralizado, donde se usa una solución de ácido sulfúrico con una concentración entre 3-5 cm³/L antes de atravesar un enjuague tipo cascada (4), que consta de dos cubas de agua limpia dejando las piezas listas para ser cobrizadas. El baño de cobre (5) está constituido por una cuba en la que se tienen ánodos de cobre, cobre metálico (26

g/L), cianuro de cobre (36,5 g/L), cianuro de sodio (22,5 g/L), sal de Rochelle (47,5 g/L) y un pH entre 11 y 13.



Tras esto viene un enjuague recuperador (6), constituido por agua limpia donde se lavan las trazas de sustancias que queden del cobrizado y que puede ser utilizado posteriormente para rectificar el baño de cobre. Seguido a esto va un enjuague (7), un segundo neutralizado (8) con una concentración de $5-6\text{cm}^3/\text{L}$ H_2SO_4 y otro enjuague tipo cascada (9) antes de entrar al baño de níquel. El niquelado (10) se hace en una cuba con ánodos de níquel electrolítico y una solución con sulfato de níquel (280 g/L), cloruro de níquel (65 g/L) y ácido bórico (55 g/L); igualmente, después de este baño también hay un enjuague recuperador (11) y un enjuague tipo cascada (12) para finalmente, (13) secar las piezas en un secador fabricado por la misma empresa.

Proceso III - Ensamble: Para conformar el botón se acoplan las piezas niqueladas provenientes de galvanía junto con un respaldo de polipropileno y una piedra plana de cristal. En una máquina Gameco se coloca en una bandeja la tapa, sobre la que se ubica la piedra con la parte frontal hacia abajo, luego el respaldo plástico y finalmente el cuerpo metálico; todo el conjunto se sitúa en el troquel de ensamble y se sella el botón.



Proceso IV - Producción puntilla ref. R-0124 : La puntilla R-0124 es una puntilla enroscada hecha a partir de alambre de aluminio calibre 2,35 mm que es utilizada para ensamblar el botón finalizado al blue-jean. Este proceso es ajeno a la empresa; FANTAXÍAS se encarga únicamente de distribuir botones con su respectiva puntilla de acople.

El proceso de producción de esta puntilla está conformado por una serie de etapas como se describen a continuación:

Encabezado: Se utiliza una encabezadora Gwo Ling Machinery Co. LTD FA-5 a la que se introduce el alambre de aluminio para ser transformado en puntillas lisas encabezadas. Para el funcionamiento de la máquina es necesario utilizar aceite 20W-50 como lubricante.



Enroscado: Para enroscar las puntillas lisas se utiliza una laminadora de rosca Gwo Ling Machinery Co. LTD AS-003HD que necesita para su funcionamiento aceite de roscado y aceite 20W-50.



Lavados: Las puntillas deben ser lavadas al salir de la encabezadora y de la laminadora de roscas debido al uso de lubricantes que se quedan adheridos a ellas. Este proceso se lleva a cabo en una lavadora fabricada por FANTAXÍAS utilizando una solución de ULTRADIT DS, un aditivo desengrasante fabricado por ABC Acabados LTDA.



Secado: Después de cada lavado a las puntillas les es retirada la humedad en una secadora fabricada por FANTAXÍAS.



Tamizado: Los residuos del enroscado junto con las puntillas enroscadas son lavados y secados para finalmente ser separados usando un tamiz. Las puntillas están listas para ser empacadas y los residuos se almacenan para ser vendidos al mismo proveedor del alambre de aluminio.

Proceso V – Empaque: Los botones y las puntillas se empacan manualmente en bolsas plásticas por diferencia de peso.



Anexo B. Datos de entrada y salida

I. Troquelado: La tabla B-1 presenta los datos promedio entregados por FANTAXIAS para el proceso de troquelado y la tabla B-2 el consumo de lubricantes.

Tabla B-1. Datos entregados por la empresa para el troquelado.

Partes	Total piezas	Entrada [kg]	Pérdidas como chatarra [kg]
Tapas	5000	6	2,5
Cuerpos	20000	20	8

Fuente: FANTAXIAS, 2011-2012.

Tabla B-2. Consumo de lubricantes en el troquelado.

Máquina	Aceite	Cantidad [m ³]	Total piezas
Troqueladora No.4	Valvulina SAE-250	4,7E-04	300000
	Taladrina	3,79E-03 tal. + 9,5E-04 H ₂ O	50000

Fuente: FANTAXIAS, 2011-2012.

Entonces, para producir una tapa se necesitan $\frac{6 \text{ kg Fe}}{5000 \text{ tapas}} = 0,0012 \text{ kg Fe}$. De la misma manera se calcula la cantidad de aceites por pieza.

II. Galvanizado: Las tablas B-3 y B-4 presentan los datos entregados por la empresa para el consumo de insumos.

Para obtener los valores por cada kilogramo de hierro procesado, se divide cada valor entre 8529 kg y 7569 kg, respectivamente.

Tabla B-3. Datos entregados por FANTAXÍAS para el proceso de galvanización por cada 8529kg de hierro procesados.

Etapas de galvanizado	H ₂ O [L]	NaCN [kg]	CuCN [kg]	Sal de Rochelle [kg]	Alkabright [L]	Ánodos Cu [kg]	Novaclean ZAM [L]	H ₂ SO ₄ [kg]
Desengrase electrolítico	463,2	-	-	-	-	-	19,3	-
Enjuague	1563,5	-	-	-	-	-	-	-
Neutraliz. I	1972	-	-	-	-	-	-	14,2
Enjuague cascada I	1563,5	-	-	-	-	-	-	-
Baño de Cu	2636,4	133,6	93,7	8	4,5	48,7	-	-
Enjuague Recup. I	1563,5	-	-	-	-	-	-	-
Enjuague cascada II	1563,5	-	-	-	-	-	-	-
Neutraliz. II	1315	-	-	-	-	-	-	14,2
Enjuague Cascada III	1563,5	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: FANTAXÍAS

Tabla B-4. Datos entregados por FANTAXÍAS para el proceso de galvanización por cada 7569 kg procesados de hierro previamente cobrizado.

Etapas del galvanizado	H ₂ O [L]	Alkabright [L]	NiCl ₂ [kg]	Ni SO ₄ [kg]	Base para Ni [L]	H ₃ BO ₃ [kg]	Ánodos(Ni) [kg]
Baño de Ni	444	102,8	5,5	15	50	5	107,6
Enjuague Recuperador II	1387,5	-	-	-	-	-	-
Enjuague Cascada IV	1387,5	-	-	-	-	-	-
Enjuague final	1387,5	-	-	-	-	-	-

Fuente: FANTAXÍAS.

Las densidades encontradas en el laboratorio para realizar las conversiones de volumen a masa necesarias para realizar el balance, se muestran en la tabla B-5.

Tabla B-5. Densidades galvanizado.

Puntos de muestreo	Sustancia/Solución	ρ [kg/m ³]
1	Z120 puro	1200
1	Sln. Salida	1010
2	Sln. Salida	1002
3	Sln. Salida	1006
4	Sln. Salida	1037
7	Sln. Salida	1007
8	Sln. Salida	1009
9	Sln. Salida	1008
12	Sln. Salida	1003
13	Sln. Salida	1001

A continuación se muestran los valores de las corrientes de salida de cobre.

Tabla B-6. Corrientes de salida para el cobre.

Corriente	Volumen salida [m ³]	Masa [kg]
FG ₃	5,60E-05	7,82E-08
FG ₆	1,80E-04	1,33E-07
FG ₉	2,31E-04	1,85E-07
FG ₁₂	1,80E-04	1,56E-07
FG ₂₀	1,80E-04	3,87E-05
FG ₂₃	1,51E-04	3,73E-06
FG ₂₆	1,80E-04	1,20E-06

A partir de los datos anteriores se calcula el cobre eliminado en las aguas residuales, cuyo valor es $4,42 \times 10^{-5}$ kg.

A continuación se muestran los valores de las corrientes de salida de níquel.

Tabla B-7. Corrientes de salida para el níquel.

Corriente	Volumen salida [m ³]	Masa [kg]
FG ₃	5,60E-05	2,73E-08
FG ₆	1,80E-04	1,02E-06
FG ₉	2,31E-04	1,54E-06
FG ₁₂	1,80E-04	8,64E-07
FG ₂₀	1,80E-04	1,23E-06
FG ₂₃	1,51E-04	2,21E-05
FG ₂₆	1,80E-04	8,61E-06
GF ₃₃	1,80E-04	6,89E-05

A partir de los datos anteriores se calcula el níquel eliminado en las aguas residuales, cuyo valor es $1,1 \times 10^{-4}$ kg.

A continuación se muestran los valores de las corrientes de salida del hierro.

Tabla B-8. Corrientes de salida para el hierro.

Corriente	Volumen salida [m ³]	Masa [kg]
FG ₃	5,60E-05	8,07E-08
FG ₆	1,80E-04	8,60E-08
FG ₉	2,30E-04	9,50E-07
FG ₁₂	1,80E-04	2,93E-07
FG ₂₀	1,80E-04	6,46E-07
FG ₂₃	1,50E-04	4,55E-07
FG ₂₆	1,80E-04	4,05E-07
GF ₃₃	1,80E-04	1,72E-07

A partir de los datos anteriores se calcula el hierro desprendido en las aguas residuales, cuyo valor es $3,1 \times 10^{-6}$ kg.

A continuación se muestran los valores de las corrientes de salida de cianuros.

Tabla B-9. Corrientes de salida para los cianuros.

Corriente	Volumen salida [m ³]	Masa [kg]
FG ₃	5,63E-05	1,97E-09
FG ₉	2,31E-04	2,77E-09
FG ₁₂	1,80E-04	1,44E-09
FG ₂₀	1,80E-04	1,38E-05
FG ₂₃	1,51E-04	7,02E-06
FG ₂₆	1,80E-04	6,85E-06
FG ₃₃	1,80E-04	2,56E-08
FG ₃₆	1,80E-04	2,16E-08

A partir de los datos anteriores se calculan los cianuros eliminados en las aguas residuales, cuyo valor es $1,1 \times 10^{-4}$ kg.

IV. Producción de la puntilla: La tabla B-10 presenta los datos entregados por la empresa para el consumo de insumos en el proceso de producción de la puntilla.

Tabla B-10. Datos entregados por la empresa para el proceso de producción de la puntilla.

Proceso	Insumo	Cantidad	Unidades	No. de piezas
Encabezado	Alambre de Al	14,2	kg	52500
	Aceite 20W-50	2,27E-02	m3	7000000
Laminado en rosca	Aceite de roscado	1,14E-02	m3	7000000
	Aceite 20W-50	7,57E-03	m3	7000000
Lavado	Desengrasante ULTRADIT	1,89E-03	m3	50000
	Agua	3,79E-03	m3	50000

La tabla B-7 presenta las corrientes másicas de entrada al sistema de producción de la puntilla.

Tabla B-7. Corrientes de entrada al proceso de producción de una puntilla.

Corriente	Insumo	Volumen [m ³]	ρ [kg/m ³]	Masa [kg]
FP ₁	Alambre Al	--	--	2,35E-04
FP ₂	Aceite 20W-50	3,25E-09	858	2,79E-06
FP ₄	ULTRADIT	3,79E-08	958	3,63E-05
	Agua	7,58E-08	1000	7,58E-05
FP ₉	Aceite de roscado	1,62E-09	863	1,40E-06
	Aceite 20W-50	1,08E-09	858	9,29E-07
FP ₁₁	ULTRADIT	3,79E-08	958	3,63E-05
	Agua	7,58E-08	1000	7,58E-05

Y, finalmente, la tabla B-8 muestra las corrientes másicas de salida del sistema de producción de la puntilla.

Tabla B-8. Corrientes de salida del proceso de producción de la puntilla.

Corriente	Insumo	Masa [kg]
FP ₃	Puntillas lisas aceitadas	2,51E-04
FP ₅	Agua residual	9,64E-05
FP ₆	Puntillas lisas húmedas	2,51E-04
FP ₇	Agua perdida	1,57E-05
FP ₈	Puntillas lisas secas	2,35E-04
FP ₁₀	Puntillas anilladas + residuos + aceites	2,56E-04
FP ₁₂	Agua residual	9,13E-05
FP ₁₃	Puntillas anilladas húmedas	2,26E-04
FP ₁₄	Agua perdida	2,08E-05
FP ₁₅	Puntillas anilladas secas	2,05E-04
FP ₁₆	Pérdidas de Al	2,62E-05
FP ₁₇	Puntilla final	2,05E-04

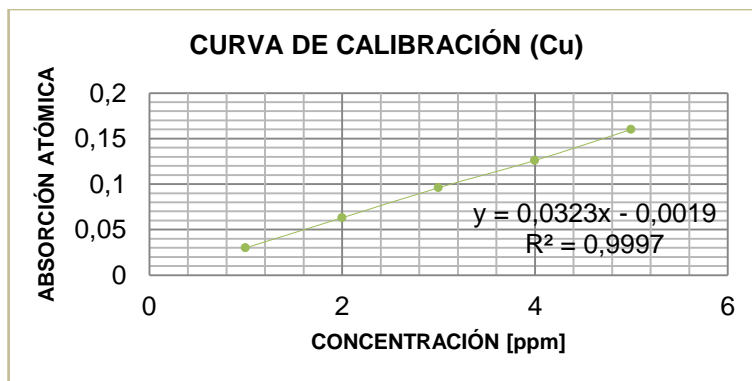
Anexo C. Determinación de metales pesados – Curvas de calibración

Determinación de cobre: A continuación se muestran los datos y la curva de calibración del cobre. Para la lectura de las muestras se hicieron diluciones de 10ppm y 50ppm.

Tabla C-1. Patrones de cobre.

Concentración [ppm]	Absorción Atómica
1	0,03
2	0,063
3	0,096
4	0,126
5	0,16

Gráfica C-1. Curva de calibración – Cobre.

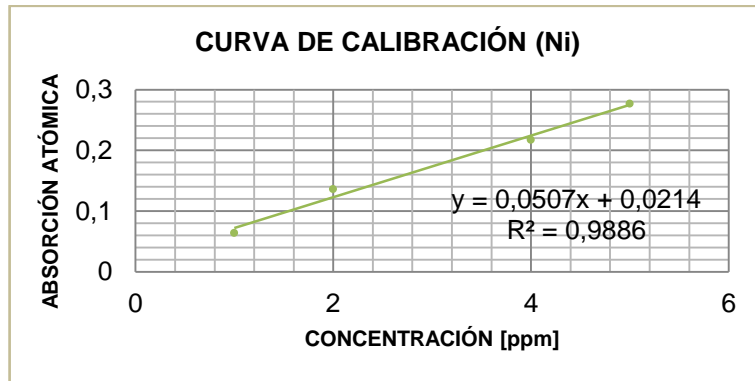


Determinación de níquel: A continuación se muestran los datos y la curva de calibración del níquel. Para la lectura de las muestras se hicieron diluciones de 10ppm y 50ppm.

Tabla C-2. Patrones de níquel.

Concentración [ppm]	Absorción Atómica
1	0,064
2	0,136
4	0,217
5	0,277

Gráfica C-2. Curva de calibración – Níquel.

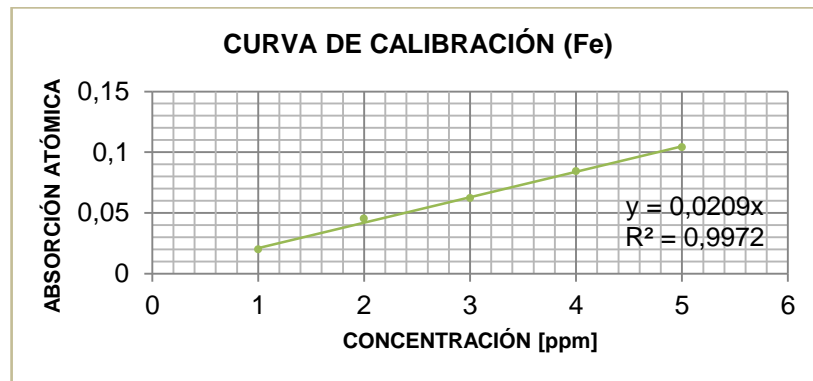


Determinación de hierro: A continuación se muestran los datos y la curva de calibración del hierro. Para la lectura de las muestras se hicieron diluciones de 10ppm y 100ppm.

Tabla C-3. Patrones de hierro

Concentración [ppm]	Absorción Atómica
1	0,02
2	0,045
3	0,062
4	0,084
5	0,104

Gráfica C-3. Curva de calibración – Hierro.



Anexo D. Resultados Análisis de Cianuros – Laboratorio Químico de Consultas Industriales (UIS)

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 6	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	12-289	Fecha de emisión:	Junio 13 de 2012
Cliente:	PAOLA MARADEY		
Dirección del cliente:	Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Química		
Solicitud de servicio No.	12-295	No. de muestras:	10
Fecha de recepción de las muestras:	Junio 01 de 2012		
Muestras recibidas por:	Johanna Riveros		
Fecha de análisis:	Junio 05 de 2012		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Desengrase por inmersión		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,035	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-02	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	<L.D.	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

L.D: Límite de Detección del cianuro 0,005 mg /L CN-

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-03	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Neutralizado		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,012	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-04	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague Tanque No 1		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,008	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

5. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-05	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague Tanque No 2		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	76,6	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

6. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-06	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Neutralizado		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	46,5	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

7. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-07	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	38,04	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

8. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-08	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague Cascada A		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,069	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

9. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-09	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague Cascada B		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,073	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

10. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-295-10	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Enjuague Final		
Matriz de la muestra:	Aguas de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química		
Fecha del muestreo:	Mayo 11 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,12	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
 Directora del Laboratorio
 Química. Msc Química UIS
 MP PQ 1144