

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL GENERADO POR LA
PRODUCCIÓN DE UN ACCESORIO DE ALUMINIO PARA MUEBLE
FABRICADO POR FANTAXIAS S.A.S.**

JEIMY MARCELA FUENTES TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL GENERADO POR LA
PRODUCCIÓN DE UN ACCESORIO DE ALUMINIO PARA MUEBLE
FABRICADO POR FANTAXIAS S.A.S.**

JEIMY MARCELA FUENTES TORRES

Trabajo de aplicación para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental

Directora:

DEBORA NABARLATZ

Ingeniera Química Ph.D.

Codirector:

ALEXANDER MENESES

Ingeniero Químico, M. Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014

A Dios todo poderoso, por todo la Sabiduría y las bendiciones recibidas en esta nueva etapa de mi vida.

A mis padres, que fueron un gran apoyo, ejemplo y por su dedicación soy lo que soy hoy.

A mi esposo, que con su compañía incondicional, apoyo y paciencia estuvo siempre a mi lado dándome fuerzas para no decaer en momentos difíciles.

A mi hermosa hija Sara Sofía que es mi fuente de inspiración y todo el esfuerzo hecho es por ella para un mejor mañana.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa **FANTAXIAS S.A.S** por creer y apoyar incondicionalmente este tipo de estudios, poniendo a disposición los recursos tecnológicos, humanos y financieros requeridos para su desarrollo.

A los profesores **DEBORA NARVALAZT** y **ALEXANDER MENESES**, directora y codirector del proyecto, por su confianza, colaboración, asesoría y aportes para llevar a feliz término el presente estudio y versión final de esta tesis.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, quienes han contribuido a mi formación académica y personal.

A mis compañeros de maestría por su amistad, colaboración y esos momentos gratos que pasamos juntos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	19
1.1 PROCESO DE LA ELABORACIÓN DE LA PATA JULIA	19
1.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ACV	26
1.2.1 Definición de Impacto Ambiental (IA)	26
1.2.2 Legislación medioambiental en Colombia	26
1.3 FUNDAMENTO CONCEPTUAL DEL ACV	27
1.3.1 Etapas del ACV	29
1.3.2 Soporte informativo aplicado al ACV	35
1.3.3 Herramientas informáticas para el ACV	35
1.3.4 Métodos de evaluación del ACV	39
1.4 ANTECEDENTES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN DIFERENTES INDUSTRIAS	41
2. METODOLOGÍA	46
2.1 DEFINICION DEL OBJETO Y CAMPO DE ESTUDIO	47
2.1.1 Alcance	47
2.1.2 Unidad Funcional	47
2.1.3 Límites del sistema	47
2.1.4 Límites de estudio.	48
2.2 INFORME FINAL	51
3. ANÁLISIS DEL INVENTARIO	52
3.1. ENTRADA-SALIDA	52
4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL	62
4.1 PERFIL MEDIOAMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PJ	62

4.2. PROFUNDIZACIÓN DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	65
4.2.1 Análisis De Caracterización Y Ponderación	65
4.2.2 Análisis De Contribución	69
5. CONCLUSIONES	76
6. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pata Julia (PJ)	19
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso productivo de la pata julia. - Adaptado de la información suministrada por Fantaxias S.A.S.	20
Figura 3. Primera etapa elaboración PJ.	21
Figura 4. Elaboración casquillo y arandela.	23
Figura 5. Elaboración del tornillo.	24
Figura 6. Ensamble.	25
Figura 7. Etapas del ACV propuestas en ISO 14040.	29
Figura 8. Metodología aplicada en la evaluación del impacto ambiental de la PJ	46
Figura 9. Elaboración de la PJ.	53
Figura 10. Pulido de la Pata Julia (FP: Pata Julia, E: Energía, R: Residuos).	53
Figura 11. Recubrimiento Electrolítico de la Pata Julia (FG: Pata Julia en galvánica FGCN: flujo Cianuro, E: Efluentes).	54
Figura 12. Proceso de Acabado de la PJ (FA: Insumo para acabado, RA: Residuo de Acabado).	55
Figura 13 .Proceso de troquelado I y II para Casquillo y Arandela. (FTC: Lámina de Hierro, RTC: Residuo de Hierro ETC: Energía Total Troquelado).	57
Figura 14. Proceso V Recubrimiento Electrolítico II y III de casquillo, arandela y tornillo (FGCi: Casquillo y arandela FCGj: Efluentes, EGC: energía para el desengrasante).	57
Figura 15. Proceso VI acabado II y III Casquillo, arandela y Tornillo.	58
Figura 16. Tornolico.	59
Figura 17. Empaque.	60
Figura 18. Árbol global de proceso con corte de visualización al 0% de relevancia ambiental.	64

Figura 19. Caracterización de Impactos ambientales globales.	67
Figura 20. Ponderación de Impactos ambientales.	68
Figura 21. Análisis de contribución	70
Figura 22. Perfil Medioambiental para la categoría Calentamiento Global.	71
Figura 23. Perfil Medioambiental para la categoría Acidificación.	72
Figura 24. Perfil medio ambiental para la categoría de Toxicidad en el Suelo.	73
Figura 25 Perfil medio ambiental para la categoría de Toxicidad en el Agua.	74
Figura 26. Perfil medio ambiental para la categoría Agotamiento de Ozono.	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos de evaluación ACV.	39
Tabla 2. Peso Pata Julia (PJ)	47
Tabla 3. Ensamblés utilizados para la elaboración del árbol global del proceso.	50
Tabla 4. Balance de Energía elaboración PJ.	55
Tabla 5. Balance de Masa Proceso del Cuerpo de la Pata Julia.	56
Tabla 6. Balance de energía del proceso del casquillo y la arandela.	58
Tabla 7. Balance de masa del proceso de casquillo y arandela	59
Tabla 8. Balance de energía de la fabricación del tornillo tornolico	60
Tabla 9. Balance de masa del proceso de elaboración del tornillo. Tornolico.	60
Tabla 10. Balance de Masa.	61
Tabla 11. Cargas ambientales del proceso general de elaboración de la Pata Julia en Fantaxias Ltda.	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Diagrama de flujo elaboración Pata Julia	86
ANEXO B. Balance de masa y energía del proceso de la Pata Julia	100

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL GENERADO POR LA PRODUCCIÓN DE UN ACCESORIO DE ALUMINIO PARA MUEBLE FABRICADO POR FANTAXIAS S.A.S.

AUTOR: FUENTES TORRES, Jeimy Marcela**

PALABRAS CLAVES: Análisis de ciclo de vida, electro-recubrimiento, soporte para mueble, calentamiento global, acidificación, toxicidad humana en el agua, eutrofización acuática.

DESCRIPCION:

El presente estudio consistió en la elaboración de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) “puerta a puerta” para el proceso de elaboración de la pieza más representativa en aluminio de la línea de producción de la empresa Fantaxias S.A.S, denominada “pata Julia”. Las fronteras del estudio inician en la entrada de la materia prima (lingotes de aluminio) al centro de acopio de la empresa y terminan con el empaque de la pieza en la planta. El objetivo de este trabajo fue la cuantificación de los impactos ambientales potenciales del proceso productivo de la “pata julia” utilizando la metodología de ACV. Para ello se elaboraron los diagramas de procesos correspondientes a la elaboración del cuerpo de la pata julia y sus piezas auxiliares el casquillo, la arandela, y el tornillo. Se hizo lo propio para el empaque de la pieza y se incluyeron algunas actividades auxiliares. Los resultados obtenidos muestran que al analizar los procesos de elaboración de la “pata julia”, se concluyó que la etapa del proceso de elaboración del cuerpo de esta pieza presenta el mayor aporte de carga ambiental con un porcentaje del 54,1%, distribuidos de la siguiente manera: el 22,6% en el pre-montaje donde se fundieron los lingotes de aluminio para convertirlo en la Pata Julia, con un 18,3% el Pulido final de la pieza, el 8,19% del acabado de la pieza y finalmente un 5,02% de carga para el proceso del recubrimiento electrolítico. Lo que indica que las entradas de mayor impacto ambiental es el uso del Aluminio, el consumo de energía y de combustible.

Los perfiles medioambientales más representativos en este estudio se presentaron en los impactos relacionados con calentamiento global, acidificación, formación de ozono por actividad humana, eutrofización y diversas categorías de toxicidad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela en Ingeniería Química. Directora: Debora Nabarlatz. Ingeniera Química Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT GENERATED BY THE PRODUCTION OF AN ACCESSORY OF ALUMINUM MADE BY FANTAXIAS SAS

AUTHOR: FUENTES TORRES, Marcela Jeimy**

KEY WORDS: Life cycle analysis, electro-coating, cabinet support, global warming, acidification, human toxicity in water, aquatic eutrophication.

DESCRIPTION:

This study involved the development of a Life Cycle Assessment (LCA) "door to door" developing the most representative piece made of aluminum in the production line of the company Fantaxias SAS, called "pata Julia" . The study starts with the entry of raw material (aluminum ingots) to the distribution center of the company and finishes with the packaging of the piece in the factory. The aim of this study was to quantify the potential environmental impact of the production process of "pata julia" using LCA methodology. With this purpose the corresponding diagrams to manufacture the "pata Julia" including auxiliary parts and some packaging of the piece were drawn up.

The results show that when analyzing the processes of "pata julia" the production of this body part has the greatest contribution of environmental load with a percentage of 54.1% due to the thread casting of the piece, the screw with 22.7%, while 12.2% and 8.45% correspond to the washer and cap respectively. The most representative environmental profiles in this study present the impacts associated with global warming, acidification, ozone formation by human activity, various categories of eutrophication and toxicity.

The most representative environmental profiles in this study are the impacts associated with global warming, acidification, ozone formation by human activity, various categories of eutrophication and toxicity.

* Work degree

** Physicochemical Faculty of Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Debora Nabarlatz. Ph.D. Chemical Engineer

INTRODUCCIÓN

Fantaxias S.A.S., es una empresa Santandereana, perteneciente al sector metal-mecánico, que lleva aproximadamente 22 años dedicados a la fabricación de herrajes, elementos decorativos y línea de ferretería. Tiene quince años de trayectoria y vende sus productos en Colombia, México, Guatemala, Honduras, Puerto Rico, República Dominicana, Costa Rica, Venezuela, Ecuador y Chile [GUERRERRO y ROMERO, 2006]. Uno de los principales productos que elabora Fantaxias S.A.S es un soporte para muebles, denominado “Pata Julia”, en adelante abreviado bajo la sigla “PJ” y clasificado en la empresa con la referencia PM-0167. La producción de la PJ asciende a los cuatro millones (4000000) unidades/año [Departamento de producción FANTAXIAS S.A.S., 2012].

La producción de las piezas metálicas, que se fabrican en Fantaxias, se lleva a cabo mediante mecanizado y/o fundición, incluyendo etapas de pulido y acabados por medio de procesos de electro recubrimientos que utilizan soluciones de cobre, níquel, cinc y cianuro. Estos procesos generan residuos tales como plastilinas de moldeo, virutas de acero, residuos sólidos de aluminio, lodos de los materiales de pulimiento, efluentes líquidos (de los pulidos y baños, electrolíticos), emisiones de gases de combustión de los hornos y vapores de los tanques electrolíticos, etc.

La empresa Fantaxias S.A.S., involucrada en la protección del medio ambiente ha realizado algunos estudios previos (con la Universidad Industrial de Santander), tendientes a valorar la concentración de contaminantes en algunos de sus vertimientos y emisiones que contienen diferentes concentraciones de compuestos contaminantes. Por ejemplo, en el área de galvanoplastia en sus efluentes hay concentraciones de metales como Cobre, Zinc y Níquel de hasta 1167,93 ppm y concentraciones de cianuros de 5574,28 ppm [BALLESTEROS E. Y MARTÍNEZ R., 2007]. La etapa de pulido genera vertimientos cuyas concentraciones de

grasas y aceites llegan a 691,20 ppm [RUIZ M., 2011]. En la fundición las emisiones tienen concentraciones de 870 ppm y 500 ppm en monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno respectivamente [GORDILLO G Y VALERO R., 2005]. Estos estudios muestran que la empresa sobrepasa los límites permisibles tanto de vertimientos como de emisiones y los diagnósticos realizados no han sido suficientes para controlar el daño ambiental generado en estos procesos.

Los vertimientos provenientes del lavado de las piezas de aluminio y de la reposición de los baños electrolíticos contienen cianuros, complejos de cobre, zinc y cadmio; compuestos químicos considerados agresivos y perjudiciales para el medio ambiente y la salud del hombre. El límite permisible recomendado de cianuro en agua potable es de 0,07 mg/l, y la dosis letal para humanos es de 1-2 mg/L, ya que este compuesto bloquea la respiración celular de los organismos inhibiendo la actividad de la enzima citocromooxidasa [ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2004].

Así mismo las etapas del proceso en la elaboración de la PJ que utilizan hornos que operan con gas metano, pulimento manual con lijas y terminación con pinturas de acabados en hornos con altas temperaturas, generan otra serie de contaminantes que a la fecha la empresa no ha valorado.

La importancia de la protección ambiental y los posibles impactos asociados con los productos fabricados y consumidos, ha aumentado el interés empresarial en cuantificar dichos impactos e intentar reducirlos y proponer medidas de control y mitigación. En este orden de ideas, en las últimas décadas se han desarrollado diferentes metodologías y herramientas para identificar y evaluar impactos ambientales a nivel industrial.

La evaluación del ciclo de vida (ACV) como se indica por la Organización Internacional de Normalización (ISO) (2006) ha sido ampliamente aplicada como una herramienta de soporte de decisiones para identificar los factores ambientales importantes en los sistemas de productos, así como para evaluar y comparar los perfiles ambientales de diversos productos [M. GUO, R.J.MURPHY, 2012].

El ACV es una herramienta para evaluar los posibles impactos ambientales durante el ciclo de vida de un producto, es decir, desde la adquisición de los recursos naturales, a través de la producción y el uso de escenario para la gestión de residuos (incluidas la eliminación y reciclaje). El término “producto” incluye bienes, tecnologías y servicios. Estas características únicas del ACV facilitan el problema evitando el cambio de una etapa del ciclo de vida a otra etapa, o de un impacto ambiental a otro impacto [DAVID W. PENNINGTON, 2005]

Esta metodología determina los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: recopila un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evalúa los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpreta los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (según Norma ISO 14040:1997).

Fantaxias S.A.S desconoce el nivel de impacto ambiental que se genera en sus procesos productivos. Por lo anterior el objeto de este trabajo de aplicación fue evaluar el impacto ambiental potencial (IAP) de la producción de piezas de aluminio en la empresa Fantaxias S.A.S. Para este fin se tomó como objeto de estudio el soporte utilizado en mueblería denominado “pata Julia” y la evaluación de IAP fue realizada mediante la metodología propuesta por el ACV.

Para llevar a cabo el presente estudio se identificaron y analizaron los procesos involucrados en la elaboración de la PJ desde la entrada de la materia prima (aluminio) hasta el empaque del producto terminado para su posterior distribución.

Se tuvieron en cuenta los informes históricos que posee la empresa, sobre reportes de producción y consumo de materias primas, combustible, energía, etc. Adicionalmente se cuantificaron y caracterizaron (parcialmente) cada una de las corrientes de entrada y salida de las etapas del proceso, así como se construyó una base de datos con la información recopilada, la cual se constituyó en el inventario del proceso. Este inventario sirvió de soporte para realizar el análisis del impacto ambiental potencial, mediante la utilización del software SimaPro 7.1 y las bases de datos de procesos y métodos de evaluación de impacto ambiental que tiene incorporados como respaldo. La determinación del IAP de la fabricación de la PJ, permitió identificar las etapas del proceso más críticas, con el fin de identificar algunas alternativas para orientar el proceso hacia un desempeño más sostenible.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 PROCESO DE LA ELABORACIÓN DE LA PATA JULIA

La pata Julia (PJ) (Figura N°1) está constituida por el cuerpo (hecho en aluminio) y un nivelador; el cual a su vez está formado por un yunque de plástico fabricado en polipropileno, y un casquillo, una arandela y un tornillo como pieza de ensamble (todos elaborados en hierro).

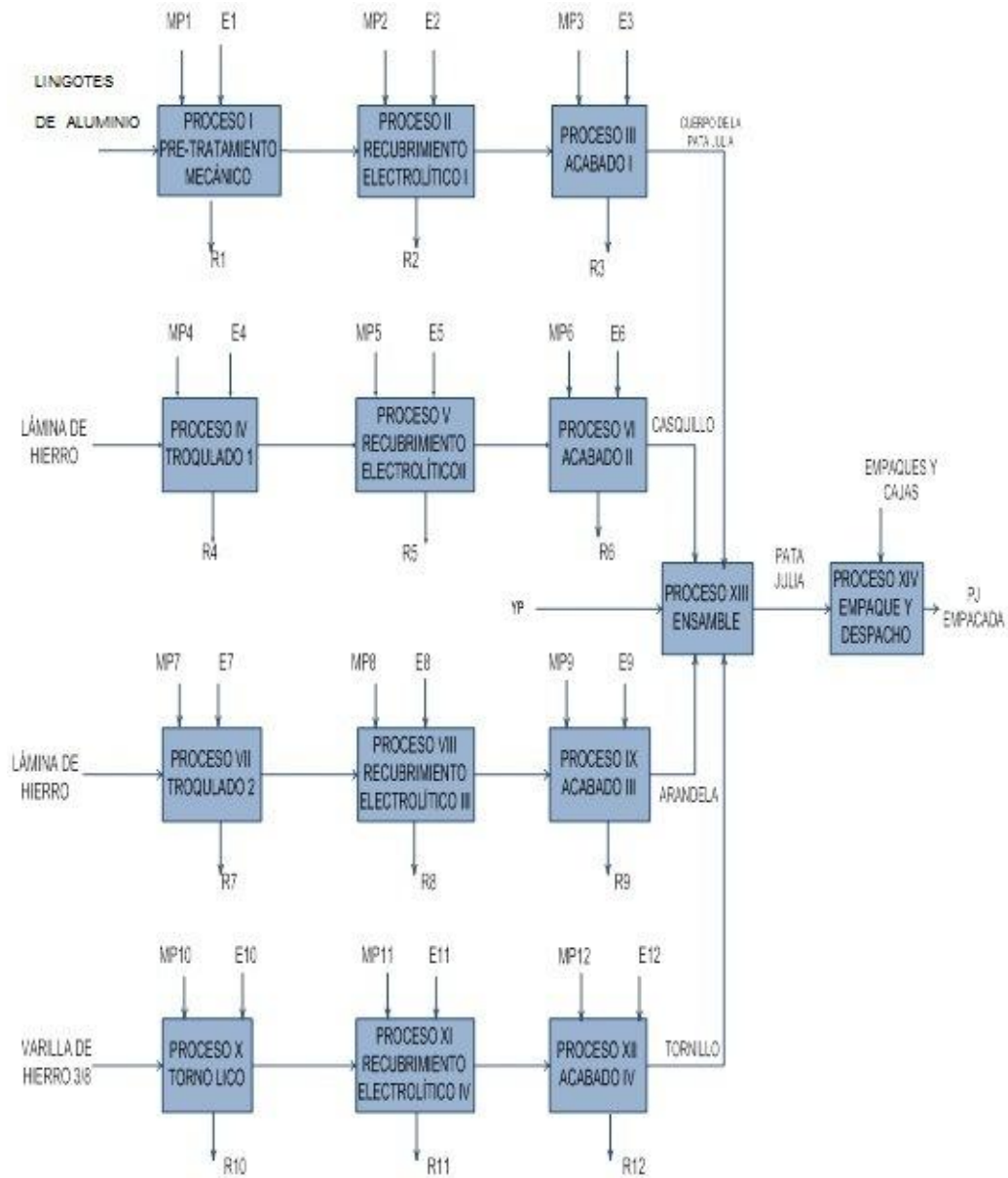
Figura 1. Pata Julia (PJ)



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

En la figura 2 se presentan las etapas involucradas en el proceso de fabricación de la PJ y en la figura 3 se muestra con mayor detalle el diagrama de la primera etapa del proceso para la obtención de la PJ.

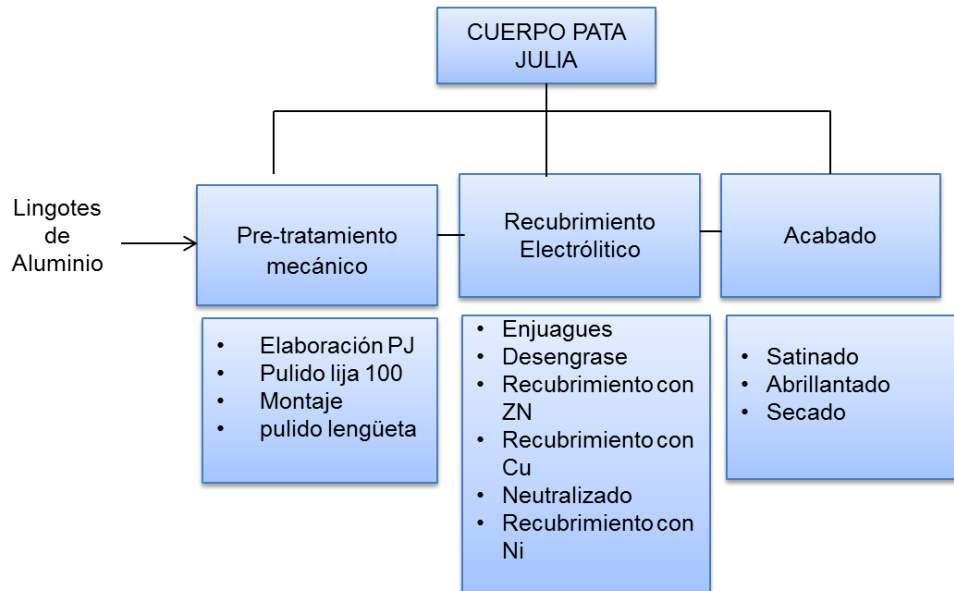
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso productivo de la pata julia. - Adaptado de la información suministrada por Fantaxias S.A.S.



Fuente: Jurado R, Arevalo A.

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques general de la fabricación de la PJ desde la fundición de la materia prima hasta el empaque de la pieza. El desarrollo detallado de la elaboración de la PJ se muestra de la figura 3 a la 6.

Figura 3. Primera etapa elaboración PJ.



Fuente: Fantaxias S.A.S

PROCESO I: PRE-TRATAMIENTO MECÁNICO. En esta etapa del proceso se realizan varios sub-procesos que se mencionan a continuación:

Elaboración de la Pata Julia. Este proceso comprende la fundición del aluminio que se lleva a cabo en un horno tipo crisol y la inyección en cámara fría. En el horno la materia prima es llevada de un estado sólido a un estado líquido, por medio del aporte de calor proporcionado por energía eléctrica y combustible (gas natural).

Luego el aluminio en estado líquido, se introduce dentro del molde a alta velocidad, la cual es producida por un pistón que es empujado por un sistema hidráulico. Para realizar este procedimiento la inyectora está dotada de un sistema de bombas de flujo y válvulas hidráulicas, que son las encargadas de producir y regular el flujo de líquido hidráulico, para generar el movimiento que lleve el fluido al interior de la cavidad del molde.

Montaje 1. En este proceso se abren los huecos de la pata julia. Para ello se utiliza un taladro industrial; con el cual una broca de 5 mm rectifica el punto del roscado. Para darle una superficie curva a este punto y así facilitar el roscado, se usa un avellanador 3/8". Luego se rectifican los extremos de la pieza utilizando una broca de 5,5 mm. Para mantener lubricada la broca y así evitar que ésta se quiebre en el proceso, se usa taladrina como lubricante.

Pulido: Obtenida la pieza en la etapa anterior se procede al subproceso del pulido. Se realizan dos tipos de pulido: el pulido manual y el pulido con lengüeta. El primer pulido se realiza para retirar las partículas de aluminio alrededor de la base, la línea de partición y el punto de llenado con lija # 100. El segundo pulido con lengüeta tiene como objetivo lograr un alisado en la superficie de toda la pieza y dejándola lista para realizarle el recubrimiento electrolítico (ver detalle Anexo 1)

PROCESO II RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO I

La pata julia se somete a una serie de baños electrolíticos con el fin de darle un acabado a la pieza. Esta pieza pasa por una etapa de zincado, cobrizado y seguidamente a una etapa de niquelado como recubrimiento final (ver detalles anexo 1).

La PJ debido a su geometría se coloca en unos bastidores únicos para ella, los cuales sujetan la pieza mientras se hace pasar por cada uno de los baños. Los desengrases electrolíticos y por inmersión se realizan durante aproximadamente 2

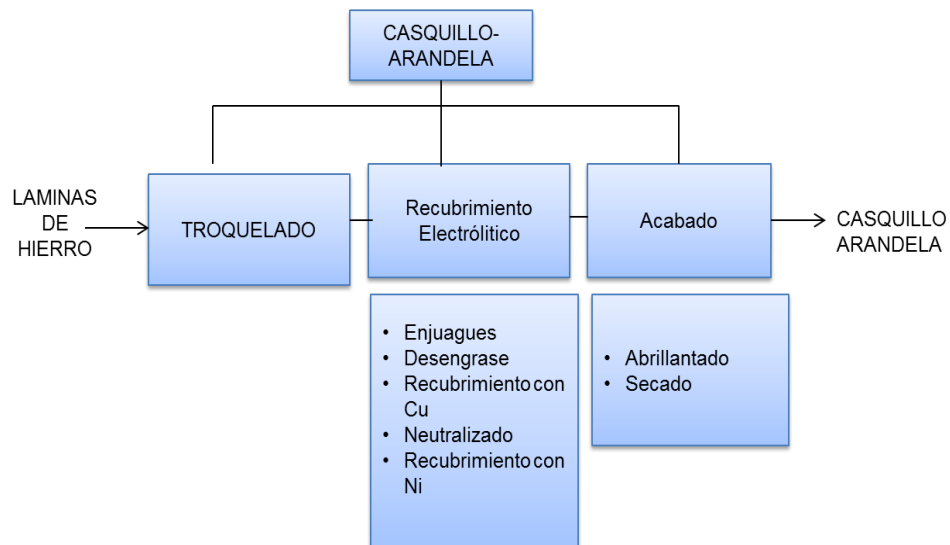
minutos y seguidamente a la pieza se le realiza un enjuague con el fin de eliminar los restos alcalinos precedentes del desengrase, para así continuar con los recubrimientos de zinc, cobre y níquel; realizando enjuagues recuperadores y de cascada finalizando cada etapa de recubrimiento (ver detalle anexo 1).

PROCESO III ACABADO PATA JULIA

Se realizan los últimos detalles al cuerpo de la pata julia. Dentro de esta etapa se presentan tres procesos: satinado, lacado y secado, los cuales se realizan para quitarle el brillo adquirido en el niquelado y darle una capa protectora a la pieza.

En la figura N° 4 se representa el diagrama de proceso de la elaboración del casquillo y arandela

Figura 4. Elaboración casquillo y arandela.



Fuente: Fantaxias S.A.S

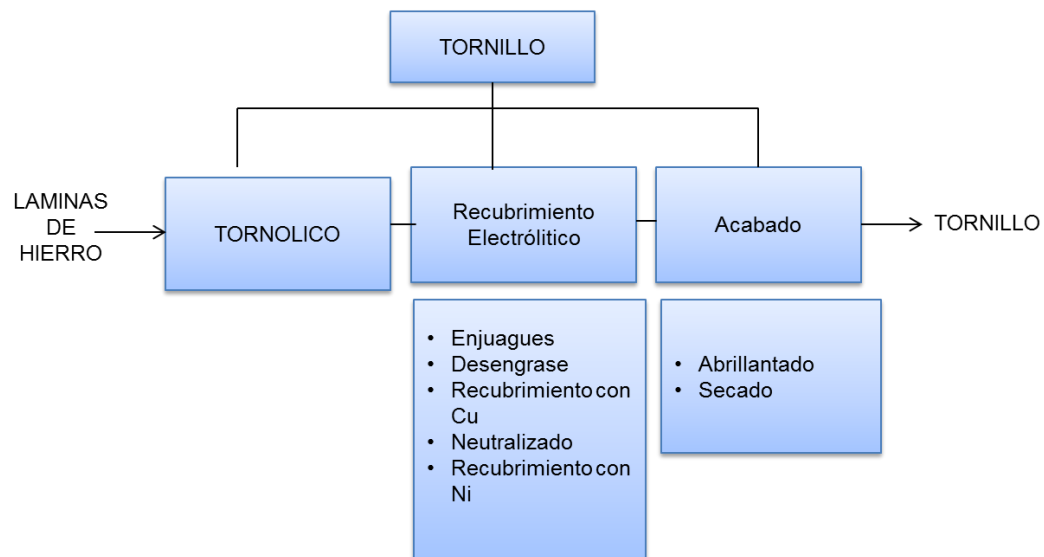
PROCESO IV: TROQUELADO: Para la elaboración de estas piezas se utiliza como materia prima una lámina de hierro de diferentes dimensiones según sea el producto a fabricar. Para ver el proceso con más detalle ver anexo 1.

PROCESO VI: RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO: Para el baño electrolítico de estas piezas se usa un tambor donde son depositadas las piezas, por tanto se necesitan tanques de mayor volumen. A estas piezas se les hace un enjuague electrolítico seguido de los recubrimientos de cobre y níquel. En este caso no se realiza recubrimiento con zinc ya que el hierro no necesita de este baño para ser recubierto con cobre.

PROCESO VI: ACABADO: A diferencia del acabado de la PJ este no necesita satinado. El lacado y el secado se realiza en las mismas condiciones que la PJ.

En la figura 5 se describe el proceso de la elaboración del tornillo

Figura 5. Elaboración del tornillo.



Fuente: Fantaxias S.A.S

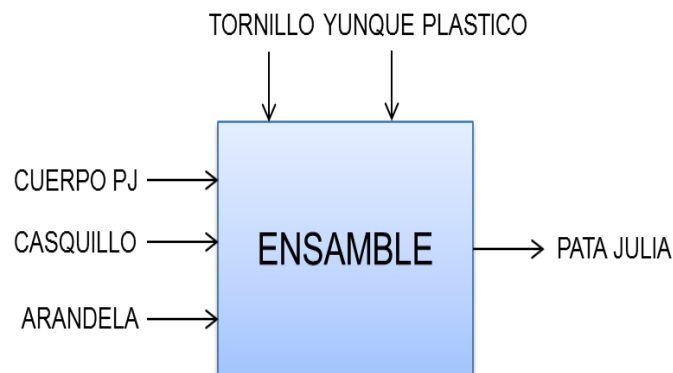
PROCESO VII TORNOLICO: En esta etapa del proceso se usa un equipo llamado tornolico donde la entrada para la elaboración del tornillo es una varilla de hierro de 3/8" con tres buriles los cuales hacen el formado cilíndrico y cortado de la varilla, y una tarraja la cual hace el efecto espiral de la pieza.

PROCESO VII: RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO: Los baños electrolíticos que se le hacen a esta pieza son los mismos del casquillo y la arandela ya que son elaborados con hierro. El proceso de recubrimiento electrolítico se caracteriza por el alto consumo de agua tomando del acueducto de Bucaramanga y los vertimientos generados que contiene metales pesados como Ni, Cu, Zn, cianuros y grasas al alcantarillado de Bucaramanga sin ningún tratamiento previo.

PROCESO VIII ACABADO: Esta etapa del proceso se realiza igual que en la del casquillo y la arandela.

En la figura 6 se muestra el diagrama del proceso del ensamble de la PJ.

Figura 6. Ensamble.



Fuente: Fantaxias S.A.S

PROCESO XIII: ENSAMBLE. Se toma el tornillo, el casquillo, la arandela y el yunque de plástico, y se ensamblan en una máquina de pedal ayudado por un martillo. En esta etapa los flujos de entrada serán los provenientes de las salidas del proceso de acabado para cada una de las piezas, excepto el yunque de plástico el cual es comprado listo y ensamblado directamente.

PROCESO XIV: EMPAQUE Y DESPACHOS. El nivelador se rosca en el cuerpo de la pata julia y se asegura que quede bien sujeto. Luego cada unidad se empaqueta en una bolsa de polietileno de baja densidad. Por cada 25 unidades se utiliza una caja.

1.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ACV

1.2.1 Definición de Impacto Ambiental (IA). Impacto Ambiental (IA) es cualquier cambio en el medio ambiente (aire, tierra, agua, flora, fauna, seres humanos y sus interrelaciones) adverso o beneficioso como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización [ISO 14001:2004].

El Impacto Ambiental en el contexto de producción, se refiere a todas aquellas emisiones de gas, contaminación hídrica y de suelos y demás efectos causados por el uso de los recursos en la creación de un producto. Es decir, la producción se interpreta en términos de impacto potencial en la naturaleza o medio ambiente, como por ejemplo: la eutrofización (abundancia anormalmente alta de nutrientes), la acidificación, el cambio climático, toxicidad terrestre, uso de energía no renovable y la ocupación de la tierra [VAN DER WERF et al. 2009]. Específicamente, el impacto ambiental es la categorización o valoración de ese cambio: inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza.

1.2.2 Legislación medioambiental en Colombia. Colombia es uno de los países latinoamericanos que más ha avanzado en el tema de legislar la gestión de su medio ambiente desde hace algo más de tres décadas luego de la Convención de las Naciones Unidas en Estocolmo en el año 1972, donde se trató el problema de las causas, las consecuencias y las posibles soluciones a la crisis del ambiente para la época.

Con esta cumbre se posibilitó una visión más amplia sobre la problemática ambiental al reunirse cerca de 200 países a conversar sobre el ambiente y lograr el interés común de la humanidad de asegurar su supervivencia y sentar las bases de la esperanza para generar una conciencia ambiental mundial y a su vez lograr el compromiso y la responsabilidad ambiental de las personas, como de las instituciones y de las empresas con el propósito común de mejorar las condiciones de uso de los recursos naturales y los ecosistemas.

La Constitución Política de Colombia expedida en 1991, consagró 49 artículos a la protección del medio ambiente y los recursos naturales, situación que le mereció el calificativo de Constitución Ecológica, por parte de algunos tratadistas. A su vez, fue el paso más importante que en materia de legislación y política ambiental ha dado el país pues la protección ambiental fue redimensionada y el ambiente se elevó a la categoría de derecho colectivo dotando de mecanismos de protección ciudadana como las acciones populares o de grupo y del uso de las acciones de tutela y de cumplimiento para temas ambientales.

1.3 FUNDAMENTO CONCEPTUAL DEL ACV

La metodología del ACV ha ganado importancia en la última década como el método de elección en la medición en los impactos ambientales de un producto, proceso o servicio, identificando y cuantificando las entradas y salidas (tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno), para determinar el impacto final del proceso completo [MILANI ET AL., 2011]. El estudio del ACV incluye el ciclo completo del producto: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final. El ACV de un producto se considera como la historia del producto desde su origen como materia prima hasta su disposición final como residuo [SETAC 1993].

La principal función del ACV es dar a conocer, con el mayor detalle posible, las consecuencias ambientales inherentes al modelo de producción utilizado y proveer información para que la dirección de una organización pueda tomar decisiones técnicas para la modificación de dicho modelo mejorando así su desempeño ambiental sin que conlleve a desmejorar la calidad del producto obtenido.

La utilidad de los estudios de ACV se masificó hacia los años 80, en los cuales se cambió el modelo para la cuantificación de los IA de procesos, bienes y servicios y se adquirió madurez metodológica y rigurosidad técnico científica [ARNOLD 2010]. En 1993 se formuló el primer texto con fines metodológicos para la aplicación del ACV. Posteriormente, la Organización Internacional de Estandarización (ISO) desarrolló el documento que compiló los pasos de aplicación del ACV. La Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) desarrolló y lideró las discusiones científicas acerca del ACV y en 1993 formuló el primer código internacional de prácticas para homogeneizar los diversos estudios realizados con esta metodología [ROMERO, 2012].

La SETAC estableció que la información desde la adquisición de materias primas hasta la producción, uso y eliminación (de la cuna a la tumba) es importante para: identificar mejoras ambientales durante el ciclo de vida de un producto, evaluar las cargas ambientales asociadas al producto, identificar y cuantificar la energía y desechos liberados al medio ambiente, con el fin de evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales [EPA 1994].

Por consiguiente, el objetivo principal del ACV es determinar los impactos ambientales de un sistema bajo estudio en las áreas de bienestar ecológico, la salud humana y el agotamiento de los recursos [TANSEY Y WORSLE, 1995].

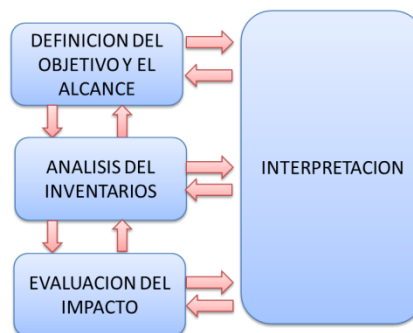
En vista de que en las industrias cada vez se agregaban nuevas etapas, se creaban metodologías, índices, programas computacionales dedicados a realizar ACV, la ISO apoyó este desarrollo con el fin de establecer una estructura de trabajo, uniformar métodos, procedimientos y terminologías y de esta forma para controlar y mejorar el rendimiento medioambiental de una organización. [www.forumambiental.org/cast/archivos/eines12.htm].

1.3.1 Etapas del ACV. Los principios generales del ACV se establecen en cuatro fases (Figura 7).

- a) Definición de los objetivos y el alcance (ISO 14041)
- b) Análisis del inventario (ISO 14041)
- c) Evaluación de impacto (ISO 14042)
- d) Interpretación de resultados (ISO 14043).

Específicamente la ISO 14041 se titula "Análisis del Ciclo de Vida - Objetivos y definición / Ámbito de aplicación y Análisis de inventario" y tiene por objeto describir los requisitos especiales y las directrices para la preparación, el desarrollo y la revisión crítica del análisis de inventario del ciclo de vida [ISO 14041].

Figura 7. Etapas del ACV propuestas en ISO 14040.



Fuente: Norma técnica NTC ISO-14040

Etapas 1. Definición de los objetivos y alcance del ACV. El primer paso en el desarrollo de un ACV es la definición de los objetivos del estudio. Se deben especificar las razones que impulsaron el trabajo y la información que se espera obtener como resultado. Debido a su naturaleza global, un ACV podría ser interminable y deben establecerse límites a su extensión. La definición de los límites del sistema a estudiar es una de las etapas críticas del ACV. Al respecto, se deben considerar los siguientes aspectos para definir el alcance del ACV:

Función y Unidad funcional: Describen las características de operación del mismo. La definición de una unidad funcional o característica de rendimiento es la base funcional para un ACV, ya que la unidad funcional define la escala para comparar dos o más productos incluido la mejora del producto o sistema.

Límites del sistema: Definen los procesos y operaciones de los sistemas así como las entradas y salidas que deben tomarse en cuenta en el ACV. La entrada puede ser el promedio de las entradas, así como la entrada a un solo proceso, lo mismo que para las salidas. Los procesos que estén dentro de los límites del ACV serán analizados mientras que el resto de procesos serán excluidos.

La elección de los elementos del sistema físico a moldear depende de la definición del objetivo y el alcance del estudio, de su aplicación, de las suposiciones realizadas, de las restricciones en cuanto a datos y costos. Los criterios utilizados para establecer los límites del sistema, deben considerar varias etapas del ciclo de vida, procesos unitarios y flujos, como por ejemplo los siguientes [ISO 14040]:

- Adquisición de materias primas
- Entradas y salidas en la secuencia principal de fabricación /procesamiento
- Distribución/transporte
- Producción y utilización de combustibles. electricidad y calor
- Disposición de los residuos del proceso y de los productos

- Recuperación de productos utilizados

Calidad de datos: La calidad de los datos usados en el inventario de ciclo de vida ICV se refleja en la calidad de los resultados del ACV. Cuando un ACV se realiza por primera vez, es aconsejable no despreciar ningún dato por su calidad.

Revisión crítica del proceso: El proceso de revisión crítica permite asegurar la calidad del ACV mediante una revisión tanto de los objetivos y alcance como de los límites del estudio.

Esta primera etapa condiciona de manera permanente el resto de elementos del ACV, desde las necesidades de tiempo y recursos hasta los resultados finales [CURRAN 2006].

ETAPA 2. Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV): El análisis del inventario implica la recopilación de los datos y de los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema del producto. La realización de un análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos y se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones, que requieran cambios en los procedimientos de recopilación de datos, de manera que aún se puedan modificar los objetivos del estudio [ISO 14040, 2007].

ETAPA 3. Evaluación del impacto ambiental potencial del ciclo de vida. (EICV)

Esta fase está dirigida a entender y evaluar la magnitud y la significación de los potenciales impactos ambientales del sistema de producción del bien que se está estudiando [FINNVEDEN et al. 2009].

La fase de evaluación de impacto de un ACV tiene como propósito evaluar cuán significativos son los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del ICV. En general, este proceso implica la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de esas categorías, para entender estos impactos. La fase de la EICV también proporciona información para la fase de interpretación del ciclo de vida. [ISO 14040, 2007].

La EICV está constituida por elementos obligatorios y opcionales.

Elementos obligatorios de la EICV

La fase de la EICV debe incluir los siguientes elementos obligatorios:

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización;
- Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (clasificación);
- Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (caracterización).

Selección de categorías de impacto: Las categorías de impacto son seleccionadas para describir los impactos que produce el sistema. Según la ISO 14044 una categoría de impacto es una clase representativa de variables medioambientales a la que pueden asignarse los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Clasificación: La asignación de los resultados del ICV a las categorías de impacto debería considerar lo siguiente, a menos que el objetivo y el alcance requieran lo contrario:

- La asignación de los resultados del ICV exclusivos a una categoría de impacto.

- La identificación de los resultados del ICV que se refieren a más de una categoría de impacto.
- La distinción entre mecanismos paralelos (por ejemplo el SO₂ se distribuye entre las categorías de impacto de salud humana y acidificación).
- La asignación de mecanismos en serie (por ejemplo NO_x se puede clasificar para contribuir a la formación del ozono troposférico y a la acidificación)

Caracterización: El objetivo de la caracterización es aplicar modelos a las categorías de impacto para obtener indicadores ambientales. Los indicadores ambientales según la ISO 14044 son la representación cuantificable de una categoría de impacto.

Una de las maneras de caracterizar los datos de inventario, es decir, de convertir los resultados asignados del ICV a la unidad común del indicador de categoría, es multiplicar cada una de las sustancias que contribuyen o forman parte de una categoría de impacto por su factor de caracterización, que expresa la contribución relativa de la sustancia a dicha categoría de impacto.

ELEMENTOS OPCIONALES DE LA EICV

Además de los elementos obligatorios de la EICV, podrían haber elementos e información opcionales como los indicados a continuación, que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y del alcance del ACV [ISO 14044, 2007]:

Normalización: Es el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría con respecto a cierta información de referencia. El propósito de la normalización es entender mejor la magnitud relativa para cada resultado del

indicador del sistema del producto bajo estudio [ISO 14044, 2007]. La normalización de los resultados del indicador puede cambiar las conclusiones que surgen de la fase de una EICV. Es aconsejable utilizar varios sistemas de referencia para mostrar las consecuencias de las salidas de los elementos obligatorios de la fase de la EICV. Un análisis de sensibilidad puede proporcionar información adicional sobre la selección de los datos de referencia. [ISO 14044, 2007].

Agrupación: Es la asignación de las categorías de impacto en uno o más conjuntos según lo definido previamente en la definición del objetivo y el alcance, y puede incluir la organización y/o clasificación. La agrupación es un elemento opcional con dos procedimientos posibles:

- Organizar las categorías de impacto en una base nominal.
- Clasificar las categorías de impacto según una jerarquía (por ejemplo prioridad alta, media o baja).

Ponderación: es el proceso de conversión de los resultados de indicadores de diferentes categorías de impacto, mediante factores numéricos basados en juicios de valor.

La ponderación es un elemento opcional con dos posibles procedimientos:

- Convertir los resultados del indicador o resultados normalizados con los factores de ponderación seleccionados.
- Sumar estos resultados de indicador convertidos o normalizados, a través de las categorías de impacto.

ETAPA 4. Interpretación de los resultados. La etapa de interpretación de un estudio de ACV o de un estudio de ICV comprende varios elementos, como:

- Identificación de los asuntos significativos basados en los resultados de las fases ICV y la de EICV de un ACV;
- Una evaluación que considera las verificaciones de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia;
- Conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

1.3.2 Soporte informativo aplicado al ACV. Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., tal como se ha indicado en apartados anteriores.

Si bien es cierto que desde el inicio se desarrollaron programas de ordenador para atender la necesidad específica de algunas organizaciones, en la actualidad existen diferentes aplicaciones disponibles en el ámbito comercial. Así pues, es oportuno señalar que algunos de estos programas están al alcance de usuarios de niveles avanzados; además existen otros que procuran atender a la necesidad de usuarios con objetivos específicos.

1.3.3 Herramientas informáticas para el ACV. Las herramientas informáticas para el ACV funcionan con una base de ecoindicadores que permiten priorizar aspectos ambientales de un producto/servicio en las etapas de su ciclo de vida. Facilitan la utilización de ecoindicadores de manera repetitiva, permitiendo realizar análisis rápidos porque se pueden guardar cálculos hechos o copiar partes de un

producto a otro.

Se permite utilizar diversos métodos de evaluación, según diferentes caracterizaciones, normalizaciones y ponderaciones de los impactos. También será posible combinar categorías de impacto de diferentes fuentes. El uso de estas herramientas permite:

- Fundamentar la priorización ambiental de modo cuantitativo.
- Comparar aspectos medioambientales de diferentes alternativas de un mismo producto/servicio.
- Analizar productos/servicios con alto grado de complejidad o formados por subsistemas comunes a varios productos.
- Realizar valoraciones ambientales periódicas de manera sencilla, ya que una vez introducidos los datos, los cálculos se repiten rápidamente.

En el mercado existen diferentes herramientas de software para Análisis de Ciclo de Vida. A continuación se hace una revisión de las más utilizadas.

Programa Eco-It. Eco-It es una de las herramientas desarrolladas por pre Consultants más sencillas del mercado. Está basada en el método de ecoindicadores (Ecoindicador-99).

Se analizarán las etapas de producción, uso y fin de vida del producto, ofreciendo una evaluación global de los impactos en cada una de las etapas. Para ello es necesario introducir los materiales y los procesos empleados.

Eco-Edit es el editor de bases de datos de Eco-It. La modificación de las bases de datos se hace en este programa y después se actualiza la base de datos modificada en Eco-It. El mayor problema radica en tener toda la información necesaria para hacer la modificación, principalmente en disponer del valor de

Ecoindicador para la modificación realizada. Si se trata de añadir un nuevo material a la base de datos, la mayor dificultad radica en disponer del valor del Ecoindicador para ese nuevo material.

Los ecoindicadores son valores que cuantifican el impacto ambiental, es un parámetro que brinda información y/o tendencias de las condiciones de un fenómeno. Un ecoindicador puede mostrar la rapidez en que se deforesta un país (hectáreas de bosque deforestado por área del país), o bien el consumo de recursos de un proceso productivo; éstos se usan para comparar diferentes estrategias de diseño desde el punto de vista del impacto ambiental. El ecoindicador es el resultado de la suma de los impactos y se expresa como un puntaje dado por kilogramo de producto [ECODISEÑO, CENTROAMÉRICA].

Los ecoindicadores pueden calcularse con una herramienta más compleja y potente como es el caso del programa SimaPro, que se describe más adelante [FEDIT 2011].

Programa SimaPro. El programa SimaPro (PRéConsultans) es una herramienta muy potente que permite elaborar y analizar el ciclo de vida de un producto teniendo en cuenta todos los inputs y outputs de todos los procesos presentes en el ciclo de vida del producto. Es una herramienta muy utilizada para comparación de productos y procesos [FEDIT 2011].

Los impactos ambientales se calculan según lo indicado en la norma ISO 14040. Es una de las herramientas más utilizadas que permite ACV completos empleando distintos métodos de evaluación de impactos según diferentes caracterizaciones, normalizaciones y ponderaciones (Ecoindicador-99, Ecopuntos 97, CML 2 baseline 2000, etc). Además posee múltiples bases de datos, que incluyen gran variedad de indicadores ambientales. SimaPro es una de las herramientas que

presenta una mayor variedad de bases de datos. Los datos están totalmente documentados con sus fuentes, incluso con descripciones cualitativas.

Esta herramienta es fácilmente adaptable a las necesidades del usuario ya que permite incluir nuevas metodologías de evaluación o adaptar las existentes, modificar o incluir datos de productos o procesos según las necesidades del estudio a realizar. Los resultados permiten identificar las etapas del proceso sometido a estudio que tienen mayores impactos ambientales y comparar diferentes productos, por lo que es una herramienta muy empleada en Ecodiseño, así como en los departamentos de I+D de las empresas para la toma de decisiones en la mejora ambiental de sus productos y procesos.

El programa muestra gráficos con los impactos ambientales y su contribución en cada una de las etapas definidas en el proceso, así como los datos numéricos totales. Muestra gráficos comparativos de los productos o procesos sometidos a estudio, permitiendo la trazabilidad de los resultados, facilitando con ello la interpretación de los resultados [FEDIT 2011].

Programa UMBERTO. Esta herramienta es una de las más complejas, flexibles y potentes del mercado para el Análisis de Ciclo de Vida, y está basada en redes de flujo de materiales.

En lugar de enfocarse en el ciclo de vida de un producto, las redes de flujo de materiales deben representar un sistema de multiproductos, que provee de todos los flujos de datos y que permite ser analizado y gestionado desde diferentes perspectivas.

Los procesos se definen mediante flujos de entrada y salida de los componentes (materias primas, energías de diverso origen, semielaborados, residuos, emisiones o productos finales). La información requerida puede aportarla el

usuario o bien obtenerla de bases de datos estándares disponibles en la bibliografía o publicadas por organizaciones, como ejemplo EcoInvent [FEDIT 2011].

Programa GaBi. Es otra de las herramientas comerciales más utilizadas, ya que permite crear procesos simples y procesos parametrizados. Es adecuada para el análisis de sistemas de gran complejidad. Para realizar el análisis se definirán los procesos necesarios para la fabricación del producto o prestación del servicio, considerando todos los flujos de entrada y salida. Las bases de datos se pueden ampliar por módulos temáticos [FEDIT, 2011].

1.3.4 Métodos de evaluación del ACV. Existe un gran número de métodos de impacto aplicables a los ACV. La elección del método más apropiado para el estudio debe estar condicionada al objetivo y alcance del mismo así como a la audiencia a la que va dirigido. En la tabla 1 se describen tres de los métodos de evaluación más utilizados, CML 2001, EIP 2003 y Eco indicador 99.

Tabla 1. Métodos de evaluación ACV.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
CML 2001	Método elaborado por el Centro para Estudios Medioambientales (CML), de origen holandés. Los indicadores están basados en el principio de la mejor práctica disponible o aproximación orientada al problema y utiliza categorías obligatorias de impacto (indicadores de las categorías utilizadas en la mayoría de los ACV) [RALUY 2009].
EDIP 2003	Environmental Design of Industrial Products <i>EDIP</i> . De origen danés, involucra parámetros relacionados con el destino y la exposición de los residuos o de los productos generados. Está orientado al diseño de productos y procesos [RALUY 2009]. Es un método muy completo en categorías.
ECOINDICADOR 99	De origen holandés. Resuelve mediante la introducción de una función de aproximación orientada al daño, mediante la cual, de cada emisión se determina cuánto daño produce. Es más un indicador de consumo de recursos. Sólo tiene en cuenta el efecto local y regional

Fuente: Raluy 2009

Las categorías de impacto consideradas son [Instituto Tecnológico Metalmeccánico AIMME, 2008]:

Entradas:

- **Agotamiento de recursos abióticos:** El agotamiento de los recursos abióticos se refiere al consumo de recursos naturales como minerales, petróleo, etc que son considerados como materia inerte en oposición a los seres vivos. Los impactos considerados son aquellos derivados de su extracción en las minas, canteras, pozos petrolíferos, etc. La unidad de caracterización de este impacto es kg de antimonio (Sb) equivalente por kg de mineral extraído.

Salidas:

- **Calentamiento global:** El calentamiento global es el impacto producido por los gases de efecto invernadero. Estas emisiones tienen impactos negativos sobre la salud y el bienestar humano y sobre los ecosistemas. La unidad de caracterización de este impacto es kg de dióxido de carbono (CO₂) equivalente por kg de emisión.
- **Toxicidad:** En esta categoría se contemplan los efectos sobre el ser humano y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas de protección salud humano, entorno natural y recursos naturales.
- **Destrucción de la capa de ozono:** se refiere a la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico debido a la emisión de sustancias químicas que atacan y descomponen las moléculas de O₃. La unidad de caracterización de este impacto es de kg de freón R-11 equivalente por kg de emisión.

- **Acidificación:** es el resultado de la emisión de contaminantes de carácter ácido, tales como SO₂ o NO_x a la atmósfera. Estas emisiones tienen efectos negativos en el suelo, acuíferos, aguas superficiales, microorganismos, ecosistemas y bienes materiales en general. La unidad de caracterización de este impacto es kg de dióxido de azufre (SO₂) equivalente por kg de emisión.
- **Eutrofización:** es la consecuencia de los altos niveles de macronutrientes, tales como nitrógeno y fósforo en el medio ambiente. La unidad de caracterización de este impacto es kg de fosfato (PO₄³⁻) equivalente por kg de emisión.

1.4 ANTECEDENTES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN DIFERENTES INDUSTRIAS

En la industria de los metales se han hecho varios estudios de los impactos ambientales generados en su producción. Entre ellos, se encontró que Gang et al., 2012, realizaron un estudio donde se aborda el estado de la práctica, la fuerza y la debilidad de las evaluaciones del ciclo de vida (ECV) para el logro de los objetivos de sostenibilidad de la industria del aluminio. Las características más notables analizadas del ACV incluyen un alcance limitado geográfico, límites del sistema, recopilación de los datos del inventario de toda la industria, un enfoque predominante en la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero del medio ambiente. Los diversos estudios dieron diferentes resultados, por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero por kilogramo de producción de aluminio primario estuvieron entre 5,92-41,10 Kg CO₂; la reciclabilidad y los beneficios ambientales en la fase de uso del aluminio plantearon grandes beneficios ambientales en la metodología ACV, principalmente a la hora de reciclar. Las incertidumbres y deficiencias identificadas pueden servir como una base importante para seguir mejorando la aplicación del ACV en la industria del aluminio [GANG et al, 2012].

En China Ning et al 2012, realizaron un análisis cuantitativo del consumo de recursos, consumo de energía y las emisiones contaminantes causadas por la producción de aluminio primario y aluminio reciclado en China en el 2008 basado en el ACV. Comparando con el año 2003, el consumo energético de la producción de aluminio primario se había reducido en un 16%, el Calentamiento Global (GWP) también tuvo una fuerte reducción causadas para la avanzada tecnología de producción de la alúmina adecuada para la bauxita en China, la eliminación gradual de las plantas viejas y la reducción del consumo de energía de la generación de electricidad. En la producción de aluminio reciclado encontraron que el consumo de energía de aluminio que cubre el transporte reciclado, el pretratamiento y la refundición de chatarra constituye al menos el 5% de la producción de aluminio primario, y la carga del medio ambiente es más baja que la de aluminio primario [NING et al 2012].

Las industrias de metales no ferrosos juegan un papel importante en la economía nacional de China donde son los mayores consumidores de energía del país. Para entender mejor la naturaleza de las emisiones de CO₂ procedentes de estas industrias y para seguir avanzando hacia un desarrollo bajo en carbono en este sector de la industria Chaofeng Shao et al, realizaron este estudio que investiga las emisiones de CO₂ de 12 industrias de metales no ferrosos mediante la evaluación del ACV. Estas industrias, donde el consumo de energía ha crecido rápidamente, las industrias del cobre, aluminio, zinc, plomo y magnesio fueron clasificadas como industrias muy contaminantes ya que son las más contribuyentes a las emisiones de CO₂. Como conclusión se debe mejorar la eficiencia energética, en particular para promover la transformación de las industrias de baja eficiencia para las de alta eficiencia. Este estudio también pone de relieve el papel importante de políticas en las innovaciones tecnológicas, la optimización y mejoras, la reducción de la proporción de carbón en el consumo de energía, y el avance de las nuevas fuentes de energía [CHAOFENG SHAO et al, 2014].

El ACV se utilizó en Estados Unidos para evaluar el IAP del proceso de mecanizado de piezas, teniendo en cuenta los aspectos de la mecánica del proceso, las características de desgaste y los flujos de lubricante. Para el análisis fue necesario cuantificar los flujos energéticos, velocidad del proceso, flujo de masa de la pieza principal, de los catalizadores, efectos de la formación de viruta de corte, duración de la herramienta debido al desgaste, etc. La evaluación mostró que la utilización de energía en los procesos de mecanizado depende en gran medida del diseño de la pieza, selección de material y de la puesta a punto del fluido de corte [MUÑOZ, 1995].

En el año 2007 el Instituto de Futuro Sostenible de la Universidad de Tecnología, Sydney de Australia, realizó el estudio para examinar los impactos ambientales históricos asociados a la minería del cobre y la fundición en este país desde 1940 hasta 2008 mediante una Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) y modelamiento de los efectos ambientales del cobre. Se utilizaron modelos de la cuna a la puerta del ACV para estimar los impactos de las cinco minas de cobre más grandes de Australia, la incorporación de los cambios en la ley del mineral y las diferencias en las tecnologías y fuentes de energía regionales. Los resultados muestran que la huella de carbono de cobre producido en todos los sitios durante el período investigado estuvo en el rango entre 2,5 - 8,5 kgCO₂-eq. / kg Cu y la diferencia entre los diferentes lugares en un año determinado puede ser de hasta 6 kg CO₂-eq./kg Cu. Se compararon los impactos potenciales derivados de los modelos de ACV de la mina más grande en Australia, mostrando el mayor impacto para el potencial de calentamiento global y la acidificación [MEMARY et al, 2007].

El níquel es un material esencial para nuestra sociedad tecnológica moderna y de alto rendimiento. Con la importancia de la eficiencia energética y el cambio climático, es importante que las empresas comprendan el detalle del uso de la energía y las consecuencias de gases de efecto invernadero. Por esta razón Matthew J. Eckelma, realizó un análisis de los impactos ambientales que cubren

estos dos impactos en toda la industria mundial del níquel mediante ACV; resultados de la cuna a la puerta (incluida la extracción, producción y fabricación). Los resultados se presentan para productos de níquel y sus aleaciones, incluida la energía necesaria para la producción de combustible.

El acero inoxidable es uno de los metales más reciclados en el mundo. Con el fin de evaluar las consecuencias de la energía y de carbono de uso de material secundario, se consideraron los escenarios de reciclaje para los tres grados de acero inoxidable (AISI 304.409 y 430). Se utilizó el escenario actual como punto de referencia, donde el máximo aprovechamiento de los desechos (dentro de los límites técnicos) y los resultados de la producción virgen varió ampliamente. En este sentido, la fundición, y la refinación clase II representa el 50-90% del uso total de la energía primaria. El transporte contribuyó al 2-11% del total, dependiendo del producto de níquel considerado. El análisis de sensibilidad reveló que los resultados son altamente dependientes de las necesidades energéticas que se aplica a todas las etapas de la evaluación producción de combustible. Estos resultados ayudarán a la industria del Níquel a mejorar el cambio climático y energético en los próximos años [MATTHEW J. ECKELMA, 2010].

Por otro lado, ya existe un antecedente sobre aplicación de ACV a la producción de accesorios metálicos, decorativos para mueblería, específicamente a la fabricación de manijas para puertas de baño elaborados en distintos materiales, como: aluminio por fundición, en aluminio por extrusión y en plástico por extrusión. La metodología utilizada para medir los impactos fue CML 2001 (Categorías de impacto elaboradas por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden-Holanda), mediante el programa GABI 4 Prof DB y las categorías de impacto consideradas fueron para la entrada: agotamiento de recursos abióticos y para las salidas: calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, acidificación y eutrofización. Los tres tiradores estudiados, a pesar de su geometría diferente y al hecho de que se fabricaran siguiendo distintos procesos

de producción presentan los mismos máximos y mínimos con respecto a los indicadores medioambientales estudiados: agotamiento de recursos, acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono. En general, la etapa de producción concentra en torno al 99% de los impactos estudiadas, siendo despreciables los valores de las etapas de gestión de residuos, transporte o utilización de la manija [AIMME, 2008].

En Colombia se realizaron los primeros estudios empleando la metodología de ACV en 1997, cuando se crearon en el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) los Comités Técnicos de Normalización del ISO/TC-207 para discutir y homologar a normas nacionales la serie de estándares internacionales de la familia ISO 14000 (serie ISO 14040 sobre ACV). Los comités más activos en ese período fueron el Comité 14 de Sistemas de Gestión Ambiental, el Comité 13 de Gestión Ambiental, el Comité 33 de Auditorías Ambientales y el Comité 36 de ACV [SAAVEDRA y VARGAS, 2000].

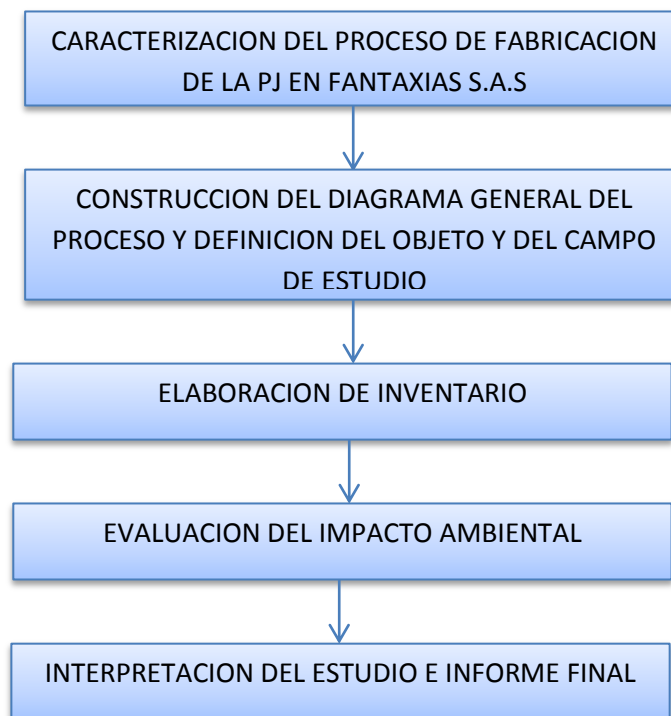
En España, en el año 2010, se realizó un estudio de evaluación del impacto ambiental de los procesos industriales destinados al recubrimiento metálico de los materiales termoplásticos más empleados en la industria. La metodología utilizada para ello ha sido la del Análisis del Ciclo de Vida. Los resultados reflejan que el recubrimiento de pintura conductora tiene el mayor impacto ambiental, debido principalmente a la emisión de compuestos orgánicos volátiles [GARRAÍN, 2010].

2. METODOLOGÍA

En general el presente estudio acoge formalmente las cuatro etapas obligatorias del ACV, como se muestra en la figura 8. La etapa inicial incluida en este esquema es preparatoria y corresponde a la descripción del proceso que ha sido realizada en el primer capítulo.

De esta manera, este capítulo será dedicado a desarrollar los aspectos correspondientes a las actividades 2 y 3 y en el capítulo siguiente, se presentan como resultados, la ejecución del análisis de impacto ambiental y la interpretación del estudio.

Figura 8. Metodología aplicada en la evaluación del impacto ambiental de la PJ



Fuente: Autor de proyecto

2.1 DEFINICION DEL OBJETO Y CAMPO DE ESTUDIO

Objetivo del estudio: Realizar un estudio del impacto ambiental potencial ocasionado por la producción de la pieza “PJ” en la empresa Fantaxias S.A.S, utilizando la metodología del ACV.

2.1.1 Alcance. Se realizará una evaluación del Impacto Ambiental Potencial (IAP) para el proceso de elaboración de la PJ empleando la metodología de ACV. A la empresa se le entregará un análisis de los contaminantes al medio por el proceso productivo de la PJ con base en el IAP.

2.1.2 Unidad Funcional. La unidad funcional definida para este estudio fue de 100 unidades de PJ (pata julia) producidas, donde cada unidad se conforma por cuatro piezas diferenciables, tanto en material como en peso, según se describe en la tabla N° 2 a continuación:

Tabla 2. Peso Pata Julia (PJ)

PIEZA	Material	PESO (kg)	% Peso
Pata Julia	Aluminio	8,01	86,9
Casquillo	Hierro	0,5	5,42
Arandela	Hierro	0,1	1,09
Tornillo	Hierro	0.6	6,5
TOTAL DE LA PIEZA		9,21	

2.1.3 Límites del sistema. El análisis de EIAP se realizó dentro de los límites de la empresa (entradas y salidas del proceso de elaboración de la PJ), sin tener en cuenta el transporte de la materia prima hasta la empresa Fantaxias S.A.S ni el transporte de la PJ ya elaborada al punto de entrega a los clientes, así como el proceso de elaboración de las materias primas empleadas.

2.1.4 Límites de estudio.

2.1.4.1 Fuentes y calidad de datos de datos. Para este estudio se tomaron en cuenta las siguientes bases de datos: IDEMT, Ecoinvent system Processes, Ecoinvent Unit Processes, BUWAL 250, Industry data 2.0.

Se tomaron los datos incorporados en las bases de datos para los compuestos químicos ácido sulfúrico, cianuro de sodio, sal de Rochelle (Tartrato de sodio y potasio), Novaclean Z y Bycleane A1 (detergente) sin crear modificaciones o variantes para este proyecto. Las modificaciones realizadas para este estudio se tomaron de datos del banco mundial de producción representado por los procesos en Ecoinvent, teniendo en cuenta las composiciones químicas y características de los compuestos. Entre los compuestos creados están: combustible (diesel, gas natural), energía eléctrica, agua utilizada para los diferentes procesos, pasta para satinar, cianuro de cobre, ánodo de níquel, cloruro de níquel, sulfato de níquel, abrillantador de níquel, piedras abrasivas, y papel de lija.

Para la energía eléctrica se consultó la Comisión de Regulación de Energía Eléctrica y Gas CREAG con el fin de conocer el mix colombiano de donde se pudo identificar las emisiones gaseosas para la generación de electricidad referida al caso colombiano donde predomina el uso de hidroeléctricas seguida por la termoeléctrica. Con estos se creó un escenario de energía eléctrica más ajustado al caso colombiano el cual fue alimentado en la base de datos y usado para nuestro estudio. Para los valores de energía eléctrica alimentados a SimaPro, se asumió una pérdida del 16% de esta energía por redes de distribución, pérdida que fue sumada al consumo de energía calculada para cada etapa.

En cuanto al gas natural comercializado por Gasoriente se creó un escenario donde se excluyeron las cargas ambientales por la infraestructura de la línea de transporte del gas. Se dejaron las cargas para la explotación onshore, por ser el caso específico para Bucaramanga.

Para el diesel que es usado en el transporte del yunque plástico desde Plásticos Santander, ubicado en la ciudad de Bucaramanga, a la Empresa Fantaxias S.A.S, se creó un escenario donde se excluyeron las cargas ambientales debidas al transporte del crudo desde la extracción hasta la refinería y de la refinería hasta las estaciones de servicio, así como las cargas por la construcción de la infraestructura física de la refinería. Sólo se dejaron las cargas ambientales por emisiones gaseosas debidas a la combustión del combustible en los vehículos.

Para efectos de este análisis se excluyeron del sistema estudiado los siguientes aspectos:

- Cargas ambientales de los procesos de obtención de las materias primas como: aluminio (materia prima de la elaboración de la PJ), y hierro (materia prima de la elaboración del casquillo, arandela y tornillo).
- Sustancias químicas utilizadas en el proceso de fundición como el rejuva y el apartagas H7, por la baja concentración utilizada de estos compuestos dentro del proceso. El aporte de las sustancias químicas e insumos mencionados anteriormente fueron excluidas debido a que no se encontraron dentro de las bases de datos disponibles en SimaPro y debido a que su aporte al balance de masa es inferior al 1%.
- El transporte de las sustancias químicas utilizadas en los baños electrolíticos, materias primas que componen el cuerpo de la PJ, bolsas plásticas y cajas de cartón utilizadas para el empaque de la PJ terminada.

- Generación de residuos peligrosos y su transporte, tratamiento y disposición final por parte del gestor externo autorizado.
- Sustancias utilizadas en operaciones de mantenimiento de equipos utilizados en el proceso de obtención de la PJ.

Posteriormente se procede a construir el escenario en SimaPro. Con los balances se realiza el cálculo del inventario de ciclo de vida (ICV) el cual relaciona el valor de las descargas con el factor de caracterización para cada categoría de impacto seleccionada en el método de evaluación seleccionado EDIP 2003. Con el ICV, se generan las gráficas de los perfiles medioambientales del sistema completo y por etapas del proceso.

Para el árbol global del proceso, se realizaron los ensambles de los procesos descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Ensamblados utilizados para la elaboración del árbol global del proceso.

MONTAJE	SUBPROCESO/ETAPA
CUERPO DE LA PATAJULIA	- Pre-Montaje - Recubrimiento Electrolítico - Acabado
CASQUILLO	- Troquelado - Recubrimiento Electrolítico - Acabado
ARANDELA	- Troquelado - Recubrimiento Electrolítico - Acabado
TORNILLO	- Tornolico - Recubrimiento Electrolítico - Acabado
YUNQUE PLASTICO	- Polipropileno
EMPAQUE	- Empaque En Caja

MONTAJE	SUBPROCESO/ETAPA
	- Empaque En Bolsa

Fuente: Autor de proyecto

2.2 INFORME FINAL

Se elabora el presente informe, que incluye toda la información obtenida para la evaluación del impacto ambiental potencial del proceso de producción de la PJ y con base en los perfiles medioambientales construidos del sistema completo se revisarán alternativas de mejora y/o optimización de los procesos.

3. ANÁLISIS DEL INVENTARIO

El inventario se sustenta fundamentalmente en la realización del balance de masa y energía del proceso, a partir de los datos recolectados en campo y registros históricos facilitados por la empresa. Esta actividad fue articulada y realizada a través de un trabajo de estudios en Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander [JURADO R. ARÉVALO A, 2011] y sus principales resultados se resumen en las tablas 3 a la 7 a continuación. El detalle de los diagramas de flujo de los principales procesos y sistemas considerados en el ciclo de vida, se encuentra en el trabajo en referencia, pero los más relevantes se muestran en el anexo B. Todos los datos recolectados para la elaboración del inventario están normalizados a la unidad funcional de 100 unidades de PJ.

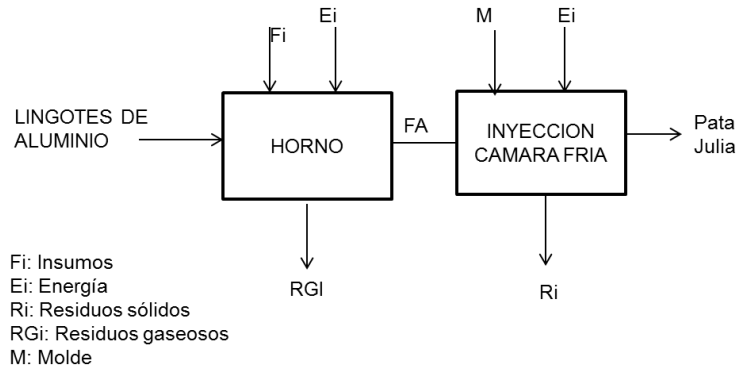
3.1. ENTRADA-SALIDA

Balance de masa y energía del proceso. Se cuantificaron las entradas y salidas de las etapas de cada uno de los subprocesos para lo cual se calcularon las densidades, flujos másicos y energéticos de cada una de las corrientes en cada etapa. Los datos detallados referentes a la caracterización fisicoquímica de los diferentes efluentes, así como el cálculo detallado para el gasto de insumos (reactivos, agua, energía), y generación de residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) se pueden encontrar referenciados en el trabajo de investigación llevado a cabo por Arévalo y Jurado en 2012 [JURADO R. ARÉVALO A. 2012].

- **Cuerpo de la Pata Julia**
- **PROCESO I: CUERPO DE LA PATA JULIA**

En las figuras de la 9 a la 12 se muestra el diagrama de flujo de cada uno de los procesos involucrados en la elaboración de la Pata Julia.

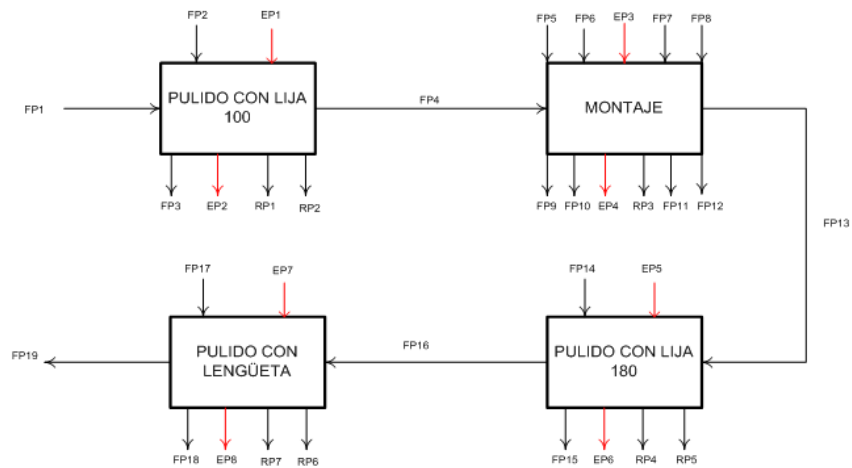
Figura 9. Elaboración de la PJ.



Fuente: Autor del proyecto

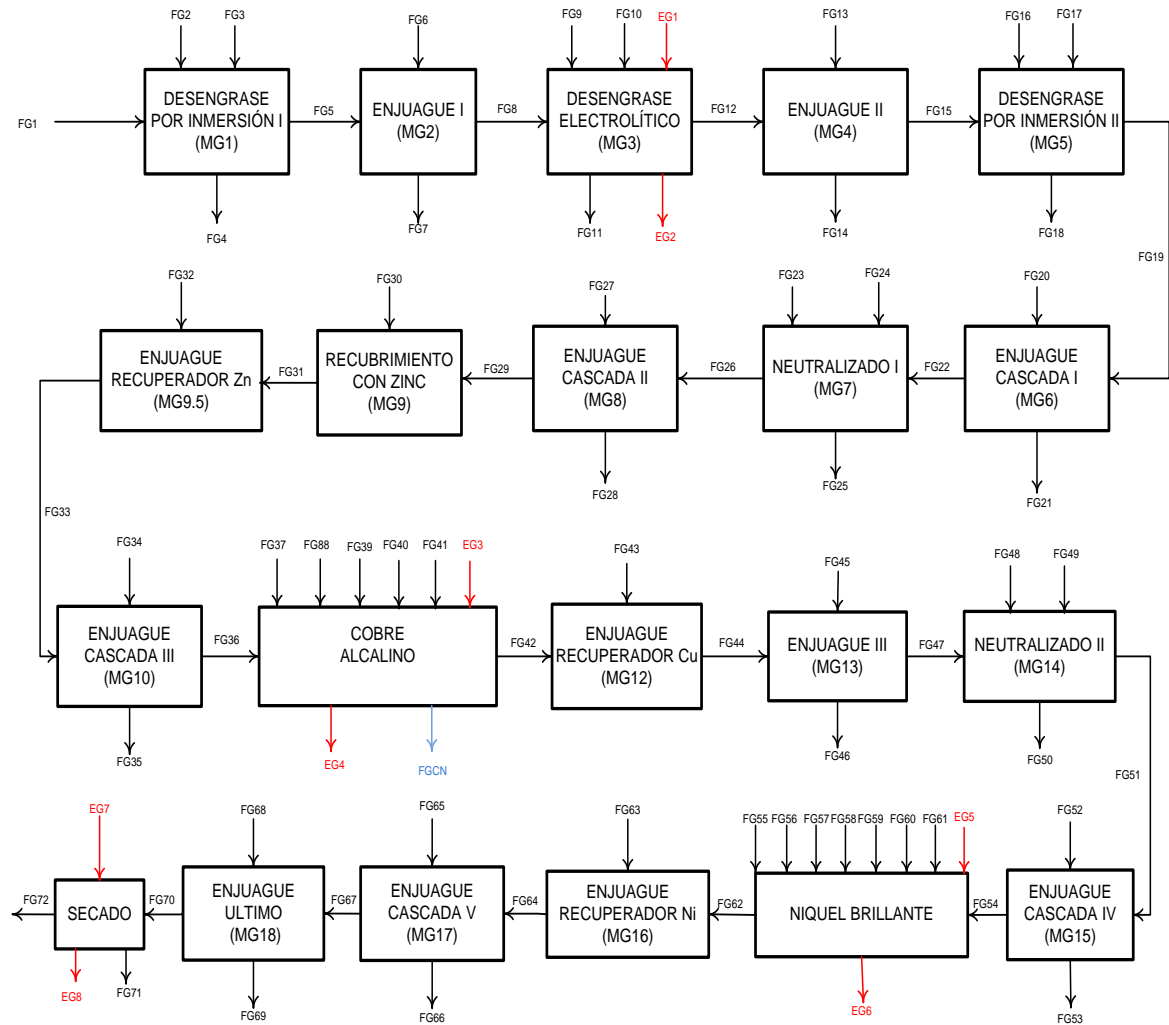
El horno utilizado para la fundición del aluminio es de tipo crisol el cual funciona utilizando como combustible gas natural, suministrado por la empresa Gasorient

Figura 10. Pulido de la Pata Julia (FP: Pata Julia, E: Energía, R: Residuos).



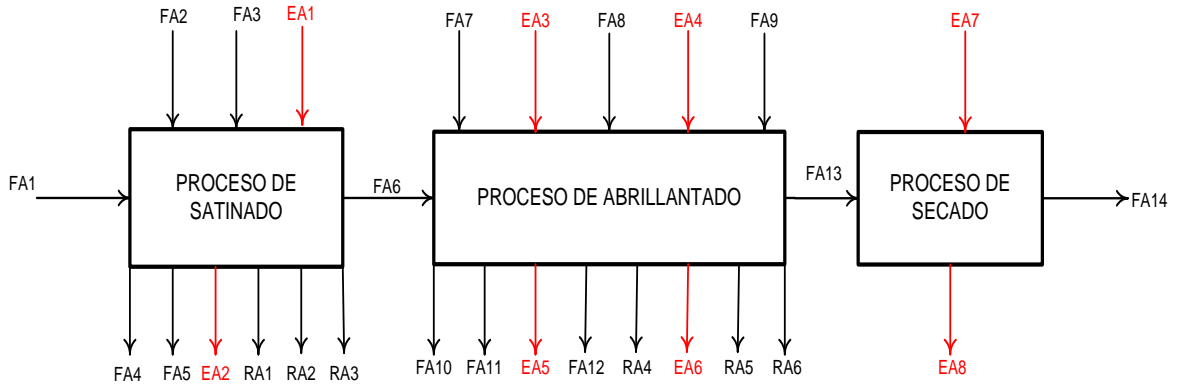
Fuente: Jurado R. Arévalo A

Figura 11. Recubrimiento Electrolytico de la Pata Julia (FG: Pata Julia en galvánica FGCN: flujo Cianuro, E: Efluentes).



Fuente: Jurado R. Arévalo A

Figura 12. Proceso de Acabado de la PJ (FA: Insumo para acabado, RA: Residuo de Acabado).



Fuente: Jurado R. Arévalo A

En la tabla 4 se muestra el balance de energía resumido del proceso de Pre-montaje, pulido final, recubrimiento electrolítico, acabado del Cuerpo de la Pata Julia. El balance de energía más detallado se muestra en el anexo B.

Tabla 4. Balance de Energía elaboración PJ.

Proceso Unitario	Étapas involucradas en el proceso	Descripción	Volt. [V]	Energía [kJ]
Pre-Montaje	Fundición e inyección	Energía requerida por el horno	220	3,6178
		Energía disipada + Energía útil	220	28164,02
Pulido Final	Pulido con lija 100, 180, y con lengüeta.	Energía Requerida	220	18522,2
Recubrimiento Electrolítico	Baños (Niquel, zinc, Cobre), Enjuagues	Energía Requerida	220	9867,68
Acabado	Satinado, Abrillantado, Secado	Energía Requerida	220	22815,5

Fuente: Jurado R. Arévalo A

En la tabla 5 se muestra el balance de masa resumido del proceso de Pre-montaje, pulido final, recubrimiento electrofítico, acabado del Cuerpo de la Pata Julia. El balance de masa más detallado se muestra en el anexo B

Tabla 5. Balance de Masa Proceso del Cuerpo de la Pata Julia.

PROCESO UNITARIOS	SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN LA CORRIENTE	CANTIDAD [kg]	CANTIDAD CONSUMIDA [g]
Pre-montaje	Fundición e Inyección	7,66	2,46
Pulido Final	Materias Primas (Lija 100, 180 Lija tipo lengüeta, Cuerpo de la pata julia)	42,91	0,32118
Recubrimiento Electrofítico	Materias primas involucradas en este proceso	104,7	31,94
Acabado	Materias primas involucradas en el proceso	41,34	0,708

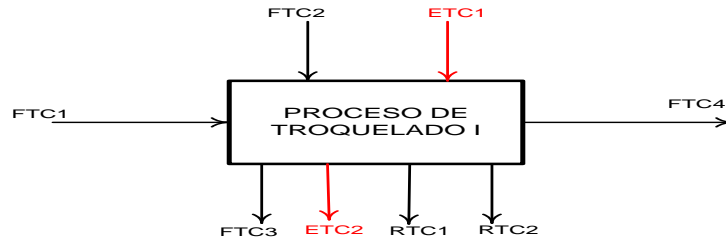
Fuente: Jurado R. Arévalo A

CASQUILLO Y ARANDELA

TROQUELADO I Y II

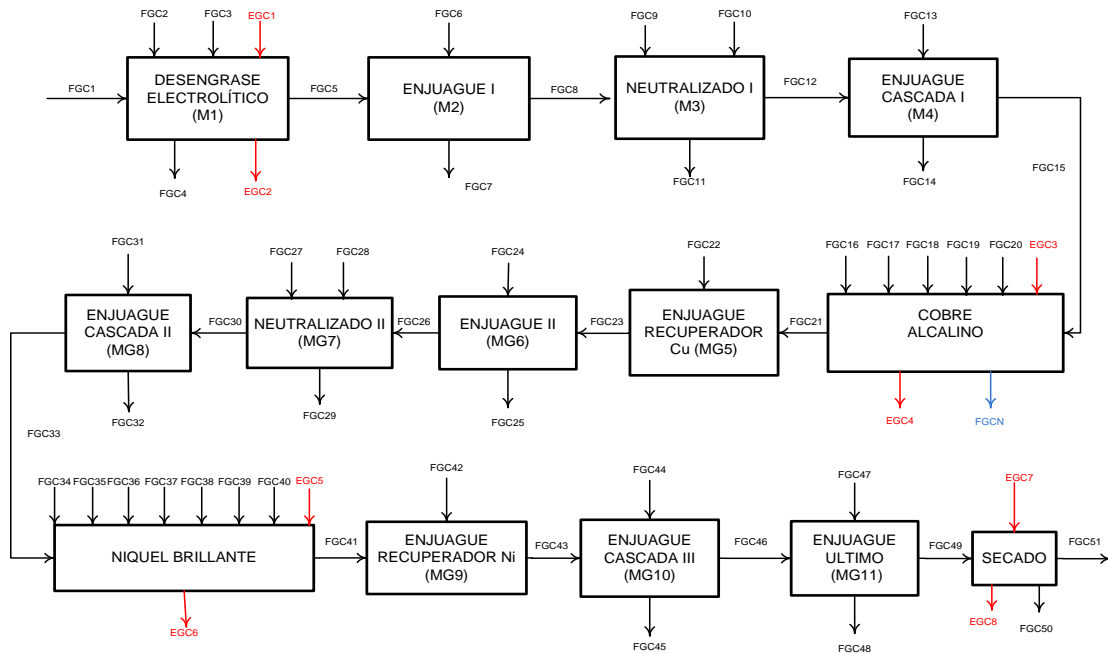
Para la elaboración del Casquillo y la Arandela se hace el mismo proceso de Troquelado, Recubrimientos Electrofítico y Acabado. En las figuras 13, 14 y 15 se muestra el proceso para la elaboración del casquillo y la arandela.

Figura 13 .Proceso de troquelado I y II para Casquillo y Arandela. (FTC: Lámina de Hierro, RTC: Residuo de Hierro ETC: Energía Total Troquelado).



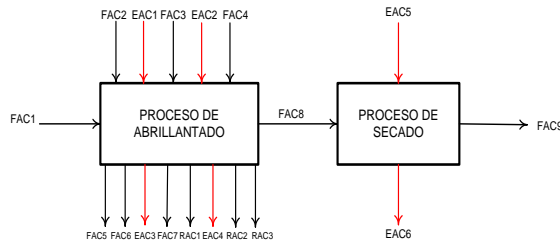
Fuente: Jurado R. Arévalo A

Figura 14. Proceso V Recubrimiento Electrolytico II y III de casquillo, arandela y tornillo (FGCi: Casquillo y arandela FCGj: Efluentes, EGC: energía para el desengrasante).



Fuente: Jurado R. Arévalo A

Figura 15. Proceso VI acabado II y III Casquillo, arandela y Tornillo.



Fuente: Jurado R. Arévalo A

En la tabla 6 se muestra el balance de energía resumido del proceso del troquelado, recubrimiento electrolítico y acabado de la elaboración del casquillo y la arandela. El balance de energía más detallado se muestra en el anexo B

Tabla 6. Balance de energía del proceso del casquillo y la arandela.

Subproceso	Descripción	Volt. [V]	Am. [A]	Energía [kJ]
TROQUELADO	Energía requerida para el proceso	220	8	219,5
RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO	Energía requerida para el proceso	220	8	37439
ACABADO	Energía requerida para el proceso	220	8	1809,372

Fuente: Jurado R. Arévalo A

En la tabla 7 se muestra el balance de masa resumido del proceso del troquelado, recubrimiento electrolítico y acabado de la elaboración del casquillo y la arandela y tornillo, piezas que hacen parte del cuerpo de la Pata Julia. El balance de masa más detallado se muestra en el anexo B.

Tabla 7. Balance de masa del proceso de casquillo y arandela

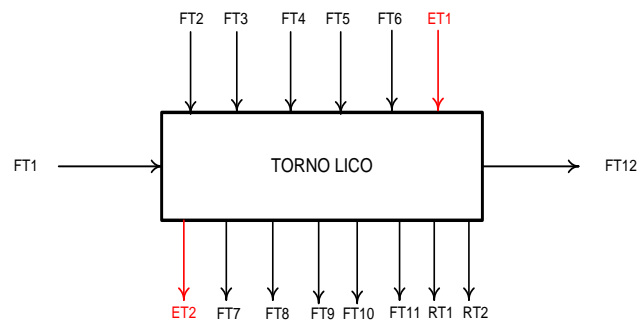
PROCESO UNITARIOS	SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN LA CORRIENTE	CANTIDAD [kg]	CANTIDAD CONSUMIDA [kg]
Troquelado	Troquelado (arandela y casquillo)	8,407	1,053
Recubrimiento Electrolytico	Materias primas involucradas en este proceso	2,304	1,99
Acabado	Materias primas involucradas en el proceso	2,20	0,04

Fuente: Jurado R. Arévalo A

ELABORACION DEL TORNILLO

En la figura 16 muestra el proceso de tornolico para la elaboración del tornillo

Figura 16. Tornolico.



Fuente: Jurado R. Arévalo A

En la tabla 8 y 9 se muestra el balance de energía y masa resumida del proceso de elaboración del tornillo, pieza que hace parte del cuerpo de la Pata Julia. Los balances se ven con más detalle en el anexo B.

Tabla 8. Balance de energía de la fabricación del tornillo tornolico

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]
TORNO LICO	3000	ET1	Energía para el Torno Lico	220	5,8	6630,2905
		ET2	Energía disipada + Energía útil	220	5,8	6630,2905

Fuente: Jurado R. Arévalo A

Tabla 9. Balance de masa del proceso de elaboración del tornillo. Tornolico.

PROCESO UNITARIOS	SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN LA CORRIENTE	CANTIDAD [g]	CANTIDAD CONSUMIDA [kg]
Tornolico	Materias primas involucradas en este proceso	10,839	2,47

Fuente: Jurado R. Arévalo A

PROCESO VII EMPAQUE

Figura 17. Empaque.



Fuente Jurado R. Arévalo A

Tabla 10. Balance de Masa.

Proceso Unitario	Sustancias involucradas en la corriente	Cant. [kg]	Cantidad Cons. [kg]
EMPAQUE	Pata Julia	9,795	0,704
	Polietileno de baja densidad	0,500	
	Cartón	0,704	0,500
	Producto empacado	10,999	

Fuente: Jurado R. Arévalo A

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL

4.1 PERFIL MEDIOAMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PJ

El inventario levantado a través del desarrollo metodológico fue cargado al software SimaPro 7.1, normalizado a la unidad funcional de 100 unidades de PJ. La metodología de cargue fue la estructura de árbol de proceso basada en definición de sub-ensamblajes, uno para cada etapa clave del armado de la PJ (véase cuadros azules) en la figura 18.

En un primer paso se hace una corrida de la valoración ambiental del sistema producto (PATA JULIA) con el fin de obtener un perfil medio-ambiental general, donde sea posible identificar los sub-ensamblajes del proceso donde se concentra el mayor impacto ambiental, para luego explorar con mayor detalle y profundidad aquellos sub-ensamblajes y procesos que lleven la mayor carga ambiental. Para este fin se acude generalmente a un método que permita calcular un indicador único que marque en el árbol de procesos líneas de Sankey relativas al flujo de impacto ambiental. En este caso se utilizó el método EDIP 2003 que tiene un indicador único, especialmente holístico, constituido por impactos locales y globales, ponderado de tal forma que los impactos locales se hacen relevantes en el estudio, lo cual es fundamental para el tipo de sistema producto que se está analizando.

Los resultados de este primer análisis se detallan en la Tabla 10. Aquí se puede observar, que el proceso que presenta mayor impacto ambiental es la elaboración del Cuerpo de la PJ con un 54,1%. Teniendo en cuenta que el subproceso de esta etapa que tiene mayor relevancia es el pre-tratamiento mecánico con un 22,6%, esto es debido a que en esta parte del proceso está la fundición de la materia prima (aluminio) para la elaboración de la PJ. Sin embargo, dentro de este estudio

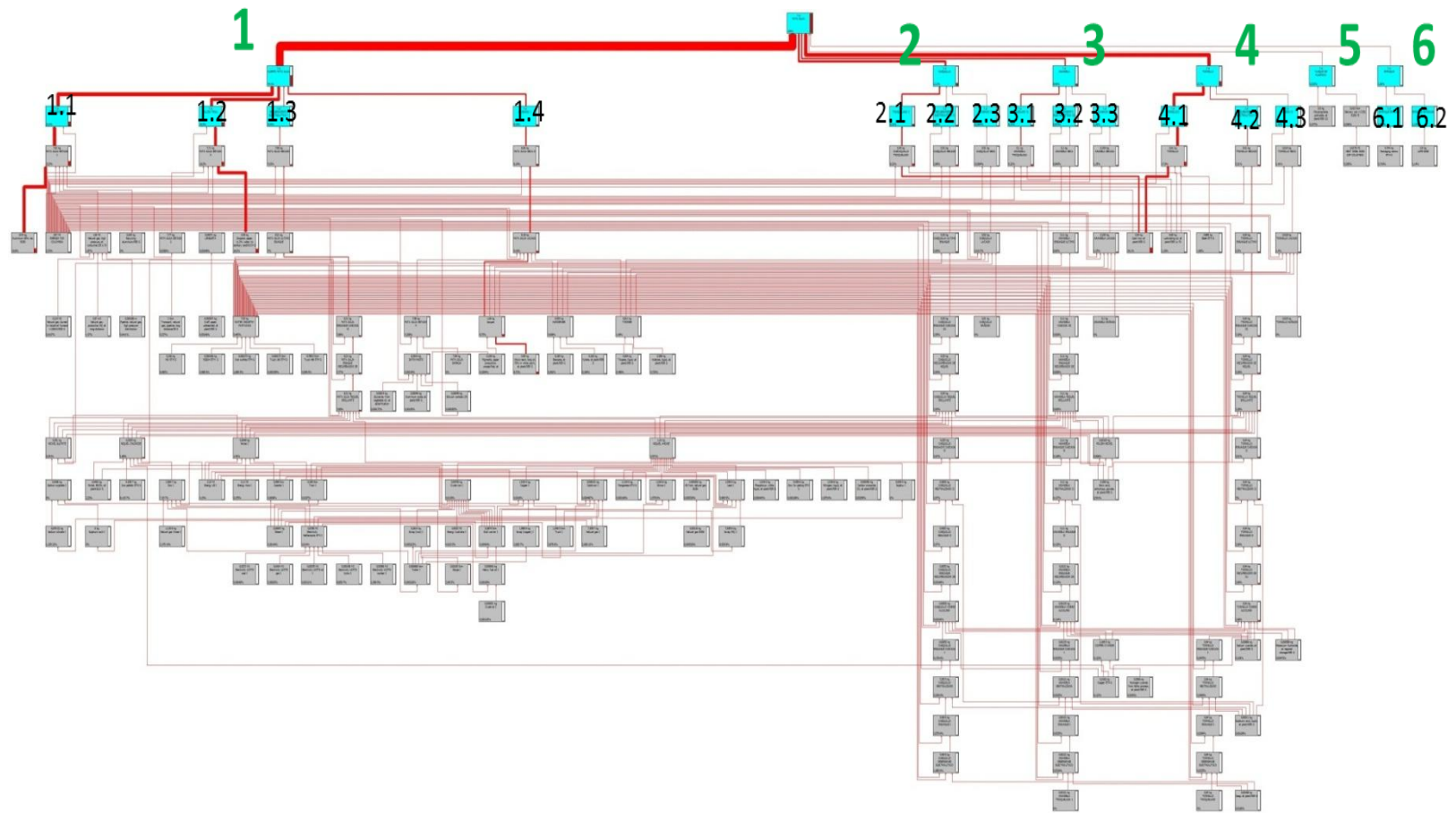
no se tuvo en cuenta el proceso que lleva a cabo la obtención de la materia prima. Seguido de este proceso tenemos el Pulido final que muestra un 18,3% de carga ambiental, la etapa de acabado con un 8,19% y por último el recubrimiento electrolítico con un 5,02%.

El subproceso de la elaboración del tornillo presenta un aporte de 22,7% a la contribución total, del cual el 18% es causado por el tornolico, debido al consumo de materia prima en la elaboración de esta pieza (hierro), 3,1% producido por el recubrimiento electrolítico y 1,41% generado por el acabado de la pieza. El casquillo y la arandela representan el 12,2% y 8,46% del impacto ambiental respectivamente.

En la figura 18, se visualiza el árbol de proceso y los principales ensamblajes y sub-ensamblajes considerados para representar cada una de las etapas del ciclo de vida objeto de estudio. Debido que la lectura del texto en la figura 18 no es muy clara, en la tabla 11 se hace un resumen detallado de los sub-ensamblajes, mostrando el numeral que corresponde a cada cuadro azul (ensamblaje) y su porcentaje de carga ambiental.

Las cajas grises en general son los procesos unitarios que sustentan los flujos económicos de cada ensamblaje, acorde a los requerimientos de masa y energía resultantes de la etapa de inventario.

Figura 18. Árbol global de proceso con corte de visualización al 0% de relevancia ambiental.



Fuente: Autor de Proyecto

Tabla 11. Cargas ambientales del proceso general de elaboración de la Pata Julia en Fantaxias Ltda.

MONTAJE	ETAPA	% CARGA AMBIENTAL
1. CUERPO PATA JULIA	(1.1) Pre-Montaje	22,6%
	(1.2) Pulido final	18,3%
	(1.3) Recubrimiento Electrolítico I	5,02%
	(1.4) Acabado	8,19%
	Total	54,1%
2. CASQUILLO	(2.1) Troquelado I	9,22%
	(2.2) Recubrimiento Electrolítico II	2,96%
	(2.3) Acabado	0,0264%
	Total	12,2%
3. ARANDELA	(3.1) Troquelado II	6,22%
	(3.2) Recubrimiento Electrolítico III	0,974%
	(3.3) Acabado	1,26%
	Total	8,46%
4. TORNILLO	(4.1) Tornolico	18%
	(4.2) Recubrimiento Electrolítico IV	3,31%
	(4.3) Acabado	1,41%
	Total	22,7%
5. YUNQUE PLASTICO	Polietileno baja densidad	0,633%
6. EMPAQUE	(6.1) Empaque caja	0,719%
	(6.2) Empaque en bolsa	0,114%
	Total	1,86%

Fuente: Autor del Proyecto.

4.2. PROFUNDIZACIÓN DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.2.1 Análisis De Caracterización Y Ponderación. Este resultado se muestra en la figura 19 y tiene como propósito visualizar los impactos más relevantes en cada uno de los sub-ensamblajes considerados en el árbol de procesos. Se puede identificar que la fabricación del Cuerpo de la PJ es un emisor de múltiples

impactos, mientras que la arandela se ve afectada principalmente por residuos peligrosos, el tornillo es particularmente impactante en materia de toxicidad, mientras que el empaque realiza contribuciones menores en casi todos los impactos. Por su parte la figura 20, concerniente a la ponderación de impactos sugiere que el análisis debe enfocarse en las siguientes categorías de impacto: Toxicidades, Eutrofización, Calentamiento Global, Desechos peligrosos y desechos sólidos. La categoría desechos radioactivos se descarta del análisis, porque generalmente es un marcador que aparece en todo procesamiento de minerales como resultado de la fase de extracción de las materias primas, por la liberación de radón de la corteza terrestre, pero que no surge como un impacto dentro de los límites del sistema considerado.

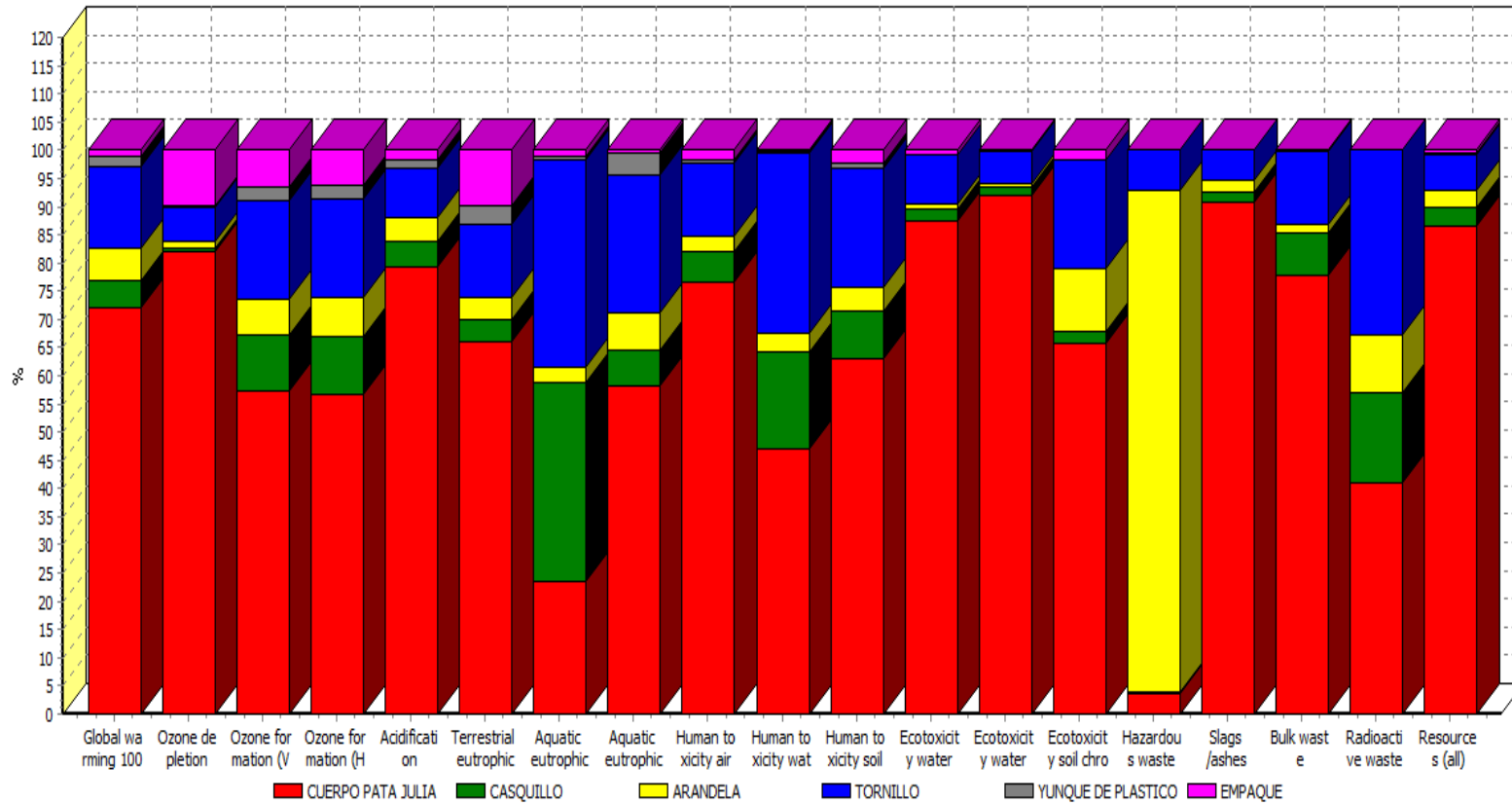
En la categoría de toxicidad humana en agua, el mayor aporte proviene de las sustancias químicas utilizadas en cada uno de los lavados en los baños electrolíticos tales como ácido sulfúrico y ácido nítrico, lo que puede deberse a las descargas durante la operación y a la necesidad de tratamiento de las aguas residuales antes de su entrega al alcantarillado del acueducto de Bucaramanga.

En la categoría de toxicidad humana en el suelo el mayor aportante es la elaboración del cuerpo de la pata julia debido al uso de gas natural durante el proceso de fundición, seguido de la elaboración del tornillo. Esto se debe al uso de los baños electrolíticos con cianuro de cobre y cianuro de sodio en los lavados, lo que puede deberse a las descargas durante la operación del proceso y producción de las sustancias químicas*.

Por otra parte, el calentamiento global (figura 20) se ve afectado en todas las etapas que componen el sistema, ya que esta categoría de impacto está asociada al consumo de energía eléctrica en cada una de ellas.

* Aunque no fueron cargadas al sistema incluyendo la producción de sus materias primas, fueron cargadas sus huellas ambientales específicas de su producción

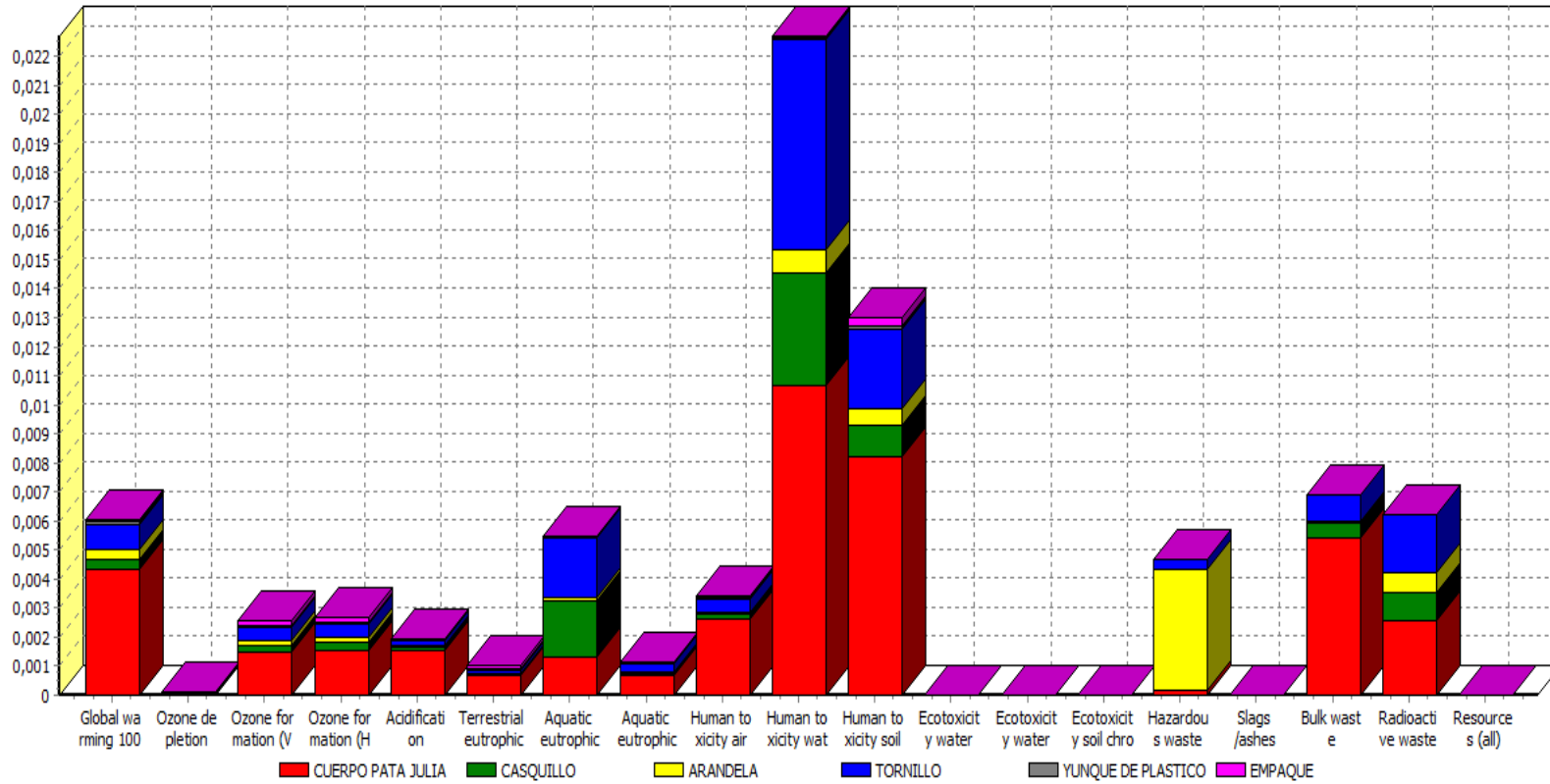
Figura 19. Caracterización de Impactos ambientales globales.



Analizando 1 p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: Autor del Proyecto

Figura 20. Ponderación de Impactos ambientales.



Analizando 1 p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / normalización

Fuente: Autor de proyecto

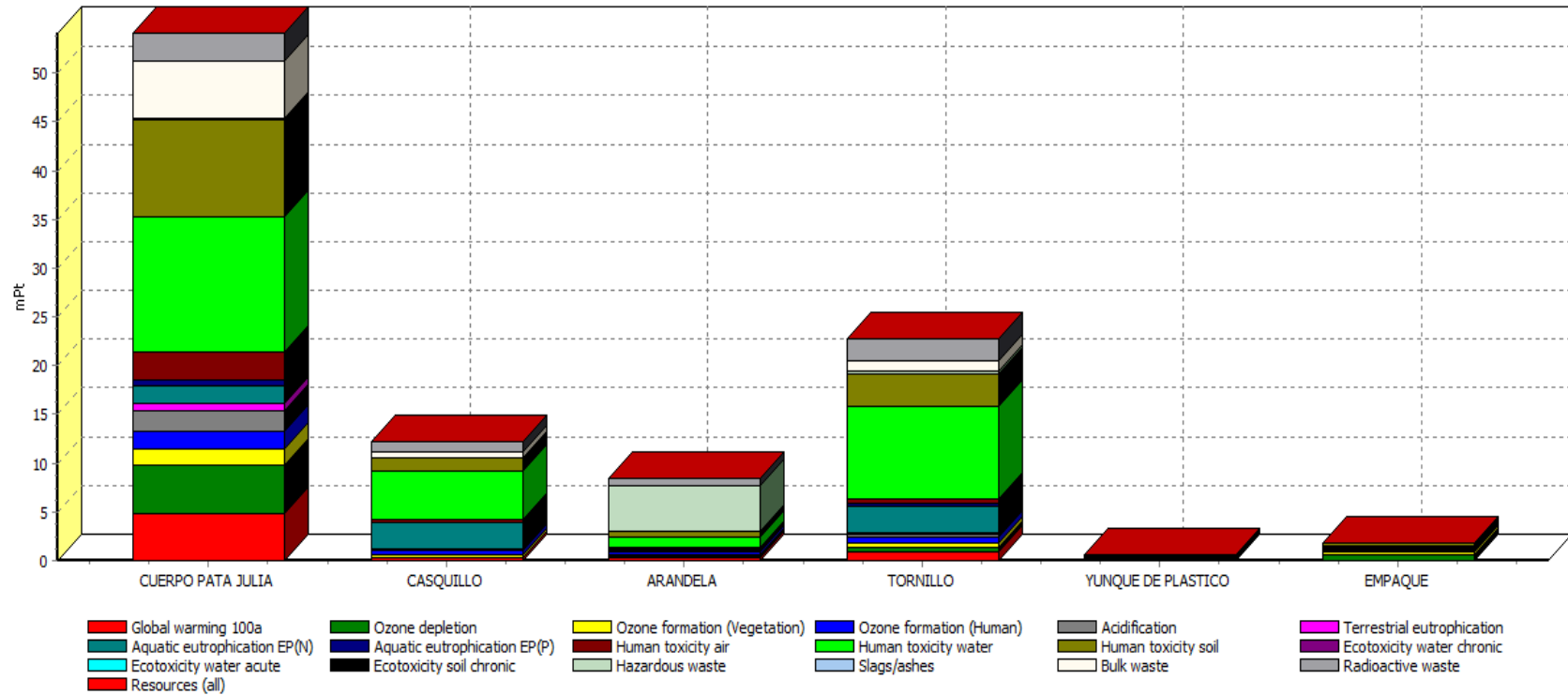
4.2.2 Análisis De Contribución. En este caso, habiendo identificado las categorías de impactos ambientales más relevantes para el sistema producto objeto del estudio, toxicidades, eutrofización, calentamiento global, desechos peligrosos y desechos sólidos (figura 20), el análisis de contribución fue conducido para identificar los sub-procesos (cajas grises del árbol de procesos), que participan más activamente en cada uno de ellos (figuras 22 a 26), de tal manera que el propósito del análisis de contribución es identificar de manera puntual los sub-procesos y los flujos elementales y económicos sobre los cuales es posible implementar correctivos ambientales a futuro.

En la figura 21 se muestra el análisis de contribución de los subprocesos de la elaboración del cuerpo de la pata julia y del tornillo que son los que presentan mayor impacto en cada una de las categorías. Para las categorías de impacto ecotoxicidad crónica y aguda en agua, ecotoxicidad crónica en suelo y uso de recursos (todos), el aporte en carga ambiental fue despreciable en comparación a las otras categorías. Estas figuras fueron obtenidas a un corte de visualización del 2% de significancia ambiental para ese impacto de tal forma que solo los procesos con una contribución igual o superior son visibles en cada una de ellas.

De acuerdo a la figura 22 el gran aporte de contribución al calentamiento global está dado por la materia prima (lingotes de aluminio), aunque no fue cargada al sistema de producción, fueron cargadas sus huella ambientales específicas de su producción, lo que indica que para este estudio el mayor aportante de esta categoría es la energía eléctrica colombiana.

En las figuras 23 y 24 el gran porcentaje de contribución para la acidificación, y toxicidad humana en el suelo, está relacionada por los químicos empleados en la elaboración de PJ. La figura 25 presenta el gran porcentaje de contribución para la toxicidad humana en el agua relacionada por químicos empleados en los baños electrolíticos, así como los químicos utilizados en el acabado de la pieza.

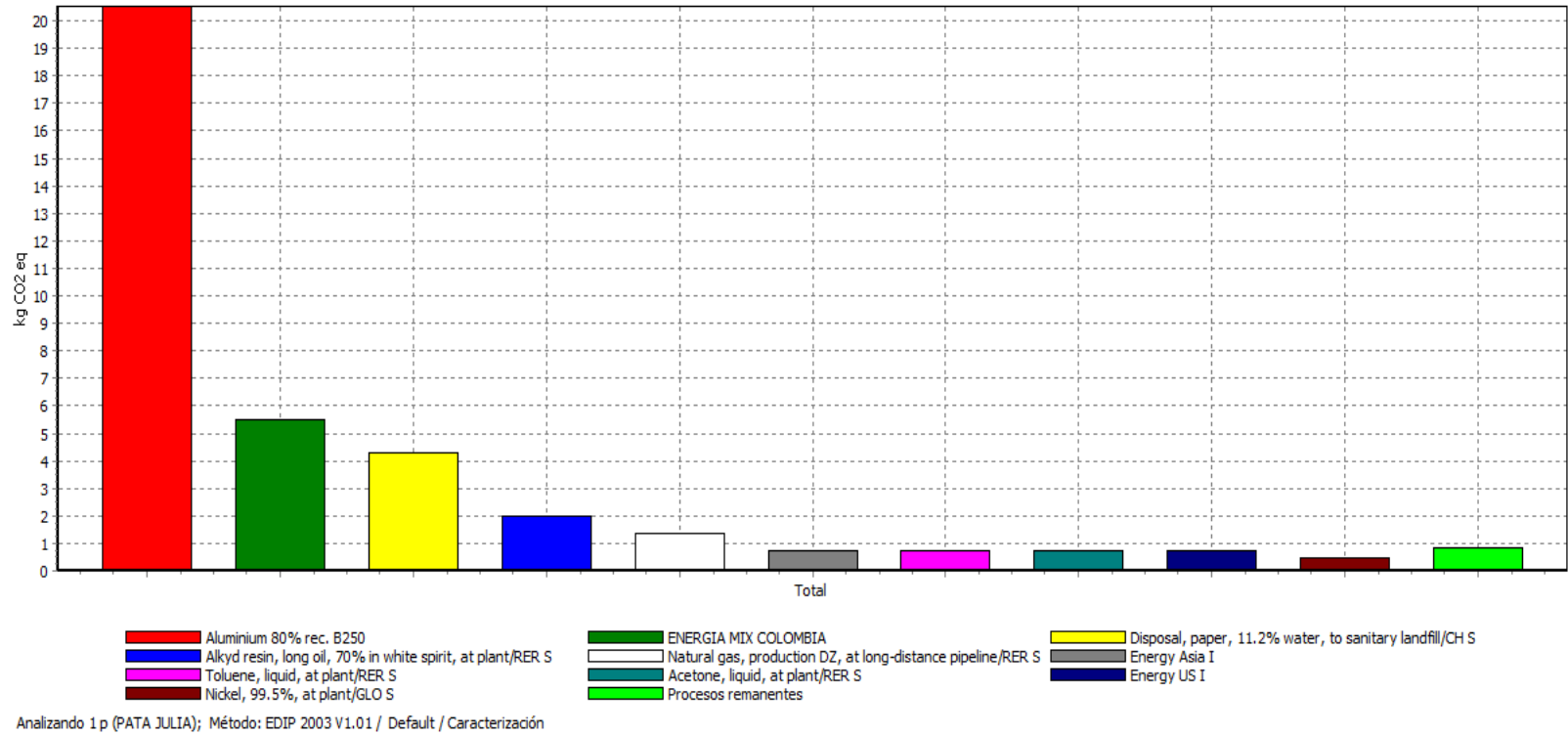
Figura 21. Análisis de contribución



Analizando 1 p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / puntuación única

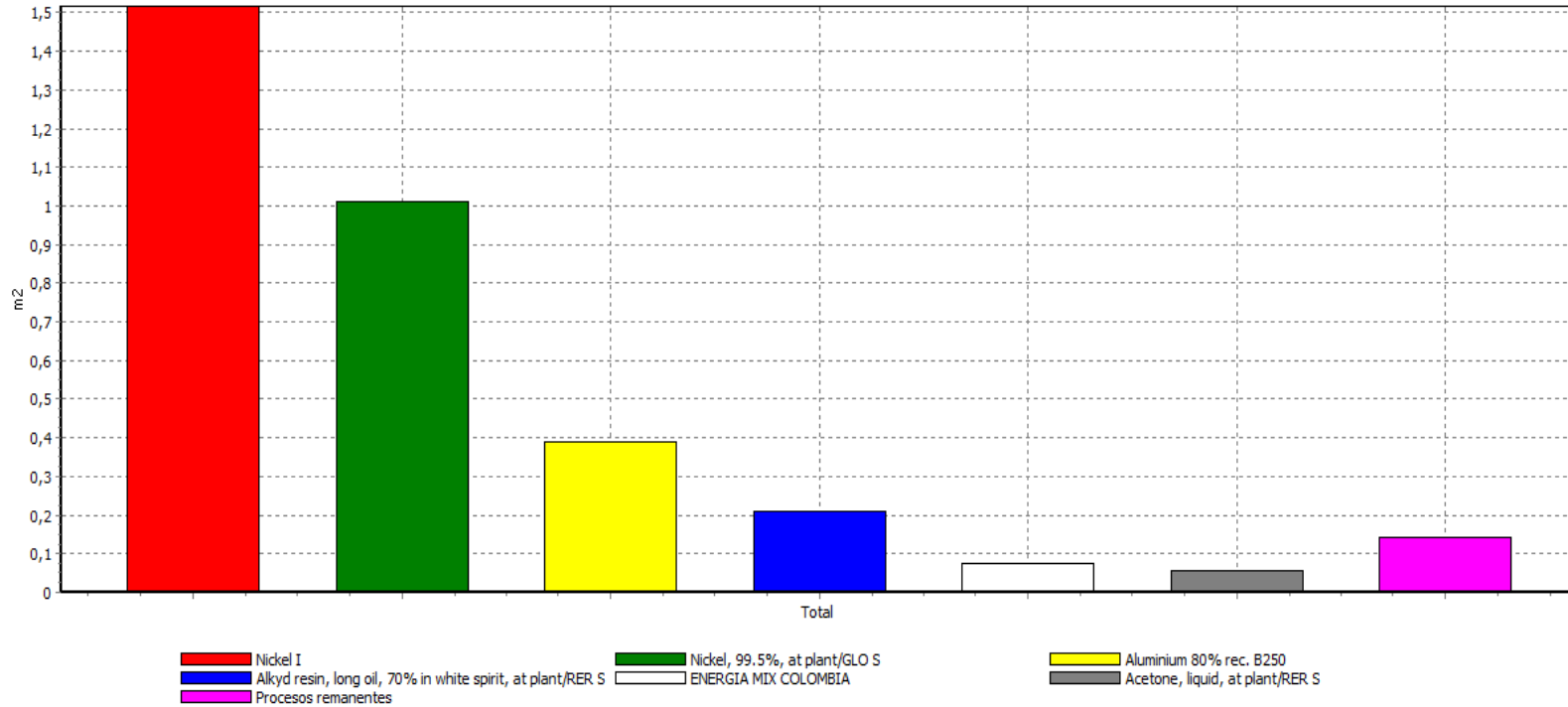
Fuente: Autor de proyecto

Figura 22. Perfil Medioambiental para la categoría Calentamiento Global.



Fuente: Autor del Proyecto

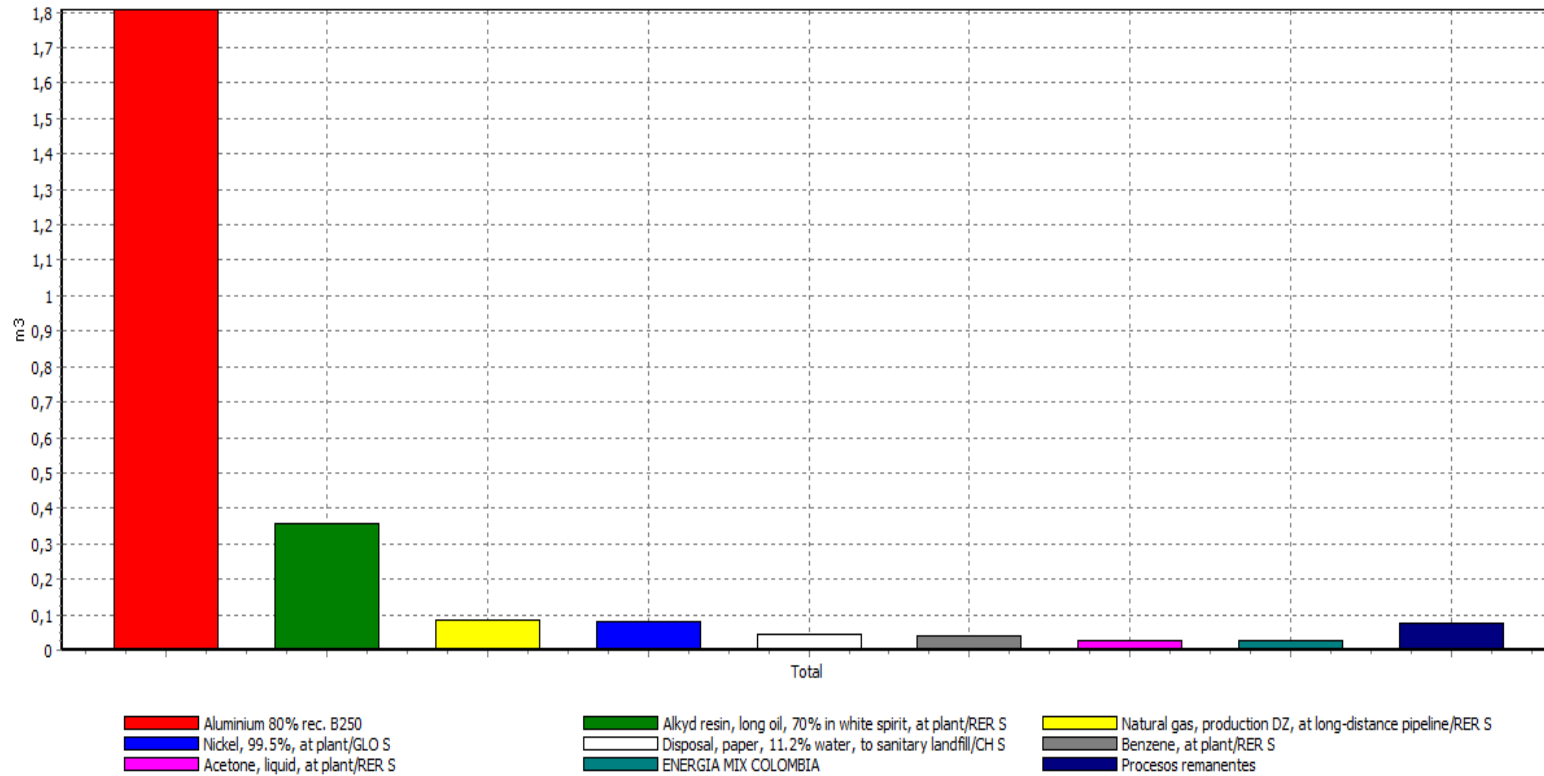
Figura 23. Perfil Medioambiental para la categoría Acidificación.



Analizando 1 p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: Autor del Proyecto

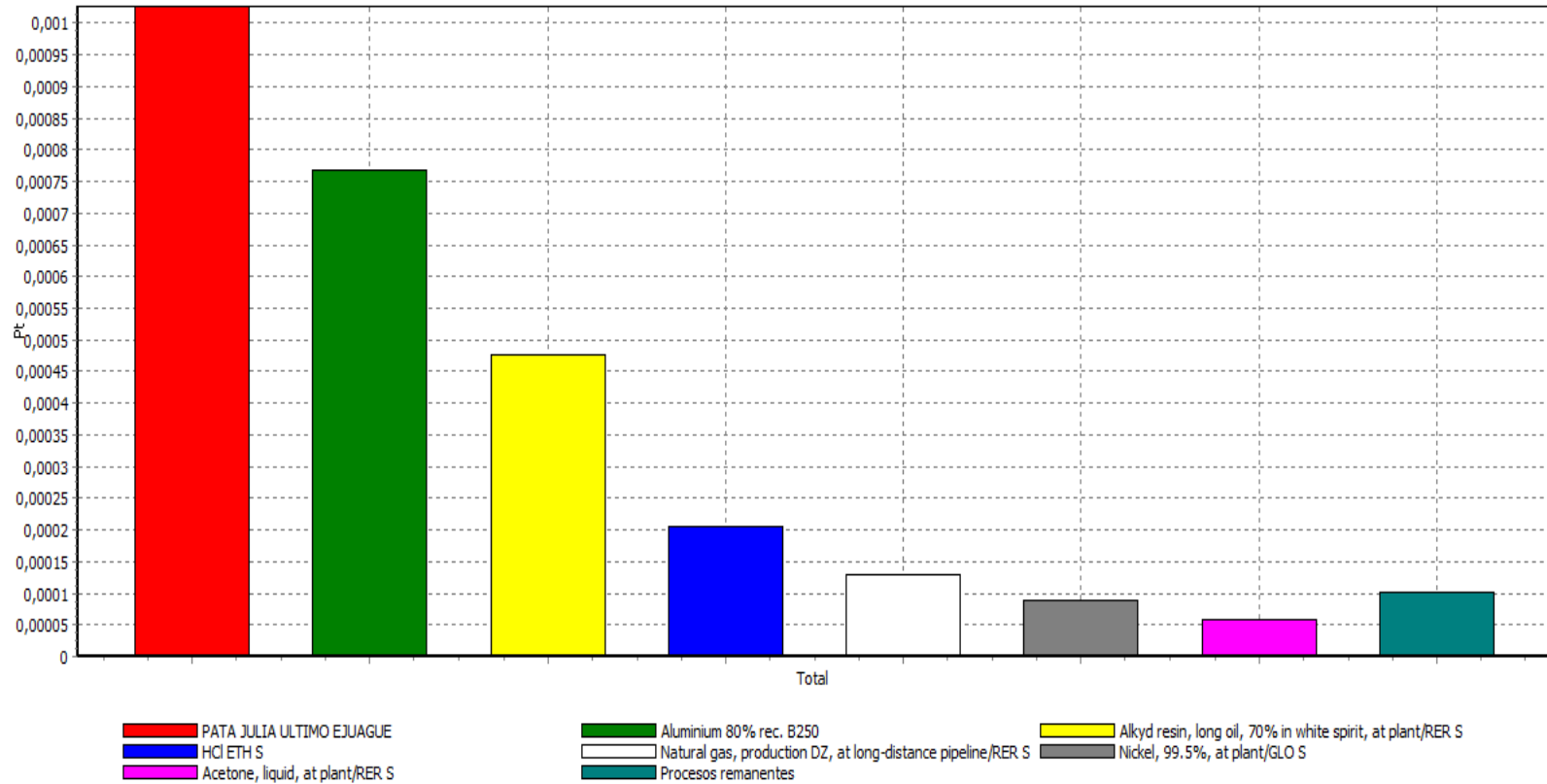
Figura 24. Perfil medio ambiental para la categoría de Toxicidad en el Suelo.



Analizando 1p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: Autor del Proyecto

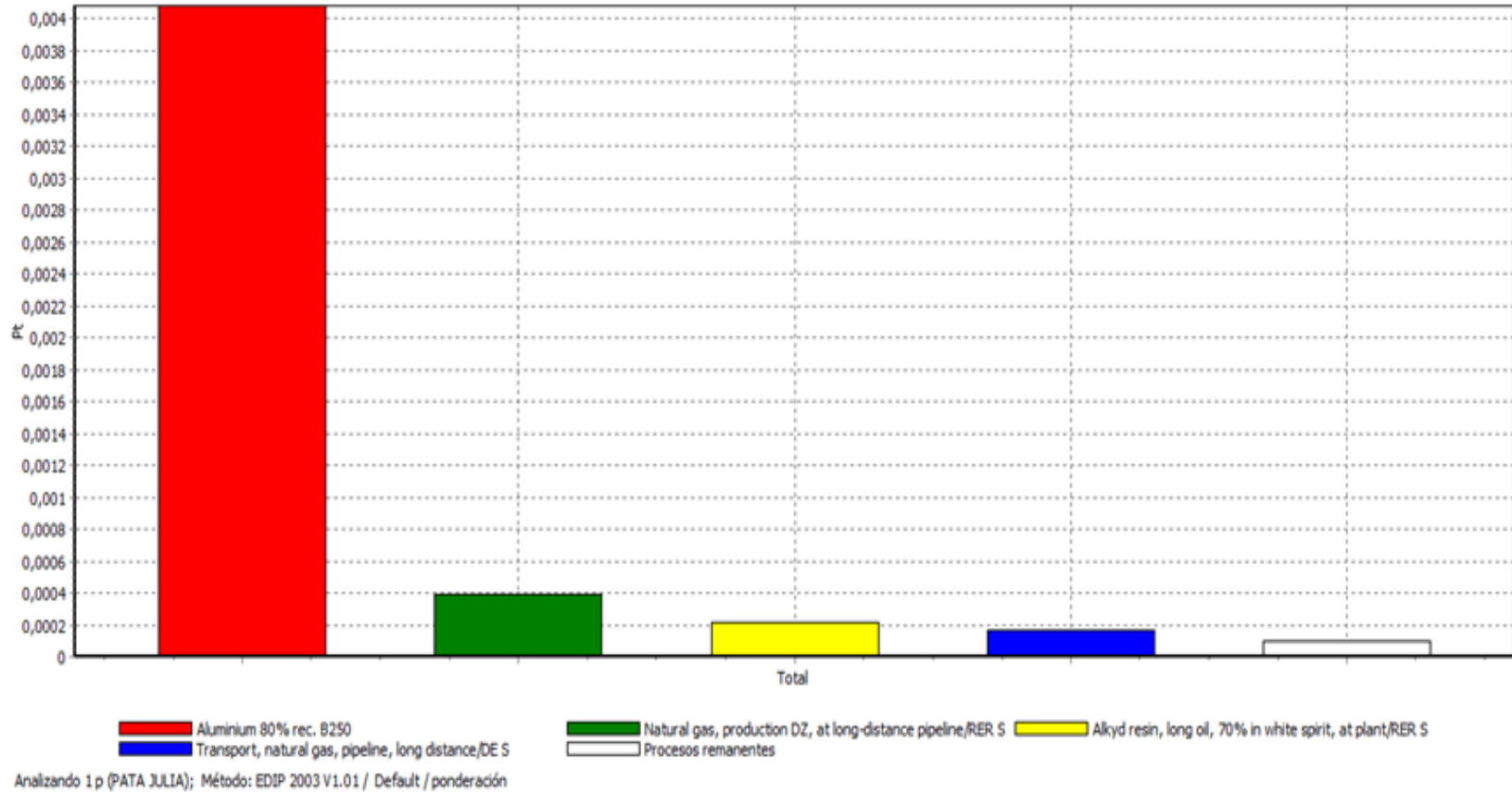
Figura 25 Perfil medio ambiental para la categoría de Toxicidad en el Agua.



Analizando 1 p (PATA JULIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / ponderación

Fuente: Autor del Proyecto

Figura 26. Perfil medio ambiental para la categoría Agotamiento de Ozono.



Fuente: Autor del Proyecto

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se permite identificar que el subproceso de elaboración del cuerpo de la pata julia es el que representa la mayor carga ambiental para la empresa (54,1%), seguido por la fabricación del tornillo (22,7%), arandela (12,2%), y casquillo (8,46%).

Indicando que los mayores esfuerzos se deben concentrar en la pieza central y en la fabricación del tornillo que a pesar de ser significativamente menor en su contribución másica a la unidad funcional, concentra un impacto mucho mayor a lo esperado, particularmente debido a impactos marcados en las categorías toxicidades, eutrofización, calentamiento global, desechos peligrosos y desechos sólidos y a los procesos de elaboración del cuerpo de la Pata Julia y tornolico para la fabricación del tornillo. En este sentido, presentamos un análisis de impactos y potenciales mejoras para estas dos piezas en particular:

Cuerpo de la Pata Julia: En la elaboración del cuerpo de la Pata Julia se presentó una carga ambiental del 54,1% distribuidos de la siguiente manera: el 22,6% en el pre-montaje donde se fundieron los lingotes de aluminio para convertirlo en la Pata Julia, con un 18,3% el Pulido final de la pieza, el 8,19% del acabado de la pieza y finalmente un 5,02% de carga para el proceso del recubrimiento electrolítico. Lo que indica que las entradas de mayor impacto ambiental es el uso del Aluminio, el consumo de energía y de combustible. Las categorías de impacto sensitivas a este proceso son el calentamiento global, agotamiento en la capa de ozono, eutrofización terrestre y acuática. Este impacto es debido a las emisiones y a la acidificación. Las emisiones por combustión del gas natural en el horno de fundición (CO₂: 106,909 ppm, CH₄: 14,8 ppm, NO: 72,2 ppm, Dióxido de Nitrógeno: 3,8 ppm, SO₂: 434,5 ppm y CO: 9333,3 ppm).

Tornillo: Presenta un 22,7% de la carga ambiental de la PJ. Lo cual es muy significativo para una pieza que apenas aporta algo más del 6,5% a la unidad funcional. Este aporte está representado en un 18% por el aporte del proceso de elaboración (Tornolico), un 3,32% del recubrimiento electrolítico y 1,83% proveniente el acabado de la pieza. Es posible que este impacto ambiental se deba a que la irregularidad de la pieza promueve un mayor consumo de materia prima para su obtención. Las categorías de impacto más relevantes en este proceso están relacionadas con la toxicidad, eutrofización y acidificación.

6. RECOMENDACIONES

Después de identificar los principales impactos ambientales para las etapas del proceso, y los problemas ambientales que se generan con cada uno de estos procesos, se propone algunas mejoras dentro del proceso de obtención del cuerpo de la PJ para disminuir el impacto de su fabricación:

- Con respecto al consumo de energía eléctrica y uso de combustibles como el gas natural, se propone realizar la medición de la calidad de energía con equipo especializado, con el objeto de evaluar la eficiencia energética en los equipos de la planta e identificar aquellos que requieran mantenimiento o reemplazo.
- Se propone implementar un programa de mantenimiento preventivo de los hornos que incluya evaluaciones periódicas del comportamiento de los quemadores, análisis de gases de chimenea.
- En el caso de la elaboración del tornillo se sugiere buscar un proveedor especializado en la elaboración de esta pieza, en lugar de continuar con su fabricación, la cual muestra un impacto ambiental muy importante. Sin embargo, este proveedor debería mostrar potencial técnico para realizar la fabricación del tornillo de una manera más amigable con el medio ambiente. No obstante, el balance ambiental de esta alternativa, debería evaluarse como un nuevo escenario de ciclo de vida, antes de proceder con su implementación.

Aunque en este estudio los baños electrolíticos se muestran en un porcentaje de contribución moderado en todas las etapas que componen la Pata Julia, el uso de las sales cianuradas de cobre y níquel producen efluentes con elevadas concentraciones de Cu, Zn, Ni y Cianuros.

Con el fin de minimizar los vertimientos, el consumo de materiales y energéticos, se hacen algunas recomendaciones para el proceso de Recubrimientos Electrolíticos:

- 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
- Cambiar el tambor en donde se depositan las piezas por un sistema de rejilla plástica cilíndrica, para minimizar el arraste al tener mayor cantidad de huecos que el tambor.
- Dejar un tiempo de goteo después de cada baño y aumentar el número de tanques de enjuagues recuperadores (al menos a dos después de cada recubrimiento), para minimizar pérdidas por arrastre.
- Para disminuir el consumo energético y las emisiones al aire, se pueden disponer 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.

BIBLIOGRAFIA

Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida a productos del sector metal-mecánico. Instituto Tecnológico Metal-Mecánico, 2008. www.aimme.com,

AVILA, O. y SUAREZ, J. Análisis de Ciclo de Vida e integración del proceso de producción de Bioetanol de segunda generación a partir del bagazo de caña. Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química, 2010.

BALLESTEROS, E. y MONSALVE, R. Diseño de alternativas para la oxidación de cianuros y remoción de metales presentes en los efluentes de la empresa de electrorrecubrimientos Fantaxias S.A.S. Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander. 2007.

A. MUÑOZ, P. SHENG. An analytical approach for determining the environmental impact of machining processes. *Jornal of Materials Processing Technology*, 53, 1995, 736-758.

CONESA V. "Los instrumentos de gestión ambiental en la empresa". Ediciones Mundial-Prensa. Madrid, España. 1997.

CONESSA V. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi Prensa, 1999.

CURRAN M. Life cycle assessment. Principles and practice, National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development U:S: Environmental Protection Agency. Cincinnati Ohio, 2006.

CHEN S, CHEN B, SONG D. Life-cycle energy production and emissions mitigation by comprehensive biogas-digestate utilization. *Bioresource Technology*, 114, 2012, p. 357-364.

CHAOFENG S, YANG G, Performance analysis of CO₂ emissions and energy efficiency of metal industries in China. *Journal of Environmental Management* 134, 2014, 7209-7217.

Decreto 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura. República de Colombia.

DELLAVEDOVA, MG. Guía Metodológica Para La Elaboración De Una Evaluación De Impacto Ambiental. Universidad Nacional De La Plata, 2011. [blogs.unlp.edu.ar]

DE CARBAHOL A. Análisis de ciclo de vida de productos derivados del petróleo- Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida. Tesis Doctoral en Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cataluña. 2001.

EPA (1994). EPA pollution prevention accomplishments 1993, policy leads to action. EPA Publication Number EPA-100-R-94-002. US Environmental Protection Agency, Office of the Administrator, Washington, DC.

ESPINOZA, Guillermo. Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo, BID y Centro de Estudios para el Desarrollo, CED, Santiago, Chile, 2002. [webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/materano/ambiental]

FEDIT. Desarrollo de la metodología para la realización de análisis de ciclo de vida de automóviles y camiones, 2011 [www.minetur.god.es].

FINNVEDEN G. Life cycle assessment as an environmental systems analysis tool – with a focus on system boundaries. Licentiate thesis, AFR Report 137, Swedish Waste Research Council, Stockholm, Sweden, 1996. [www.ncbi.nlm.nih.gov].

FERNÁNDEZ R. N. Aplicación de Análisis de Ciclo de Vida en el estudio ambiental de diferentes procesos avanzados de oxidación. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Julio 2007. P-15-17.

FANTAXIAS S.A.S [en línea]. [consultado 17 de Abril 2012]. Disponible en <http://www.fantaxias.com/index.php?option=com>

Fundación Forum Ambiental (2003). “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)”. www.forumambiental.org/cast/archivos/eines12.htm.

FOTEINIS S, KOULOUMPIS V. Life cycle analysis for bioethanol production from sugar beet crops in Greece. Energy Policy, 2011. 58, 68

FURUHOLT E. Life cycle assessment of gasoline and diesel, Department Mngr. Environment, Statoil Research Centre, Trondheim, Norway. Resources, Conservation and Recycling, 14, 251-263, 1995.

GARCIA, L. ACV en la aplicación de energías renovables en el ciclo urbano del agua. Departamento de Física e Ingeniería Nuclear, 2008. [www.zaguan.unizar.es]

GANG L, B. MÜLLER D. Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical of life cycle assessments. Journal of Cleaner Production, 35, 108-117, 2012.

GARRAÍN, D. HERRERA, I. LAGO, C. LECHÓN, Y. SÁEZ R. Viabilidad medioambiental del co-procesamiento de aceites vegetales en unidades de hidrotreatmento para obtener biocarburantes mediante ACV. Artículo del CIEMAT – Dpto. Energía – Ud. Análisis de Sistemas Energéticos, Madrid (España), 2010 [www.aepro.com]

GORDILLO, G. y VALERO, R. Evaluación de pérdidas energéticas en la planta de fundición de la Empresa de Herrajes Fantaxias S.A.S. Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander 2005. .

HIGGINS B, KENDALL A. Life cycle environmental and cost impacts of using an algal turf scrubber to treat dairy wastewater. Journal of Industrial Ecology, 16(3), 2012, p. 436-447.

ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y Directrices. Requisitos del Ciclo de Vida. Bogotá: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones, 2007.

JURADO R, AREVALO A. Tesis Pregrado, Balance ambiental de un producto representativo de la línea de aluminio llamado pata julia (ref. pm-0167) en el proceso de producción en la empresa Fantaxias S.A.S. 2013. Universidad Industrial de Santander, Ingeniería Química.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS. Agentes químicos, 2004. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9275324859_anexo1.pdf.

Manual demo SimaPro 6. PRé Consultants, 2004

M. GUO, R.J. MURPHY. LCA data quality: Sensitivity and uncertainty analysis. El Sevier. Science of the Total Environment. 435-436, 2012, 230-243.

MEMARY, R. GIURCO, D. MUDD, G. MASON, L. Life cycle assessment: a time-series analysis of copper. Instituto de Futuros Sostenibles de la Universidad de Tecnología, Sydney, Australia, 2007.

MILANI F, NUTTER D, THOMA G. Environmental impacts of dairy processing and products: A review. Journal of Dairy Science 94 (9), 2011, 4243-4254.

NING D., FENG G., Environment impact analysis of primary and recycled aluminum. Procedia Engineering, 27, 2012, 465-474.

RALUY R. Evaluación ambiental de la integración de procesos de producción de agua con sistemas de producción de energía. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ingeniería Mecánica, Centro Politécnico Superior. Junio 2009.

ROMERO B. El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. Tendencias Ambientales. Consultado en diciembre de 2012, en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/tend.pdf>.

SWART, P. DEWULF, JO. Quantifying the impacts of primary metal resource use in life cycle assessment based on recent mining data. Resources, Conservation and Recycling 73, 2013, 180-187.

TANSEY G, WORSLEY T. The food system: a guide. Earth Scan Publ. Ltd, London. 1995.

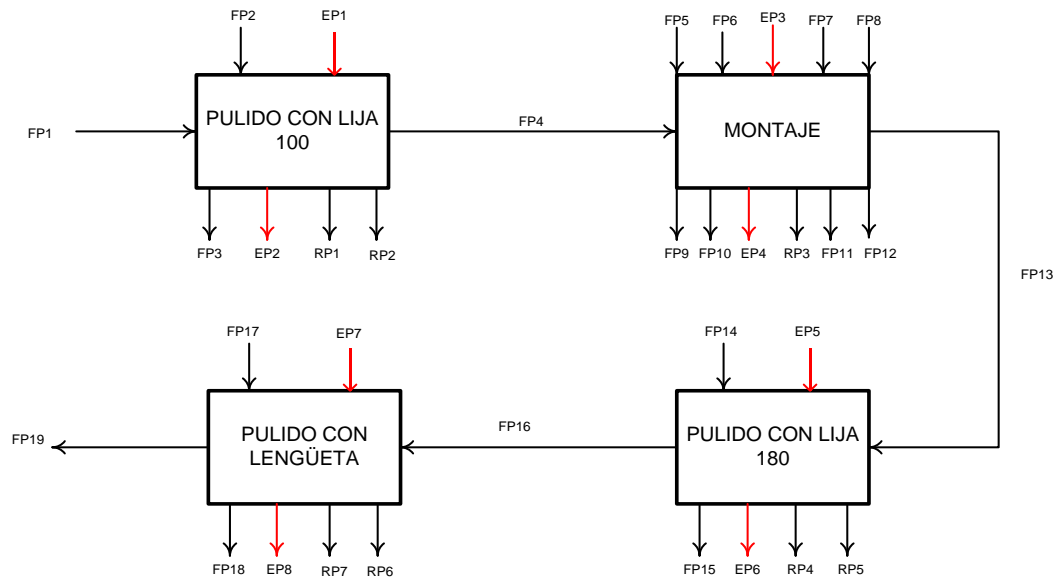
VANDER WERF H, KANYARUSHOKI C, CORSON M. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. Journal of Environmental Management, 90(11), 2009.

WEITZENFELD, Henyk. "Manual básico sobre la evaluación de impacto en el ambiente y la salud de acciones proyectadas". Centro Panamericano de Ecología y Salud Humana, México, 1996

W. PENNINGTON DAVID, RYDBERG TOMAS. Life Cycle Assessment. Encyclopedia of toxicology 2005, second edition, 715-7.

ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de flujo elaboración Pata Julia



Pulido 1 Este proceso se realiza para retirar las partículas de aluminio que están alrededor de la base, la línea de partición y el punto de llenado. Para ello se utiliza una máquina pulidora de rodillo y una lija número 100.

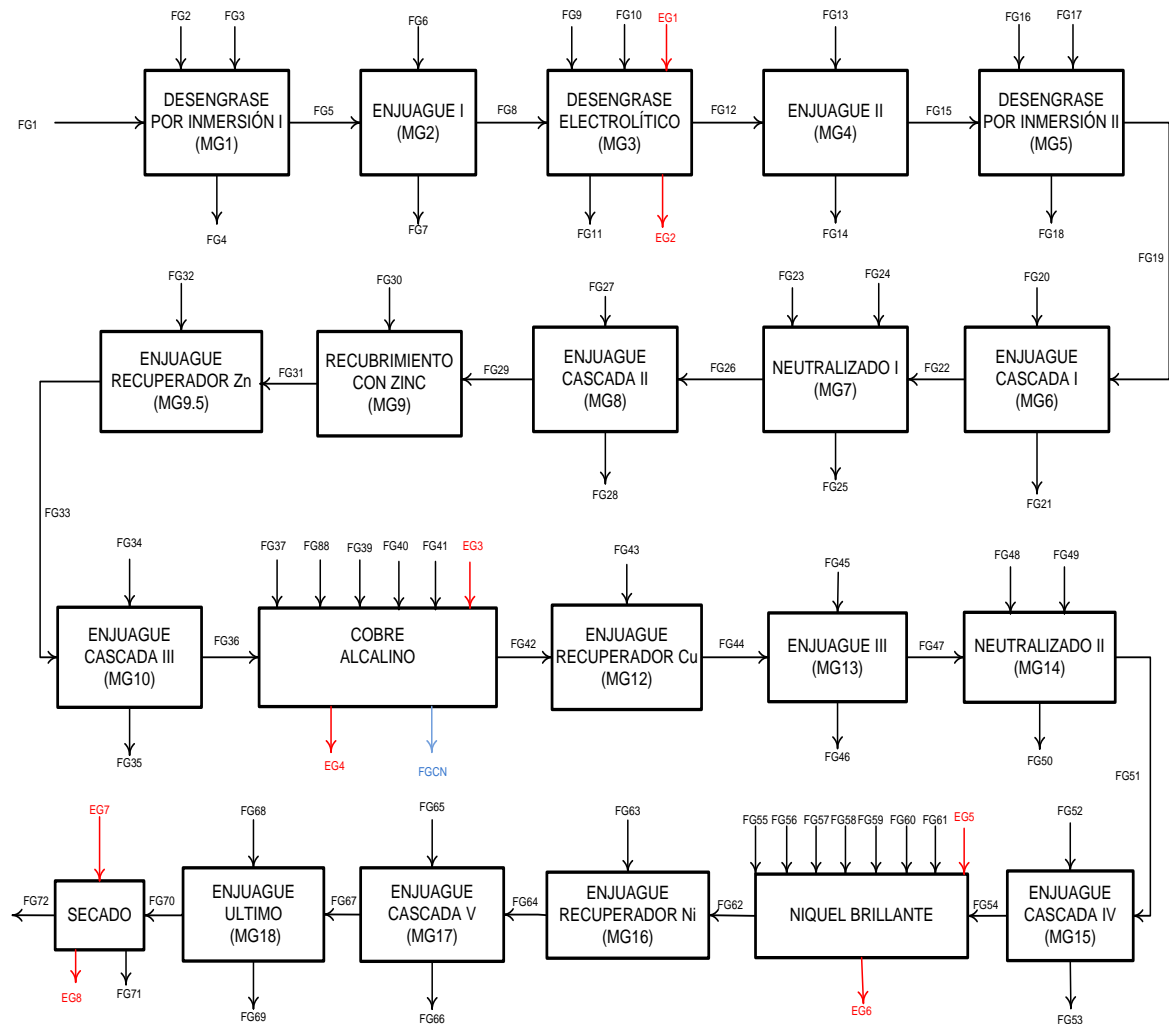


Montaje 1. En este proceso se abren los huecos de la pata julia. Para ello se utiliza un taladro industrial; con el cual una broca de 5 mm rectifica el punto del roscado. Para darle una superficie curva a este punto y así facilitar el roscado, se usa un avellanador 3/8". Luego se rectifican los extremos de la pieza utilizando una broca de 5,5 mm. Para mantener lubricada la broca y así evitar que ésta se quiebre en el proceso, se usa taladrina como lubricante.

Pulido con lengüeta. Se aplica en la base y luego en el cuerpo de la pata julia, logrando así un alisado en la superficie de toda la pieza y dejándola lista para realizarle el recubrimiento electrolítico.



PROCESO II: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO I.



RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO: Este es el primer recubrimiento que se le hace al cuerpo de la pata julia (zinc, cobre y níquel sucesivamente). Debido a la geometría que esta pieza presenta se utilizan unos bastidores únicos para ella, los cuales sujetan la pieza mientras se hace pasar por cada uno de los baños, como se puede apreciar en la siguiente figura. Los baños que se realizan a esta pieza son los que se describen a continuación.



Desengrase por inmersión y enjuague. Se utiliza un desengrasante, en este caso Bycleane A-11 para eliminar los residuos de aceites y grasas que la pieza arrastra de etapas anteriores. Esto se realiza durante aproximadamente 2 minutos y seguidamente a la pieza se le realiza un enjuague con el fin de eliminar los restos alcalinos precedentes del desengrase (Véase la figura 7).



Desengrase electrolítico y enjuague II. Se utiliza un desengrasante alcalino en este caso el desengrasante Z-120 y se realiza a una temperatura de 50 a 55°C durante 2 minutos aproximadamente. Una vez realizado esto la pieza es enjuagada para eliminar trazas de contaminantes.



Desengrase por inmersión, enjuague tipo cascada y neutralizado. El desengrasante utilizado es el Novaclean ZAP. El neutralizado se realiza con ácido nítrico a una concentración de 200 mL/L, con el objetivo de eliminar capas de óxido formadas en la pieza durante los enjuagues.



Recubrimiento con Zn, enjuague recuperador y enjuague tipo cascada. Se realiza un recubrimiento con zinc a las piezas fabricadas en aluminio para mejorar la posterior adherencia del cobre. Seguidamente hay un enjuague para recuperar el Zn que no se adhirió, el cual también es usado como rectificador del baño de zinc.



Recubrimiento con cobre y enjuague recuperador. El recubrimiento con cobre se realiza para mejorar la adherencia del níquel. Para este recubrimiento, los ánodos son barras de cobre, y se utiliza cianuro que ayuda a la adherencia de este metal en la pieza y Sal de Rochelle para mejorar la conductividad del baño. Luego sigue un enjuague que se utiliza para rectificar el baño de cobre.



Enjuague en cascada, neutralizado y enjuague en cascada. El neutralizado se realiza con ácido sulfúrico a una concentración de 4-5 cm³/L. Como se puede apreciar los enjuagues tipo cascada son de renovación continua, donde la salida de un tanque es la entrada del otro.

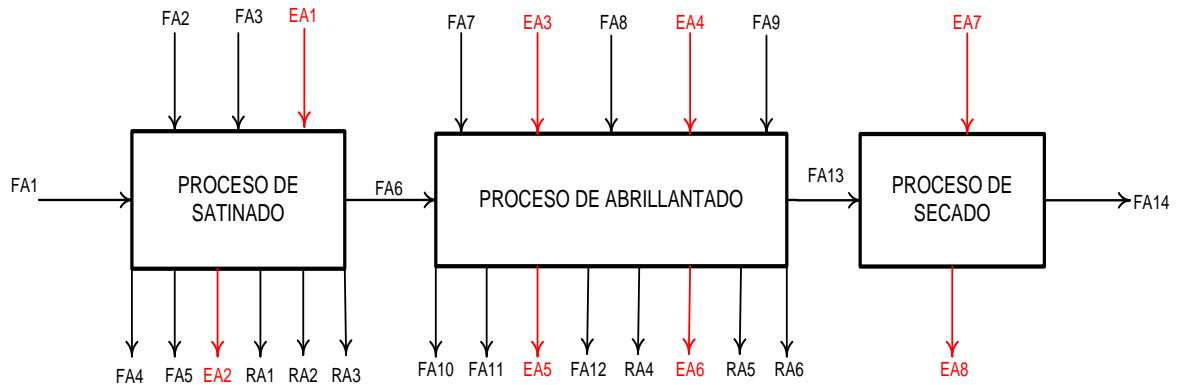


Recubrimiento con níquel, y enjuagues. Se utiliza un ánodo de níquel, y ácido bórico para ajuste de pH para darle un efecto espejo a la pieza se utiliza un abrillantador. Las piezas se depositan alrededor de 20 min o más a una temperatura de 50°C.

Una vez niqueladas las piezas, estas se pasan a una secadora centrífuga, la cual trabaja a una temperatura aproximada de 35°C durante 10 min.



PROCESO III: ACABADO I.



ACABADO: Se realizan los últimos detalles al cuerpo de la pata julia. Dentro de esta etapa se presentan dos procesos que se describen a continuación.

Satinado. Se realiza para quitarle el brillo intenso que la pieza ha adquirido en el niquelado. Para ello se usa una pasta para satinar. En este proceso se utiliza una máquina de rodillo para satinar la cual tiene una felpa que sufre un desgaste.



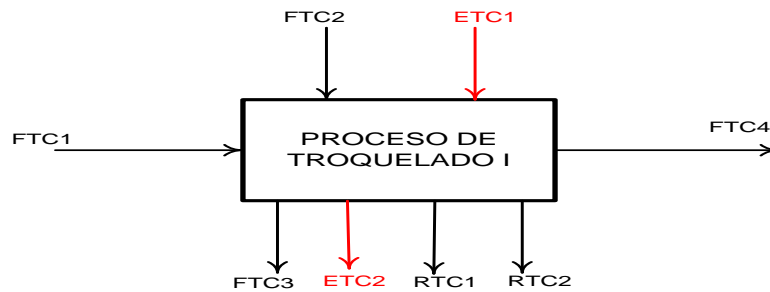
Lacado. En esta etapa se da una capa protectora a la pieza. Se realiza con una pistola aerográfica en una cabina de pintado. Para ello se toman 2 partes de laca, 1 parte de endurecedor (catalizador) y 2 partes de thinner (disolvente). Usando una probeta se pudo estimar que estas 5 partes equivalen a un volumen de 200,84 mL.



Secado. Se realiza en un horno a una temperatura de 40°C durante 15 minutos.



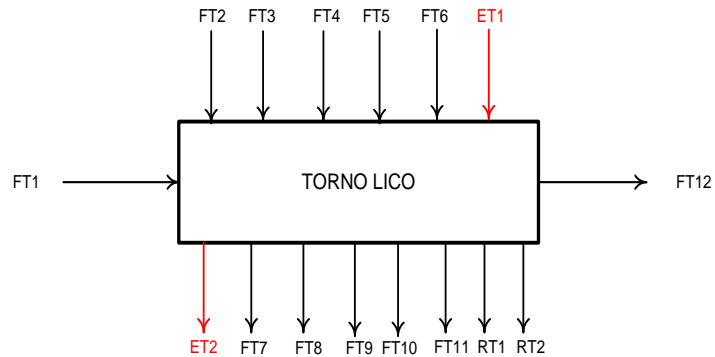
PROCESO IV Y VII: TROQUELADO I Y II. ARANDELA Y CASQUILLO



Estos procesos se realizan para obtener el casquillo y la arandela que irán a formar parte del nivelador de la pata. Para el casquillo, se utiliza una lámina de hierro de 42 mm de ancho x 0,45 mm de espesor. Para la arandela, se utiliza una lámina de hierro de 30 mm de ancho x 0,75 mm de espesor. Para mantener la lubricación de la máquina troqueladora se usa taladrina. Para calcular el consumo de taladrina, se hizo una producción de 717 casquillos, en donde el consumo de la taladrina equivalió a 185 mL. Para estimar la cantidad gastada en la producción de arandelas, se sabe que ésta tiene una relación de producción de 2:1 con respecto a los casquillos.



PROCESO X: TORNO LICO.



El equipo utilizado para realizar este proceso es el mostrado en la figura 18a. En este proceso se forma el tornillo que irá a hacer parte del nivelador de la pata julia y se consume una varilla de 9,53 mm de diámetro. El equipo está constituido por 3 buriles los cuales hacen el formado cilíndrico y cortado de la varilla, y una tarraja la cual hace el efecto espiral que el tornillo tiene. Se utiliza taladrina para mantener la lubricación del sistema.



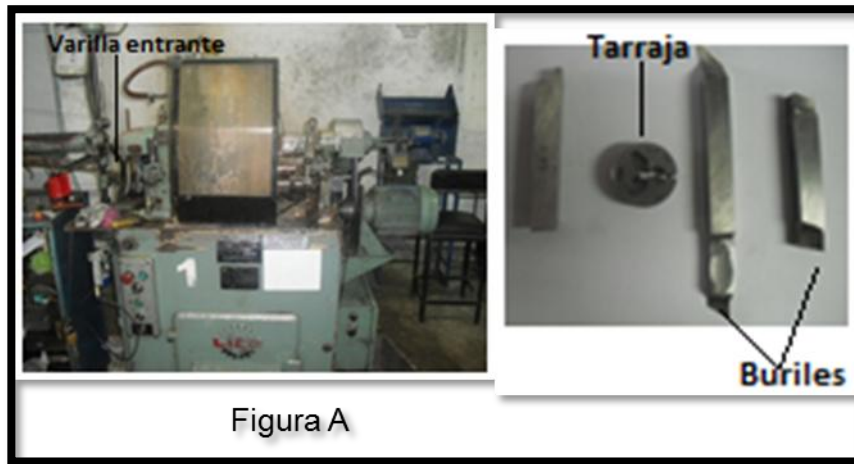
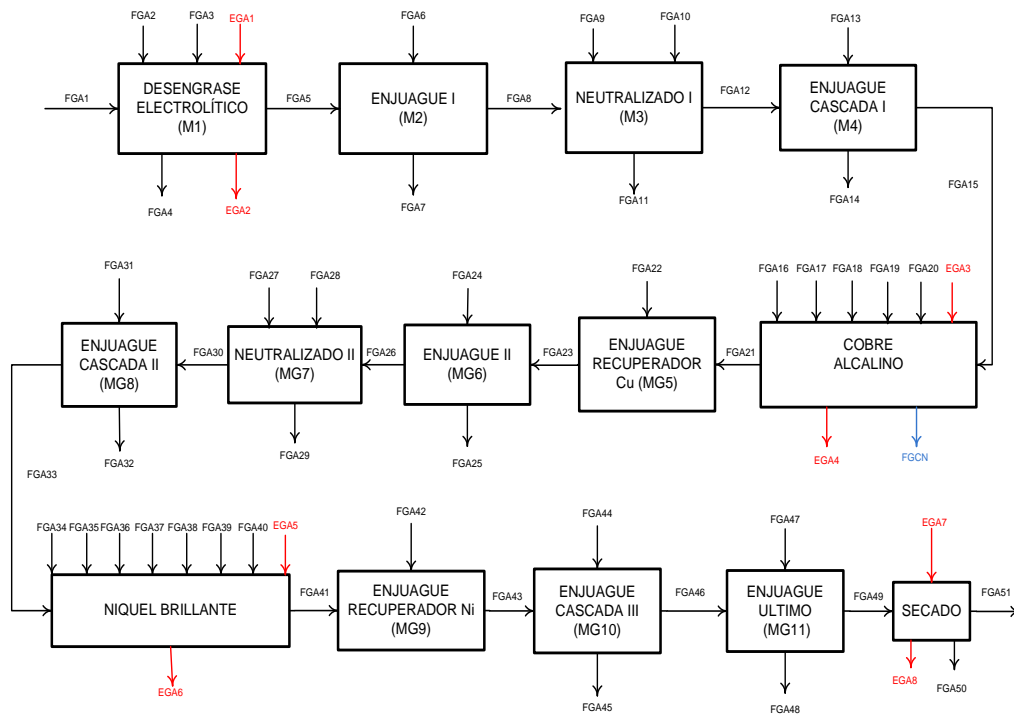


Figura A

PROCESOS V, VIII, XI: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO II, III, IV.

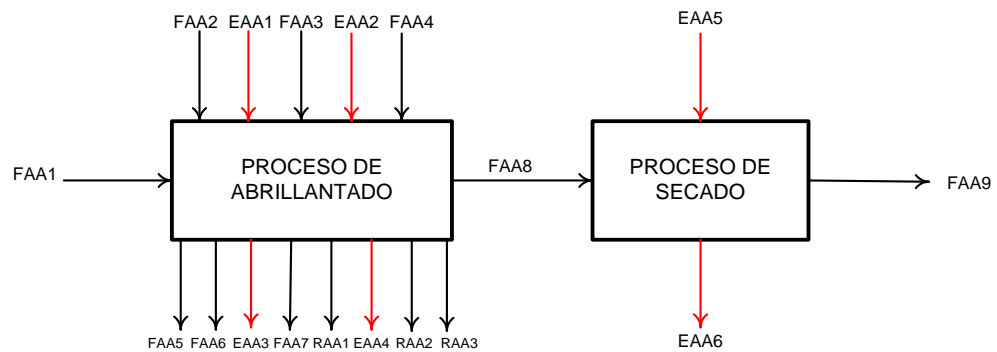


En estos procesos se les realiza el recubrimiento al casquillo, arandela y tornillo. Este proceso es el mismo que se le hace al cuerpo de la pata julia, a diferencia que en este caso no se hace el recubrimiento con zinc ya que el hierro no necesita de este baño para ser recubierto con cobre.

Otra diferencia es el sistema utilizado para pasar las piezas de un baño a otro, ya que para estos casos se usa un tambor donde son depositadas las piezas (ver figura), por tanto se necesitan tanques de mayor volumen, aunque los caudales de agua son los mismos que en el caso del galvanizado con gancheras.

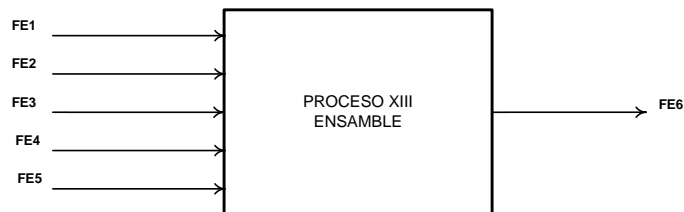


PROCESOS VI, IX Y XII: ACABADO II, III, IV.



Estos procesos son los realizados al casquillo, arandela y tornillo. En estos casos no se realiza el satinado que se le hace al cuerpo de la pata julia. Aquí solo se hace el lacado utilizando la misma solución del cuerpo de la pata julia, seguidamente las piezas son depositadas en el horno a las mismas condiciones que para el caso del cuerpo de la pata julia.

PROCESO XIII: ENSAMBLE.



Se toma el tornillo, el casquillo, la arandela y el yunque de plástico, se ensamblan en una máquina de pedal ayudado por un martillo. Se verifica que el nivelador armado no se gire y esté bien sujeto. En esta etapa los flujos de entrada serán los provenientes de las salidas del proceso de acabado para cada una de las piezas, excepto el yunque de plástico el cual es comprado listo y ensamblado directamente.

Los flujos de salida son los mismos de entrada ya que no se realizó ninguna transformación a las piezas.

El equipo donde se realiza este proceso es el mostrado en la figura, el cual no requiere suministro de energía.

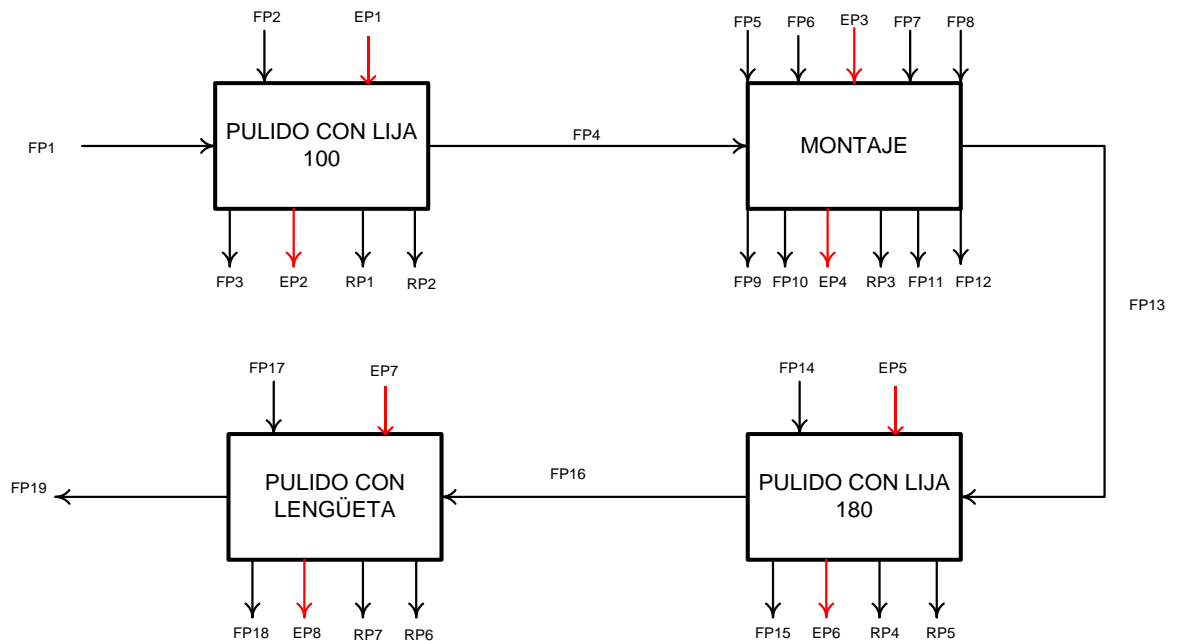
ANEXO B. Balance de masa y energía del proceso de la Pata Julia

DIAGRAMAS DE CADA ETAPA DEL PROCESO CON SUS RESPECTIVOS BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Para cada caso, fueron cuantificados los aspectos ambientales identificados en cada una de las etapas del proceso, siendo éstos: consumo de insumos, consumo de agua, emisiones atmosféricas, generación de residuos y vertimiento de aguas residuales. La unidad funcional escogida es 100 unidades de pata julia producidas, por lo que los datos que se mostrarán a continuación son referidos a esta cantidad.

- **Cuerpo de la Pata Julia**

PROCESO I: PRETRATAMIENTO MECÁNICO



BALANCE DE ENERGÍA:

Proceso Unitario	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100PJ
PULIDO CON LIJA 100	4060	EP1	Energía para pulidora	220	3,8	5878,8
		EP2	Energía disipada + Energía útil	220	3,8	5878,8
MONTAJE	4200	EP3	Energía para el Taladro	220	3,4	5441,4
		EP4	Energía disipada + Energía útil	220	3,4	5441,4
PULIDO CON LIJA 180	2625	EP5	Energía para pulidora	220	3,8	3800,9
		EP6	Energía disipada + Energía útil	220	3,8	3800,9
PULIDO CON LENGÜETA	2350	EP7	Energía para pulidora	220	3,8	3402,8
		EP8	Energía disipada + Energía útil	220	3,8	3402,8

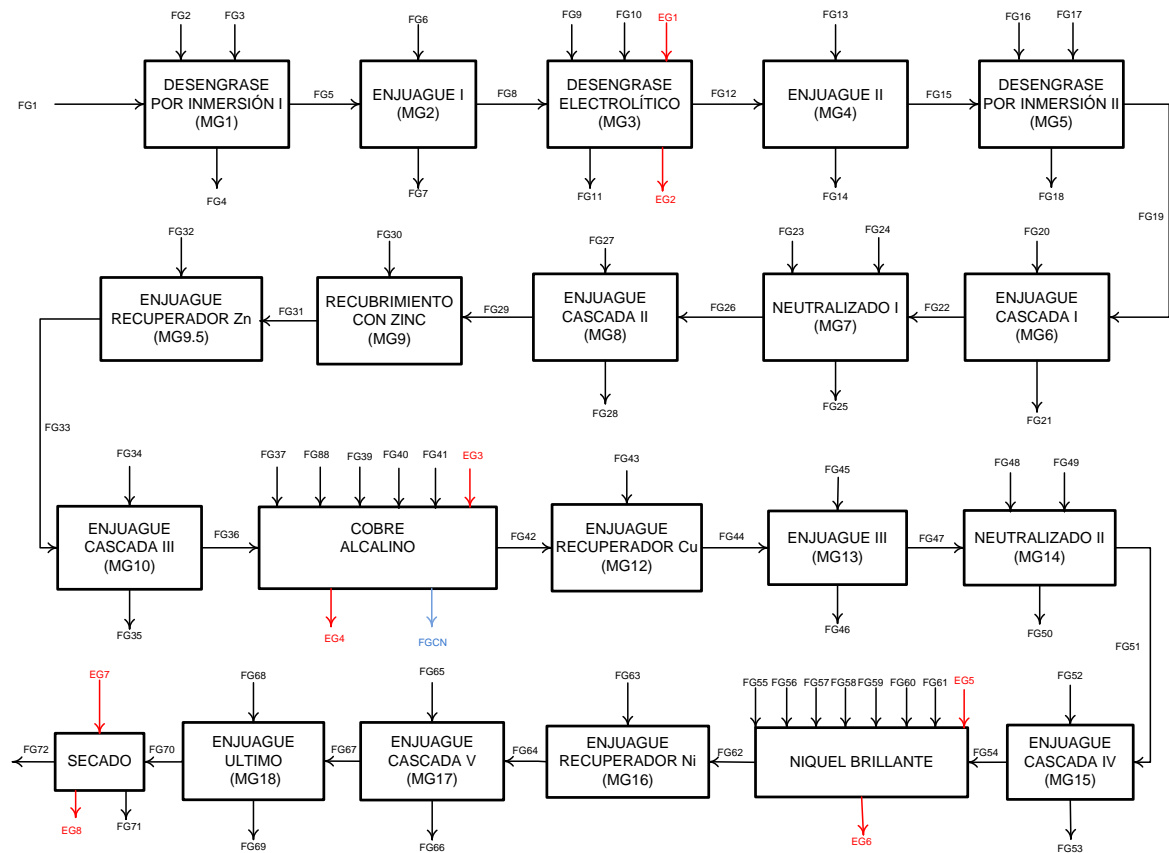
BALANCE DE MASA

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant. en la corr. Stma.[kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons de insumo. [kg]
PULIDO CON LIJA 100	FP1	Cuerpo de Pata Julia	7,980	Sólido	LIJA 100	0,0040
	FP2	Lija 100	3,3E-2	Sólido		
	FP3	Lija 100	2,9E-2	Sólido		
	FP4	Cuerpo de Pata Julia	7,920	Sólido		
	RP1	Polvo de lija	4E-3	Sólido		
	RP2	Partículas de aluminio	6E-2	Sólido		
MONTAJE	FP5	Broca de Fe de 5 mm	8,1E-3	Sólido	Broca 5 mm	0,0081
	FP6	Avellanador de 5/8 de 82	2E-2	Sólido	Broca 5.5 mm	0,0087
	FP7	Broca de Fe de 5.5 mm	8,7E-3	Sólido		
	FP8	Taladrina	3,9E-3	Líquido	Avellanador de 5/8	0,0200
	FP9	Broca de Fe de 5 mm	8,1E-3	Sólido		
	FP10	Broca de Fe de 5.5 mm	8,7E-3	Sólido		
	FP11	Avellanador de 5/8 de 82	2E-2	Sólido	Taladrina	0,0039
	FP12	Taladrina	3,9E-3	Líquido		
FP13	Cuerpo de Pata Julia	7,810	Sólido			

	RP3	Virutas de aluminio	1,1E-1	Sólido		
PULIDO CON LIJA 180	FP14	Lija 180	2,2E-2	Sólido	LIJA 180	0,0021
	FP15	Lija 180	1,9E-2	Sólido		
	FP16	Cuerpo de Pata Julia	7,774	Sólido		
	RP4	Partículas de aluminio	3,6E-2	Sólido		
	RP5	Polvo de lija	2,1E-3	Sólido		
PULIDO CON LENGÜET A	FP17	Lengüeta	7,1E-1	Sólido	LENGÜET A	0,2750
	FP18	Lengüeta	4,4E-1	Sólido		
	FP19	Cuerpo de Pata Julia	7,711	Sólido		
	RP6	Polvo de lengüeta	2,8E-2	Sólido		
	RP7	Partículas de aluminio	6,3E-2	Sólido		

BALANCE DE MASA:

PROCESO II: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO



BALANCE DE ENERGÍA:

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
DESENGRASE ELECTROLÍTICO	80	EG1	Energía para el D. E	220	1,8	31,68
		EG2	Energía disipada + Energía útil	220	1,8	31,68
COBRE ALCALINO	300	EG3	Energía para el Cu	220	34	2244
		EG4	Energía disipada + Energía útil	220	34	2244
NIQUEL BRILLANTE	1200	EG5	Energía para el Ni	220	20	5280
		EG6	Energía disipada + Energía útil	220	20	5280
SECADO	600	EG7	Energía de Secado	220	10,2	2332,033
		EG8	Energía disipada + Energía útil	220	10,2	2332,033

BALANCE DE MASA:

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
DESENGRASE POR INMERSIÓN I	FG1	Cuerpo de Pata Julia	7,711	Sólido	Bycleane A-11	0,067
	FG2	Agua	3,2E-1	Líquido		
	FG3	Bycleane A-11	6,7E-2	Líquido		
	FG4	Efluente	3,8E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FG4	Agua	3,2E-1	Líquido	Agua	0,316
		Bycleane A-11	6,7E-2	Líquido		
		Otros	4,5E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	5,9E-5	Líquido		
ENJUAGUE I	FG6	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG7	Efluente	1,416	Líquido		
	sustancias presentes en FG7	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	2,7E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,3E-4	Líquido		
DESENGRASE ELECTROLÍTICO	FG9	Agua	1,060	Líquido	Desengras Z-120	0,052
	FG10	Desengrase Z-120	5,3E-2	Sólido		
	FG11	Efluente	1,121	Líquido	Agua	1,060
		Agua	1,060	Líquido		

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
	sustancias presentes en FG11	Desengrase Z-120	5,3E-2	Sólido		
		Otros	6,8E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,7E-4	Líquido		
		Residuo de Al	7,1E-4	Líquido		
ENJUAGUE II	FG13	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG14	Efluente	1,423	Líquido		
	sustancias presentes en FG14	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	9,7E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,7E-4	Líquido		
		Residuo de Al	2,3E-6	Líquido		
DESENGRASE POR INMERSIÓN II	FG16	Agua	3,4E-1	Líquido	Novaclean ZAP	0,016
	FG17	Novaclean ZAP	1,7E-2	Sólido		
	FG18	Efluente	3,8E-1	Líquido		
	sustancias presentes	Agua	3,4E-1	Líquido	Agua	0,337
		Novaclean ZAP	1,7E-2	Sólido		
		Otros	2,1E-2	Líquido		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
ENJUAGUE CASCADA I	FG20	Agua	1,423	Líquido	Agua	1,426
	FG21	Efluente	1,426	Líquido		
	sustancias presentes en FG21	otros	2,6E-3	Líquido		
		Agua	1,4233	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,9E-4	Líquido		
NEUTRALIZADO I	FG23	Agua	3,2E-1	Líquido	Ácido Nítrico	0,094
	FG24	Ácido nítrico	9,5E-2	Líquido		
	FG25	Efluente	5,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FG25	Agua	3,2E-1	Líquido	Agua	0,316
		Ácido nítrico	9,5E-2	Líquido		
		Otros	1,7E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	6,2E-5	Líquido		
		Residuo de Al	9,1E-2	Líquido		

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
ENJUAGUE CASCADA II	FG27	Agua	1,423	Líquido	Agua	1,423
	FG28	Efluente	1,434	Líquido		
	sustancias presentes en FG28	Agua	1,423	Líquido		
		Otros	1,1E-2			
	Grasas y Aceites	1,9E-4	Líquido			
RECUBRIMIENTO CON ZINC	FG30	Solución de Zincato	6,3E-1	Líquido	Solución de Zincato	0,627
ENJUAGUE RECUPERADO Zn	FG32	Agua	1,423	Líquido	Agua	1,423
ENJUAGUE CASCADA III	FG34	Agua	1,423	Líquido	Agua	1,423
	FG35	Efluente	1,456	Líquido		
	sustancias presentes en FG35	Agua	1,423	Líquido		
		Otros	3,3E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,7E-4	Líquido		
	Residuo de Zn	3,9E-5	Líquido			
COBRE ALCALINO	FG37	Agua	12,353	Líquido	Agua	12,353
	FG38	Cobre metálico	3,8E-2	Líquido	Cu metálic	0,037
	FG39	Cianuro de Cu	1,1E-1	Líquido	CN de Cu	0,112
	FG40	Cianuro de Na	1,5E-1	Líquido	CN de Na	0,151
	FG41	Sal de Rochelle	5,1E-2	Líquido	Sal de Rochelle	0,050
	FGCN	Emisiones Cianuro	0,111	Gas		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins.[kg]
ENJUAGUE CASCADA IV	FG45	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG46	Efluente	1,436	Líquido		
	sustancias presentes en FG46	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	2,2E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,2E-4	Líquido		
		Residuo de Zn	1,8E-5	Líquido		
	Residuo de CN	4,7E-6	Líquido			

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
		Residuo de Cu	2,4E-6	Líquido		
NEUTRALIZADO II	FG48	Agua	5,621	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,045
	FG49	Ácido Sulfúrico	4,6E-2	Líquido		
	FG50	Efluente	5,810	Líquido		
	sustancias presentes en FG50	Agua	5,621	Líquido	Agua	5,621
		Ácido Sulfúrico	4,6E-2	Líquido		
		Otros	1,4E-1	Líquido		
		Grasas y Aceites	5,6E-4	Líquido		
		Residuo de Zn	1,2E-4	Líquido		
	Residuo de CN	2,3E-4	Líquido			
Residuo de Cu	6E-5	Líquido				
ENJUAGUE CASCADA V	FG52	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG53	Efluente	1,424	Líquido		
	sustancias presentes en FG53	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	1,1E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,5E-4	Líquido		
		Residuo de Zn	1,3E-5	Líquido		
		Residuo de CN	3,6E-5	Líquido		
	Residuo de Cu	6,1E-6	Líquido			
NIQUIEL BRILLANTE	FG55	Agua	1,038	Líquido	Agua	0,000
	FG56	Sulfato de Níquel	4,6E-2	Líquido	Sulfa de Ni	0,046
	FG57	Cloruro de Níquel	2,8E-2	Líquido	Cloru de Ni	0,027
	FG58	Ácido Bórico	1,9E-2	Líquido	Ác. Bórico	0,019
	FG59	Contenido de base	4,2E-2	Líquido	Cont. base	0,041
	FG60	Abrillantante	7E-2	Líquido	Abrillantte	0,069
	FG61	Ánodos de Níquel	9,3E-1	Sólido	Ánod de Ni	0,929
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la	Cant.Corr. en el stma	Estado	Insumo	Cant. Cons.Ins[

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
		corriente	[kg]			kg]
ENJUAGUE CASCADA VI	FG65	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG66	Efluente	1,426	Líquido		
	sustancias presentes en FG66	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	1,3E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	2E-4	Líquido		
		Residuo de Zn	1,8E-5	Líquido		
		Residuo de CN	2,9E-5	Líquido		
	Residuo de Ni	5,1E-6	Líquido			
ENJUAGUE ULTIMO	FG68	Agua	1,413	Líquido	Agua	1,413
	FG69	Efluente	1,425	Líquido		
	sustancias presentes en FG69	Agua	1,413	Líquido		
		Otros	1,1E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,7E-4	Líquido		
		Residuo de Zn	2,1E-5	Líquido		
		Residuo de CN	1,2E-5	Líquido		
	Residuo de Ni	1,2E-6	Líquido			
SECADO	FG70	Cuerpo de Pata Julia	8,309	sólido		
	FG71	Agua	3,2E-1	Líquido		
	FG72	Cuerpo de Pata Julia	7,990	sólido		

Para estimar las emisiones de cianuro, se determinó cuánto de este compuesto estaba entrando al baño de cobre como NaCN y como CuCN para ello se hicieron las siguientes relaciones:

Las 100 pata julias procesadas están consumiendo 150 g de NaCN.

$$150 \text{ g NaCN} * \frac{1 \text{ mol NaCN}}{48,99 \text{ g NaCN}} * \frac{1 \text{ mol Na}}{1 \text{ mol NaCN}} * \frac{22,99 \text{ g Na}}{1 \text{ mol Na}} = 70,39 \text{ g Na}$$

$$150 \text{ g NaCN} * \frac{1 \text{ mol NaCN}}{48,99 \text{ g NaCN}} * \frac{1 \text{ mol CN}}{1 \text{ mol NaCN}} * \frac{26 \text{ g CN}}{1 \text{ mol CN}} = 79,61 \text{ g CN}$$

Las 100 pata julias procesadas están consumiendo 110 g de CuCN

$$110 \text{ g CuCN} * \frac{1 \text{ mol CuCN}}{89,55 \text{ g CuCN}} * \frac{1 \text{ mol Cu}}{1 \text{ mol CuCN}} * \frac{63,55 \text{ g Cu}}{1 \text{ mol Cu}} = 78,06 \text{ g Cu}$$

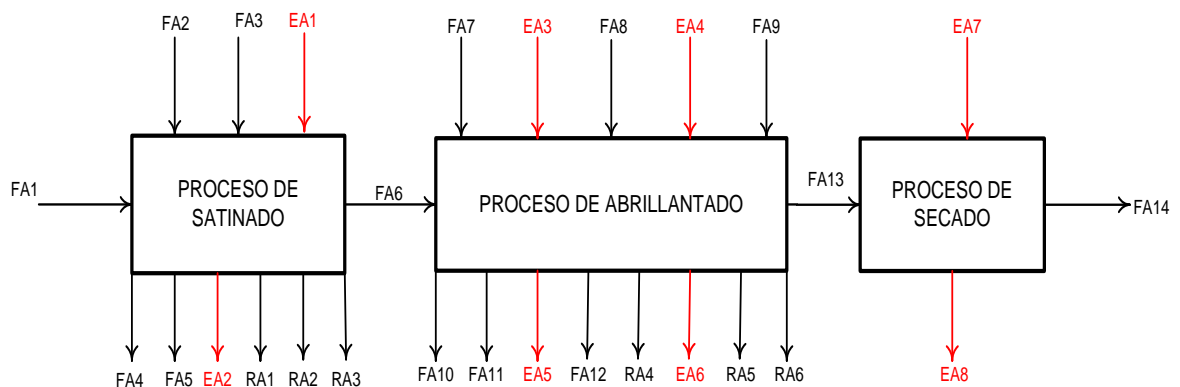
$$110 \text{ g NaCN} * \frac{1 \text{ mol CuCN}}{89,55 \text{ g CuCN}} * \frac{1 \text{ mol CN}}{1 \text{ mol CuCN}} * \frac{26 \text{ g CN}}{1 \text{ mol CN}} = 31,84 \text{ g CN}$$

En total están entrando 111,45 g de CN, a esta cantidad se le restan los valores de este compuesto encontrados en cada cuba y se asume que esta es la emisión de CN.

El valor de otros hace referencia a las sustancias que no fueron tenidas en cuenta en las caracterizaciones como los sólidos suspendidos, los compuestos utilizados en los baños de cobre y níquel, entre otros.

Este procedimiento se realizó a los recubrimientos realizados a las otras piezas.

PROCESO III: ACABADO I



BALANCE DE ENERGÍA:

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Vol. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
SATINADO	2322,22	EA1	Energía maq. satinadora	220	3	2654,656
		EA2	Energía disipada + E. útil	220	3	2654,656
LACADO	300	EA3	Energía para Paint zoom	220	2,7	308,651
		EA4	Energía para maq. Extrac.	220	1	114,315
		EA5	Energía disipada + E. útil	220	2,7	308,651
		EA6	Energía disipada + E. útil	220	1	114,315
SECADO	900	EA7	Energía de secado	1,52E-4	9580,9	1308,08
		EA8	calor por radiación	1,52E-4	9580,9	1308,08

BALANCE DE MASA:

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant..corr.en el stma. [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. insumos [kg]
SATINADO	FA1	Cuerpo de Pata Julia	7,990	Sólido	Pasta para satinar	0,295
	FA2	Pasta para satinar	1,400	Sólido		
	FA3	Felpa	1,351	Sólido		
	FA4	Pasta para satinar	1,105	Sólido		
	FA5	Felpa	1,349	Sólido	Felpa	0,002
	RA1	Residuo de pasta para satinar	2,9E-1	Sólido		
	RA2	Residuo de Felpa	2E-3	Sólido		
	RA3	Residuo del recubrimiento	7E-3	Sólido		
LACADO	FA6	Cuerpo de Pata Julia	7,983	Sólido	Laca	0,204
	FA7	Laca	7,8E-1	Líquido		
	FA8	Endurecedor	4,1E-1	Líquido		
	FA9	Thinner	6,9E-1	Líquido	Endurecedor	0,106
	FA10	Laca	5,8E-1	Líquido		
	FA11	Endurecedor	3,1E-1	Líquido		
	FA12	Thinner	5,1E-1	Líquido	Thinner	0,179
	RA4	Residuo de laca	1,6E-1	Líquido		
	RA5	Residuo de endurecedor	8,2E-2	Líquido		

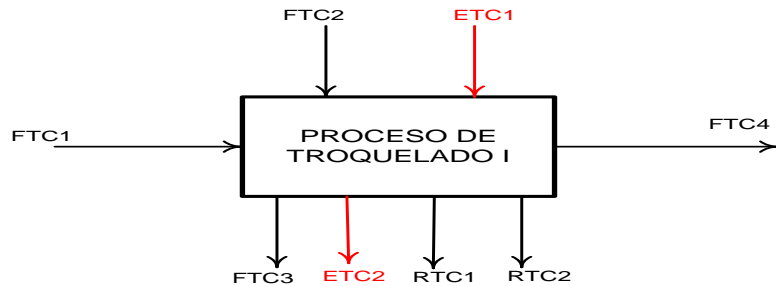
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant..corr.en el stma. [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. insumos [kg]
	RA6	Residuo de thinner	1,3E-1	Líquido		
SECADO	FA13	Cuerpo de Pata Julia	8,184	Sólido		

LANCE DE MASA:

Lucradas en la corriente

- Casquillo

PROCESO IV: TROQUELADO I



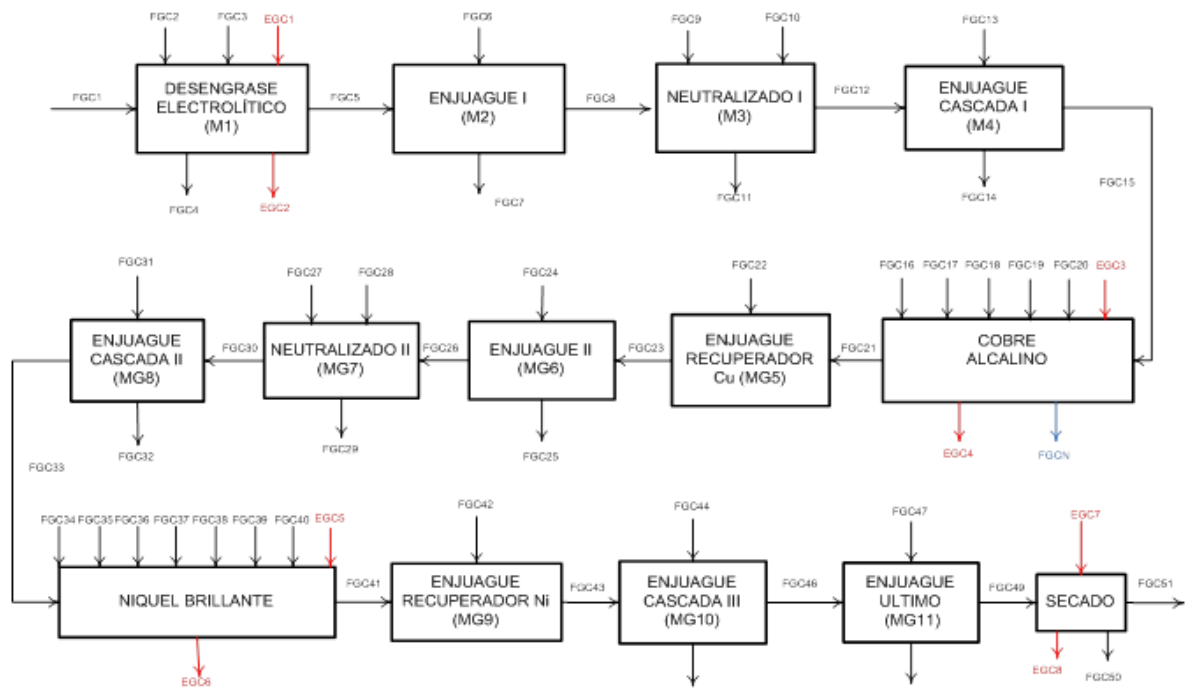
BALANCE DE ENERGÍA:

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Am. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
TROQUELADO	72	ETC1	Energía para Troquel	220	8	219,485
		ETC2	Energía disipada + Energía útil	220	8	219,485

BALANCE DE MASA:

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cantidad corr. en el sistema [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Insumos [kg]
TROQUELADO 1	FTC1	Lámina de hierro	8,8E-1	Sólido	Lamina de hierro	0,880
	FTC2	Taladrina	3,350	Líquido		
	FTC4	Casquillo	4,5E-1	Sólido		
	FTC3	Taladrina	3,177	Líquido	Taladrina	
	RTC1	Residuo de hierro	3,8E-1	Sólido		
	RTC2	Taladrina	1,7E-1	Líquido		

PROCESO V: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO



BALANCE DE ENERGÍA:

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Vol. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100PJ
DESENGRASE	600	EGC1	Energía para el D. E	220	1,8	237,6
ELECTROLÍTICO		EGC2	Energía disipada + Energía útil	220	1,8	237,6
COBRE ALCALINO	2700	EGC3	Energía para el Cobrizado	220	34	20196
		EGC4	Energía disipada + Energía útil	220	34	20196
NIQUEL BRILLANTE	3600	EGC5	Energía para el Niquelado	220	20	15840
		EGC6	Energía disipada + Energía útil	220	20	15840
SECADO	300	EGC7	Energía de Secado	220	10,2	1166,016
		EGC8	Energía disipada + Energía útil	220	10,2	1166,016

BALANCE DE MASA:

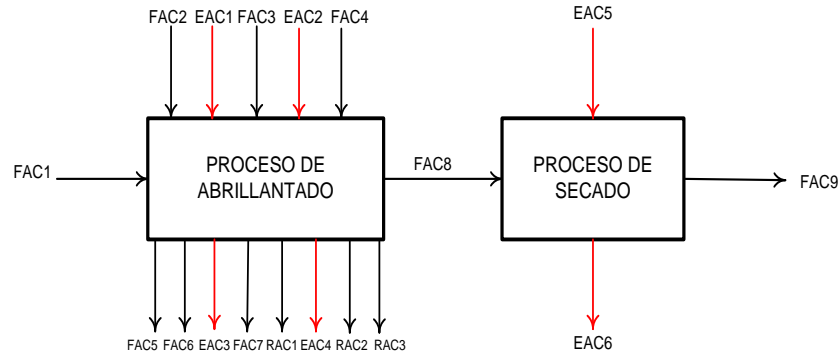
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
DESENGRASE	FGC1	Casquillo	4,9E-1	Sólido	Agua	0,0268
	FGC2	Agua	2,7E-2	Líquido		
	FGC3	Novaclean ZAM	1,3E-3	Líquido		
	FGC4	Efluente	2,8E-2	Líquido		
ELECTROLÍTICO	sustancias presentes en FGC4	Agua	2,7E-2	Líquido	Novaclean ZAM	0,0013
		Novaclean ZAM	1,4E-3	Líquido		
		otros	4,4E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	3,4E-6	Líquido		
		Residuos de CN	1E-10	Líquido		
		Residuos de Cu	3,9E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	1,4E-8	Líquido		
		Residuos de Fe	4,1E-8	Líquido		
ENJUAGUE I	FGC6	Agua	9,1E-2	Líquido	Agua	0,0905
	FGC7	Efluente	9,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes	Agua	9,1E-2	Líquido		
		Otros	1,8E-4	Líquido		
		Residuos de Cu	6,7E-8	Líquido		

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
	en FGC7	Residuos de Ni	5,1E-7	Líquido		
		Residuo Fe	4,3E-8	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,3E-5	Líquido		
NEUTRALIZADO I	FGC9	Agua	1,1E-1	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,0008
	FGC10	Ácido Sulfúrico	8,2E-4	Líquido		
	FGC11	Efluente	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGC11	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,1142
		Ácido Sulfúrico	8,2E-4	Líquido		
		Otros	3E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,1E-5	Líquido		
		Residuos de CN	1,4E-9	Líquido		
		Residuos de Cu	9,2E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	7,6E-7	Líquido		
Residuo de Fe	4,7E-7	Líquido				
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons.Ins[kg]
ENJUAGUE CASCADA I	FGC13	Agua	9,1E-2	Líquido	Agua	0,1142
	FGC14	Efluente	9,4E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC14	Agua	9,1E-2	Líquido		
		Otros	3,3E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,5E-5	Líquido		
		Residuos de CN	7,2E-9	Líquido		
		Residuos de Cu	7,8E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	4,4E-7	Líquido		
		Residuo de Fe	1,5E-7	Líquido		
COBRE ALCALINO	FGC16	Agua	0,148	Líquido	Agua	0,148
	FGC17	Cobre metálico	2,8E-3	Líquido	Cu metálico	0,0028
	FGC18	Cianuro de Cu	5,4E-3	Líquido	CN de Cu	0,0054
	FGC19	Cianuro de Na	7,7E-3	Líquido	CN de Na	0,0077
	FGC20	Sal de Rochelle	4,6E-4	Líquido	Sal de Rochelle	0,0004
	FGCN	Emisiones de CN	1,3E-2	Líquido		

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
ENJUAGUE RECUPERADOR Cu	FGC22	Agua	9,1E-2	Líquido	Agua	0,0906
ENJUAGUE II	FGC24	Agua	9E-2	Líquido	Agua	0,0905
	FGC25	Efluente	9,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC25	Agua	9E-2	Líquido		
		Otros	6,3E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,1E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	3,3E-7	Líquido		
		Residuos de CN	6,9E-6	Líquido		
		Residuos de Ni	6,2E-7	Líquido		
Residuos de Cu	1,9E-5	Líquido				
NEUTRALIZADO II	FGC27	Agua	7,6E-2	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,0008
	FGC28	Ácido Sulfúrico	8,2E-4	Líquido		
	FGC29	Efluente	7,7E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC29	Agua	7,6E-2	Líquido		
		Ácido Sulfúrico	8,2E-4	Líquido		
		Otros	3,1E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	6,5E-8	Líquido		
	Agua	Residuo de Fe	2,3E-7	Líquido		
Residuo de CN		3,6E-6	Líquido			
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
ENJUAGUE CASCADA II	FGC31	Agua	9E-2	Líquido	Agua	0,0905
	FGC32	Efluente	9,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC32	Agua	9E-2	Líquido		
		Otros	7,1E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,1E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	2,1E-7	Líquido		
		Residuos de CN	3,4E-6	Líquido		
Residuos de Ni	4,3E-6	Líquido				

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. Ins [kg]
		Residuos de Cu	6,1E-7	Líquido		
NIQUIEL BRILLANTE	FGC34	Agua	0,029	Líquido	Agua	0,029
	FGC35	Sulfato de Níquel	9,8E-4	Líquido	Sulfat de Ni	0,0009
	FGC36	Cloruro de Níquel	3,6E-4	Líquido	Clorur de Ni	0,0003
	FGC37	Ácido Bórico	3,3E-4	Líquido	Ácido Bórico	0,0003
	FGC38	Contenido de base	3,5E-3	Líquido	Cont. base	0,0035
	FGC39	Abrillantante	7E-3	Líquido	Abrillantant	0,0070
	FGC40	Ánodos de Níquel	1,421	Sólido	Ánodos d Ni	1,421
ENJUAGUE RECUPERADOR Ni	FGC42	Agua	9E-2	Líquido	Agua	0,0906
ENJUAGUE CASCADA III	FGC44	Agua	9E-2	Líquido	Agua	0,0905
	FGC45	Efluente	9,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC45	Agua	9E-2	Líquido		
		Otros	2,4E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,3E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	8,7E-8	Líquido		
		Residuos de CN	1,3E-8	Líquido		
Residuos de Ni	3,5E-5	Líquido				
ENJUAGUE ULTIMO	FGC47	Agua	9,1E-2	Líquido	Agua	0,0905
	FGC48	Efluente	9,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGC48	Agua	9,1E-2	Líquido		
		Otros	7,6E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,2E-5	Líquido		
		Residuo de CN	1,1E-8	Líquido		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons. ins.[kg]
SECADO	FGC49	Casquillo	5,3E-1	Sólido		
	FGC50	Agua	2,1E-2	Líquido		
	FGC51	Casquillo	5,1E-1	Sólido		

PROCESO VI: ACABADO II



BALANCE DE ENERGIA

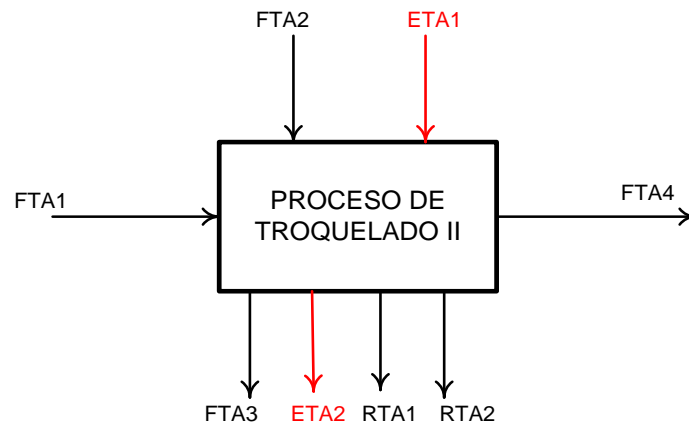
Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt.[V]	Amp. [A]	Energía [kJ/100PJ]
LACADO	177,777	EAC1	Energía para Paint zoom	220	2,7	182,904
		EAC2	Energía para maq. Extract.	220	1	67,742
		EAC3	Energía disipada + E. útil	220	2,7	182,904
		EAC4	Energía disipada + E. útil	220	1	67,742
SECADO	900	EAC5	Energía de secado	1,52E-4	9580,9	1308,08
		EAC6	calor por radiación	1,52E-4	9580,9	1308,08

BALANCE DE MASAProceso o Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg. [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida insumo[kg]
LACADO	FAC1	Casquillo	5,1E-1	Sólido	Laca	0,0034
	FAC2	Laca	1,4E-1	Líquido		
	FAC3	Endurecedor	7,2E-2	Líquido		
	FAC4	Thinner	1,2E-1	Líquido	Endurecedor	0,0018
	FAC5	Laca	1,3E-1	Líquido		
	FAC6	Endurecedor	7E-2	Líquido		
	FAC7	Thinner	1,2E-1	Líquido	Thinner	0,0030
	RAC1	Residuo de laca	3,4E-3	Líquido		

BALANCE DE MASAProceso o Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg. [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida insumo[kg]
	RAC2	Res. de endurecedor	1,8E-3	Líquido		
	RAC3	Residuo de thinner	3E-3	Líquido		
SECADO	FAC8	Casquillo	5,2E-1	Sólido		
	FAC9	Casquillo	5,1E-1	Sólido		

- Arandela

PROCESO VII: TROQUELADO II



BALANCE DE ENERGÍA

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
TROQUELADO	36	ETA1	Energía para Troquel	220	8	109,742
		ETA2	Energía disipada + Energía útil	220	8	109,742

BALANCE DE MASA:

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cantidad [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida insumo [kg]
TROQUELADO II	FTA1	Lamina de hierro	0,147	Sólido	Lamina de hierro	0,1470
	FTA2	Taladrina	1,675	Líquido		
	FTA3	Taladrina	1,588	Líquido		
	FTA4	Arandela	0,100	Sólido	Taladrina	0,0867
	RTA1	Residuo de hierro	0,047	Sólido		
	RTA2	Taladrina	0,086	Líquido		

PROCESO VIII: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO

BALANCE DE ENERGÍA:

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Voltaje [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
DESENGRASE ELECTROLÍTICO	600	EGA1	Energía para el D. E	220	1,8	237,6
		EGA2	Energía disipada + Energía útil	220	1,8	237,6
COBRE ALCALINO	2700	EGA3	Energía para el Cobrizado	220	34	20196
		EGA4	Energía disipada + Energía útil	220	34	20196
NIQUEL BRILLANTE	3600	EGA5	Energía para el Niquelado	220	20	15840
		EGA6	Energía disipada + Energía útil	220	20	15840
SECADO	300	EGA7	Energía de Secado	220	10,2	1166,016
		EGA8	Energía disipada + Energía útil	220	10,2	1166,016

BALANCE DE MASA:

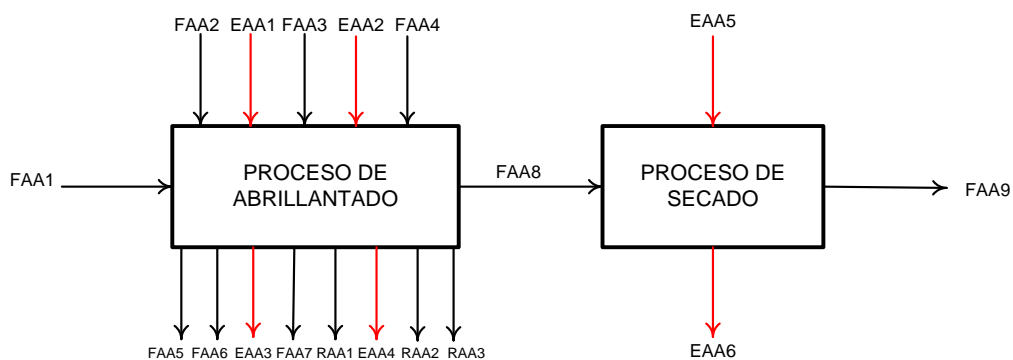
Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
DESENGRASE	FGA1	Arandela	1E-1	Sólido	Agua	0,00543088
	FGA2	Agua	5,4E-3	Líquido		
	FGA3	Novaclean ZAM	2,7E-4	Líquido		
	FGA4	Efluente	5,7E-3	Líquido		
ELECTROLÍTICO	sustancias presentes en FGA4	Agua	5,4E-3	Líquido	Novaclean ZAM	0,00027326
		Novaclean ZAM	2,7E-4	Líquido		
		otros	8,8E-6	Líquido		
		Grasas y Aceites	6,9E-7	Líquido		
		Residuos de Cu	7,9E-9	Líquido		
		Residuos de Ni	2,7E-9	Líquido		
		Residuos de CN	2E-10	Líquido		
		Residuos de Fe	8,1E-9	Líquido		
ENJUAGUE I	FGA6	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,01833
	FGA7	Efluente	18E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA7	Agua	1,8E-2	Líquido		
		otros	3,5E-5	Líquido		
		Residuos de Cu	1,4E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	1,1E-7	Líquido		
		Residuos Fe	8,8E-9	Líquido		
Grasas y Aceites	2,6E-6	Líquido				
NEUTRALIZADO I	FGA9	Agua	2,3E-2	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,0001665
	FGA10	Ácido Sulfúrico	1,7E-4	Líquido		
	FGA11	Efluente	2,3E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA11	Agua	2,3E-2	Líquido	Agua	0,02312
		Ácido Sulfúrico	1,7E-4	Líquido		
		otros	2,3E-2	Líquido		
		Grasas y Aceites	4,3E-6	Líquido		
		Residuos de CN	3E-10	Líquido		

Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
		Residuos de Cu	1,8E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	1,5E-6	Líquido		
		Residuos de Fe	9,5E-8	Líquido		
	FGA19	Cianuro de Na	1,6E-3	Líquido	CN de Na	0,001566
Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
ENJUAGUE RECUPERADOR Cu	FGA22	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,0183
ENJUAGUE II	FGA24	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,01833
	FGA25	Efluente	1,9E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA25	Agua	1,8E-2	Líquido		
		otros	1E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,1E-6	Líquido		
		Residuos de Fe	6,6E-8	Líquido		
		Residuos de CN	1,4E-6	Líquido		
		Residuos de Ni	1,3E-7	Líquido		
Residuos de Cu	3,9E-6	Líquido				
NEUTRALIZADO II	FGA27	Agua	1,5E-2	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,0001665
	FGA28	Ácido Sulfúrico	1,7E-4	Líquido		
	FGA29	Efluente	1,5E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA29	Agua	1,5E-2	Líquido	Agua	0,0154
		Ácido Sulfúrico	1,7E-4	Líquido		
		otros	6,1E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,2E-6	Líquido		
		Residuos de Fe	4,7E-8	Líquido		
		Residuos de CN	7,2E-7	Líquido		
		Residuos de Ni	2,3E-6	Líquido		
Residuos de Cu	3,8E-7	Líquido				
ENJUAGUE	FGA31	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,01833

Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
CASCADA II	FGA32	Efluente	1,9E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA32	Agua	1,8E-2	Líquido		
		otros	1,4E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,1E-6	Líquido		
		Residuos de Fe	4,1E-8	Líquido		
		Residuos de CN	6,9E-7	Líquido		
		Residuos Ni	8,7E-7	Líquido		
		Residuos de Cu	1,2E-7	Líquido		
NIQUIEL BRILLANTE	FGA34	Agua	6E-3	Líquido	Agua	0,0062
	FGA35	Sulfato de Níquel	1,9E-4	Líquido	Sulfato d NI	0,000198
	FGA36	Cloruro de níquel	7,3E-5	Líquido	Cloruro d NI	0,000073
Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
ENJUAGUE RECUPERADOR Ni	FGA42	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,0183
ENJUAGUE CASCADA III	FGA44	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,01833135
	FGA45	Efluente	1,9E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA45	Agua	1,8E-2	Líquido		
		otros	4,8E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,7E-6	Líquido		
		Residuos de Fe	1,8E-8	Líquido		
		Residuos de CN	2,6E-9	Líquido		
		Residuos de Ni	7,1E-6	Líquido		
ENJUAGUE ULTIMO	FGA47	Agua	1,8E-2	Líquido	Agua	0,01833135
	FGA48	Efluente	1,8E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGA48	Agua	1,8E-2	Líquido		
		otros	1,5E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,5E-6	Líquido		
		Residuos de CN	2,2E-9	Líquido		
		Residuos de Ni	3,9E-7	Líquido		

Proceso Unitario	Corriente del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cant.Corr.en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
SECADO	FGA49	Arandela	1,1E-1	Sólido		
	FGA50	Agua	4,1E-3	Líquido		
	FGA51	Arandela	1E-1	Sólido		

PROCESO IX: ACABADO III



BALANCE DE ENERGÍA

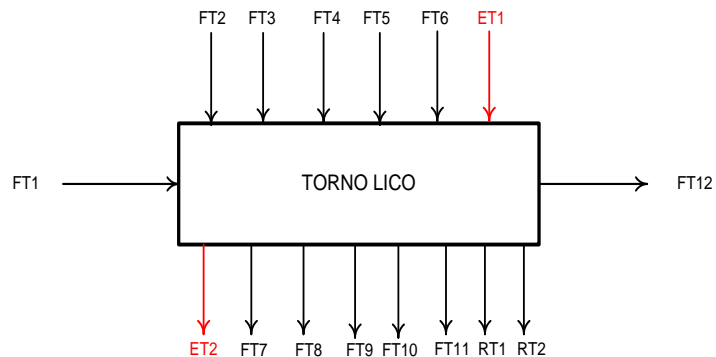
Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
LACADO	88,888	EAA1	Energía para Paint zoom	220	2,7	91,4522
		EAA2	Energía para maq. Extract.	220	1	33,8712
		EAA3	Energía disipada + E. útil	220	2,7	91,4522
		EAA4	Energía disipada + E. útil	220	1	33,8712
SECADO	900	EAA5	Energía de secado	1,52E-4	9580,9	1308,08
		EAA6	calor por radiación	1,52E-4	9580,9	1308,08

BALANCE DE MASA

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant. Corr. en el sistema [kg].	Estado	Insumo	Cantidad Cons. Ins [kg]
LACADO	FAA1	Arandela	0,103	Sólido	Laca	0,0033
	FAA2	Laca	0,137	Líquido		
	FAA3	Endurecedor	0,071	Líquido		
	FAA4	Thinner	0,120	Líquido	Endurecedor	0,0007
	FAA5	Laca	0,133	Líquido		
	FAA6	Endurecedor	0,070	Líquido		
	FAA7	Thinner	0,117	Líquido		
	RAA1	Residuo de laca	0,003	Líquido	Thinner	0,0028
	RAA2	Residuo de endurecedor	0,001	Líquido		
	RAA3	Residuo de thinner	0,002	Líquido		
SECADO	FAA8	Arandela	0,105	Sólido		
	FAA9	Arandela	0,104	Sólido		

- Tornillo

PROCESO X: TORNO LICO



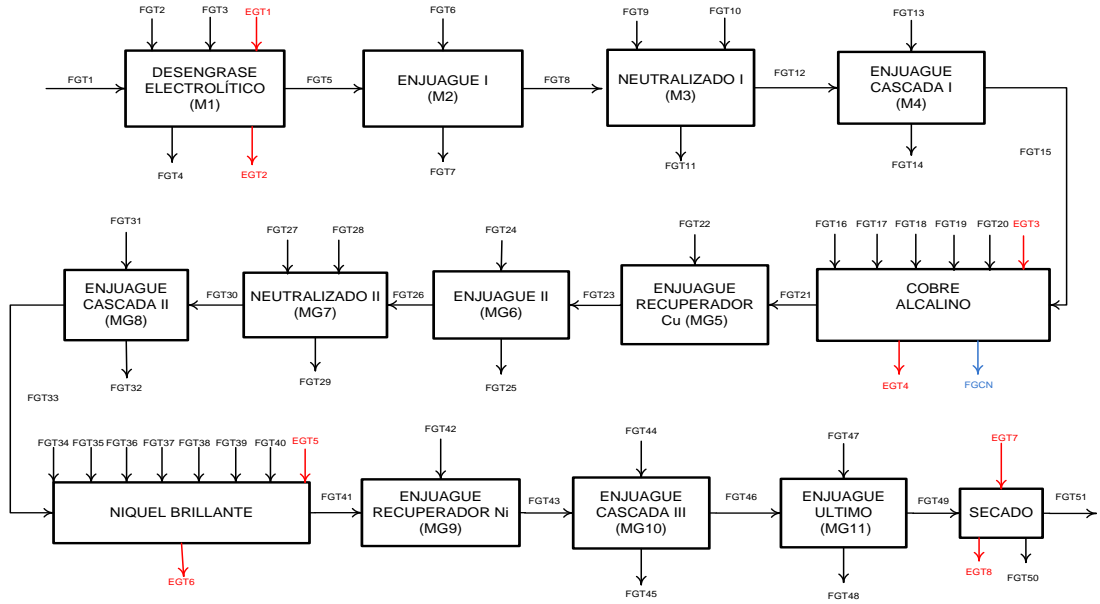
BALANCE DE ENERGÍA

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
TORNO LICO	3000	ET1	Energía para el Torno Lico	220	5,8	6630,2905
		ET2	Energía disipada + Energía útil	220	5,8	6630,2905

BALANCE DE MASA

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en cada corriente	Cantidad [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Consumida Insumo [kg]
TORNOLICO	FTL1	Varilla de hierro (3/8)	1,500	Sólido	Varilla de hierro (3/8)	1,5000
	FTL2	Taladrina	3,546	Líquido		
	FTL3	Buril 1	0,290	Sólido		
	FTL4	Buril 2	0,290	Sólido		
	FTL5	Buril 3	0,290	Sólido		
	FTL6	Tarraja	0,100	Sólido	Buriles	0,8700
	FTL7	Buril 1	0,100	Sólido	Tarraja	0,1000
	FTL8	Buril 2	0,100	Sólido		
	FTL9	Buril 3	0,100	Sólido		
	FTL10	Tarraja	0,100	Sólido		
	FTL11	Taladrina	3,541	Líquido	Taladrina	0,0062
	FTL12	Tornillo	0,600	Sólido		
	RTL1	Partículas de hierro	0,900	Sólido		
	RTL2	Taladrina	0,006	Líquido		

PROCESO XI: RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO



BALANCE DE ENERGÍA

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Volt. [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
DESENGRASE ELECTROLÍTICO	600	EGT1	Energía para el D. E	220	1,8	237,6
		EGT2	Energía disipada + Energía útil	220	1,8	237,6
COBRE ALCALINO	2700	EGT3	Energía para el Cobrizado	220	34	20196
		EGT4	Energía disipada + Energía útil	220	34	20196
NIQUEL BRILLANTE	3600	EGT5	Energía para el Niquelado	220	20	15840
		EGT6	Energía disipada + Energía útil	220	20	15840
SECADO	300	EGT7	Energía de Secado	220	10,2	1166,016
		EGT8	Energía disipada + Energía útil	220	10,2	1166,016

BALANCE DE MASA:

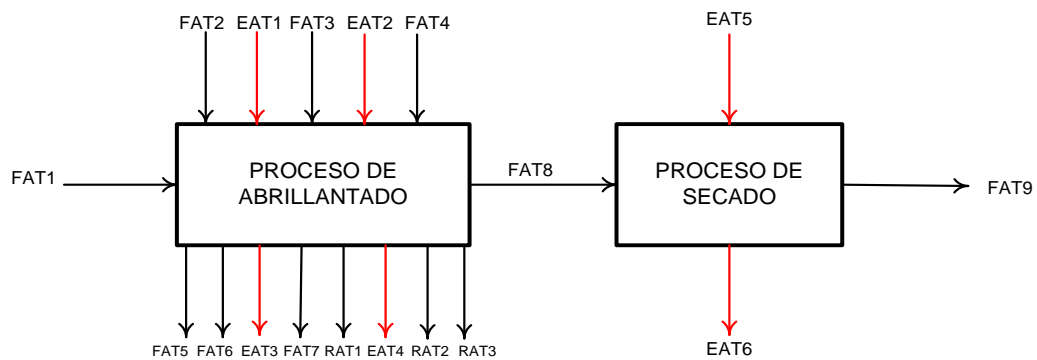
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr.e n el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Cons.Ins [kg]
DESENGRASE ELECTROLÍTICO	FGT1	Tornillo	6E-1	Sólido	Agua	0,032585
	FGT2	Agua	3,3E-2	Líquido		
	FGT3	Novaclean ZAM	1,6E-3	Líquido		
	FGT4	Efluente	4,1E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGT4	Agua	3,3E-2	Líquido	Novaclean ZAM	0,001639
		Novaclean ZAM	1,6E-3	Líquido		
		otros	6,8E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	4,2E-6	Líquido		
		Residuo Cu	4,7E-8	Líquido		
		Residuo Ni	1,6E-8	Líquido		
Residuo de Cianuro		1,2E-9	Líquido			
Residuo de Fe	4,9E-8	Líquido				
ENJUAGUE I	FGT6	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,10998
	FGT7	Efluente	11E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGT7	Agua	11E-1	Líquido		
		otros	2,1E-4	Líquido		
		Residuos de Cu	8,1E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	6,2E-7	Líquido		
		Residuos Fe	5,3E-8	Líquido		
Grasas y Aceites	1,6E-5	Líquido				
NEUTRALIZADO I	FGT9	Agua	1,4E-1	Líquido	Ácido Sulfúrico	0,000999
	FGT10	Ácido Sulfúrico	1E-3	Líquido		
	FGT11	Efluente	1,4E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGT11	Agua	1,4E-1	Líquido	Agua	0,13872
		Ácido Sulfúrico	1E-3	Líquido		
		otros	3,6E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	2,5E-5	Líquido		
	Residuos de CN	1,7E-9	Líquido			

		Residuos de Cu	1,1E7	Líquido		
		Residuos de Ni	9,3E-7	Líquido		
		Residuos de Fe	5,7E-7	Líquido		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr.e n el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Cons.Ins [kg]
ENJUAGUE CASCADA I	FGT13	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,10998
	FGT14	Efluente	1,2E-1	Líquido		
		Agua	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGT14	otros	4E-3	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,7E-5	Líquido		
		Residuos de CN	8,8E-9	Líquido		
		Residuos de Cobre	9,5E-8	Líquido		
		Residuos de Níquel	5,3E-7	Líquido		
	Residuos de Fe	1,8E-7	Líquido			
COBRE ALCALINO	FGT16	Agua	1,8E-1	Líquido	Agua	0,18110
	FGT17	Cobre metálico	3,4E-3	Líquido	Cu metálico	0,003426
	FGT18	Cianuro de Cu	6,6E-3	Líquido	CN de Cu	0,006588
	FGT19	Cianuro de Na	9,4E-3	Líquido	CN de Na	0,009396
	FGT20	Sal de Rochelle	5,6E-4	Líquido	Sal d	0,000563
	FGCN	Emisiones de CN	1,6E-2	Gas	Rochell	
ENJUAGUE RECUPERADOR Cu	FGT22	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,1100
EñNJUAGUE II	FGT24	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,10998
	FGT25	Efluente	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGT25	Agua	11E-1	Líquido		
		otros	7,6E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,2E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	3,9E-7	Líquido		
		Residuos de CN	8,4E-6	Líquido		
		Residuos de Ni	7,5E-7	Líquido		
	Residuos de Cu	2,4E-5	Líquido			
NEUTRALIZADO II	FGT27	Agua	9,2E-2	Líquido	Ácido	0,000999

	FGT28	Ácido Sulfúrico	1E-3	Líquido	Sulfúrico	0,0924
	FGT29	Efluente	9,4E-2	Líquido		
	sustancias presentes en FGT29	Agua	9,2E-2	Líquido	Agua	
		Ácido Sulfúrico	1E-3	Líquido		
		otros	3,7E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,3E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	2,8E-7	Líquido		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr.e n el stma [kg]	Estado	Insumo	
ENJUAGUE CASCADA II	FGT31	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,10998
	FGT32	Efluente	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes en FGT32	Agua	1,1E-1	Líquido		
		otros	8,6E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,2E-5	Líquido		
		Residuos de Fe	2,5E-7	Líquido		
		Residuos de CN	4,2E-6	Líquido		
		Residuos Ni	5,3E-6	Líquido		
	Residuos de Cu	7,4E-7	Líquido			
NIQUEL BRILLANTE	FGT34	Agua	3,5E-2	Líquido	Agua	3,5E-2
	FGT35	Sulfato de Níquel	1,2E-3	Líquido	Sulfato d Ni	0,001189
	FGT36	Cloruro de níquel	4,4E-4	Líquido	Cloruro d Ni	0,000436
	FGT37	Ácido Bórico	3,9E-4	Líquido	Ácido Bórico	0,000396
	FGT38	Contenido de base	4,3E-3	Líquido	Cont. d base	0,004291
	FGT39	Ánodos de Níquel	8,5E-3	Líquido	Abrillantant	0,0014
	FGT40	Abrillantante	8,5E-3	Líquido	Ánodos d Ni	0,0014
ENJUAGUE RECUPERADOR Ni	FGT42	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,1100
ENJUAGUE CASCADA III	FGT44	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,109988
	FGT45	Efluente	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes	Agua	1,1E-1	Líquido		
		otros	2,9E-4	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,6E-5	Líquido		

	en FGT45	Residuos de Fe	1,1E-7	Líquido		
		Residuos de CN	1,5E-8	Líquido		
		Residuos de Ni	4,2E-5	Líquido		
ENJUAGUE ULTIMO	FGT47	Agua	1,1E-1	Líquido	Agua	0,109988
	FGT48	Efluente	1,1E-1	Líquido		
	sustancias presentes	Agua	1,1E-1	Líquido		
		otros	9,3E-5	Líquido		
		Grasas y Aceites	1,5E-5	Líquido		
Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr.e n el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Cons.Ins [kg]
SECADO	FGT49	Tornillo	6,4E-1	sólido		
	FGT50	Agua	2,5E-2	Líquido		
	FGT51	Tornillo	6,1E-1	sólido		

PROCESO XII: ACABADO IV



BALANCE DE ENERGÍA

Subproceso	Tiempo [s]	Corrientes	Descripción	Voltaje [V]	Amp. [A]	Energía [kJ]/100 PJ
LACADO	88,888	EAT1	Energía para Paint zoom	220	2,7	91,4522
		EAT2	Energía para maq. Extract.	220	1	33,8712
		EAT3	Energía disipada + E. útil	220	2,7	91,4522
		EAT4	Energía disipada + E. útil	220	1	33,8712
SECADO	900	EAT5	Energía de secado	1,52E-4	9580,9	1308,08
		EAT6	calor por radiación	1,52E-4	9580,9	1308,08

BALANCE DE MASA

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.corr. en. el stma. [kg]	Estado	Insumo	Cant. Cons.In s. [kg]
LACADO	FAT1	Tornillo	0,611	Sólido	Laca	0,0028
	FAT2	Laca	0,137	Líquido		
	FAT3	Endurecedor	0,071	Líquido		
	FAT4	Thinner	0,120	Líquido	Endurecedor	0,0012
	FAT5	Laca	0,134	Líquido		
	FAT6	Endurecedor	0,070	Líquido		
	FAT7	Thinner	0,117	Líquido		
	RAT1	Residuo de laca	0,002	Líquido	Thinner	0,0025
	RAT2	Residuo de endurecedor	0,001	Líquido		
RAT3	Residuo de thinner	0,002	Líquido			
SECADO	FAT8	Tornillo	0,618	Sólido		
	FAT9	Tornillo	0,614	Sólido		

PROCESO XIII: ENSAMBLE



BALANCE DE MASA:

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.Corr.,e n el stma [kg]	Unidades	Insumo	Cantidad Consumida [kg]
ENSAMBLE	FE1	Cuerpo de Pata Julia	8,061	Kg	Yunque de plastico	0,500
	FE2	Casquillo	0,515	Kg		
	FE3	Arandela	0,104	Kg		
	FE4	Tornillo	0,614	Kg		
	FE5	Yunque de plástico	0,500	Kg		
	FE6	Pata Julia	9,795	Kg		

PROCESO XIV: EMPAQUE



BALANCE DE MASA

Proceso Unitario	Corrientes del proceso	Sustancias involucradas en la corriente	Cant.cor r. en el stma [kg]	Estado	Insumo	Cantidad Cons. [kg]
EMPAQUE	FEM1	Pata Julia	9,795	Sólido	Cartón	0,704
	FEM2	Polietileno de baja densidad	0,500	Sólido		
	FEM3	Cartón	0,704	Sólido	Bolsa de polietileno	0,500
	FEM4	Producto empacado	10,999	Sólido		