

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL PROCESO  
PIROMETALÚRGICO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE  
VEHÍCULOS CON MOTORES ELÉCTRICOS EN ECUADOR”**

**AUTORES:**

IVÁN RAÚL CUESTA TORRES  
WALTER PAÚL VILLA AUQUILLA

**TUTOR:**

ING. ADRIÁN XAVIER SIGÜENZA REINOSO

CUENCA - ECUADOR

2019

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Iván Raúl Cuesta Torres con documento de identificación N° 0106566086 y Walter Paúl Villa Auquilla con documento de identificación N° 0105203772, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS CON MOTORES ELÉCTRICOS EN ECUADOR”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual y en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2019



Iván Raúl Cuesta Torres

C.I. 010656608-6



Walter Paúl Villa Auquilla

C.I. 010520377-2

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS CON MOTORES ELÉCTRICOS EN ECUADOR”**, realizado por Iván Raúl Cuesta Torres y Walter Paúl Villa Auquilla, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril de 2019



---

Ing. Adrián Xavier Sigüenza Reinoso, MSc.

C.I. 010382736-6

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Iván Raúl Cuesta Torres con documento de identificación N° 0106566086 y Walter Paúl Villa Auquilla con documento de identificación N° 0105203772, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS CON MOTORES ELÉCTRICOS EN ECUADOR”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril del 2019



---

Iván Raúl Cuesta Torres

C.I. 010656608-6



---

Walter Paúl Villa Auquilla

C.I. 010520377-2

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto técnico se lo dedico  
a mis padres y a mis hermanos por brindarme  
hasta el final de mis estudios el apoyo moral  
y económico que fue indispensable para lograr  
culminar esta carrera.*

*Iván Raúl*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto técnico  
a mis padres gracias a los cuales  
pude terminar mi carrera universitaria,  
además, a mis hermanos que fueron  
un pilar fundamental y un  
incentivo para finalizar mis estudios.*

*Walter Paul*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a todos mis docentes, compañeros y  
a mi familia por ofrecerme su ayuda siempre  
que la necesité durante toda mi carrera universitaria  
en especial a mi compañero Walter Paul por la  
paciencia y por sus consejos en la  
elaboración de este proyecto técnico.*

*Iván Raúl*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por todas sus bendiciones  
y en especial a mis padres y familiares  
quienes me animaron en toda mi carrera  
universitaria. Además, agradezco a mis  
docentes y compañeros por brindarme  
el apoyo y sus conocimientos  
para finalizar mis estudios.*

*Walter Paul*



## **RESÚMEN**

Uno de los mayores retos que enfrenta la comercialización de autos eléctricos es la gestión de las baterías al final de su vida útil y el problema que producirá al medio ambiente si no reciclan responsablemente. El presente proyecto da a conocer la factibilidad técnica de crear una planta recicladora de baterías de vehículos con motores eléctricos mediante el proceso pirometalúrgico para la recuperación de metales en Ecuador, se toma en cuenta el proceso pirometalúrgico ya que este es el que se utiliza mayormente por las empresas más grandes e importantes que se dedican al reciclaje de baterías, para ello se realiza un estudio del tipo de baterías que utilizan los vehículos que se comercializan y se establece una clasificación de las mismas para lograr identificar el material que se puede extraer para su posterior reciclado. Una vez identificada cada tipo de batería se procede a realizar una investigación acerca del proceso pirometalúrgico para explicar el mismo y lograr entender cada paso del proceso para la recuperación de los metales. Inicialmente se detalla el proceso previo al reciclaje es decir las fases que se deben seguir para preparar las baterías antes de someterlas al proceso pirometalúrgico. Finalmente se determina la factibilidad técnica de aplicar el proceso pirometalúrgico mediante el análisis de la maquinaria, espacio físico, costos y normativa que rige en Ecuador para definir si es o no factible la creación de una planta recicladora de baterías de vehículos eléctricos.

## **ABSTRACT**

One of the biggest challenges facing the commercialization of electric cars is the management of their batteries at the end of their useful life and the problem that will occur to the environment if they do not recycle responsibly. The present project discloses the technical feasibility of creating a recycling plant for vehicle batteries with electric motors through the pyrometallurgical process for the recovery of metals in Ecuador, taking into account the pyrometallurgical process since this is the one that is mostly used by the largest and most important companies dedicated to the recycling of batteries, for this purpose a study is made of the type of batteries used by the vehicles that are commercialized and a classification is established to identify the material that can be extracted for their Subsequent recycling Once each type of battery has been identified, an investigation is made of the pyrometallurgical process to explain it and to understand each step of the process for the recovery of the metals. Initially the process prior to recycling is detailed, that is, the phases that must be followed to prepare the batteries before submitting them to the pyrometallurgical process. Finally, the technical feasibility of applying the pyrometallurgical process is determined by analyzing the machinery, physical space, costs and regulations that govern in Ecuador to define whether or not the creation of a recycling plant for electric vehicle batteries is feasible.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	2
<b>OBJETIVOS</b> .....	3
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	3
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	3
<b>1. CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VE</b> .....	4
<b>1.3. BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE</b> .....	5
<b>1.3.1. TIPOS DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE</b> .....	5
<b>1.3.2. EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS MATERIALES DE LAS BATERÍAS</b> .....	11
<b>1.3.3. NORMATIVAS PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE</b> .....	12
<b>2. CAPÍTULO II</b> .....	13
<b>2.1. GENERALIDADES</b> .....	13
<b>2.2. VENTAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS A NIVEL MUNDIAL</b> .....	13
<b>2.3. VENTAS DE VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN HÍBRIDA EN ECUADOR</b> .....	14
<b>2.4. VENTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A NIVEL NACIONAL</b> ....	15
<b>2.5. VEHÍCULOS HÍBRIDOS DEL PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO</b> .....	17
<b>2.6. TIPOS DE BATERÍAS A NIVEL NACIONAL</b> .....	18
<b>3. CAPÍTULO III</b> .....	19
<b>3.1. GENERALIDADES</b> .....	19
<b>3.2. OPERACIONES PREVIAS AL RECICLAJE</b> .....	19

3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO EN BATERÍAS NIQUEL HIDRURO .....	20
3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO EN BATERÍAS ION-LITIO .....	23
3.4.1.    BATREC .....	24
3.4.2.    UMICORE .....	25
3.5. EQUIPOS UTILIZADOS .....	26
3.6. PRINCIPALES EMPRESAS A NIVEL MUNDIAL .....	27
3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	27
4. CAPÍTULO IV .....	28
4.1. GENERALIDADES .....	28
4.2. PRINCIPALES EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA RECUPERACIÓN DEL LITIO Y COBALTO EN LAS BATERÍAS ION-LITIO .....	28
4.2.1.    TRITURADORA .....	29
4.2.2.    HORNO DE ARCO ELÉCTRICO .....	31
4.2.3.    TANQUE DE LIXIVIACIÓN .....	32
4.2.4.    HORNO DE PIRÓLISIS .....	34
4.2.5.    SECADOR ROTATORIO .....	35
4.2.6.    CONVERTIDOR .....	35
4.2.7.    CUCHARÓN DE TRANSFERENCIA .....	36
4.3. EQUIPOS PRINCIPALES PARA LA RECUPERACIÓN FERRONÍQUEL Y FERROVANADIO DE BATERÍAS DE NI-MH .....	36
4.3.1.    TANQUE DE SEPARACIÓN .....	37
4.3.2.    SECADOR DE TÚNEL .....	38
4.4. MARCO LEGAL EN BASE A NORMAS Y ORDENANZAS .....	39
4.4.1.    MARCO LEGAL INTERNACIONAL .....	39
4.4.2.    NORMAS .....	40

<b>4.5. CONSIDERACIONES PARA EL ESPACIO FÍSICO NECESARIO PARA IMPLEMENTACIÓN</b> .....	45
<b>4.6. ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE BATERÍAS A RECICLAR Y OPERACIÓN DE PLANTA</b> .....	47
<b>4.7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN</b> .	49
<b>CONCLUSIONES</b> .....	54
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	56
<b>ANEXO A</b> .....	61

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de conexión para VE y VH. ....	4
Figura 2. Características de la batería Ni-Cd .....	6
Figura 3. Características de la batería Ni-MH .....	8
Figura 4. Esquema del mecanismo de funcionamiento de una celda de ion litio .....	8
Figura 5. Cuatro tipos principales de cátodos para baterías de Ion-Litio.....	9
Figura 6. Características de las baterías de Ion-Li .....	10
Figura 7. Características de las baterías zinc-aire .....	11
Figura 8. Venta de VH y VE a nivel mundial .....	13
Figura 9. Ventas anuales 2009-2017 .....	14
Figura 10. Ventas anuales de vehículos eléctricos .....	16
Figura 11. Ventas anuales de vehículos eléctricos por provincias.....	16
Figura 12. Venta de vehículos eléctricos por marca y modelo .....	16
Figura 13. Vehículos híbridos del parque automotor ecuatoriano .....	17
Figura 19. Clasificación de baterías a nivel nacional.....	18
Figura 20.- Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de níquel hidruro.....	21
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Ion-Litio .....	24
Figura 22. Empresas de reciclaje a nivel mundial.....	27
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Ion-Litio. ....	29
Figura 24. Trituradora de mandíbulas .....	30
Figura 25. Diagrama de flujo de la trituradora de mandíbulas .....	30

Figura 26. Horno arco eléctrico .....	31
Figura 27. Diagrama de flujo del funcionamiento de un horno de arco .....	32
Figura 28. Diagrama de flujo del funcionamiento del tanque de lixiviación.....	33
Figura 29. Diagrama del flujo del funcionamiento del horno de pirólisis .....	34
Figura 30. Diagrama de flujo del funcionamiento del secador .....	35
Figura 31. Convertidor de oxígeno .....	36
Figura 32. Cucharón.....	36
Figura 33. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Níquel-Hidruro .....	37
Figura 34. Diagrama de flujo del funcionamiento del tanque de separación.....	38
Figura 35. Secador de túnel.....	38
Figura 36. Diagrama de flujo del funcionamiento del secador de túnel .....	39
Figura 37. Distribución de los equipos utilizados .....	47
Figura 38. Cantidad de baterías por año .....	48
Figura 39. Peso en toneladas de baterías por año.....	48

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos obtenidos de la lixiviación .....	33
Tabla 2.- Dimensiones de los equipos principales .....	46
Tabla 3. Costo del capital estimado .....	50
Tabla 4. Porcentajes del capital de instalación.....	50
Tabla 5. Costos variables de operación.....	51
Tabla 6. Costos fijos y totales de producción .....	51
Tabla 7. Remuneraciones del personal.....	52
Tabla 8. Valores de ingresos por baterías recicladas .....	52
Tabla 9. Tabla de amortización para la planta de reciclado .....	53
Tabla 10. Valores del VAN y el TIR .....	53

## INTRODUCCIÓN

Los vehículos con motores eléctricos tienen grandes ventajas en comparación con los vehículos con motores de combustión interna en cuanto a la contaminación ambiental por emisiones, pero tienen otros componentes que si no son tratados de manera correcta al final de su vida útil pueden ser más contaminantes y producir efectos nocivos en el medio ambiente y en la salud de los seres vivos.

La motivación del proyecto está en reducir el riesgo de contaminación medio ambiental mediante el reciclado de baterías de vehículos con propulsión eléctrica usando el proceso pirometalúrgico que es utilizado en otros países en los cuales se comercializan un gran número de autos eléctricos, el cual se puede convertir en una oportunidad de negocio ya que los metales y algunos componentes de las baterías al ser tratadas de una manera eficaz se pueden vender para reutilizarlos. En la actualidad solo se reciclan baterías de plomo ácido, y no se toma en cuenta que en poco tiempo las baterías de los vehículos eléctricos serán un problema ya que su vida útil aproximada es de diez años y estas contienen elementos reciclables como el litio, cobalto, níquel, entre otros, que son tóxicos en condiciones no adecuadas es por este motivo que se necesita establecer un proceso de reciclaje viable según el incremento de baterías descartadas.

## **PROBLEMÁTICA**

La creciente preocupación por el medio ambiente de las nuevas generaciones produce que los usuarios hayan adquirido una conciencia verde y que adquieran vehículos menos contaminantes que los autos convencionales con motores de combustión interna. Dada esta situación, los vehículos con motores eléctricos son una gran opción para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> pero el problema surge por la gran demanda de venta de vehículos con motores eléctricos que usan baterías que contienen materiales altamente contaminantes como el cobalto, plomo y litio, los cuales al terminar su vida útil se desechan y no se manejan adecuadamente para evitar que provoquen un impacto al medio ambiente. Dentro del parque automotor del país ya existen vehículos que usan estas baterías, mismos que ingresaron al país desde el 2010 y por lo tanto ya es necesario reemplazar sus baterías, pero al no manejar sus desechos correctamente en cuanto a su almacenamiento y reciclado se aumenta el riesgo de accidentes por explosión de estos acumuladores por exposición solar constante; además el reemplazo se lo realiza en talleres convencionales, en concesionarios e incluso en hogares almacenándolos de una manera inadecuada convirtiéndolas en un riesgo potencial.



# **OBJETIVOS**

## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la factibilidad técnica del proceso pirometalúrgico para el reciclaje de baterías de vehículos con motores eléctricos en el Ecuador

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los tipos de baterías usadas en vehículos híbridos y eléctricos mediante investigación bibliográfica.
- Realizar la clasificación de las baterías utilizadas en vehículos híbridos, eléctricos al final de su vida útil a nivel nacional
- Explicar el proceso pirometalúrgico para reciclado de baterías
- Determinar de la factibilidad técnica el proceso pirometalúrgico en el Ecuador

# 1. CAPÍTULO I

## TIPOS DE BATERÍAS USADAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Para reducir la contaminación medio ambiental de los vehículos se han desarrollado nuevas tecnologías que ayudan a mejorar las condiciones de funcionamiento y eficiencia del motor de combustión interna (MCI). Una parte de las nuevas tecnologías es la de dotar al vehículo con motores eléctricos para que trabajen alternadamente con el MCI, convirtiendo al vehículo en híbrido (VH), o sino reemplazarlo por motores eléctricos convirtiendo al vehículo en uno puramente eléctrico (VE). Las ventajas de los VH y VE es la emisión nula de gases de efecto invernadero cuando los motores eléctricos están en funcionamiento, estos motores utilizan energía almacenada en baterías de alto voltaje.

Dentro del presente estudio se analiza el impacto ambiental que las baterías de alto voltaje producen, desde la fabricación hasta el fin de su capacidad, debido a que varios componentes que usan las baterías son materiales tóxicos como el cadmio, plomo, el níquel, cobalto.

### 1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VE

Los vehículos con motores eléctricos y vehículos híbridos buscan disminuir total o parcialmente las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente, estos vehículos están compuestos de la batería de alto voltaje que almacena energía, motores eléctricos de propulsión, generador, transmisión y un sistema de control.

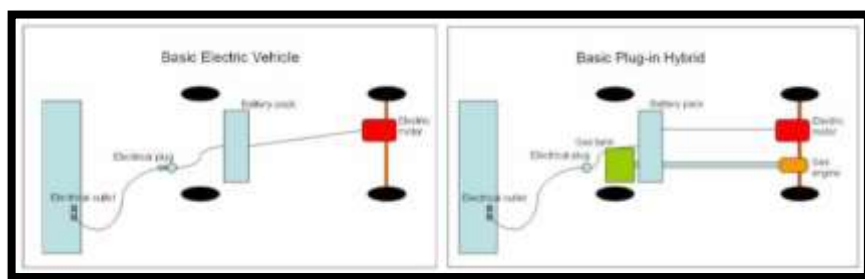


Figura 1. Esquema de conexión para VE y VH. Fuente: IDAE

### 1.3. BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE

La batería de alto voltaje es el componente primordial en un vehículo híbrido o eléctrico, ya que de esta depende la autonomía y el valor del vehículo, debido a esto los fabricantes deben centrarse en usar baterías que den resultados favorables para el rendimiento de sus vehículos, ya sean de propulsión híbrida-eléctrica o propulsión puramente eléctrica.

La batería es un acumulador de energía que almacena y entrega electricidad mediante procesos electroquímicos de reducción y oxidación, son capaces de entregar energía con un rendimiento cercano al 100%, por esta razón, están sometidas a ciclos de carga y descarga conocidos como vida útil.

En una batería para vehículos eléctricos el parámetro crítico es la densidad energética que posee y está medida en Wh/litro, esta representa la energía que la batería es capaz de entregar por unidad de volumen, este parámetro que determina la autonomía del vehículo plantea un problema para el desarrollo de vehículos de gran autonomía, que resulta ser proporcional al peso, tamaño y costo de la batería. (Bakker, 2010)

Los parámetros con los que se caracterizan a las baterías son los siguientes:

**Ciclo de vida:** es el número de ciclos en los que se completa una carga y descarga de la batería.

**Energía específica:** es el valor total de energía eléctrica que la batería puede almacenar, y se la puede expresar en función de la masa o volumen, ya que son factores importantes a reducir para óptimo funcionamiento.

#### 1.3.1. TIPOS DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE

Las baterías de alto voltaje se clasifican según su composición, a continuación, se realizará una descripción de las baterías existentes para autos eléctricos.

##### **Baterías de níquel cadmio**

Principalmente son de uso industrial pero en los últimos años se emplean en vehículos, su utilización ha sido descartada debido varias razones, la más importante o relevante es el efecto nocivo del cadmio y al efecto memoria que se crea en dichas

baterías, además el uso del cadmio fue restringido por el efecto nocivo al medio ambiente desde el año 2008 luego de entrar en vigencia el real decreto 106/2008 (Indumetal Recycling, 2012) sobre acumuladores de voltaje.

En cuanto a características y ventajas esta su vida útil prolongada que van de 1000 a 1500 ciclos de carga, en sus celdas contienen un cátodo de hidróxido de níquel, el ánodo de cadmio y como electrolito una disolución de hidróxido de potasio.

<b>Características de las baterías de níquel-cadmio</b>
Tecnología desarrollada, buena durabilidad
Densidad de energía y potencia superior a la tecnología de plomo
Mayor eficiencia que las de plomo
Coste superior a la tecnología de plomo
Notable efecto memoria, alta dependencia de la temperatura ambiente
Alta auto descarga, altamente peligrosas para el medio ambiente (Cd)
Densidad de energía (Wh/litro): 50-150
Ciclos de vida: 1350
Energía específica (Wh/Kg): 60

Figura 2. Características de la batería Ni-Cd. Fuente: Autores

### **Baterías de níquel hidruro metálico**

Este tipo de baterías tiene un precio relativamente elevado comparado con las de níquel cadmio por su alto contenido de níquel, pero son muy fiables y tienen una larga duración, además su peso va en proporción a su capacidad, y son usadas para un suministro de energía puntual como complemento de un sistema, en este caso el sistema de combustión interna de los motores convencionales de vehículos (Electromovilidad, s.f.)

Son diseñadas para entregar aproximadamente un 10% de su capacidad dentro de su ciclo de funcionamiento (carga y descarga), y el resto se usa como reserva para mantener mínimos niveles de rendimiento hasta el final de su vida útil. Esta batería

es la más avanzada de las baterías de níquel cadmio, en donde el cadmio ha sido reemplazado por aleación de metales y tierras raras. Estas baterías están fabricadas para aplicaciones portátiles que necesitan una mayor densidad de energía, elevada potencia con ciclos de carga/descarga rápida y vida útil prolongada, éstas son producidas en configuraciones de celdas cilíndricas y prismáticas diseñadas para trabajar a elevadas temperaturas con cargas permanentes, al igual que están dispuestas en configuración en paralelo con el fin de aumentar la capacidad y generar corrientes elevadas.

Las baterías de níquel-hidruros metálicos tienen una energía específica de 60-80 Whkg-1 la cual es mayor a la de las de plomo ácido que es de 10-40 Whkg-1 y a las de sus antecesores níquel-cadmio que es de 60 Whkg-1, es una gran ventaja porque además admiten cargas y descargas con duraciones que va de 1 a 3 horas significativamente importantes en un vehículo híbrido con frenada regenerativa, no requieren mantenimiento y generan menor impacto ambiental por sustituir el cadmio, material considerado tóxico. (Bakker, 2010)

Las desventajas de este tipo de baterías son el moderado ciclo de vida debido a que están expuestas a corrosión, su precio elevado, disminución de prestaciones al ser utilizadas en altas intensidades de corriente y efecto memoria moderado ya que se produce cambios estructurales en el electrodo positivo que se origina cuando la batería sufre sobrecarga.

<b>Características de la baterías de níquel-hidruro metálico</b>
Coste más elevado que las Ni-Cd
Alta auto descarga
Tecnología suficientemente contrastada
Densidad de energía superior a Ni-Cd
Potencia específica inferior a Ni-Cd
Mantenimiento no requerido
Baja durabilidad
Menor efecto memoria
Densidad de energía (Wh/litro): 140-300
Ciclos de vida: 1350
Energía específica(Wh/Kg): 70

Figura 3. Características de la batería Ni-MH. Fuente: Autores

### Batería de ion litio

El uso de nuevos materiales como el litio permite obtener mejores prestaciones como energías específicas, alta eficiencia, eliminación de efecto memoria (referencia, es el metal más ligero y contiene un contenido energético específico alto con propiedades electroquímicas favorables, a continuación, se explica brevemente el funcionamiento de las mismas. (Electromovilidad, s.f.)

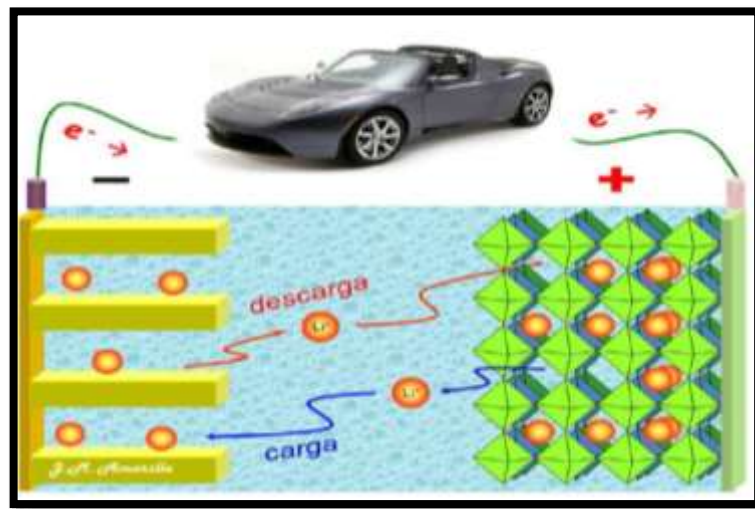


Figura 4. Esquema del mecanismo de funcionamiento de una celda de ion litio. Fuente: (Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid, 2010)

En el ciclo los iones de litio se alternan entre el ánodo y cátodo, debido al movimiento de los iones durante el proceso de carga y descarga.

El electrodo positivo está constituido de óxido de cobalto de litio ( $\text{LiCoO}_2$ ), mientras que el electrodo negativo este hecho de carbono. Al momento de cargarse la batería, los iones de litio se trasladan desde el electrodo positivo al electrodo negativo por medio del electrolito uniéndose al carbono. Durante la descarga, los iones de litio regresan al óxido de cobalto de litio partiendo del carbono. En el ciclo los iones de litio se alternan entre el ánodo y cátodo, debido al movimiento de los iones.

El material usado como ánodo acostumbra ser un óxido de metal estructurado en capas tal como es el óxido de litio cobalto que posee excelentes propiedades seguridad, además no percibe las variaciones de procesos y a la hidratación.

Dentro de los procesos de carga y de descarga los iones de litio se insertan o extraen entre capas al interior de materiales activos, también se sabe que se usan materiales menos costosos con mayor rendimiento como es el óxido de níquel manganeso o litio, óxido de níquel y óxido de cobalto mejorando las características de funcionamiento de las pilas.

Uno de los componentes más importantes de las baterías es el cátodo de los que existen 4 tipos, el más común usado para vehículos híbridos es el cátodo de LMO (litio óxido de manganeso), pero también existen el LFP (litio hierro fosfato), NCA (níquel cobalto aluminio) y NMC (níquel manganeso cobalto). (Marcy Lowe, 2010)

Chemistry	Wh/Kg	Positives	Negatives	Makers
<b>NCA (Nickel / Cobalt / Alum)</b>	160	Energy density Power	Safety Cost / commodity exposure Life Expectancy Range of Charge	JCI/Saft PEVE AESC
<b>LMO (Lithium Manganese Oxide)</b>	150	Cost Safety Power	Life Expectancy Usable energy	Hitachi, AESC, Sanyo GS Yuasa, LG Chem Samsung, Toshiba Ener1, SK Corp, Aifairmano
<b>NMC (Nickel Manganese Cobalt)</b>	150	Energy density Range of Charge	Safety (better than NCA) Cost / commodity exposure	PEVE, Hitachi, Sanyo LG Chem, Samsung Ener1, Evonik, GS Yuasa
<b>LFP (Lithium Iron Phosphate )</b>	140	Safety Life Expectancy Range of Charge Material Cost	Low temp performance Processing costs	A123, BYD GS Yuasa, JCI/Saft Valence, Lishen

Figura 5. Cuatro tipos principales de cátodos para baterías de Ion-Litio. Fuente: (Marcy Lowe, 2010)

Una desventaja que poseen las baterías de ion litio es su alto nivel de degradación que sufre al momento que se descarguen por menos de 2 Voltios, debido a sobrecargas o corrientes parasitas, para prevenir estos problemas el sistema debe contar con circuitos electrónicos que se encarguen de regular la carga al igual debe contar con sistemas de desconexión mecánica para prevenir descargas excesivas.

Características de la baterías de ion-litio
Coste más elevado, tecnología nueva
Bajo peso, densidad de energía alta
Posibles problemas de seguridad, cortocircuitos, riesgos de explosión
Elevada eficiencia, alta durabilidad
Sin efecto memoria, baja auto descarga
Densidad de energía (Wh/Litro): 270
Ciclos de vida: 1000
Energía específica (Wh/Kg): 125

Figura 6. Características de las baterías de Ion-Li. Fuente: Autores

### **Baterías de metal aire**

Son aquellas que necesitan un único reactivo interno sólido metálico como aluminio (Al), zinc (Zn), magnesio (Mg), hierro (Fe), o litio (Li), y el otro reactivo es el aire, debido a esto no se les puede realizar un ciclo de carga similar a las de ion litio, así que al cumplir con su vida útil, la única solución es el remplazo del electrodo por uno nuevo para restaurar su capacidad.

Estas baterías están en desarrollo para aplicaciones automotrices, debido a que contienen uno solo reactivo sólido que reduce de manera favorable el peso de la batería, actualmente en el mercado se encuentran baterías de zinc aire, usadas para audífonos y dispositivos pequeños que requieren una batería de larga duración.

Los valores de energía y potencia son favorables, tenemos el caso de la de Li/aire que está en desarrollo, pero ofrece una energía específica de 11500Wh/kg, otra es la de Al/aire que tienen una energía específica cercana a 225 Wh/kg pero con el inconveniente de que la potencia específica es relativamente baja cercana a 10W/kg, debido a las limitaciones tecnológicas cuando las baterías son usada en BEV's tienen una eficiencia del 15% y la proyectada es del 20%, la de Zn/aire que con el aire forma óxido de zinc produciendo electricidad, es obtiene una energía específica de 230Wh/kg con una potencia relativamente baja de 105W/kg, las baterías de aluminio, y las de la Fe/aire tienen una energía específica más baja 80Wh/kg, una potencia específica de 90W/kg y un número de ciclos de 500 aproximadamente. (Bakker, 2010)



Características de la baterías de zinc-aire
Bajo coste
Voltaje de celda bajo (1.2 V)
Tecnología desarrollada
Bajo peso (densidad de energía muy alta)
Poco peligrosas para el medio ambiente
Sensibles a cambios de temperatura
No recargables

Figura 7. Características de las baterías zinc-aire. Fuente: Autores

### **1.3.2. EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS MATERIALES DE LAS BATERÍAS**

El cadmio tiene efectos nocivos en los riñones, huesos y pulmones, creando insuficiencia renal, además los pulmones son considerados órganos críticos al entrar en exposición al cadmio donde se han conocido casos de neumonitis química con disnea, tos, expectoración, molestias en el tórax y disfunción en los pulmones. A una exposición más elevada origina edema pulmonar tardío de carácter mortal, daño al sistema nervioso central, daño al sistema inmune y posible daño al ADN o desarrollo de cáncer.

Por otro lado, el níquel también tiene efectos nocivos en la salud de los seres vivos, ya que genera efectos en la piel generalmente de modo alérgico, además si se expone por un lapso de tiempo elevado a compuestos de níquel se puede contraer o desarrollar bronquitis crónica, cáncer en los pulmones y de senos nasales.

Los efectos que el litio produce en la salud debido a exposiciones altas o contacto directo son relativamente bajos respecto a los materiales anteriores, pero esta sustancia produce enemas pulmonares al ser inhalada, si se tiene contacto produce irritación de piel. El calentamiento de celdas de litio produce combustión, además al calentarse produce vapores venenosos, reacciona violentamente con oxidantes fuertes, ácidos y otros compuestos, además reacciona violentamente con agua formando gas hidrogeno sumamente inflamable y vapores corrosivos de hidróxido de litio.

Al mencionar que dentro de las baterías de ion litio podemos encontrar electrodos con cobalto es necesario explicar los efectos que tiene este componente, en cierto punto el cobalto es beneficioso para la salud puesto que forma parte de la vitamina B12, además es usado para tratar anemia que estimula en la creación de glóbulos rojos, pero en altas dosis es riesgoso para la salud, pues si se inhala grandes concentraciones de cobalto causa problemas en los pulmones como asma y neumonía, también cuando se ingiere causa vómitos, nausea, problemas de visión y daño de tiroides.

### **1.3.3. NORMATIVAS PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE**

Cuando las baterías han completado su ciclo de vida se convierten en desechos altamente peligrosos, y para el manejo ambiental adecuado de estos, se siguen normativas internacionales. En este punto se indica la legislación vigente en países como Canadá y México, según el Convenio de Basilea que trata sobre el Control desechos peligrosos entre países y como eliminarlos, cataloga a las baterías de alto voltaje como un desecho peligroso al final de su vida. En Canadá se tiene la “Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulation”, normas para entrada y salida de desechos contaminantes, de igual manera para el movimiento y traslado de sustancias dañinas.

En México se tiene una ley para prevenir y gestionar los residuos de forma integral que incluye a las baterías como un desecho sólido peligroso, en EEUU la Ley que regula la manipulación de baterías recargables y que contengan mercurio.

## 2. CAPÍTULO II

### CLASIFICACIÓN DE BATERÍAS UTILIZADAS EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS

#### 2.1. GENERALIDADES

En este capítulo se detalla la cantidad de ventas de vehículos híbridos y eléctricos a nivel mundial y a nivel nacional, estos vehículos se comercializan a gran escala en Europa, Asia y Norteamérica, en Ecuador han tenido un comportamiento irregular en ventas debido a varios factores, uno de los principales son los impuestos elevados a los vehículos con motores de combustión interna y a la importación de vehículos con motores eléctricos pero actualmente se mantiene un número considerable de vehículos, de los cuales cada uno dispone de una batería de alto voltaje que al cumplir su vida útil será desechada, además no se cuenta con una norma u obligación para las empresas que regule el manejo de este tipo de baterías.

#### 2.2. VENTAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS A NIVEL MUNDIAL

Los vehículos híbridos y eléctricos se comercializan de manera significativa a nivel mundial, en la figura 8 se aprecia el porcentaje de ventas donde Japón tiene la mayor venta de vehículos híbridos con un valor cercano a las 385000 unidades, mientras que el país con más vehículos eléctricos vendidos es China con 83000 unidades.

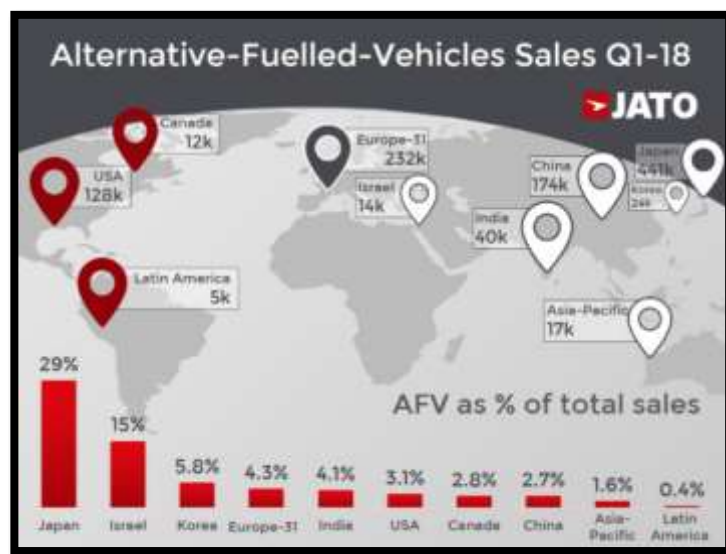


Figura 8. Venta de VH y VE a nivel mundial. Fuente:( *Movilidad, 2018*)

### 2.3. VENTAS DE VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN HÍBRIDA EN ECUADOR

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade), un ente que promueve el uso de nuevas tecnologías, registra una importación de vehículos híbridos (VH) desde el 2009, la figura 9 indica para año 2010 existe un incremento del 213% aproximadamente con respecto al año anterior, esto se debe al incentivo del gobierno ecuatoriano para la adquisición de este tipo de vehículos, y a la exoneración de impuestos para tecnologías que promuevan el consumo eficiente de combustible.



Figura 9. Ventas anuales 2009-2017. Fuente: (Aeade, 2017)

Al realizar un ajuste en la política de incentivos, que exonera el pago de impuestos a motores pequeños de bajo cilindraje, es decir menores a 1.5 litros existe un decaimiento para los años siguientes de las ventas de estos coches, además se le incluyo dentro de la política leyes que protegen el producto nacional estableciendo un límite a las importaciones, del 2010 al 2011 hay una disminución aproximada del 48% de la adquisición de VH

Como se puede observar en la figura 9 las ventas de vehículos híbridos no tienen un comportamiento continuo ni progresivo, además los incentivos gubernamentales que todavía se mantienen, cambios de gobierno y reducción de subsidios, aunque menores que años pasados, nos deja un futuro incierto para la comercialización de estos vehículos dificultando una proyección de ventas para siguientes años, pero se puede realizar estudios en base a esta información.

Con estos valores, se estima que el parque automotor del país cuenta con 14492 unidades del segmento híbrido aproximadamente de las cuales cerca de 7000 vehículos bordean los 10 años de vida, tiempo para el cual están diseñadas o pronosticadas de vida útil de sus baterías de alto voltaje por lo que se genera un problema, conforme aumente la venta de vehículos aumentara el número de baterías desechadas.

#### **2.4. VENTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A NIVEL NACIONAL**

Para la introducción de vehículos eléctricos al país, se tiene varios beneficios emitidos en las resoluciones presentadas por el Ministerio de Comercio Exterior, COMEX-08-2015 y COMEX-09-2015 como el pago de tarifa 0 del IVA para buses y vehículos livianos eléctricos, al igual para cargadores y baterías de VH y VE, exención del pago del arancel para vehículos de transporte público de pasajeros, por este motivo desde enero del 2016 se comenzó la oferta de vehículos eléctricos y el primer modelo en salir fue el Kia Soul, desde ahí marcas como Kia, Renault, Dayang, Volkswagen y BYD han ofertado de igual manera vehículos eléctricos.

La introducción de este segmento nuevo es costosa al inicio, además las resoluciones delimitan el uso de estos vehículos a un sector económicamente alto puesto que en la población se crea un pensamiento de que los vehículos eléctricos son costosos, aparte su baja autonomía crea el riesgo de quedarse sin energía, a la vez que se alimenta las inquietudes sobre baja potencia del motor y la escasez de fuentes de carga rápida a nivel nacional, debido a esto se propone el uso del vehículo eléctrico para flota de taxis que en diferentes provincias ya se está aplicando, un caso puntual es la provincia de Loja que cuenta con la primera flota de taxis eléctricos.

Lo contradictorio de las resoluciones está en que solo se aplica para vehículos que no superen los 40000 USD, esto dificulta plantear el uso de buses eléctricos que reducirían favorablemente la contaminación, y como se observó, el apoyo del gobierno para el sector automotriz eléctrico e híbrido es incierto por lo que no se puede plantear una proyección de estos vehículos.

En total desde el 2016 hasta el 2017 se han comercializado 132 vehículos eléctricos, para el año 2016 se vendieron 56 automóviles y 53 SUV's, para el 2017 la cifra de automóviles subió a 96 y respecto a SUV's se tienen 20 unidades y camionetas con 7

unidades, la mayoría se comercializo en la provincia de pichincha en el 2016, y para el 2017 se distribuye las ventas entre Guayas, Loja, Pichincha e Imbabura.

La marca Kia que inicio su oferta en el 2016 con el Soul vendió 53 unidades, seguidas con 29 unidades del Twizy, 26 vendidas por Renault y 24 modelos de Dayang, mientras que para el 2017 se encuentran las 36 unidades de BYD que conforman la flota de taxis en Loja.

Ventas anuales de vehículos eléctricos por segmento En unidades / porcentaje de participación 2016-2017							
Año	Automóviles	%	SUV	%	Camionetas	%	Total
2016	56	51,38%	53	48,62%	-	0,00%	109
2017	96	78,05%	20	16,26%	7	5,69%	123

Figura 10. Ventas anuales de vehículos eléctricos. Fuente: (Aeade, 2017)

Ventas anuales de vehículos eléctricos en principales provincias En unidades / porcentaje de participación 2016-2017													
Año	Guayas	%	Loja	%	Pichincha	%	Imbabura	%	Galápagos	%	Otras provincias	%	Total
2016	20	18,25%	9	8,25%	62	56,88%	-	0,00%	9	8,25%	9	8,25%	109
2017	49	39,84%	37	30,08%	20	16,26%	14	11,38%	2	1,63%	1	0,81%	123

Figura 11. Ventas anuales de vehículos eléctricos por provincias. Fuente: (Aeade, 2017)

Ventas de vehículos eléctricos por marca y modelo En unidades, 2016-2017			
Marca	Modelo	2016	2017
BYD	BYD7005BEV AC 4P 4X2 TA EV	-	36
DAYANG	DY-GD04A AC 2P 4X2 TA EV	15	33
KIA	SOUL AC 5P 4X2 TA EV	53	20
RENAULT	TWIZY URB X0g MOKA AC 2P 4X2 TA EV	23	13
DAYANG	DY-GD04B AC 3P 4X2 TA EV	-	13
DAYANG	DY-GD02B AC CS 4X2 TA EV	7	7
DAYANG	DY-GD02C AC 2P 4X2 TA EV	-	1
RENAULT	TWIZY TEC X0gTEC80 2P 4X2 TA EV	6	-
VOLKSWAGEN	E-GOLF BE11B1 AC 5P 4X2 TA EV	1	-
DAYANG	DY-GD04A AC 4P 4X2 TA EV	2	-
RENAULT	TWIZY CARGO X0gCAR80 2P 4X2 TA EV	1	-
RENAULT	TWIZY URB X0g MOKA 2P 4X2 TA	1	-
<b>Total</b>		<b>109</b>	<b>123</b>

Figura 12. Venta de vehículos eléctricos por marca y modelo. Fuente: (Aeade, 2017)

## 2.5. VEHÍCULOS HÍBRIDOS DEL PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO

Desde el 2009 hasta el 2012 se vendieron cerca de 8200 vehículos híbridos en los cuales Toyota y Ford tuvieron las cifras más altas de ventas. En la figura 13 se muestra el resumen de ventas de vehículos más vendidos.

Tabla 1.- Vehículos vendidos en el parque automotor Ecuatoriano. Fuente: Autores.

Marca	Material de la batería	Voltaje (V)	Amperaje (A-h)	(V DC)
Toyota Prius	Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)	260	6.5	201.6
Toyota Highlander Híbrido	Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)	350	6.5	280
Toyota Camry	Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)	244.8	6.5	201.6
Chevrolet Silverado, Tahoe	Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)	330	6.5	201.6
Ford Escape Híbrido	Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)	300	6.5	330

MARCA	MODELOS	2009	2010	2011	2012	TOTAL POR MARCAS
TOYOTA	PRIUS, HIGHLANDER, CAMRY	1050	1840	557	1352	4799
FORD	ESCAPE, FUSION	86	1056	1034	3	2179
<b>TOTAL UNIDADES VENDIDAS</b>						6978

Figura 13. Vehículos híbridos del parque automotor ecuatoriano. Fuente: Autores.

## 2.6. TIPOS DE BATERÍAS A NIVEL NACIONAL

A nivel nacional están circulando aproximadamente 14492 vehículos híbridos contabilizados desde el 2010 hasta el 2017 de diferentes marcas y modelos, pero las baterías de alto voltaje que estos vehículos usan son de níquel - metales hidruros y baterías de ion – litio, en la figura 19 se muestra la cantidad de baterías estimadas según el tipo o material, en este caso la mayor cantidad es la de Ni-MH, que tienen aproximadamente 8760 contra 6182 de baterías de ion litio.

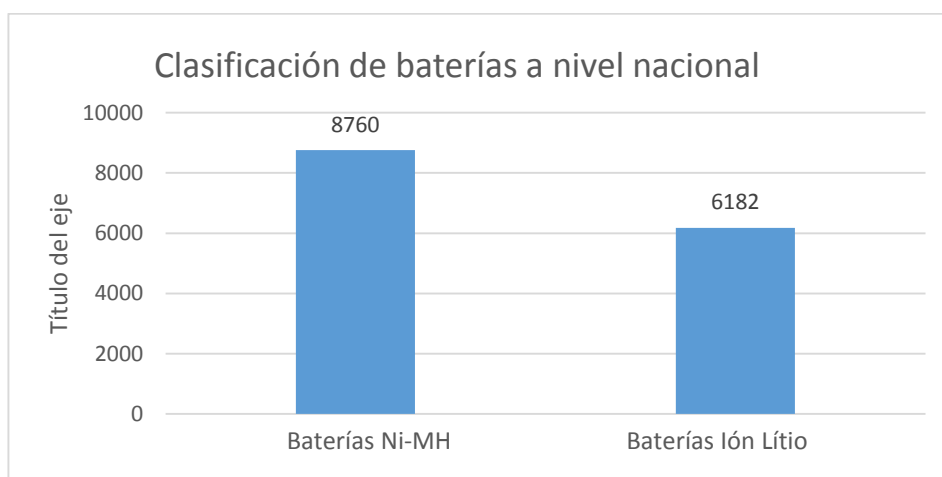


Figura 14. Clasificación de baterías a nivel nacional. Fuente: Autores.

Las baterías de níquel metal hidruro y de ion litio son las que se van a tratar, debido a que en Ecuador existen más unidades de las mismas, no se pueden descartar las de ion litio aunque existan en menor cantidad debido a que estas están presentes en los vehículos eléctricos que actualmente registran un crecimiento.



### **3. CAPÍTULO III**

#### **PROCESO PIROMETALÚRGICO PARA RECICLADO DE BATERÍAS**

##### **3.1. GENERALIDADES**

La pirometalurgia utiliza el calor para lograr obtener metales purificados y es una rama que se deriva de la metalurgia. Es una técnica que elimina la ganga que son silicatos y otros materiales que no son útiles para extraer el metal que se encuentran dentro de los minerales, este es el método más común para extraer minerales.

La pirometalurgia es el método más empleado para obtener metales al ser el uno de los más rápidos pero al mismo tiempo contamina en gran medida al medio ambiente y además gasta cantidades grandes de energía si lo comparamos con las técnicas hidrometalúrgicas. (Garcia, 2016)

Ya que existen en el mercado un gran número de baterías de autos eléctricos, es esencial en el ahorro de recursos naturales el reciclado de baterías de Ion-Litio y níquel metal hidruro ya que se aminorarán los impactos ambientales al manejar de forma correcta los metales de las baterías al final de su vida útil. Es importante conocer que existe una norma que divide el reciclaje en tratamiento previo y reciclado además este procedimiento debe realizarse en lugares impermeabilizados y adecuados para el almacenamiento de las baterías

##### **3.2. OPERACIONES PREVIAS AL RECICLAJE**

El primer paso es descargar las baterías que se van a reciclar y el desensamble de las cajas que generalmente son de plástico y de sus cables, estos necesitaran tratamientos distintos según el tipo de batería.

Existen 6 etapas para el proceso previo al reciclado y esas etapas son:

- Comprobar la ficha técnica de la batería.  
Se definen las siguientes características:
  - Tecnología
  - Tensión nominal
  - Capacidad nominal
  - Potencia nominal

-Peso

-Dimensiones

- Determinar las características físicas generales: marca, procedencia y características físicas generales del pack de baterías como los daños físicos, el tamaño, el material, la cantidad de placas y peso.
- Control visual de estado de las baterías.
- Verificar el estado de sus componentes eléctricos como cables, conexiones y voltajes de toda la batería y de cada.
- Descarga de la tensión residual de las baterías: este proceso es muy importante antes del reciclado ya que si no se lo realiza su manipulación podría ser riesgosa para los operarios de las máquinas que se usan en el proceso de reciclaje.

A continuación, se detallan los métodos para la descarga:

- a) El más económico es sumergir la batería en agua con sal, para que las baterías se descarguen por conductividad.
  - b) Bajar la reactividad de la batería sumergiéndola en nitrógeno líquido
  - c) Descarga mediante resistencias óhmicas conectadas a motores o focos de tipo automotriz.
- Desarme de las baterías: Se la realiza manualmente para separar los componentes de las baterías.

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO EN BATERÍAS NIQUEL HIDRURO**

Al proceso pirometalúrgico siempre le acompañan etapas hidrometalúrgicas que sirven para refinar los metales que fueron reducidos. Este proceso presenta una gran desventaja la cual consiste en que los materiales pueden perderse debido a las altas temperaturas que se manejan, el más frecuente es el plástico y el litio que se encuentra en el electrolito de las baterías, además al requerir altas temperaturas, el consumo eléctrico es elevado y expide muchos gases al medio ambiente.

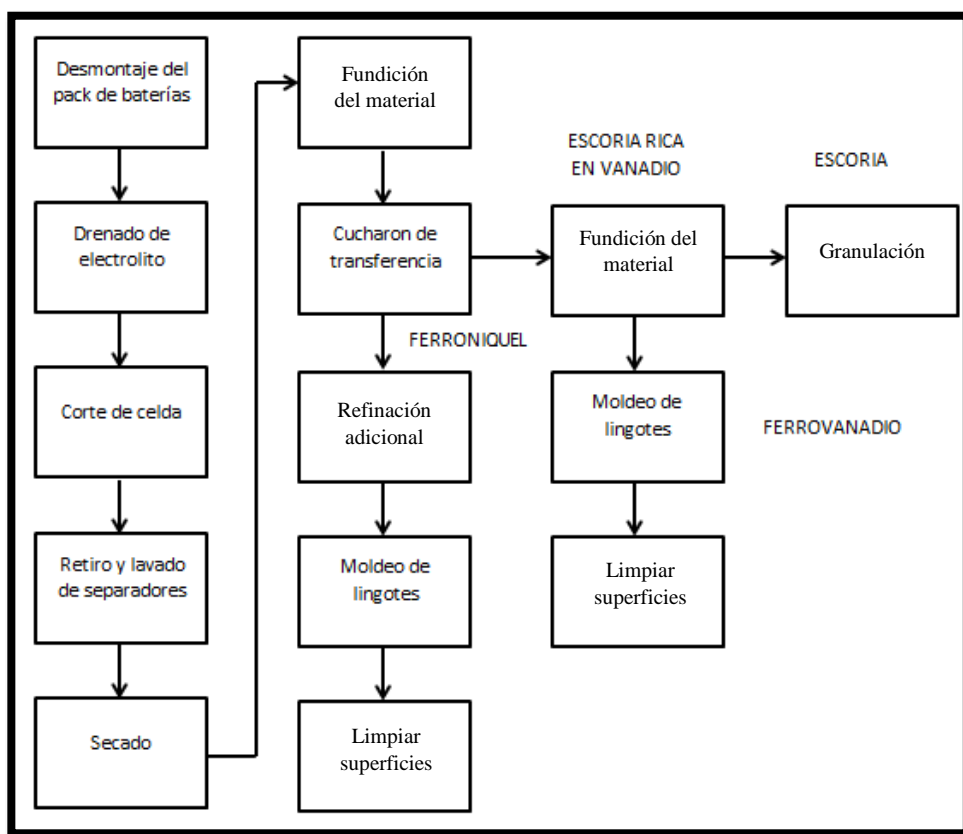


Figura 15.- Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de níquel hidruro.

Fuente: Autores.

El objetivo principal es recuperar el níquel en las baterías de NIHM y el cobalto en las de Ion-Litio que son los principales metales en las baterías de vehículo con motor eléctrico.

- Para realizar el proceso pirometalúrgico a fin de obtener níquel, el primer paso después del desmontaje de las baterías es colocarlas en un sistema transportador que las envía a una trituradora en la cual las cajas se rompen desde la parte inferior a través de un soplete de corte para lograr que el electrolito de la batería sea removido.
- El segundo paso es la separación de los electrodos de los componentes internos de las baterías mediante un corte, además los componentes restantes se lavan y los separadores de polipropileno se separan de los electrodos mediante un proceso de flotación y hundimiento por

gravedad. Esta separación también permitiría la neutralización del hidróxido de potasio residual.

Debido a que aproximadamente el 30 % del peso de la batería es acero niquelado, y de este el 97% es hierro, económicamente no es factible fundir este material con el níquel, ya que el valor del hierro es mínimo, mientras que la mezcla de hierro con níquel reduce el valor del ferroníquel. (J.C. Sabatini, 1994). Por otro lado, el polipropileno se separa debido a problemas de emisiones que se producirían con la combustión, como ocurrió en el pasado con el reciclaje de baterías de plomo-ácido.

- Los electrodos de desecho se precalentarán a aproximadamente 300 ° C en la secadora y una vez secos se transferirían al horno eléctrico dentro de un cubo de chatarra, aquí se introducirían mediante la extracción de la parte superior del horno, un enfoque que se practica ampliamente en la metalurgia.

La arena de sílice y la cal se agregarían en las proporciones adecuadas para formar un material fundente, y el mineral de hierro se agregaría en la proporción adecuada para oxidar el vanadio, el circonio, el titanio, el cromo y el aluminio.

- Una vez que los metales se han derretido, la escoria que contiene vanadio se vierte desde el horno hasta una cuchara de transferencia, esta escoria se mueve a un área para su posterior adición a otro horno de arco eléctrico para la reducción del vanadio. La escoria se debe agregar al horno en estado fundido para reducir la necesidad de energía adicional para calentar la escoria. El ferroníquel crudo restante se transfiere al horno de conversión para eliminar el contaminante metálico residual.

En el proceso de transferencia del ferroníquel, se agrega ferrosilicio a la cuchara para eliminar las impurezas y suministrar energía química adicional para mantener la temperatura, posteriormente en el convertidor, se inyecta oxígeno en el ferroníquel fundido crudo para una refinación adicional, eliminando sustancialmente todo el vanadio, circonio, titanio, cromo y aluminio restantes para producir ferroníquel puro. El ferroníquel se vierte desde el convertidor a un cucharón de transferencia y se traslada al área de

fundición, donde se moldea en recipientes para su posterior venta. Se puede requerir una eliminación adicional de la escoria para limpiar la superficie de los recipientes fundidos, lo que se realiza en un molino de tambor en el que se utiliza arena para limpiar las superficies de estos recipientes.

- La escoria rica en vanadio que se había enviado al segundo horno de arco eléctrico se calienta y se agrega aluminio metálico para reducir preferentemente el vanadio y el hierro, dejando los componentes restantes en la escoria. La escoria generada en la etapa de producción de ferrovanadio se recicla nuevamente enviándola al primer horno de ferromanganeso debido al níquel contenido. Periódicamente, esta escoria se la saca del horno y se desechará, además la que queda de la operación de ferrovanadio se solidificará, triturará, tamizará y venderá para aplicaciones de construcción de carreteras. La escoria puede tener algún uso en la industria refractaria.

Todos los escapes de los hornos deben pasar por un filtro ciclón y un filtro baghouse reduciendo partículas en las emisiones. Durante todo el proceso, las emisiones de la planta deben ser recolectadas y tratadas de manera adecuada, además todos los filtros deberán estar en buen estado.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO EN BATERÍAS ION-LITIO**

Según Batrec la inertización de baterías se realiza en un ambiente controlado, al ser altamente inflamables. Después se conducen a la fase de trituración debidamente controlada. Los materiales obtenidos se neutralizan y lixivian y finalmente, son separados en una planta de procesamiento de múltiples etapas.

### 3.4.1. BATREC

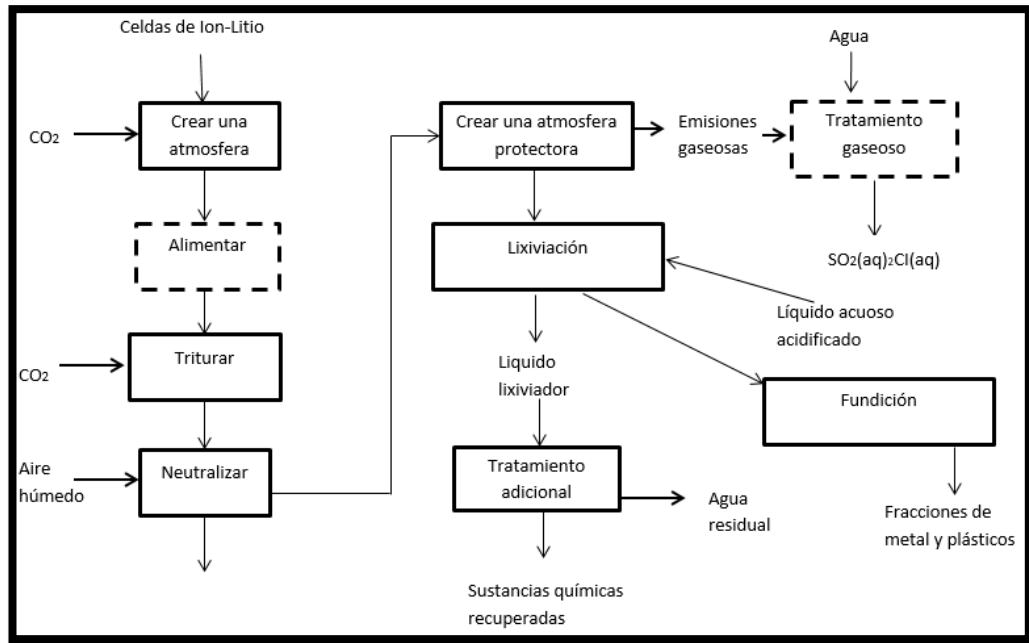


Figura 16. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Ion-Litio. Fuente: Autores.

- Trituración: En la primera fase, las baterías son colocadas en un ambiente inerte protector, compuesta de dióxido de carbono gaseoso. Posteriormente ingresan al triturador de forma mecánica discontinua, manteniendo la atmósfera protectora y con temperatura considerable de los gases; de aquí que se considere un proceso pirometalúrgico.
- Neutralización: al triturado se le añade aire húmedo para facilitar la neutralización del material procesado. Tras la finalización de esta etapa, sale del ambiente protector, siendo tratada en un lavador para reducir las emisiones gaseosas del proceso.

Procesado (hidrometalúrgia):

- Lavado y lixiviación: Una vez obtenido el material se lava y lixivia en una solución acuosa acidificada, resultando en una fracción sólida y una líquida con compuestos solubles.

- La mayoría de metales están contenidos en la fracción sólida, esta se trata mediante pirólisis para eliminar las impurezas como plásticos y finalmente mediante tratamiento mecánico se dividen los compuestos metálicos.
- El producto del lixiviado se refina mecánicamente en la que se recuperan otras sustancias químicas.

### **3.4.2. UMICORE**

UMICORE es una empresa que emplea el proceso pirometalúrgico para recuperar metales de las baterías de vehículos eléctricos, es el método más empleado y fue patentado para recuperar Ni-MH como de Li-ión. Su principal objetivo es el reciclaje de las baterías de iones de litio para recuperar el cobalto y litio.

El proceso consta de 5 fases:

- Fase 1: Fundido
- Fase 2: Refinación
- Fase 3: Purificación de metales
- Fase 4: Oxidación de Cobalto
- Fase 5: Obtención de óxido de litio metálico

#### **Fase 1: Fundido**

Las baterías ingresan en un horno con las siguientes finalidades:

- Vaporizar el electrolito.
- Fundir todos los metales.
- Beneficiarse de la capacidad calorífica del polipropileno
- Emplear como un agente reductor el grafito del cátodo para transformar los óxidos de metales a su forma metálica.

En esta fase, para evitar explosiones se requiere un permanente control para evitar incendios por la presión que provoca al calentarse el electrolito, además para que no hayan fugas de elementos químicos volátiles.

### **Fase 2 y 3: Refinación y purificación**

En esta etapa se refina y purifica mediante un proceso hidrometalúrgico en el que las aleaciones obtenidas en la fase 1 (hierro, cobre, níquel y cobalto) se lixivian con ácido sulfúrico para después de ajustado el pH sea posible la separación de los metales obteniendo  $\text{CoCl}_2$  y  $\text{NiSO}_4$ . Al final se purifican cuando se extraen del disolvente.

### **Fase 4 y 5: Oxidación y producción de Óxido de litio metálico**

En unas condiciones específicas el cloruro de cobalto se oxida en un horno, este es un proceso desarrollado por Umicore, obteniendo de este horno un óxido de cobalto de excelente calidad, que es necesario para lograr conseguir un compuesto que contiene litio. Finalmente en la última fase se obtiene óxido de cobalto de litio que es utilizado para el ánodo de las baterías de Li-polímero y Li-ion

## **3.5. EQUIPOS UTILIZADOS**

Los principales equipos son:

- Trituradora
- Tanque de lixiviación
- Horno de arco eléctrico
- Horno de pirólisis
- Secador rotatorio
- Convertidor
- Cucharón



### 3.6. EMPRESAS DESTINADAS AL RECICLAJE A NIVEL MUNDIAL

Empresa	Localización	Proceso de reciclaje
UMICORE	Bélgica	Fusión pirometalúrgica (con refinado hidrometalúrgico)
BATREC	Suiza	Granulación y tamizado (pretratamiento mecánico) y pirometalurgia (con lixiviación)
RECUPYL	Francia y Singapur	Granulación y tamizado (pretratamiento mecánico), lixiviación hidrometalúrgica y refinado
TOXCO	Canadá	Neutralización, tratamiento mecánico e hidrometalurgia

Figura 17. Empresas de reciclaje a nivel mundial. Fuente: (García, 2016)

### 3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Como ventajas del proceso se tiene.

- Economías de escala
- Valorización energética plásticos
- Altas velocidades de reacción
- Poca superficie por unidad tratada
- Alimentaciones heterogéneas

Como desventajas tenemos las siguientes:

- Recuperación Co y Ni principalmente
- Alta inversión inicial
- Problemas de emisiones gaseosas
- Solo apto para metales en cantidades considerables
- Poca selectividad y eficacia de separación

Se define que el proceso pirometalúrgico es un proceso muy útil que se basa en la recuperación del cobalto y el níquel que son metales que tienen valores altos en el mercado y por este motivo cada vez se usan menos en la producción de baterías, por otro lado antes de considerar la implantación de una planta recicladora de baterías hay que tomar en cuenta que su inversión inicial es elevada y que también emite gases contaminantes al medio ambiente, entonces se debería hacer un balance de que tan contaminante es la planta frente a solo dejar a las baterías en depósitos adecuados para estas.

## **4. CAPÍTULO IV**

### **FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL IMPLEMENTAR EL PROCESO PIROMETALÚRGICO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS EN ECUADOR**

#### **4.1. GENERALIDADES**

A continuación se presenta un estudio de factibilidad para decidir si es viable o no la instalación de una recicladora de baterías de vehículos eléctricos e híbridos en el Parque Industrial de la Ciudad de Cuenca. Esta localización no es arbitraria, sino que se presenta por la posible contaminación ambiental que se puede producir al instalar la planta en lugares cercanos a la centro de la ciudad.

#### **4.2. PRINCIPALES EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA RECUPERACIÓN DEL LITIO Y COBALTO EN LAS BATERÍAS IÓN-LÍTIO**

En el proceso de pirometalúrgico como se ve en la figura 23 primero se realiza la inertización de las baterías en un ambiente controlado, ya que son altamente inflamables. Después se alimentan a una unidad de trituración, donde se trituran, también en una atmósfera controlada. Los materiales obtenidos se funden, se neutralizan y lixivian hasta que a final, se separan en una máquina de múltiples etapas.

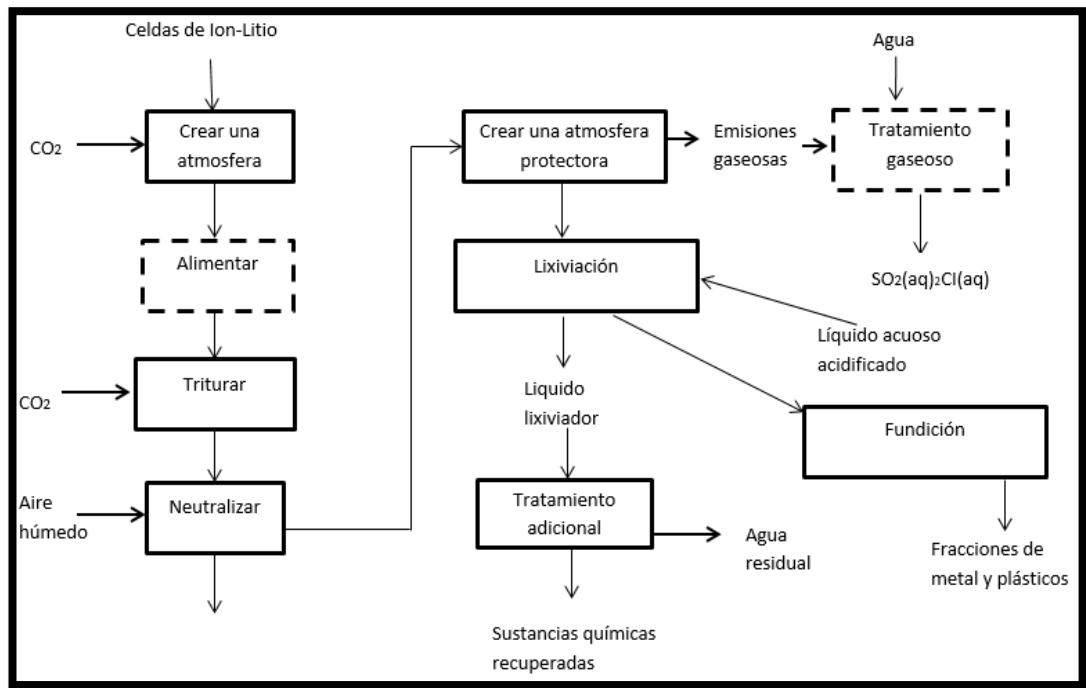


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Ion-Litio. Fuente: Autores.

#### 4.2.1. TRITURADORA

Una vez que se han realizado las operaciones previas al reciclaje las baterías se reducen de tamaño mediante una trituradora de mandíbulas que se aprecia en la figura 24. El operador las coloca en la cinta transportadora la cual las envía a las mandíbulas de la trituradora, que consiste en una mandíbula móvil y una fija accionadas por un motor eléctrico que transmite el movimiento a la correa y polea por medio de un eje excéntrico empujando la mandíbula móvil hacia la fija, exprimiendo, presionando y frotando las celdas hasta triturarlas. Luego de la trituración el material es trasladado por una banda transportadora hacia el siguiente proceso.



Figura 19. Trituradora de mandíbulas. Fuente: (construction, 2014)

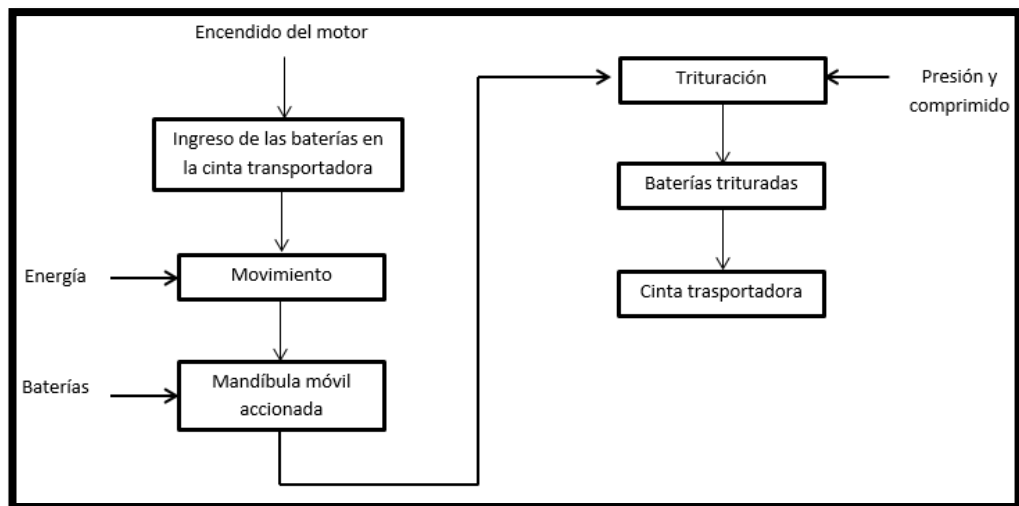


Figura 20. Diagrama de flujo de la trituradora de mandíbulas. Fuente: Autores.

- **Impacto ambiental**

El impacto ambiental que produce la trituradora de mandíbulas en cuanto a su funcionamiento es el siguiente:

- **Ruidos y vibraciones de máquinas y motores.**- Al tener un eje excéntrico este producirá vibraciones en el momento que esté realizando su trabajo.
- **Emisión de polvo y gases.**- Las emisiones de polvo se producen debido a que los materiales triturados se convierten en partículas muy pequeñas que son volátiles y los gases se emanan por los materiales de los que están compuestos como son el níquel, cobalto, aluminio y manganeso.

- Riesgo en las vías respiratorias.- Este daño se da por inhalamiento de sustancias tóxicas que producen efectos dañinos al penetrar al organismo sobre todo en las vías respiratorias.

#### 4.2.2. HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

Es un horno que se calienta por medio de un arco eléctrico y la temperatura en su interior puede alcanzar los 3800 grados centígrados. El horno dispone de 3 electrodos como se muestra en la figura 26 con una sección redonda que pueden ser sustituidos al desgastarse. El arco se forma entre las baterías cargadas y los electrodos entonces la carga se calienta tanto por la carga que pasa a través de las baterías y por la energía radiante que genera el arco. Es importante mantener controlados los electrodos ya que al derretirse las baterías pueden moverse además que siempre se debe regular la corriente y potencia durante la fusión del material.

El horno de arco eléctrico en el proceso pirometalúrgico cumple la función de evaporar el electrolito además de fundir todos los metales y está construido sobre una plataforma basculante para que el material derretido pueda ser vertido sobre otro recipiente para transportarlo.

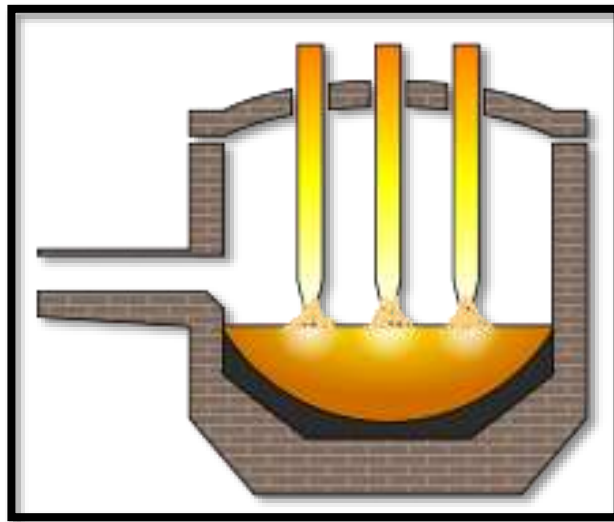


Figura 21. Horno arco eléctrico. Fuente: (Mecatrónica, 2014)

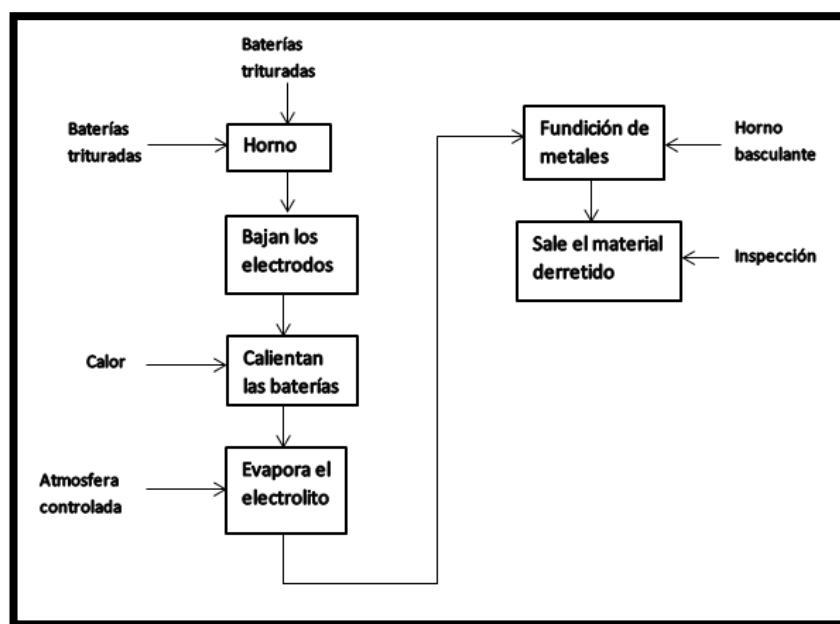


Figura 22. Diagrama de flujo del funcionamiento de un horno de arco. Fuente: Autores

En este proceso se necesita inspección constante para que las baterías no estallen por la presión que genera la temperatura en el horno y para que no exista liberación de compuestos volátiles.

- **Impacto ambiental**

- **Generación de emisiones difusas, olores y humos.**- El horno de arco eléctrico produce gases que provienen de los metales y del polipropileno que al fundirse se emanan al medio ambiente.

- **Riesgo de incendio.** - Al manejarse altas temperaturas existe el riesgo de incendio de los materiales que se encuentran alrededor del horno es por este motivo que la fundición tiene que hacerse en un ambiente controlado.

- **Derramamiento de desechos peligrosos al medio ambiente.** - Los materiales fundidos una vez extraídos del horno deben manejarse con cuidado porque hay la posibilidad de contaminar el medio ambiente si no se manejan con la debida precaución.

#### 4.2.3. TANQUE DE LIXIVIACIÓN

Una vez que las baterías han sido trituradas y fundidas además se las introduce a un tanque de lixiviación aproximadamente por una hora, a este tanque le añade una disolución de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) a una relación de 1 a 10 con una temperatura de  $80^\circ C$  para obtener  $LiCoO_2$  (Óxido de cobalto de litio) y empleando la extracción

y precipitación con solvente se recupera cobalto y litio que se encuentra en el lixiviado. Adicionalmente el polvo que resulta de la trituración de las baterías se lo trata en un lavador de gases para recircular estas partículas al tanque de lixiviación.

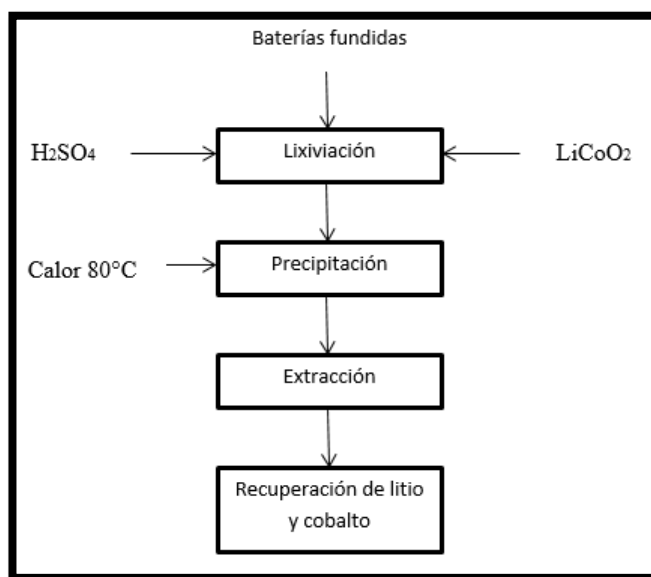


Figura 23. Diagrama de flujo del funcionamiento del tanque de lixiviación. Fuente: Autores

Tabla 2. Elementos obtenidos de la lixiviación. Fuente: (García, 2016)

Elemento	Concentración (g/L)
$Al^{3+}$	0.222
$Co^{2+}$	20.045
$Li^{+}$	2.034
$Cu^{2+}$	1.4172
$Ni^{2+}$	0.0375
$Fe^{2+}$	0.0067
$Mn^{2+}$	0.0024

- **Impacto ambiental**

En el taque de lixiviación se pueden dar los siguientes impactos en el medio ambiente:

- **Pérdida de control del lixiviador.**- Esto se puede ocasionar debido a la falla de los operarios y al ser compuestos químicos peligrosos para la salud constituye un gran riesgo para el medio ambiente y personal cercano a la planta.
- **Contaminación de agua por fugas.**- El mantenimiento es muy importante ya que si existe alguna fuga por el deterioro de los equipos utilizados es probable

que el agua que circula por la planta recicladora se contamine y además infecte el suelo y vegetación que se encuentran cercanos a la planta recicladora.

#### 4.2.4. HORNO DE PIRÓLISIS

El horno de pirólisis consiste en un horno que se calienta a altas temperaturas en ausencia de oxígeno que involucra cambios de estado físicos y químicos de manera permanente, en la figura 29 se muestra el esquema de funcionamiento.

Se utiliza para eliminar impurezas de la fracción sólida que es en la que se encuentran la mayoría de metales como plásticos y mediante un tratamiento adicional se separan los compuestos metálicos.

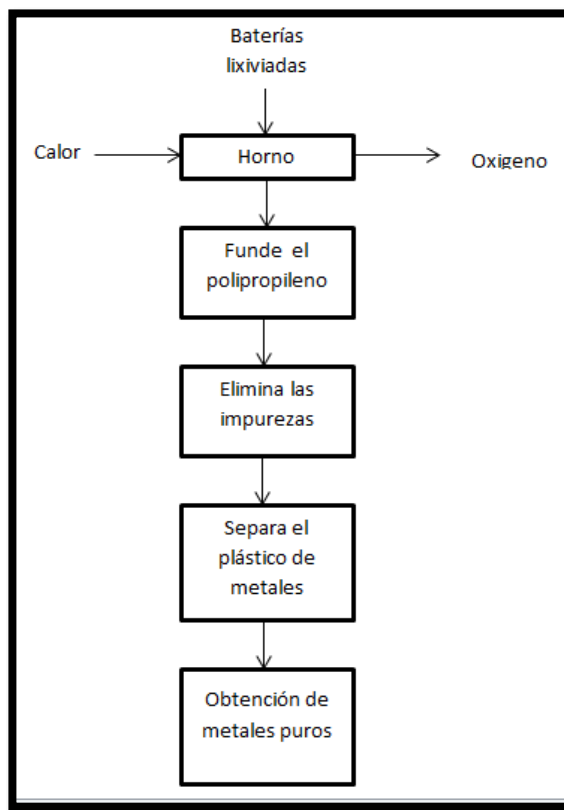


Figura 24. Diagrama del flujo del funcionamiento del horno de pirólisis. Fuente: Autores

- **Impacto ambiental**

- Genera subproductos líquidos y sólidos con altos niveles de contaminantes tóxicos.

- Requiere grandes cantidades de energía para funcionar ya que las temperaturas que alcanzan son muy elevadas.



#### 4.2.5. SECADOR ROTATORIO

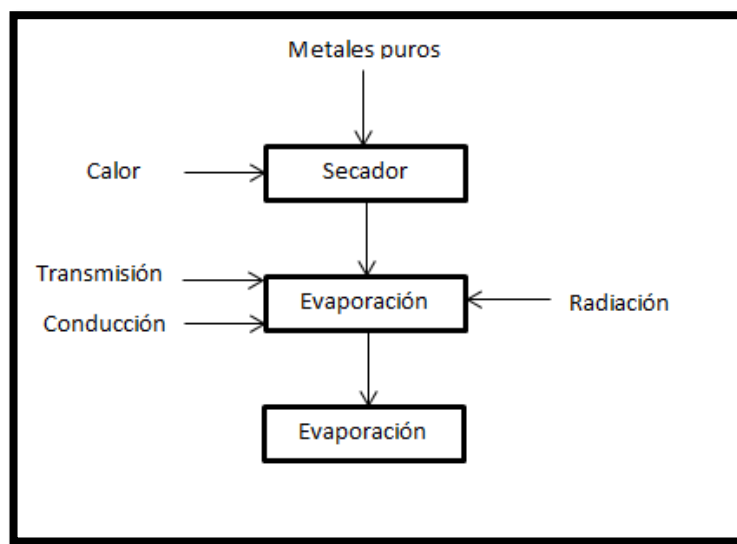


Figura 25. Diagrama de flujo del funcionamiento del secador. Fuente: Autores

El secado consiste en transmitir calor a los metales resultantes de la lixiviación para evaporar la humedad residual y se realiza por los tres métodos convencionales que son la transmisión, a conducción y la radiación. De igual modo se debe tener cuidado para prevenir la combustión.

- **Impacto ambiental**

- Emisiones de partículas de polvo a la atmosfera
- Generación de emisiones difusas, olores y humos
- Al manejarse altas temperaturas existe el riesgo de incendio de los materiales que se encuentran alrededor del secador es por este motivo que el secado tiene que hacerse en un ambiente controlado.

#### 4.2.6. CONVERTIDOR

En el convertidor se inyecta oxígeno para realizar un refinado adicional y eliminar los productos que no son necesarios como el plástico de las baterías.

El impacto ambiental que genera el convertidor son emisiones de oxígeno al medio ambiente.

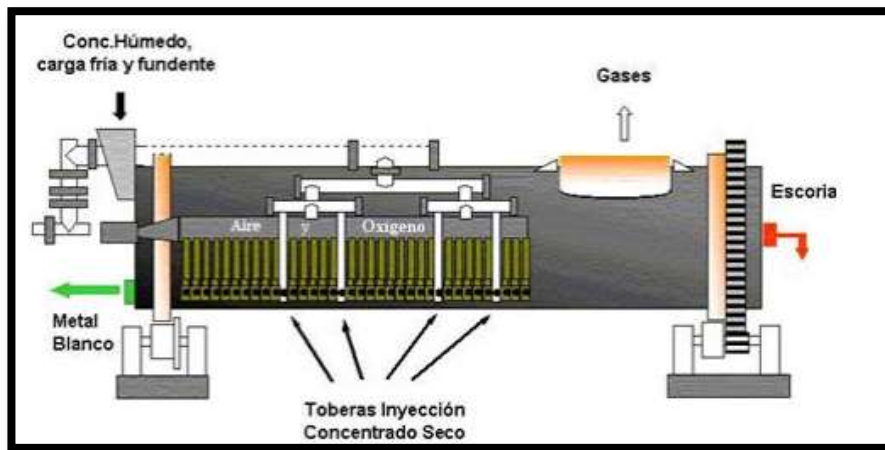


Figura 26. Convertidor de oxígeno. Fuente: (construction, 2014)

#### 4.2.7. CUCHARÓN DE TRANSFERENCIA

Es un recipiente que se utilizara para transportar y verter los metales fundidos. Este cucharón no tiene ningún impacto ambiental ya que solo se usa como depósito para los metales.



Figura 27. Cucharón. Fuente: (construction, 2014)

### 4.3. EQUIPOS PRINCIPALES PARA LA RECUPERACIÓN FERRONÍQUEL Y FERROVANADIO DE BATERÍAS DE NI-MH

Luego de desmontar el paquete de baterías se drena el electrolito mediante un corte inferior, se separa los electrodos de la celda y mediante un tanque de separación se lava y retira separadores de polipropileno, antes de introducir los compuestos al

horno pasan por un túnel de secado, precalentándose a 300 ° C, el horno produce ferróníquel y escoria rica en vanadio, el ferróníquel pasa por un convertidor obteniendo un refinación adicional y por último se moldea en lingotes que pasan por un tambor rotatorio que elimina escoria de la superficie de los lingotes, la escoria rica en vanadio pasar por un horno de arco eléctrico produciendo ferrovanadio que igualmente es moldeado en lingotes.

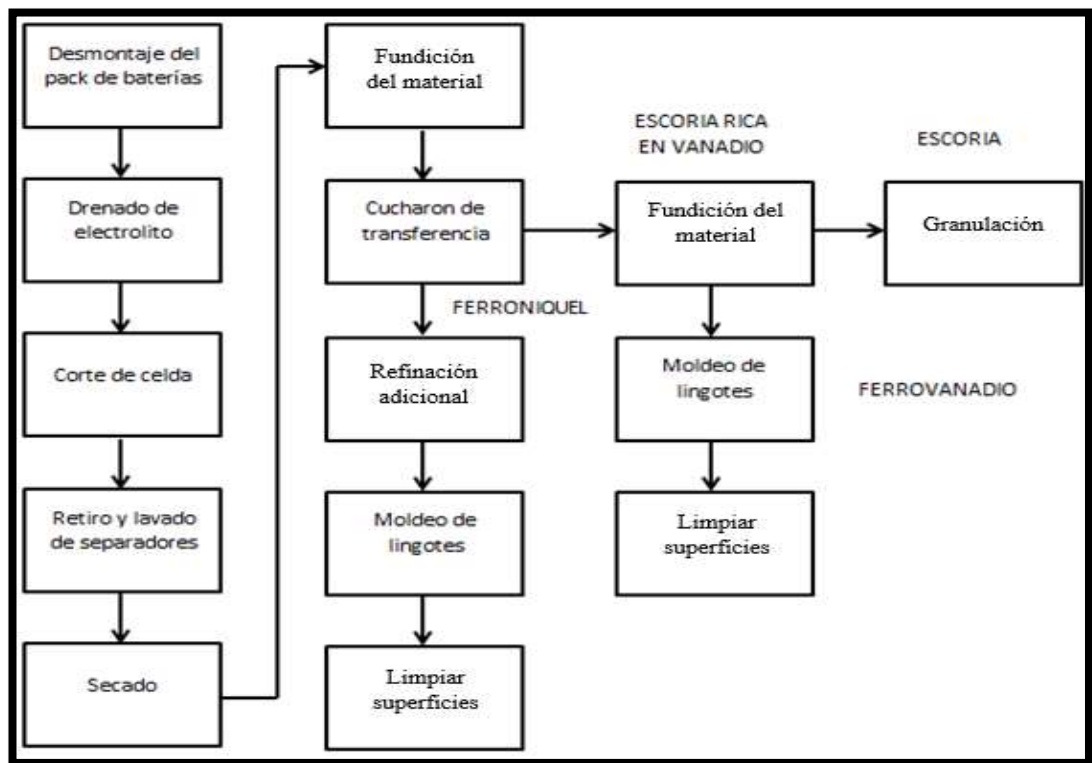


Figura 28. Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para baterías de Níquel-Hidruro. Fuente: Autores.

### 4.3.1. TANQUE DE SEPARACIÓN

Debido a un proceso de flotación y hundimiento los separadores de polipropileno se separan por gravedad de los electrodos, que son los componentes restantes de la batería, debido a su principio básico de separación por gravedad tiene una alta selectividad y es rentable por bajos costos operativos, mantenimiento, desgaste y gasto de energía. El tanque contiene agua que dependiendo de los materiales a separar se usa aditivos para modificar la densidad del fluido, en este proceso separamos el polipropileno para evitar problemas de emisiones por la combustión, y a los electrodos se los seca por un túnel de secado eliminando restos de agua que

provocarían explosiones en el horno, además de este proceso se obtiene la neutralización de hidróxido de potasio residual.

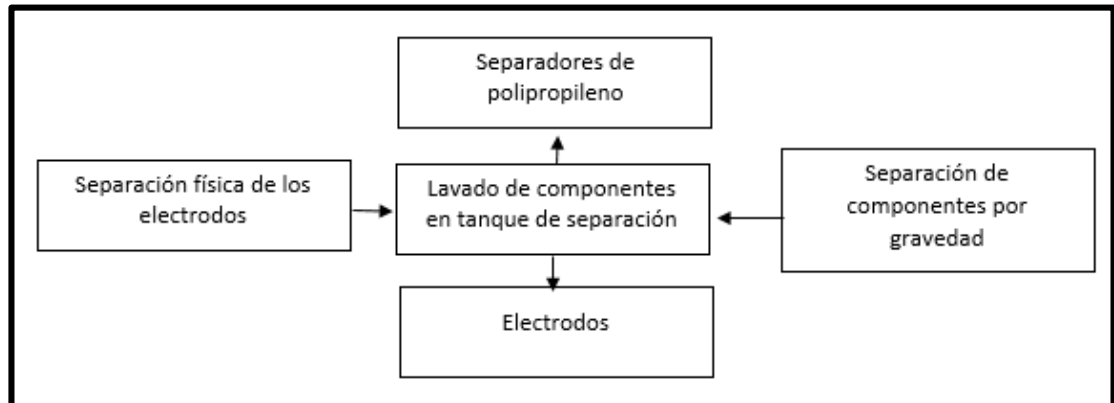


Figura 29. Diagrama de flujo del funcionamiento del tanque de separación. Fuente: Autores

- **Impacto ambiental**

No se presenta impacto ambiental debido al tratamiento de aguas residuales posterior que se tiene en la planta.

#### 4.3.2. SECADOR DE TUNEL

Los electrodos se introducen desde un extremo del túnel en una bandeja móvil en donde se precalientan aproximadamente a 300 ° C para eliminar el agua de la superficie, que evite explosiones en el horno de arco eléctrico, estos componentes se transfieren al horno mediante un cubo de chatarra.



Figura 30. Secador de túnel. Fuente: (construction, 2014)

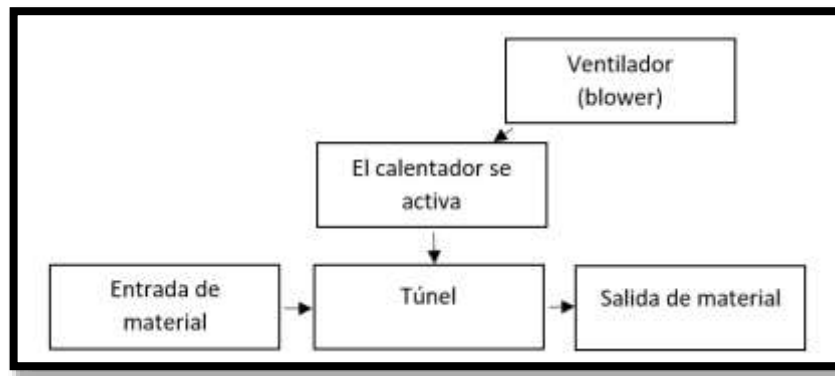


Figura 31. Diagrama de flujo del funcionamiento del secador de túnel. Fuente: Autores

- **Impacto ambiental**

Existe riesgo de incendio al manejarse altas temperaturas es por este motivo que el secado se tiene que hacer en un ambiente controlado.

#### **4.4. MARCO LEGAL EN BASE A NORMAS Y ORDENANZAS**

Para el reciclaje existen varias normas que se deben seguir, las que buscan proteger los derechos de la naturaleza y garantizar un medio ambiente saludable en donde los seres vivos podamos vivir. Los principales desechos generados tienen relación con la movilidad y existen normas y leyes establecidas para lograr dar un manejo adecuado a estos residuos.

##### **4.4.1. MARCO LEGAL INTERNACIONAL**

- **Convenio de Basilea**

El Convenio de Basilea busca preservar el medio ambiente y la salud humana frente a las posibles consecuencias de movimientos internacionales de residuos contaminantes. Del mismo modo controla, regula y sanciona el tráfico de todo tipo de desechos para que sean manejados de manera racional.

- **Constitución de la República del Ecuador**

En la constitución se establecen artículos para que los desechos no sean mal manejados garantizando que los derechos de la naturaleza se cumplan, es así que algunas de las reformas se elaboraron en los artículos 14, 15 y 32 en los que se asegura un medio ambiente sano para las personas.

En el artículo 14 se menciona que las personas tienen derecho a vivir en un medio ambiente sano y que es obligación de las mismas cuidar los ecosistemas, la biodiversidad y prevenir el daño de los espacios naturales

En el artículo 15 se promueve la utilización de tecnologías no contaminantes y se prohíbe el uso de armas químicas así como el uso de desechos nucleares y residuos tóxicos en el Ecuador.

En el artículo 32 se reconoce el derecho a la salud y el estado garantiza el acceso a este mediante políticas sociales, educativas, etc., además se debe garantizar el derecho al agua, educación, seguridad social y alimentación.

- **Ley Orgánica de Salud**

En el literal c del artículo 7 de esta ley establece que toda persona y en relación a la salud tiene derecho a vivir en un medio ambiente sano, sin contaminación y equilibrado ecológicamente. También se menciona que las personas tienen deberes que tienen que cumplir en cuanto a la contaminación ambiental y enumera las normas para manejar correctamente los residuos generados por las personas.

- **Ley para controlar y prevenir de la contaminación ambiental**

Esta ley fue creada en el año 2004 y establece las reglas a seguir para evitar la contaminación inducida por el mal manejo de residuos.

Los artículos más importantes y que tienen que ver con la contaminación ambiental son los artículos 10, 11, 12, 14 y 16 en los que se menciona la prohibición de perturbar la calidad de los recursos naturales y se detallan los organismos competentes en lo que respecta al manejo de desechos.

#### **4.4.2. NORMAS**

- **INEN 2266**

La norma INEN 2266 establece la manera en la que se deben transportar, almacenar y manejar los productos químicos peligrosos además de los requisitos de seguridad que deben cumplir las personas que estén expuestos a este tipo de compuestos.

La norma INEN 2266 plantea que la planta de reciclaje tiene relación con las actividades de almacenaje, eliminación y transporte de productos químicos dañinos.

En esta se detallan algunas definiciones importantes que se relacionan con el reciclaje de baterías y son las siguientes:

**-Deterioro de la salud.** Son las todas las perturbaciones funcionales u orgánicas que sufren diferentes organismos, órganos, aparatos o sistemas de forma reversible o irreversible en el cuerpo humano.

**-Explosivo.** Compuestos capaces de provocar daños al entorno mediante reacciones químicas que están sujetas a ciertas condiciones sea temperatura, velocidad o presión.

**-Gas.** Compuesto gaseoso sometido a condiciones de presión y de temperatura.

**-Gas combustible.** Gas que sirve de fuente de energía de diferentes sistemas encargados de generar calor o producir fuego, el más común es el gas licuado de petróleo.

**-Toxicidad.** Se define como la propiedad que tiene una sustancia de ocasionar daños a la salud de manera permanente o temporal, o puede llegar a ser mortal al ser ingeridos, inhalados o se tiene contacto directo con la piel

**-Productos químicos peligrosos.** Son todos los productos químicos que según su composición generen riesgos a la salud y medio ambiente, teniendo uso controlado para evitar riesgos como explosiones, infecciones, intoxicaciones, corrosivos.

A continuación se definen los materiales que se extraen de las baterías recicladas según la clasificación de la norma:

### **Líquidos inflamables**

**-Líquidos.-** mezclas con un porcentaje de sólidos en suspensión que generan vapores altamente inflamables con temperaturas máximas de 60,5 grados centígrados en crisol cerrado o de 65,6 grados centígrados en crisol abierto, conocido como punto de inflamación. Ejemplo: gasolina, tolueno.

**Sólidos inflamables;** materiales que son altamente combustibles y con alto riesgos si toca la humedad.

**-Sólidos inflamables.** Estos tienen la propiedad de ser muy inflamables originados por chispas, llamas como maderas, papel etc.

**-Material que tienden a inflamarse fácilmente:** compuestos sólidos con propiedades que tienden a ser inflamables al calentarse como el fosforo blanco o nitrocelulosa.

### **Peróxidos orgánicos y oxidantes**

**-Materiales oxidantes.** Son sustancias con propiedades inflamables al contacto con oxígeno, por ejemplo permanganato de potasio o nitratos.

**-Peróxidos orgánicos.** Sustancias con la capacidad de liberar fácilmente oxígeno como el peróxido de benzoilo.

### **Materiales venenosos – con riesgo de infección (biopeligroso)**

**-Materiales venenosos.** Sustancias altamente tóxicas que provocan la muerte, deterioran de manera significativa la salud si son ingeridos, inhalados o tienen contacto con tejidos corporales, ejemplo benceno, cianuro.

**-Materiales infecciosos (bio peligroso).** Son sustancias con alto contenido de microorganismos patógenos que degradan la salud en seres vivos, por ejemplo desechos humanos, médicos, abonos, agentes infecciosos.

### **Materiales de acción corrosiva**

-son sustancias que al estar en contacto con superficies sólidas o tejidos vivos ocasionan destrucción visible como alteración o de forma irreversible, por ejemplo se tienen a los ácidos inorgánicos, halógenos (F, Cl, Br)

### **Material peligroso misceláneo**

-Cargas muy peligrosas reguladas para su transporte pero no pueden estar incluidas en ninguna de las clases mencionadas.

-Sustancias peligrosas para el ambiente.

### **Requisitos específicos**

- **Personal**

La norma establece que el personal tiene que contar con el equipo de seguridad y un entrenamiento adecuados para reducir el riesgo de sufrir accidentes o enfermedades además que deben conocer y cumplir las leyes y reglamentos vigentes.



- **Trasporte**

En cuanto al transporte existen varias disposiciones en la norma sobre las condiciones de seguridad mínima que deben tener los conductores además de las rutas que debe solicitar a las autoridades competentes para transportar productos químicos que se consideran peligrosos para la salud.

El conductor debe conocimientos en:

- Manejo y funcionamiento técnico del vehículo.
- Uso correcto de señalización para prevenir riesgos
- Primeros auxilios

Cualquier vehículo encargado de transportar esos materiales debe tener mínimo dos personas para operarlo, un conductor y auxiliar, el auxiliar debe estar capacitado de la misma manera que el conductor.

El transportista es el encargado de verificar la fijación correcta de la carga asegurada con los soportes que sean necesarios, además si se necesitara refrigeración para la carga, deberá garantizar un adecuado sistema de refrigeración para la carga.

El conductor debe tener presente lo siguiente al estar en carretera

- a) La correcta instalación de señales de seguridad reflectabas de intensidad alta o grado diamante, delanteras, posteriores y laterales, con la simbología de la carga peligrosa que transporta.
- b) Garantizar que no generen problemas tanto el vehículo como la carga en el caso de necesitar alejarse del vehículo.
- c) Mantener estacionado el vehículo lo más alejado a zonas pobladas.
- d) Dar aviso a las autoridades sobre localización y contenido del vehículo en caso de sea necesario abandonarlo.

En lugares de acceso público, El conductor debe:

- a) Garantizar que no generen problemas tanto el vehículo como la carga en el caso de necesitar alejarse del vehículo.
- b) Mantener estacionado el vehículo lo más alejado a zonas pobladas, unidades educativas, centros de salud, centros de detención, aeropuertos y zonas de concentraciones masivas (500 m por lo menos).

c) Dar aviso a las autoridades sobre localización y contenido del vehículo en caso de sea necesario abandonarlo.

- **Selección de ruta**

La norma establece que el transportista debe solicitar a las autoridades una ruta determinada de transporte, que estará señalada en la guía y dependiendo de la peligrosidad se le proveerá de resguardo teniendo en cuenta regulaciones pertinentes. En la determinación de ruta de transporte se escogerá horas de congestión mínima vehicular y peatonal para disminuir el riesgo al tráfico o de terceros, además se debe evitar zonas altamente pobladas o vulnerables a contaminación.

Las vías que son escogidas para la ruta deben ser lo más marginales posibles, evitando curvas cerradas, vías angostas, desniveles pronunciados o zonas que generen dificultad al conductor.

Las autoridades coordinaran con los transportistas para evitar que los vehículos que transportan cargas peligrosas generen una hilera continua (Convoy) y mantener una distancia de 150 metros mínimo entre las unidades.

- **Carteles de riesgo**

Dentro de la planta recicladora se deberán colocar etiquetas y carteles de peligro que se satisfagan los requisitos establecidos en las normas ecuatorianas técnica INEN correspondientes, estas deben resistir manipulación y la exposición al aire libre.

El sistema National Fire Protection Association (NFPA) sirve para etiquetar de manera correcta un producto peligroso, se trata de un rombo de forma cuadrada de 100x100 mm, con división en 4 áreas que contendrán un color y número correspondiente.

El color sirve para indicar que tipo de riesgo existe según el producto, y el número cuantifica el nivel de riesgo:

- a) Para indicar peligro hacia la salud se usa el color azul.
- b) Riesgo o alto valor de inflamabilidad se indica con el color rojo
- c) El color amarillo indica peligro de reactividad
- d) Se usa el color blanco para indicar peligro especial:

Los responsables de un correcto etiquetado de los productos químicos peligrosos son el fabricante y comercializador.

El idioma del cartel debe ser español y los símbolos gráficos deben ser claramente legibles al igual que los diseños de los carteles.

El material de los carteles debe ser refractivo de intensidad alta o grado diamante y resistente al aire libre. Las dimensiones de los carteles en forma de rombo debe ser de 250 x 250 mm para transporte y contenedores con placas de color naranja, no menos de 300 x 120 mm con 10 mm de borde, con dígitos de color negro de un alto mayor o igual de 65 mm.

- **Apilamiento**

Debe ir de acuerdo al grado de afinidad que tienen con otros productos y no deben estar en el piso si no sobre plataformas o palets y respecto a una sola clasificación, adicionalmente no se deben apilar con una altura que sobrepase los 1.3 metros de alto.

- **Responsabilidad y almacenamiento**

Las personas a cargo de la planta de reciclaje se harán responsables de accidentes y daños que puedan ocurrir como resultado de una mezcla de productos incompatibles. Antes de almacenar las baterías se deberán identificar y etiquetar según el tipo de batería y no se tienen que mezclar productos incompatibles ya que el mal manejo de los componentes podrían ocasionar accidentes como explosiones además los almacenadores tiene que disponer de medios de prevención.

Los lugares destinados para el almacenamiento deben estar situados lejos de áreas residenciales y en áreas no expuestas a inundaciones en las que puedan acceder vehículos especialmente de bomberos. También debe disponer de un servicio de primeros auxilios y contar con fácil acceso a centros hospitalarios que conozcan sobre la toxicidad de los productos químicos.

#### **4.5. CONSIDERACIONES PARA EL ESPACIO FÍSICO NECESARIO PARA IMPLEMENTACIÓN**

La distribución de los espacios son de gran importancia pues determina el lugar donde se ubicaran las estaciones de trabajo garantizando un flujo continuo del proceso, se toma en cuenta la forma en u que mantiene las líneas de salida y entrada paralelas entre sí, para dimensionar la planta primero se establecen parámetros que garanticen la seguridad minimizando el riesgo de accidentes laborales, por tal motivo se mantendrá alejado las vías que sirven para circulación del personal como los

vehículos de transporte, de las superficies o áreas destinadas para las máquinas, la anchura mínima de las vías destinadas para peatones o personal es de 1.2 m, la unidad de paso para acceder a las superficies de trabajo es de 0.8 m, y las superficies de trabajo que rodea a las máquinas es de 2 metros cuadrados libres desde el punto más saliente o parte móvil, según la estructura de los procesos mencionados en la sección 4.2 y 4.3 se dimensionan los equipos principales a utilizar en la tabla 2 y en la figura 37 se muestra su distribución.

Tabla 3.- Dimensiones de los equipos principales. Fuente: Autores.

equipos de proceso	modelo	longitud	ancho
trituradora	rb500/5	2,5 mts	1,2 mts
horno eléctrico		6,5 mts	4,5 mts
tanque de lixiviación		1,2 mts	1,3 mts
secador rotario		3 mts	4,5 mts
convertidor		2,1 mts	1,8 mts
cucharón		1,5 mts	1,5 mts
tanque de separación		4 mts	1.2 mts
secador de túnel		3 mts	1.2 mts

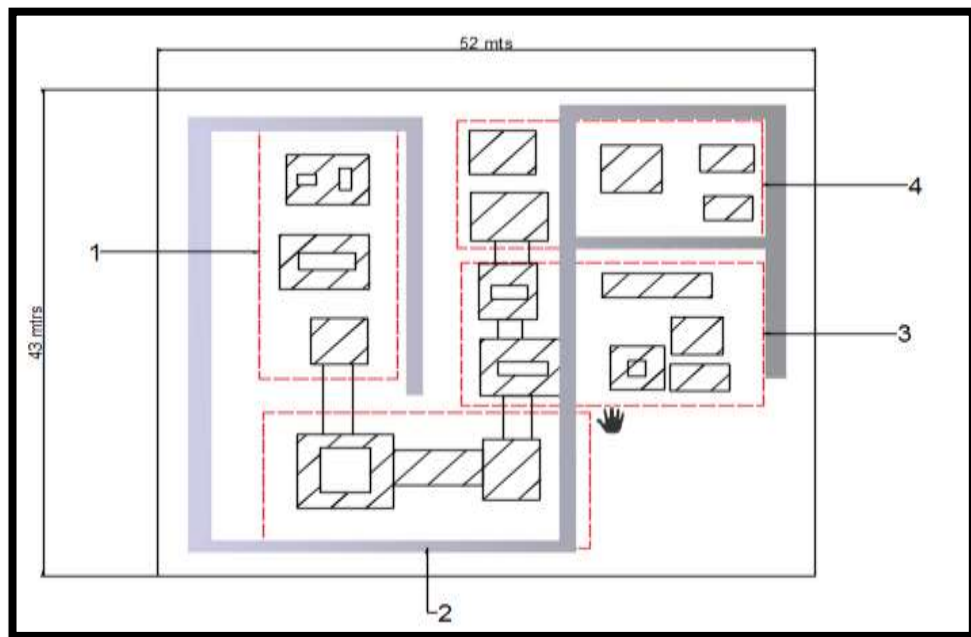


Figura 32. Distribución de los equipos utilizados. Fuente: Autores.

El proceso está dividido en fases o pasos detallados con sus respectivos equipos:

- ✓ En la fase 1 está el desmontaje, drenado, lavado y secado de materiales de celdas de baterías.
- ✓ La fase 2 comprende la fundición de los componentes en el horno de arco eléctrico
- ✓ La fase 3 está encargada de la refinación del producto resultante, el ferróníquel, además se realiza un tratamiento de limpieza y moldeo
- ✓ En la fase 4 se realiza la extracción de ferrovanadio que de manera parecida al ferróníquel se moldea y se limpia para posterior venta.

#### **4.6. ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE BATERÍAS A RECICLAR Y OPERACIÓN DE PLANTA**

En el segundo capítulo se menciona que 4509 vehículos fueron vendidos en el 2010 (figura 9) y debido al tiempo de vida útil de las baterías se tendrá aproximadamente la misma cantidad de baterías gastadas, como las baterías varían de tamaño según el vehículo sean híbridos o eléctricos se toma un valor promedio de 250 kg por batería

para realizar los cálculos de operación de planta, en total son 1127 toneladas anuales por reciclar (figura 38), se espera alimentar al horno con 1.5 toneladas métrica de materiales de baterías, adicionando flujos y óxidos de hierro suman 2.73 toneladas de alimentación por hora, el ciclo del horno será de 4 horas requiriendo una capacidad de retención de 9.45 toneladas. (J.C. Sabatini, 1994)

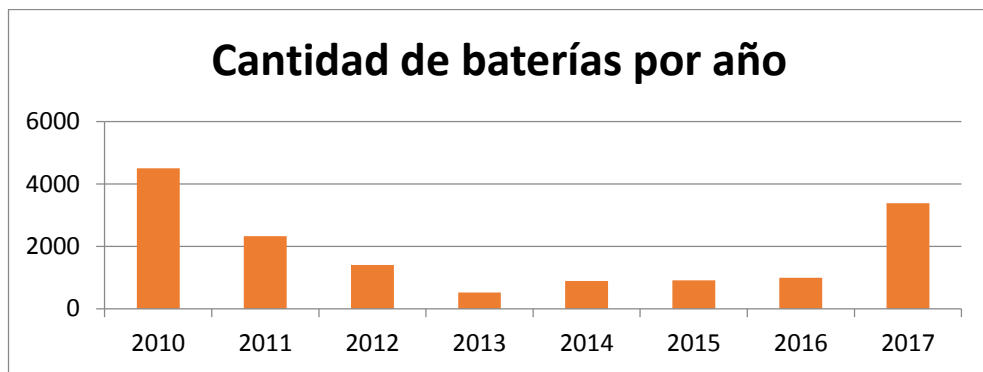


Figura 33. Cantidad de baterías por año. Fuente: Autores.

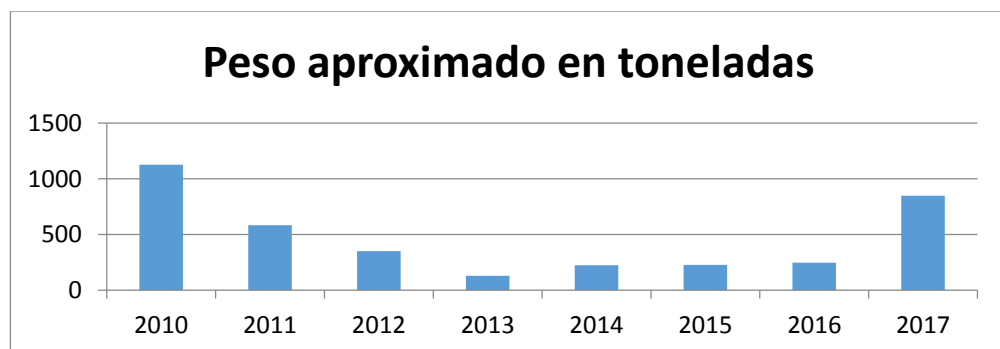


Figura 34. Peso en toneladas de baterías por año. Fuente: Autores.

Para el balance de operación de la planta se basa en 1000 kg de baterías de Ni MH gastadas (J.C. Sabatini, 1994), eliminando aproximadamente 75 kg de electrolito drenado en la primera operación, luego se eliminan cerca de 285 kg de 97% de chatarra de acero en la fase de extracción de la carcasa, del total de 1000 kg alrededor de 50 kg se eliminan correspondientes a separadores que se pueden eliminar en la etapa de lavado, y conjuntamente en esta etapa se eliminan los 25 kg de electrolito restantes, dejando como alimentación para el horno 563 kg de material.

Aproximadamente el 69% del material de alimentación es níquel y acero, el ferroníquel crudo producto del horno tienen 57% de hierro y 41% de níquel además de 264kg de escoria generada que posteriormente se enviara al segundo horno.

Los 537 kg de ferroníquel se refinan en un convertidor que contienen ferrosilicio y oxígeno produciendo 471 kg de ferroníquel que tiene cerca de 54% de níquel y menos de 0.2% de elementos residuales, también se necesita 252 kg de mineral de hierro, 40 kg de coque, 25 kg de ferrosilicio y 19 kg de oxígeno.

#### **4.7. VALOR ACTUAL NETO (VAN)**

Es un indicador financiero que mide flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, que permite determinar si hay ganancia luego de recuperar la inversión inicial, el criterio de aceptación para el VAN es cuando el valor es mayor o igual a 0, mientras que un VAN negativo muestra una deficiencia en cumplir con las perspectivas del proyecto, con esto se define al VAN como un criterio útil para análisis y evaluación de proyectos independientes

#### **4.8. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

Este criterio se usa para toma de decisiones sobre proyectos de inversión y financiamiento, pues es la tasa de descuento que igual el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos producidos, el TIR señala el rendimiento generado por fondos invertidos en el proyecto

#### **4.9. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN**

La estimación de la inversión inicial permitirá definir de una manera aproximada el valor o capital necesario para la implementación, valor destinado para la adquisición de bienes, servicios, infraestructura, además se estimara la rentabilidad de la planta produciendo ferroníquel, ferrovanadio, cobalto, litio.

La inversión de capital en la planta que incluye la preparación de materiales, fundición, refinación, neutralización y eliminación de desechos es de 510285,16 para la planta de 1000 toneladas métricas por año, en la tabla 3 se muestra el costo de capital estimado, se usa factores de instalación referenciado de Sabatini para el valor total de equipos del proceso, de igual manera para para la tabla 4 los porcentajes del

capital de instalación generan un valor a los diferentes módulos del costo de instalación, como los indirectos , de contingencia, adquisición del sitio y equipo de planta.

Tabla 4. Costo del capital estimado. Fuente: Autores.

Equipos de proceso	Costo de equipo	Factor de instalación	Costo de instalación
tanque de separación	3000	3,29	9870
secador	3000	2,5	7500
horno de arco eléctrico	45000	1,4	63000
pre filtro ciclón	1000	2,69	2690
baghouse	1000	2,69	2690
cuchara de transferencia	1200	1	1200
convertidor	7000	1,4	9800
pre filtro ciclón	1000	2,69	2690
baghouse	1000	2,69	2690
cuchara de transferencia	1200	1	1200
pig caster(moldes para lingotes)	2000	2,5	5000
tambor rotatorio	1500	2,57	3855
horno de arco eléctrico	20000	1,4	28000
pre filtro ciclón	1000	2,69	2690
baghouse	1000	2,69	2690
cuchara de transferencia	1200	1	1200
pig caster	2000	2,5	5000
trituradora de escoria	2000	2,57	5140
planta tratamiento de aguas residuales	3000	1	3000
total	98100		159905

Tabla 5. Porcentajes del capital de instalación. Fuente: Autores.

Costo de producto	Costos totales \$	Base
Equipos de proceso	153435,00	
Offsites	46030,50	"@30%PE"
Utilidades	23015,25	"@15%PE"
Total de Equipo de Planta	222480,75	
Preparación de sitio	6137,40	"@4%PE"
Adquisición del sitio	182860,00	"@\$100/m2"
Permisos	10000,00	
Costos de inicio	22248,08	"@10%TEP"
Costos indirectos	221245,48	
Contingencia	66558,93	"@15%TEP+IC"
Costo total de instalación	510285,16	

En la tabla 5 y 6 se incluye los costos de variables de operación detallando la materia prima necesaria para el proceso, insumos y desechos a tratar, en los costos fijos se



indica en valor por batería de la mano de obra directa, personal de la empresa, obteniendo un costo variable de 198.44 dólares.

Tabla 6. Costos variables de operación. Fuente: Autores.

COSTOS VARIABLES DE OPERACION					
materia prima	unidad	consumo/ton	costo/unit	costo/ton	costo/bat
baterías	kg	1000,00	0,00	0,00	0,00
cal	kg	37,57	0,04	1,50	0,38
silice	kg	18,76	0,03	0,56	0,14
mineral de hierro	kg	252,48	0,03	7,57	1,89
coke de fundición	kg	40,44	0,06	2,43	0,61
ferrosilicio	kg	25,25	0,99	25,00	6,25
aluminio UBCs	kg	68,47	0,66	45,19	11,30
oxigeno	m3	19,15	0,20	3,83	0,96
electrodos	kg	20,00	2,00	40,00	10,00
gas	m3	3,91	0,09	0,35	0,09
electricidad	Kwh	1500,00	0,09	135,00	33,75
agua procesada	m3	0,06	4,00	0,24	0,06
aguas residuales	m3	0,16	6,25	1,00	0,25
desechos peligrosos	kg	30,00	0,40	12,00	3,00
suministros de operación	TL	0,10	4176,00	13,92	3,48
transporte		1,00	50,00	50,00	12,50
<b>Total costos variables</b>					<b>84,65</b>

Tabla 7. Costos fijos y totales de producción. Fuente: Autores.

COSTOS FIJOS			
MANO DE OBRA DIRECTA (35% beneficio)	costo/unit	costo/ton	costo/bat
Operadores y mantenimiento	235200,00	235,20	58,80
Supervisores	29949,92	29,95	7,49
<b>Total</b>	<b>265149,92</b>	<b>265,15</b>	<b>66,29</b>
Otros costos directos			
Material de mantenimiento	510285,16	25,51	6,38
Administrativo	103370,88	103,37	25,84
Impuestos	510285,16	10,21	2,55
Depreciación	510285,16	51,03	12,76
<b>Total</b>			<b>47,53</b>
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>			<b>113,82</b>
<b>TOTAL COSTO PRODUCCION</b>			<b>198,47</b>

La tabla 7 indica el valor de salida de capital en remuneraciones de personal operativo, administrativo, supervisores, que bordean los 38, para los valores se tomó un promedio de los salarios en diferentes cargos en el medio, se dice promedio debido a la variación de sueldo según empresas.

Tabla 8. Remuneraciones del personal. Fuente: Autores.

CATEGORIA DE TRABAJO	# de segmentos	personal/segmento	total personal	salario/año	total \$/año
<b>OPERADORES</b>					
Proceso	4	5	20	8400	168000
Mantenimiento	4	2	8	8400	67200
Subtotal					235200
<b>SUPERVISORES</b>					
Supervisor producción	1	1	1	11385,1282	11385,1282
Supervisor mantenimiento	1	1	1	10800	10800
Subtotal					22185,1282
<b>ADMINISTRATIVOS</b>					
Gerente de planta	1	1	1	22500	22500
Químicos	1	1	1	13091,0256	13091,0256
Controladores	1	1	1	11400	11400
Secretario	1	1	1	5400	5400
Enfermero	1	1	1	7800	7800
Seguridad	3	1	3	5460	16380
Subtotal					76571,0256
Total mano de obra			38		333956,154
Total de empleados / Costo laboral (con beneficios del 35%)					450840,808

Los valores de ingreso se detallan en la tabla 8, que se calculó según el análisis de operación del apartado 4.5 que se basa en una alimentación de 1 tonelada, obteniendo el costo por tonelada y por batería reciclada, sumando los materiales tenemos un ingreso de 245.46.

Tabla 9. Valores de ingresos por baterías recicladas. Fuente: Autores.

PRODUCTO	unidad	unidades/ton	valor /unit	valor/ton	valor/batería
ferroníquel	41,80% kg	471,39	1,84	867,36	216,84
ferrovanadio	86% kg	99,09	6,40	634,18	158,54
escoria de hierro	kg	285,00	0,10	28,50	7,13
polipropileno	kg	49,00	0,26	12,74	3,19
total					385,69
<b>TOTAL INGRESOS BATERIA</b>					<b>245,46</b>

Para la amortización, como se observa en la tabla 9 ocupamos 10 años de funcionamiento a un interés de 9.23% según las tasas actuales del banco central, entonces obtenemos un valor mensual a amortizar de 4666.92 dólares mensuales.

Tabla 10. Tabla de amortización para la planta de reciclado. Fuente: Autores.

Escriba los valores		Resumen del préstamo	
Importe del préstamo	510285,16	Pago programado	\$4.666,92
Interés anual	9,23 %	Número de pagos programados	240
Periodo del préstamo en años	20	Número real de pagos	87
Número de pagos anuales	12	Total de adelantos	\$0,00
Fecha inicial del préstamo	01/01/2020	Interés total	311375,80
Pagos extra opcionales			

Esta amortización se suma a los costos anuales que usaremos para calcular el VAN y el TIR para analizar la rentabilidad del proyecto, entonces al tener el valor de ganancia y el costo de la producción, se multiplica por la cantidad de baterías que habrían cada año, como tenemos la cantidad de vehículos vendidos por año elaboramos la tabla para calcular el costo anual de producción del total de baterías, de la misma forma para la ganancia anual del total de baterías.

Entonces como resultado nos da un valor de VAN positivo indicando rentabilidad del proyecto, al igual un valor de 12% del TIR, mostrado en la tabla 10.

Tabla 11. Valores del VAN y el TIR. Fuente: Autores.

TOTAL COSTOS/BATERIA		198,47			
TOTAL GANANCIAS/BATERIA		245,46			
ANALISIS VAN					
AÑO	Cantidad de baterías por año	Costo anual/total baterías	Ingreso anual/total baterías	Ganancia anual	
	2010	4509	950887,683	1106794,47	155906,788
	2011	2330	518429,569	571929,722	53500,1533
	2012	1400	333855,89	343648,76	9792,86996
	2013	521	159403,994	127886,431	31517,5623
	2014	892	233034,999	218953,353	14081,6461
	2015	909	236408,926	223126,231	13282,6957
	2016	991	252683,165	243254,229	9428,93528
	2016	3390	728803,869	832120,926	103317,057
					-510285,16
VAN	\$ 7.522,05				
TIR	11%				

## CONCLUSIONES

- Al finalizar el presente proyecto se ha logrado identificar el tipo de baterías que usan los autos eléctricos y los diferentes tipos de elementos químicos que usan para lograr las reacciones químicas que producen la energía para mover dichos motores además las principales marcas comercializadas en Ecuador.
- El proceso pirometalúrgico es el más empleado gracias a que se reciclan la mayoría de elementos pero al mismo tiempo tiene un impacto ambiental que necesita ser controlado para obtener menos polución en el medio ambiente, además resulta rentable gracias a todos los metales reciclados.
- En cuanto a la factibilidad técnica el proyecto es posible de realizarlo ya que se disponen de los equipos y del espacio necesario para efectuar el reciclaje, además que en el mercado existen baterías que necesitan ser recicladas ya que han cumplido su vida útil que es de diez años, por otro lado se siguen comercializando autos eléctricos y sigue aumentando el número de baterías debido a la aceptación que estos tienen por el impacto ambiental provocado que es casi nulo en cuanto a emisiones contaminantes.
- El análisis económico realizado nos indica que el proyecto es rentable considerando una operación de la planta a toda su capacidad dado que en el VAN nos da un valor positivo lo que significa que existirán ganancias cuando la planta esté en funcionamiento.

## RECOMENDACIONES

- Recomendamos coordinar con los propietarios de vehículos eléctricos y dueños de talleres unirse a una campaña para reciclaje de baterías con el fin de no contaminar el medio ambiente y que permitan colocar publicidad sobre el reciclaje en cada uno de sus vehículos.
- Es necesario que en el proyecto de la planta de reciclaje no solo se dé a nivel de Azuay, si no que se unan las otras provincias para poder utilizar al máximo su capacidad de producción y que sea más rentable.
- Si entra en funcionamiento la planta de reciclaje y se necesite más personal se asignen nuevos cargos para un mejor desempeño en las actividades de la planta.
- Recomendamos realizar estudios semejantes a este proyecto con el fin de ampliar los procesos de reciclaje para otros tipos de baterías y que la planta no recicle únicamente baterías de ion litio y níquel hidruro si no, todo tipo de baterías que se usan en los vehículos con motores eléctricos y así ayudar al medio ambiente para que se aminore su contaminación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bakker, D. (2010). *Battery Electric Vehicles, Performance, CO2 emissions, lifecycle costs and advanced battery technology development* . Utrecht : University of Utrecht .
- cars, t. t. (s.f.). Obtenido de [https://www.thetruthaboutcars.com/wp-content/uploads/2016/07/3rd\\_Gen\\_Prius\\_HV\\_Battery\\_2-e1468840441687.jpg](https://www.thetruthaboutcars.com/wp-content/uploads/2016/07/3rd_Gen_Prius_HV_Battery_2-e1468840441687.jpg)
- Castellanos, D. M. (s.f.). Formula para el cálculo de indicadores de financieros.
- Construction, F. (2 de 4 de 2014). *Formats Construction* . Obtenido de <http://tritadoras-de-roca.com/wiki/994.html>
- construction, F. (2014). *Formats Construction Machinery Co., Ltd.* Obtenido de <http://tritadoras-de-roca.com/wiki/Tritadora-de-mand%C3%ADbulas-venta.html>
- ebay. (2016). Obtenido de [https://www.ebay.es/sch/sis.html?\\_nkw=Suzuki%20GN%20125%20Nf41a%20Tenedor%20Puente%20Superior%20Con%20Tubo%20De%20Subida%20Soporte%20Manillar&\\_itemId=191399523050](https://www.ebay.es/sch/sis.html?_nkw=Suzuki%20GN%20125%20Nf41a%20Tenedor%20Puente%20Superior%20Con%20Tubo%20De%20Subida%20Soporte%20Manillar&_itemId=191399523050)
- Electromovilidad. (s.f.). *Electromovilidad, movilidad eléctrica, transporte sostenible*.
- García, J. M. (2016). *Análisis de viabilidad de una planta de reciclado de*.
- García, J. M. (2016). *Analisis de viabilidad de una planta de reciclado de baterías de Li-ion*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Indumetal Recycling, S. (2012). determinacion de parametros clave en el sistema de gestion de baterías . En *Estudio de viabilidad previo al diseño de un esquema de logistica, tratamiento y reciclado de baterías* . Asua.
- J.C. Sabatini, E. F. (1994). *Feasibility Study for thr Recycling of Nickel Metal Hydride Electric Vehicle Batteries*. Colorado: NREL.

Loja, M. d. (s.f.). Loja , Loja, Ecuador.

Marcy Lowe, S. T. (2010). *Lithium ion Batteries for Electric Vehicles*.

Mecatronica. (2014). *Clases y tipos de hornos eléctricos*. Obtenido de <http://mecanicaelectric.blogspot.com/2013/03/hornos-eléctricos.html>

Metso. (s.f.). “*Manual de trituración y cribado*” – Metso.

Movilidad. (2018). *Movilidad de HOy*. Obtenido de <https://movilidadhoy.com/coches/top-ventas-coches-ecologicos-mundo-2018/>

Norma Técnica Ecuatoriana 2203. (2000). Quito , Ecuador .

Norma Técnica Ecuatoriana 2656. (01 de 06 de 2016). *NTE INEB 2656*. QUITO , ECUADOR.

# ANEXOS

## Anexo A. Normativa Ecuatoriana INEN 2266

ICS: 71:100	QU 03.07-401
<b>INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN</b>	
Quito - Ecuador	
<hr/>	
<b>NORMA TÉCNICA ECUATORIANA</b>	<b>NTE INEN 2 266:2000</b>
<hr/>	
<b>TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS. REQUISITOS.</b>	
<b>Primera Edición</b>	
TRANSPORTE, STORAGE AND HANDLING OF DANGEROUS CHEMICAL PRODUCTS. SPECIFICATIONS.	
First Edition	
<hr/>	
DESCRIPTORES: Productos químicos peligrosos, transporte, almacenamiento, manejo, requisitos. QU 03.07-401 CDU: 66 CIRU: 35 351 ICS: 71:100	



Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Obligatoria

**TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANEJO  
DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS.  
REQUISITOS.**

**NTE INEN  
2 266:2000  
2000-07**

### 0. INTRODUCCIÓN

La creciente producción de bienes y servicios requiere de una inmensa y variada gama de productos químicos que han llegado a ocupar un destacado lugar por su cantidad y diversidad de aplicaciones.

Cada vez son más los sectores productivos ecuatorianos, que requieren utilizar productos químicos, por lo que su transporte, almacenamiento y manejo se han convertido en actividades de considerable dinamismo, siendo prioritario la formulación de normas que dirijan estas tareas con eficiencia técnica y económica para evitar los riesgos y accidentes que involucren daños a las personas, propiedad privada y ambiente.

### 1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos y precauciones que se deben tener en cuenta para el transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos.

### 2. ALCANCE

Esta norma tiene relación con las actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento y eliminación de productos químicos peligrosos.

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en las NTE INEN 439, 1838, 1898, 1913, 1927, 1972, 2078, 2168 y las que a continuación se indican:

**3.1.1 Conductor.** Persona que conduce o guía un automotor.

**3.1.2 Comercializador.** Toda persona natural o jurídica de derecho público o privado que comercializa productos químicos peligrosos previamente autorizados y registrados.

**3.1.3 Daño a la salud.** Es todo trastorno que provoca alteraciones orgánicas o funcionales, reversibles o irreversibles, en un organismo o en algunos de los sistemas, aparatos u órganos que lo integran.

**3.1.4 Defonador.** Fulminante, constituido por un casquillo metálico, que puede ser de latón, aluminio o cobre, en cuyo interior se encuentra una pequeña cantidad de un explosivo primario, capaz de hacer detonar una carga explosiva. Se incluyen las cápsulas regulares, eléctricas y no eléctricas.

**3.1.5 Dinamita.** Explosivo de alta potencia, compuesto básicamente de nitroglicerina, material oxidante (nitrato de amonio o sodio) y elementos combustibles (aserrín, cáscara de arroz, afrecho de trigo, otros), que se utiliza en voladuras.

**3.1.6 Etiqueta.** Es toda expresión escrita o gráfica impresa o grabada directamente sobre el envase y embalaje de un producto de presentación comercial que identifica al producto.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Productos químicos peligrosos, transporte, almacenamiento, manejo, requisitos.

- 3.1.7 Etiquetado.** Es la información impresa en la etiqueta.
- 3.1.8 Explosivo.** Sustancia o mezcla de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, capaces de ocasionar daños en el entorno, por sí mismas y por medio de una reacción química, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y velocidad.
- 3.1.9 Gas.** Sustancia en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura.
- 3.1.10 Gas combustible.** Gas que se emplea generalmente para ser quemado, combinado con aire, para producir calor para sistemas de calefacción o para procesos industriales, como fuente de energía o iluminación. Ejemplo: GLP.
- 3.1.11 Gas comprimido.** Gas que a temperaturas atmosféricas normales, se mantiene en su envase, exclusivamente en estado gaseoso bajo presión. Ejemplo: CO2 (extintor), nitrógeno, oxígeno, otros.
- 3.1.12 Gas criogénico.** Gas licuado que está dentro de un envase a temperaturas muy por debajo de las temperaturas atmosféricas normales, generalmente algo por encima de su punto de ebullición a temperatura y presión normales. Ejemplo: aire, nitrógeno líquido, oxígeno, helio, hidrógeno.
- 3.1.13 Gas de uso médico.** Gas que se emplea como anestésico y en terapia respiratoria. Ejemplo: Oxígeno, ciclopropano.
- 3.1.14 Gas industrial.** Gas clasificado por sus propiedades químicas y que se emplea comúnmente en los procesos industriales para soldadura, oxiacorte, tratamientos térmicos, otros. Ejemplo: acetileno, amoníaco, ozono.
- 3.1.15 Gas licuado.** Gas que a temperatura atmosférica normal permanece bajo presión en el interior de un recipiente, en estado parcialmente líquido. Ejemplo: GLP.
- 3.1.16 Grado diamante.** De elevado índice de refracción
- 3.1.17 Gas reactivo.** Gas que puede estar destinado a reaccionar químicamente con otras sustancias bajo ciertas condiciones. Ejemplo: flúor, reacción cloro hidrógeno.
- 3.1.18 Infeccioso.** Que contiene microorganismos como bacterias, parásitos, hongos, o una combinación híbrida o mutante, respecto a los cuales se sabe o se cree que causan enfermedades en el hombre y en animales
- 3.1.19 Inflamabilidad.** Se aplica a los cuerpos que son capaces de arder con llama.
- 3.1.20 Toxicidad.** Propiedad que tiene una sustancia y sus productos metabólicos o de degradación, de provocar por acción química o físico-química, un daño a la salud, temporal o permanente o incluso la muerte, si se ingieren, inhalan o entran en contacto con la piel.
- 3.1.21 Transportista.** Es la persona natural o jurídica que se dedica a la labor del transporte como una actividad empresarial.
- 3.1.22 Producto químico peligroso.** Todo producto químico que por sus características físico-químicas presentan o pueden presentar riesgo de afección a la salud, al ambiente o destrucción de bienes, lo cual obliga a controlar su uso y limitar la exposición a él. Producto sólido, líquido o gaseoso que puede ser: explosivo, inflamable, susceptible de combustión espontánea, oxidante, inestable térmicamente, tóxico, infeccioso, corrosivo, liberador de gases tóxicos o inflamables, y aquellas que por algún medio, luego de su eliminación, puedan originar algunas de las características anteriores.

(Continúa)

#### 4. CLASIFICACIÓN

Los productos químicos de uso peligroso se clasifican en las siguientes clases:

CLASE 1.	EXPLOSIVOS	
CLASE 2.	GASES	
CLASE 3.	PRODUCTOS LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES	
CLASE 4.	SÓLIDOS INFLAMABLES, MATERIAL ESPONTÁNEAMENTE COMBUSTIBLE Y MATERIAL PELIGROSO CUANDO ESTA MOJADO	Y
CLASE 5.	OXIDANTES Y PERÓXIDOS ORGÁNICOS	
CLASE 6.	MATERIAL VENENOSO - INFECCIOSO ( BIOPELIGROSO)	
CLASE 7.	MATERIAL RADIOACTIVO	
CLASE 8.	MATERIAL CORROSIVO	
CLASE 9.	MATERIAL PELIGROSO MISCELÁNEO.	

#### 4.1 Clase 1. Explosivos

**4.1.1 División 1.1.** Artículos o sustancias que presentan un riesgo de explosión masiva y poseen los máximos peligros de detonación. Ejemplo: dinamita, nitroglicerina, pólvora negra, fulminantes, cápsulas detonantes.

**4.1.2 División 1.2.** Artículos y sustancias que presentan proyección de riesgo, pero no de explosión masiva. Presentan un gran riesgo de inflamabilidad. Ejemplo: Acido picrico, amonita para peñas, peróxido con secantes metálicos.

**4.1.3 División 1.3.** Artículos y sustancias que presentan riesgo de incendio, riesgo de que se produzcan pequeños efectos de onda explosiva y/o un pequeño riesgo de proyección, pero no riesgo de explosión masiva, ejemplo, Dinitroetano, dinitrosobenceno, cartuchos para perforación de pozos de petróleo.

**4.1.4 División 1.4.** Artículos y sustancias que no presentan ningún riesgo considerable. Ejemplo, detonadores eléctricos para voladuras.

**4.1.5 División 1.5.** Sustancias muy poco sensibles que presentan riesgo de explosión masiva.

**4.1.6 División 1.6.** Sustancias extremadamente insensibles que no presentan riesgo de explosión masiva.

#### 4.2 Clase 2. Gases.

**4.2.1 División 2.1. Gas Inflamable.** Cualquier gas que pueda arder en concentraciones normales de oxígeno en el aire. Ejemplo: GLP.

**4.2.2 División 2.2. Gas no Inflamable.** Gas que no arde en ninguna concentración de aire o de oxígeno. Ejemplo: Dióxido de carbono, helio, argón.

**4.2.3 División 2.3 Gas Tóxico.** Gas que representa un serio riesgo para la vida si se libera en el ambiente. Ejemplo: Cloro, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, amoníaco.

#### 4.3 Clase 3. Líquidos inflamables

**4.3.1** Líquidos, mezclas de líquidos o líquidos que contengan sólidos en suspensión (pero no incluyen sustancias clasificadas de otra forma de acuerdo a sus características peligrosas) que despidan vapores inflamables a temperaturas que no excedan de 60,5°C en crisol cerrado o de 65,6°C en crisol abierto, normalmente llamado punto de inflamación. Ejemplo: gasolina, tolueno.

(Continúa)

#### 4.4 Clase 4. Sólidos inflamables; material espontáneamente combustible y material peligroso cuando esta mojado.

**4.4.1 División 4.1. Sólidos inflamables.** Sólidos que poseen la propiedad común de ser fácilmente inflamados por fuentes externas como chispas o llamas y arder fácilmente. Ejemplo: papel, plástico, algodón, madera.



**4.4.2 División 4.2. Material propenso a combustión espontánea:** Sólidos que poseen la propiedad común de ser susceptibles a calentarse e inflamarse espontáneamente. Ejemplo. Nitrocelulosa, Fósforo blanco.

**4.4.3 División 4.3. Material que en contacto con agua emiten gases inflamables:** En algunos casos los gases emitidos son susceptibles de combustión espontánea. Ejemplo, carburo de calcio más agua.

**4.5 Clase 5. Oxidantes y peróxidos orgánicos.**

**4.5.1 División 5.1. material oxidante.** Sustancia que causa o contribuye a la combustión por la liberación de oxígeno. Ejemplo: Nitratos en general, permanganato de potasio.

**4.5.2 División 5.2. Peróxido orgánico.** Sustancia capaz de liberar oxígeno fácilmente. Ejemplo: Peróxido de benzilo.

**4.6 Clase 6. Material venenoso - infeccioso ( biopeligroso)**

**4.6.1 División 6.1. Material venenoso.** Sustancias tóxicas que son capaces de causar la muerte, dañar o afectar la salud humana si se ingieren, inhalan o entran en contacto con tejidos vivos. Ejemplo: Benceno, cianuro.

**4.6.2 División 6.2. Material infeccioso (biopeligroso).** Sustancia o material que contiene microorganismos patógenos que ocasionan daño a la salud en los humanos o animales. Ejemplo, residuos de fluidos humanos, medios de cultivo , agentes infecciosos , desechos médicos.

**4.7 Clase 7. Material radiactivo**

**4.7.1** Sustancia que emite espontáneamente radiaciones y cuya actividad específica es superior a 0,002 microcuries por gramo. Pueden causar lesiones, pérdida de vida y daños o desperfectos en los materiales, equipos y edificios. Ejemplo. Compuestos yodados, cobalto, carbono radiactivo.

**4.8 Clase 8. Material corrosivo**

**4.8.1** Sustancia o residuo cuya acción química, ocasiona destrucción visible en la piel o alteración irreversible en las superficies con las que toma contacto. Ejemplo. Ácidos inorgánicos, cáusticos, halógenos (F, Cl, Br)

**4.9 Clase 9. Material peligroso misceláneo**

**4.9.1 División 9.1** Cargas peligrosas que están reguladas en su transporte pero no pueden ser incluidas en ninguna de las clases antes mencionadas.

**4.9.2 División 9.2** Sustancias peligrosas para el ambiente.

**4.9.3 División 9.3** Residuo peligroso.

(Continúa)

**5. CLASIFICACIÓN DE LOS ENVASES Y EMBALAJES**

**5.1 Clasificación.**

**5.1.1 Por su tipo:**

Bidón  
Tonel de Madera  
Cajas con agujero

Caja  
Saco  
Envase compuesto  
Envase metálico y ligero

**5.1.2** *Por su material:*

Acero  
Aluminio  
Madera natural  
Contrachapado  
Aglomerado de madera  
Cartón  
Plástico  
Textil  
Papel  
Metal(no acero ni aluminio)  
Vidrio.

**5.1.3** *Por su origen:*

**5.1.3.1** *Nuevo.* Envase o embalajes elaborados con materias primas vírgenes.

**5.1.3.2** *Reusable.* Envase o embalaje que puede ser utilizado varias veces previo proceso de lavado.

**5.1.3.3** *Reciclable.* Envases o embalajes que retornan a un proceso de fabricación.

**5.1.4** *Por su capacidad.* De acuerdo al tipo y material del envase, embalaje, de conformidad con los tamaños normalizados establecidos en las respectivas normas técnicas y regulaciones.

## **6. REQUISITOS ESPECÍFICOS**

### **6.1 Personal**

**6.1.1** Quienes transporten, almacenen y manejen productos químicos y materiales peligrosos deben garantizar que todo el personal que este vinculado con la operación de transporte de productos químicos y materiales peligrosos cuente necesariamente con los equipos de seguridad adecuados, una instrucción y un entrenamiento específicos, a fin de asegurar que posean los conocimientos y las habilidades básicas para minimizar la probabilidad de ocurrencia de accidentes y enfermedades ocupacionales.

**6.1.2** El manejo de productos químicos y materiales peligrosos debe hacerse cumpliendo lo dispuesto en las Leyes y Reglamentos vigentes.

### **6.2 Transportistas**

**6.2.1** Los transportistas, deben proveer a sus conductores de:

*(Continúa)*

- Disposiciones, normas, regulaciones sobre el transporte de productos químicos,
- Principales tipos de riesgos,
- Medidas de precaución y de seguridad apropiadas al producto que transportan, y
- Normas de comportamiento, antes , durante y después de un accidente.

A su vez el conductor debe tener experiencia en:

- Funcionamiento del equipo técnico del vehículo.
- Aplicación de señalización preventiva.
- Primeros auxilios.

**6.2.2** Los transportistas que manejen o manipulen productos químicos peligrosos deben contar con un permiso de funcionamiento.

**6.2.3** El transportista debe garantizar que los conductores y el personal auxiliar reciban de forma inmediata a su admisión, toda la información necesaria, además del entrenamiento respectivo. Los conocimientos adquiridos deben ser actualizados periódicamente.

**6.2.4** Los transportistas deben revisar y observar periódicamente con la autoridad competente la estructura de las rutas de tránsito, que podrían ser causas de problemas que afecten al conductor, al vehículo, la carga y el ambiente.

**6.2.5** Todo vehículo para este tipo de transporte debe ser operado al menos por dos personas: el conductor y un auxiliar. El auxiliar debe poseer los mismos conocimientos y entrenamiento que el conductor. El transportista es responsable del cumplimiento de este requisito.

**6.2.6** En caso de daños o de fallas del vehículo en ruta, el transportista llamará a empresas especializadas que garanticen la manipulación de la carga dentro de normas técnicas y de seguridad según instrucciones del fabricante y del comercializador, de igual manera debe informar inmediatamente el daño y la presencia de productos químicos peligrosos a las autoridades competentes.

**6.2.7** Los conductores deben informar al transportista de forma frecuente y regular todo lo acontecido durante el transporte. Deben comunicar así mismo posibles retrasos en la entrega de la carga.

**6.2.8** El transportista debe garantizar que los conductores de transporte conozcan las características generales de la carga que se transporta, sus riesgos, grado de peligrosidad, normas de actuación frente a una emergencia y comprobar que la carga y los equipos se encuentren en buenas condiciones para el viaje.

**6.2.9** El transportista debe verificar que la carga se encuentre fija y segura con soportes adecuados. Si existiese necesidad de refrigeración para la carga, el transportista se asegurará del adecuado funcionamiento de los sistemas de refrigeración del vehículo.

**6.2.10** El transportista controlará que los vehículos que transporten productos químicos peligrosos, estén dotados del equipamiento básico destinado a enfrentar emergencias, consistente en al menos de: 2 extintores de más de 10 kilogramos de carga neta, equipo de primeros auxilios, 2 palas, 1 zapapico, 2 escobas, fundas plásticas resistentes, aserrín y material absorbente, equipo de comunicación y equipo de protección personal adecuado.

**6.2.11** En la ruta el conductor debe velar por:

- La seguridad del vehículo y de su carga mientras se encuentran en ruta.
- Que la carga se encuentre en todo momento correctamente fija en el interior del vehículo.
- Que la carga sea transportada a temperaturas adecuadas de acuerdo con las permitidas en las etiquetas y hojas de seguridad de los productos a transportar.

(Continúa)

- Mientras la carga permanezca en el vehículo, y de ser necesario, debe proporcionarse enfriamiento a través de un mecanismo acorde al producto que se transporta.

**6.2.12** Los Conductores deben acatar estrictamente todas las regulaciones de tránsito vigentes.

**6.2.13** *Del estacionamiento*

**6.2.13.1** *En carretera.* El conductor debe efectuar lo siguiente:

- a) Instalar señales reflectivas de seguridad de alta intensidad o grado diamante; anteriores, posteriores y laterales, con la simbología del producto químico peligroso que transporta.
- b) Verificar que el vehículo y la carga no generen problemas en caso que los conductores tengan que alejarse del vehículo.



- c) El estacionamiento debe efectuarse lo más alejado posible de áreas pobladas.
- d) En caso de que el vehículo deba ser abandonado por cualquier motivo, notificar inmediatamente a las autoridades competentes sobre la localización y el contenido del mismo.

**6.2.13.2** *En lugares públicos.* El conductor debe:

- a) Verificar que el vehículo y la carga no generen problemas en caso de que los conductores tengan que alejarse del mismo.
- b) El estacionamiento debe efectuarse lo más alejado posible de áreas pobladas, escuelas, hospitales, cárceles, aeropuertos y lugares de concentraciones masivas (al menos 500 m).
- c) En caso de que el vehículo deba ser abandonado, por cualquier motivo, notificar inmediatamente a las autoridades competentes sobre la localización y el contenido del mismo.

**6.2.13.3** *Temporal.* El conductor no debe estacionar en lugares cercanos a:

- Supermercados, mercados.
- Vías de ferrocarril.
- Centros de abastecimientos de combustibles, o de sus líneas de distribución , subterráneas o aéreas
- Fabricas de materiales o productos peligrosos ajenos a la empresa expedidora o de destino de la carga.
- Obras de infraestructura urbana de gran envergadura: sistemas de agua potable, entre otras.
- Terminales terrestres.
- Paradas de la transportación urbana de pasajeros.
- Centros de diversión o esparcimiento.
- Centros culturales.
- Edificios públicos
- Zonas ambientalmente frágiles o de reserva.
- Zonas de cultivos y de cosecha
- Establecimientos educacionales
- Centros de salud.
- Centro de culto religioso.
- Centros deportivos
- Aeropuertos
- Recintos Militares y Policiales

**6.2.14** El transportista en coordinación con la Autoridad competente, establecerán las paradas que sean necesarias para que se lleven a cabo en lugares previamente analizados que brinden la seguridad del transporte, del conductor y del ambiente.

(Continúa)

**6.2.15** Todas las personas naturales o jurídicas que almacenen y manejen productos químicos peligrosos, deben de garantizar que cuando se necesite cargar o descargar la totalidad o parte de su contenido, el transportista y el usuario deben instalar vallas reflectivas de alta intensidad o grado diamante con la simbología del producto químico peligroso, que aislen la operación, con todas las medidas de seguridad necesarias.

**6.2.16** Los conductores son responsables de que en vehículos de carga y transporte de productos químicos peligrosos no se transporten pasajeros, solamente se aceptará al personal asignado al vehículo.

**6.2.17** El transportista y los conductores son responsables de acatar y de hacer respetar la prohibición de fumar durante el traslado de productos químicos peligrosos y en presencia de vehículos de carga peligrosa.

**6.3 Comercialización**

**6.3.1** El Comercializador debe entregar al transportista la documentación de embarque completa que certifique las características de los materiales transportados, en caso de precursores y productos químicos específicos, debe disponer de la guía de transporte correspondiente. El transportista garantizará que el conductor del vehículo previa su salida esté dotado de esta documentación.

**6.3.2** La documentación de embarque consta de: Guía de embarque (Anexo A), hoja de seguridad de materiales peligrosos (Anexo B) y tarjeta de emergencia (Anexo C).

**6.3.3** Todas aquellas personas naturales o jurídicas que comercializan productos químicos peligrosos deben garantizar que los vehículos de los transportistas no sean abandonados, sin notificación a las autoridades respectivas.

**6.3.4** El Comercializador esta en la obligación de entregar al transportista toda la información necesaria sobre las normas y precauciones a tomar con respecto a los productos químicos peligrosos que transportan, y el procedimiento de emergencia en caso de accidentes

#### **6.4 Selección de ruta**

**6.4.1** El transportista solicitará a las autoridades competentes la determinación de la ruta del transporte, quien la señalará en la respectiva guía y de acuerdo a la peligrosidad del producto se le proporcionará resguardo, con relación a las regulaciones pertinentes.

**6.4.2** Para la determinación de la ruta se seleccionarán las horas de menor congestión vehicular y peatonal que ofrezca un mínimo de riesgo al tráfico o a terceros. Se evitará en lo posible zonas densamente pobladas o especialmente vulnerables a la contaminación.

**6.4.3** Cuando inevitablemente se tenga que cruzar centros poblados se eliminarán las paradas innecesarias

**6.4.4** Las vías escogidas deben ser marginales y en lo posible se deben evitar: curvas cerradas, vías estrechas, declives pronunciados o tramos que presenten especial dificultad al conductor.

**6.4.5** Para la determinación de una ruta se considerarán previamente los puntos críticos que podrían incrementar la gravedad de un accidente.

**6.4.6** Para evitar accidentes en túneles, se deben considerar las siguientes alternativas:

**6.4.6.1** De existir rutas alternativas se debe prohibir el paso de productos químicos peligrosos por túneles.

**6.4.6.2** Restringir el paso por túneles, de vehículos que transportan productos químicos peligrosos, en las horas de mayor demanda.

(Continúa)

**6.4.6.3** Evitar que circulen por el túnel, simultáneamente más de un vehículo con productos químicos peligrosos.

**6.4.6.4** Suspender la circulación vehicular normal cuando deba atravesar el túnel un vehículo que transporte productos químicos peligrosos

**6.4.6.5** Las autoridades competentes en coordinación con los transportistas evitarán, que los vehículos con carga de productos químicos peligrosos, formen una hilera continua (Convoy) y mantener entre las unidades, una distancia mínima de 150 metros.

**6.5 Etiquetado y carteles de riesgo.** Las etiquetas y carteles de peligro deben cumplir con los requisitos que se establecen en las Normas Técnicas Ecuatorianas INEN correspondientes, y las que a continuación se mencionan:

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**6.5.1** Etiquetas para la identificación de envases.



**6.5.1.1** Las etiquetas deben ser de materiales resistentes a la manipulación y la intemperie, pueden ser adheribles o estar impresas en el empaque, adicionalmente llevar marcas indelebles y legibles, que certifiquen que están fabricadas conforme a las normas respectivas.

**6.5.1.2** Para etiquetar un producto químico peligroso se debe utilizar el sistema de la National Fire Protection Association NFPA, es decir un rombo cuadrangular no menor de 100 mm x 100 mm, dividido en 4 zonas a las cuales les corresponde un color y un número. El color indica el tipo de riesgo existente con el producto y el número indica el nivel de riesgo (Anexos D y E).

a) El color azul significa peligro de salud:

- 0. Material ordinario: durante un incendio no genera peligro por combustión.
- 1. Ligeramente Peligroso: puede causar irritación pero solo un daño residual menor.
- 2. Peligroso: Una exposición intensa o continua puede causar incapacidad temporal o daño residual.
- 3. Extremadamente peligroso: Una exposición corta puede causar serio daño temporal o permanente.
- 4. Mortal: Una exposición corta puede causar la muerte o un daño permanente.

b) El color rojo significa peligro de inflamabilidad:

- 0. No se quema.
- 1. Precaentamiento requerido, punto de inflamación sobre los 93°C.
- 2. Precaentamiento requerido, punto de inflamación bajo los 93°C (puede ser moderadamente calentado o expuesto a altas temperaturas antes de que se combustione).
- 3. Fácil ignición en casi todo ambiente; punto de inflamación bajo los 38°C.
- 4. Muy inflamable, se vaporiza rápida y completamente bajo condiciones ambientales, punto de inflamación bajo los 23°C.

c) El color amarillo significa peligro de reactividad:

- 0. Estable aún bajo condiciones de incendio.
- 1. Normalmente estable, pero puede ser inestable a temperatura y presión elevada (si se calienta).  
(Continúa)
- 2. Cambio químico violento a elevada presión y temperatura o reacción violenta con agua.
- 3. Capacidad de detonación o reacción explosiva si está frente a una fuente de ignición fuerte o confinado bajo calor antes de ignición (golpes y calor lo pueden detonar).
- 4. Capacidad de detonación o reacción explosiva a presión y temperatura ambiente.

d) El color blanco significa peligro especial:

OXI	Material oxidante.
ACID	Material ácido.
ALC	Material alcalino.
COR	Material corrosivo.
	Material reactivo con agua.
AIR	Material reactivo con aire.
	Material radiactivo.

**6.5.1.3** Las etiquetas deben ajustarse al tamaño del envase y dependerán del tipo de contenedor sobre el cual habrán de ser colocadas (Anexos D y F). Para los envases menores a 20 litros o 25 kilogramos, las etiquetas deben abarcar por lo menos el 25% de la superficie de la cara lateral de mayor tamaño

**6.5.1.4** Las etiquetas deben estar escritas en idioma español y los símbolos gráficos o diseños incluidos de las etiquetas deben aparecer claramente visibles (Anexos D y F).

**6.5.1.5** Los códigos de colores se deben aplicar de acuerdo a lo indicado en la tabla del Anexo E.

**6.5.1.6** Cada envase o embalaje debe contar con dos etiquetas iguales relacionadas con el peligro correspondiente, las cuales deben colocarse en la parte superior y lateral de los mismos, para permitir la rápida identificación de los productos y de los peligros asociados con ellos.

**6.5.1.7** El fabricante y el comercializador son responsables del cumplimiento de todo lo referente al etiquetado de productos químicos peligrosos.

**6.5.1.8** Cuando se requieran dos o más etiquetas, estas deben colocarse juntas.

**6.5.2** *Carteles para la identificación de autotanques, contenedores y otros tipos de transporte al granel.*

**6.5.2.1** Para identificar fácilmente el producto químico peligroso que es transportado, y para advertir a otros del tipo de carga, se deben colocar en los extremos y lados de los tanques, isotanques, furgones, contenedores, autotanques y camiones plataforma, carteles en forma de rombo cuadrangular y una placa anaranjada contigua con el número de identificación de cuatro dígitos de las Naciones Unidas (NU), correspondientes al producto transportado. (Anexos G, I y J).

**6.5.2.2** Los carteles deben estar escritos en idioma español y los símbolos gráficos o diseños incluidos de los carteles deben aparecer claramente visibles. (Anexos F y G).

**6.5.2.3** Los carteles deben ser de material reflectivo de alta intensidad o grado diamante y resistente a la intemperie. Para unidades de transporte y contenedores las dimensiones del cartel en forma de rombo no deben ser menores de 250 mm por 250 mm y las de la placa de color anaranjado, no deben ser menores de 300 mm de largo por 120 mm de ancho con 10 mm de borde negro, con dígitos negros de un alto no menor de 65 mm. (Anexo F, G y J)

**6.5.2.4** Cuando se requieran dos o más carteles, estos deben colocarse juntos.

**6.5.2.5** Los rótulos para la identificación de materiales peligrosos, deben ser iguales a los indicados en el Anexo F de esta norma.

(Continúa)

## **6.6 Vehículos**

**6.6.1** Los vehículos dedicados al transporte de productos químicos peligrosos deben cumplir con un mínimo de características especiales:

**6.6.1.1** El tipo, capacidad y dimensiones de sus carrocerías, deben contar con una estructura que permita contener o estibar el material peligroso de tal manera que no se derrame o se escape.

**6.6.1.2** También deben contar con elementos de carga y descarga, compuertas y válvulas de seguridad, de emergencia y mantenimiento, así como también de indicadores gráficos, luces reglamentarias y sistemas de alarma, aviso en caso de accidentes y sistema de comunicación para emergencias.

**6.6.1.3** Deben disponer de un equipo básico de emergencia para control de derrames.

**6.6.1.4** Deben tener los dispositivos que le permitan situar los carteles para la identificación de los productos químicos peligrosos que transporta.

## **6.7 Carga y descarga**

**6.7.1 Tipo de material:** Los productos antes de ser transportados deben ser clasificados por tipo de producto, clase, uso y toxicidad.

**6.7.2 Apilamiento:**

**6.7.2.1** Los productos químicos deben ser apilados de acuerdo al grado de compatibilidad con otros productos.

**6.7.2.2** Los envases no deben estar colocados directamente en el piso sino sobre plataformas o paletas.

**6.7.2.3** Los envases con productos líquidos deben apilarse con los cierres hacia arriba.

**6.7.2.4** Los envases deben apilarse de tal forma que no se dañen unos con otros.

**6.7.2.5** Los envases deben apilarse en las paletas de acuerdo a una sola clasificación.

**6.7.2.6** La altura de apilado no debe exceder a dos paletas; solamente se permite colocar un bulto encima de otro y cada bulto no debe tener más de 1,3 metros de alto.

**6.7.2.7** Los envases deben estar debidamente identificados.

**6.7.3 Compatibilidad:** Durante el apilamiento y manejo general de los productos químicos no se deben mezclar los siguientes productos:

**6.7.3.1** Materiales tóxicos con alimentos, semillas o productos agrícolas comestibles.

**6.7.3.2** Combustibles con oxidantes.

**6.7.3.3** Explosivos con fulminantes o detonadores.

**6.7.3.4** Líquidos inflamables con oxidantes.

**6.7.3.5** Material radioactivo con otro cualquiera.

**6.7.3.6** Sustancias infecciosas con ninguna otra.

**6.7.3.7** Ácidos con bases

(Continúa)

**6.7.3.8** Oxidantes con reductores

**6.7.3.9** Otros

**6.7.4 Responsabilidad:** Toda persona natural o jurídica que almacene y maneje productos químicos será responsable de los accidentes y daños que pudieren ocurrir como resultado de la mezcla de productos incompatibles.

**6.7.5 Condiciones de carga:** Previo a la maniobra de carga, el transportista debe cumplir con las siguientes condiciones:

**6.7.5.1** Colocar adelante, atrás y en los costados del vehículo, señalizaciones que indiquen que se está procediendo a la carga.

**6.7.5.2** Comprobar que el contenedor se encuentre completamente limpio y sin residuos.

**6.7.5.3** Efectuar las actividades de carga lejos de fuentes de ignición y de instalaciones eléctricas.

**6.7.5.4** Verificar la inexistencia de fugas o derrames provenientes de los contenedores, bidones o autotanques.



6.7.5.5 Observar una total abstención de comer, beber o fumar.

6.7.5.6 Si el material es trasladado en cajas o en tambores cerrados, verificar que todos se encuentren debidamente protegidos contra todo rozamiento o golpe.

6.7.5.7 Si se trata de autotanques, conectar a tierra antes de iniciar el proceso de carga.

6.7.5.8 No utilizar materiales fácilmente inflamables para estibar materiales peligrosos.

6.7.5.9 Si el cargamento comprende diversos tipos de mercancías, separar los productos químicos peligrosos de los demás.

6.7.5.10 Para el ordenamiento de la carga, observar las normas técnicas del fabricante y los procedimientos de clasificación y apilamiento recomendados.

6.7.5.11 Portar la hoja de seguridad (Anexo B) de cada uno de los productos químicos peligrosos transportados.

6.7.5.12 Abastecer de combustible al vehículo antes de iniciar la carga.

6.7.6 Exceso de Carga: Antes de iniciar su traslado, el transportista debe verificar que no haya exceso de carga. Para poder identificar la existencia de un exceso de carga, el transportista debe verificar que los siguientes conceptos se encuentren dentro de los parámetros de seguridad establecidos por el fabricante del vehículo en relación al peso de la carga:

6.7.6.1 Peso bruto vehicular (peso total del vehículo + su carga).

6.7.6.2 Peso bruto combinado (peso total de una unidad motriz + remolque + la carga).

6.7.6.3 Peso de los ejes.

6.7.6.4 Peso en las llantas (máximo peso seguro que una llanta puede llevar a una presión específica).

6.7.6.5 Sistema de suspensión.

(Continúa)

6.7.6.6 Capacidad del aparato de acoplamiento (correspondencia entre peso máximo de la carga que puede ser halada).

6.7.7 Equilibrio de peso y aseguramiento de carga: Es responsabilidad del transportista que el peso esté bien equilibrado y la carga asegurada correctamente, para lo cual debe:

6.7.7.1 Antes de iniciar el transporte, comprobar que la carga se encuentre asegurada, para lo cual debe considerar que, cuando se transporta carga, en camiones de plataforma libre, así como para los vehículos con rejillas o comportamientos cerrados, esta se debe sujetar utilizando un equipo compuesto de cuerdas, correas, aparatos de tensión.

6.7.7.2 Sujetar correctamente el sistema de amarres al vehículo mediante ganchos, pernos o argollas.

6.7.7.3 Evitar el desplazamiento de la carga sobre la plataforma o piso para lo cual se deben emplear cuñas al frente, atrás y a los lados.

6.7.7.4 Usar anclajes desde la parte superior de la carga hasta el piso y hasta las paredes del comportamiento de carga, si las hubiere.

6.7.7.5 Para tanques, que están divididos en comportamientos por medio de tabiques o separadores, al cargarlos, el operador debe prestar atención especial a la distribución del peso, no poner demasiado peso en la parte delantera o trasera del vehículo. El empleo de estos tanques exige tener

cuidado cuando están parcialmente llenos, debido a la agitación y movimiento del líquido que tiende a empujar al vehículo en la dirección en que la oleada se mueve.

**6.7.7.6** Para tanques que tienen comportamientos con paredes con perforaciones llamadas deflectores, estos deben permitir que el líquido fluya y ayude a controlar la oleada del líquido hacia delante y atrás, más no en sentido lateral.

**6.7.8** *Condiciones de Descarga.* En la operación de descarga de los productos químicos peligrosos y residuos, tanto el comercializador, como el transportista y el usuario deben proceder con suma atención respetando en todo momento los siguientes requisitos mínimos:

**6.7.8.1** Antes de descargar un vehículo con este tipo de productos, revisar minuciosamente los etiquetados y las hojas de seguridad a fin de que el personal conozca sobre la forma de descarga que garantice una operación con un mínimo de riesgo.

**6.7.8.2** Antes de proceder a la descarga, realizar una inspección física de toda la parte externa del vehículo para verificar la existencia de fugas, escurrimientos, señales de impacto, desgaste, sobrecalentamiento de una o varias partes del vehículo y que pudiesen afectar a la carga.

**6.7.8.3** Que todo el personal involucrado en la descarga tenga y use todo el equipo de protección personal necesario según los requerimientos de las hojas de seguridad del producto.

**6.7.8.4** Esperar al menos un tiempo de 15 minutos previo al inicio de la descarga, a efectos de ventilación.

**6.7.8.5** Durante el proceso de descarga, evitar que el material se derrame o se escape. Evitar también rozamientos o cualquier otra situación que ocasione derrames o incendios.

**6.7.8.6** Que los lugares de descarga se encuentren alejados de líneas eléctricas o de fuentes de ignición.

**6.7.8.7** Que todo el personal que efectúe las maniobras de descarga de productos químicos peligrosos, cuente con un adiestramiento adecuado y conocimiento sobre los productos que maneja.

*(Continúa)*

**6.7.8.8** Que en el caso de tanques, se lleve a cabo una revisión de las conexiones a usarse en la descarga. De ser necesario realizar un análisis del material.

**6.7.8.9** Para la descarga colocar la señalización pertinente que dé aviso del peligro.

**6.7.8.10** En los autotanques, conectar a tierra antes de su descarga.

**6.7.8.11** En caso de descargas de materiales o productos inflamables, utilizar equipo antichispa.

**6.7.8.12** En caso de tanqueros u otros vehículos presurizados, descargar la presión interna a través de métodos adecuados.

**6.7.8.13** Que todo el personal involucrado en las actividades de descarga, así como aquel que se encuentre en las cercanías del área de descarga, se abstenga de comer, beber y fumar, controlando que no exista fuente alguna de ignición.

**6.7.8.14** Que los vehículos tanqueros preferentemente utilicen un motor externo para accionar las bombas de descarga, en lugar de su motor.

**6.7.8.15** Que en caso de derrame, el interior del vehículo se limpie inmediatamente, recolectando el producto derramado, para evitar que pueda llegar al suelo y producir contaminación. En todo caso, la limpieza y la recolección debe ser hecha antes de que se recepte una nueva carga.

**6.7.8.16** Para efectos de limpieza, el transportista es responsable de que el vehículo cuente con materiales e implementos de recolección (p alas, escobas, bolsas plásticas de alta resistencia, material absorbente como aserrín, entre otros).

**6.7.8.17** Que los implementos y materiales que se utilicen para la limpieza no se descarten libremente, sino que deben ser mantenidos hasta el destino final de la carga, donde serán sometidos a un proceso de descontaminación o entregados al comercializador para su adecuada disposición final.

**6.7.8.18** Verificar que la cantidad declarada sea igual a la que se descarga. En caso de existir faltantes, se debe notificar a las autoridades que constan en el numeral relativo a prevención y emergencias.

**6.7.8.19** La verificación de la cantidad, calidad y seguridad de los productos químicos peligrosos que se transportan, debe ser realizada por el organismo público o privado competente, en los sitios de origen y destino.

## **6.8 Almacenamiento**

**6.8.1 Identificación del material:** Es responsabilidad del fabricante y del comercializador de productos químicos peligrosos, su identificación y etiquetado de conformidad con la presente norma.

**6.8.2 Compatibilidad:** Durante el almacenamiento y manejo general de los productos químicos peligrosos no se debe mezclar los siguientes productos:

**6.8.2.1** Materiales tóxicos con alimentos o semillas o cultivos agrícolas comestibles.

**6.8.2.2** Combustibles con oxidantes.

**6.8.2.3** Explosivos con fulminantes o detonadores.

**6.8.2.4** Líquidos inflamables con oxidantes.

**6.8.2.5** Material radioactivo con otro cualquiera.

*(Continúa)*

**6.8.2.6** Sustancias infecciosas con ninguna otra.

**6.8.2.7** Ácidos con Bases

**6.8.2.8** Oxidantes con reductores

**6.8.2.9** Otros

**6.8.2.10** Toda persona natural o jurídica que almacene y maneje productos químicos peligrosos debe contar con los medios de prevención para evitar que se produzcan accidentes y daños que pudieran ocurrir como resultado de la negligencia en el manejo o mezcla de productos incompatibles.

**6.8.3 Localización.** Los lugares destinados para servir de bodegas en el almacenamiento deben reunir las condiciones siguientes:

**6.8.3.1** Estar situados en un lugar alejado de áreas residenciales, escuelas, hospitales, áreas de comercio, industrias que fabriquen o procesen alimentos para el hombre o los animales, ríos, pozos, canales o lagos.

**6.8.3.2** Situarse en un terreno o área no expuesta a inundaciones.

**6.8.3.3** Estar en un lugar que sea fácilmente accesible para todos los vehículos de transporte, especialmente los de bomberos

**6.8.4 Servicios.**



**6.8.4.1** Debe contar con un servicio básico de primeros auxilios y tener fácil acceso a un centro hospitalario, en donde conozcan sobre la naturaleza y toxicidad de los productos químicos peligrosos.

**6.8.4.2** Debe disponer de un sitio adecuado para vestuario e higiene personal.

**6.8.4.3** Se deben dictar periódicamente cursos de adiestramiento al personal, en procedimientos apropiados de prestación de primeros auxilios y de salvamento.

**6.8.4.4** Debe tener una cerca o muro en todo su alrededor, y no permitir la entrada de personas no autorizadas.

**6.8.4.5** Debe existir un espacio mínimo de 10 m entre la cerca o muro del medio circundante y las paredes de la bodega.

**6.8.4.6** Debe tener un sitio adecuado para la recolección, tratamiento y eliminación de los residuos de productos químicos peligrosos y materiales afines.

**6.8.4.7** Debe disponer de equipos adecuados para la descontaminación de acuerdo al nivel de riesgo.

**6.8.4.8** Debe tener disponibles el equipo y los suministros necesarios de seguridad y primeros auxilios como: máscaras para gases, gafas o máscaras de protección de la cara, vestimenta impermeable a gases, líquidos tóxicos o corrosivos, duchas de emergencia, equipos contra incendios.

#### **6.8.5 Parquadero**

**6.8.5.1** Los sitios destinados para parquear los vehículos deben estar orientados hacia la salida.

*(Continúa)*

**6.8.5.2** Debe existir un sitio exclusivo para el estacionamiento de vehículos que transportan productos químicos peligrosos.

**6.8.5.3** El parquadero debe estar perfectamente señalizado y contará con el área suficiente de maniobra.

**6.8.6 Locales.** Los lugares destinados al almacenamiento de productos químicos peligrosos deben ser diseñados o adecuados en forma técnica y funcional de acuerdo a él o los productos que vayan a ser almacenados y deben observarse los siguientes requisitos:

**6.8.6.1** Tener las identificaciones de posibles fuentes de peligro y marcar la localización de equipos de emergencia y de protección. Ver Anexo F y NTE INEN 439.

**6.8.6.2** Efectuar rápidamente la limpieza y descontaminación de los derrames, consultando la información de los fabricantes del producto, con el fin de mitigar el impacto ambiental.

**6.8.6.3** Contar con detectores de humo y un sistema de alarma contra incendios.

**6.8.6.4** Asegurar que la cubierta y muros proporcionen una buena circulación del aire (de preferencia estarán contruidos en sentido de la dirección del viento). El respiradero, tendrá una abertura equivalente al menos a 1/150 de la superficie del piso.

**6.8.6.5** Facilitar una buena ventilación controlando que exista un espacio de un metro entre la línea del producto más alto (en anaqueles) y el techo, así como entre el o los productos con las paredes.

**6.8.6.6** Para facilitar una buena ventilación se deben instalar extractores de escape o respiraderos (no es aconsejable instalar un sistema de calefacción central).