

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN  
INGENIERÍA**

**“Diseño y Simulación de un Sistema de Control Automático para el  
Proceso de Reciclaje de Luminarias de Bajo Consumo”**

**PAULINA MISHHELL ARIAS GÓMEZ**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2013**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de fin de carrera titulado: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE RECICLAJE DE LUMINARIAS DE BAJO CONSUMO, fue desarrollado en su totalidad por la Srta. PAULINA MISHELL ARIAS GÓMEZ, como requisito para la obtención del título en INGENIERÍA ELECTRONICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL, bajo nuestra dirección.

---

Ing. Fausto Ludeña

**DIRECTOR**

---

Ing. Hugo Ortiz

**CODIRECTOR**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y**  
**CONTROL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**PAULINA MISHHELL ARIAS GÓMEZ**

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “Diseño y Simulación de un Sistema de Control Automático para el Proceso de Reciclaje de Luminarias de Bajo Consumo”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Febrero de 2013

---

**PAULINA MISHHELL ARIAS GÓMEZ**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Paulina Mishell Arias Gómez**

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño y Simulación de un Sistema de Control Automático para el Proceso de Reciclaje de Luminarias de Bajo Consumo”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Febrero de 2013

---

**PAULINA MISHELL ARIAS GÓMEZ**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**CERTIFICADO**

**Ing. Fausto Ludeña**

**Ing. Hugo Ortiz**

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “Diseño y Simulación de un Sistema de Control Automático para el Proceso de Reciclaje de Luminarias de Bajo Consumo”, realizado por Paulina Mishell Arias Gómez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército. Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación. El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Paulina Mishell Arias Gómez que lo entregue al Ingeniero Víctor Proaño, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, Febrero de 2013

---

Ing. Fausto Ludeña

---

Ing. Hugo Ortiz

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a DIOS por darme la vida y permitirme crecer y desarrollarme como persona. Gracias Virgencita Morena por siempre guiarme y bendecirme por el camino del bien.

Mil Gracias a mis padres, Washo y Mary, por creer en mí y estar a mi lado apoyándome siempre.

De manera especial quiero agradecer a los Ingenieros Fausto Ludeña y Hugo Ortiz, por formar parte esencial para el desarrollo de este proyecto. Gracias Ingenieros por todo su conocimiento aportado para que este proyecto se haya realizado.

En fin quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera aportaron con un granito de conocimiento en mi vida. Muchas Gracias a TODOS.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a DIOS por darme la vida y permitirme crecer y desarrollarme como persona. Gracias Virgencita Morena por siempre guiarme y bendecirme por el camino del bien.

Mil Gracias a mis padres, Washo y Mary, por creer en mí y estar a mi lado apoyándome siempre.

De manera especial quiero agradecer a los Ingenieros Fausto Ludeña y Hugo Ortiz, por formar parte esencial para el desarrollo de este proyecto. Gracias Ingenieros por todo su conocimiento aportado para que este proyecto se haya realizado.

En fin quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera aportaron con un granito de conocimiento en mi vida. Muchas Gracias a TODOS.

## PRÓLOGO

Conforme el ser humano adquiere avances significativos en la tecnología nacen nuevas necesidades que prolongan la preservación de la naturaleza que en la actualidad dentro de las responsabilidades del cuidado al medio ambiente se aplican técnicas con el fin de disminuir la contaminación, una de ellas es el reciclaje; que la mayoría de las personas no conocen en realidad la importancia y el significado del reciclaje, palabra conocida por muchos pero lastimosamente practicada por pocos; es precisamente que en Ecuador penosamente esto sucede.

Uno de los factores principales que se aporta para la contaminación ambiental, es el desecho y desuso de luminarias de bajo consumo debido a la presencia en su interior de gas de mercurio, un gas altamente tóxico para el medio ambiente y el ser humano; pero en cierta manera el uso de este tipo de gas en las lámparas permiten que estas disminuyan su consumo energético, una gran ventaja del uso de las mismas, convirtiéndose así en un medio de iluminación generalizado.

El problema radica cuando las lámparas terminan su vida útil, muchas personas se preguntarán, ¿Qué hacemos con las lámparas quemadas?; la respuesta es sencilla, recurrir a la moda de temporada, el reciclaje. Para poner en marcha el reciclaje, se debe contar con infraestructura adecuada en donde se puede llevar a cabalidad cada uno de los procesos que permitan obtener materia prima completamente reciclable y disminución de la contaminación ambiental.

En Ecuador no existe una infraestructura que permita reciclar luminarias de bajo consumo, es por esto, que el presente proyecto investigativo nace con la finalidad de diseñar un preliminar para el control automático de las diferentes etapas que intervienen en el reciclaje como son: trituración, separación y extracción.

Se analiza en primera instancia dichos procesos basado en el principio de operación mecánica de los mismos, para así elegir los sensores y actuadores más convenientes que permitan la automatización de los procesos productivos.



Con la automatización del reciclaje de luminarias de bajo consumo se logra activar las diferentes etapas sin la intervención del ser humano, considerando que este proceso debe ser realizado herméticamente para lograr la separación de los componentes de la luminaria para su futura reutilización. La activación de las diferentes etapas del reciclaje se simula a través del controlador e la interfaz HMI, con la finalidad de mostrar la lógica de control a ser aplicada en una futura implementación.

Finalmente se realiza un análisis económico, el cual está basado en una investigación cualitativa más no cuantitativa, debido a que son muchos aspectos a tomar en consideración, los cuales no son objeto de este campo de estudio.

# ÍNDICE

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación e Importancia .....	2
1.3. Alcance del Proyecto .....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Lámparas Fluorescentes Compactas .....	5
2.1.1. Inicios de la Iluminación .....	5

2.1.2.	Elementos Constitutivos de las Lámparas Fluorescentes.....	8
2.1.3.	Emisión de luz fluorescente.....	16
2.1.4.	Impactos ambientales positivos y negativos de las LFC's .....	17
2.2.	Reciclaje de LFC's.....	21
2.2.1.	Proceso General del Reciclaje de LFC's. Método Trituración.....	26

### **CAPÍTULO III**

#### **INGENIERÍA BÁSICA**

3.1.	Método Trituración para el Reciclaje de LFC's .....	29
3.1.1.	Extracción .....	35
3.1.2.	Separación.....	50
3.1.3.	Trituración.....	56
3.1.4.	Transporte .....	60
3.1.5.	Almacenaje .....	67

### **CAPÍTULO IV**

#### **INGENIERÍA DE DETALLE**

4.1.	INSTRUMENTACIÓN ETAPA DE TRITURACIÓN .....	69
4.1.1.	Acondicionamiento de Señales. Etapa de trituración.....	79
4.2.	INSTRUMENTACIÓN ETAPA DE SEPARACIÓN DE POLVO FLUORESCENTE .....	81
4.2.1.	Acondicionamiento de Señales Etapa de Separación.....	84
4.3.	INSTRUMENTACIÓN ETAPA DE EXTRACCIÓN DE POLVO FLUORESCENTE .....	85

4.3.1. Acondicionamiento de Señales Etapa de Extracción de Polvo Fluorescente .....	92
4.4. INSTRUMENTACIÓN ETAPA DE SEPARACIÓN VIDRIO/METAL.....	93
4.4.1. Acondicionamiento de Señales. Etapa Separación Vidrio/Metal .....	97
4.5. CONTROLADOR.....	99
4.5.1. Twido Suite.....	102
4.6. Instalación Eléctrica.....	103
4.6.1. Determinación del nivel de tensión de alimentación.....	104
4.6.2. Estimación de la Demanda.....	104
4.6.3. Selección del Calibre de los Alimentadores .....	110
4.6.4. Selección del Sistema de Transformación.....	111

## **CAPITULO V**

### **SIMULACIÓN DEL PROCESO**

5.1. Simulación Controlador .....	114
5.1.1 Pruebas y Resultados. Simulación Controlador.....	117
5.2. Simulación Interfaz HMI .....	120
5.2.1 Entorno de Configuración de Vijeo Citect.....	121

## **CAPÍTULO VI**

### **FACTIBILIDAD ECONÓMICA**

6.1. Análisis de Inversión.....	129
6.1.1 Costos de inversión .....	<b>129</b>
6.1.2 Costos Operativos .....	<b>130</b>
6.2. Análisis de Ingresos .....	133

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES**

7.1. Conclusiones .....	139
7.2. Recomendaciones .....	141

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>XI</b>
-----------------------------------	-----------

<b>ANEXOS</b>	<b>XIII</b>
---------------	-------------

**ANEXO 1 FICHA TECNICA DE PRODUCTO - FOSFATO DICALCICO ANHIDRO**

**ANEXO 2 ESQUEMATIZACIÓN - SISTEMA DE RECICLAJE DE LFC'S**

**ANEXO 3 VALORES NOMINALES PARA MOTORES DE C.A. Y C.C.**

**ANEXO 4 DATA SHEET - VENTILADOR CENTRÍFUGO**

**ANEXO 5 DATA SHEET – CARBO TECH**

**ANEXO 6 CONEXIÓN DE I/O PLC. PARTE I**

**ANEXO 6.1 CONEXIÓN DE I/O PLC. PARTE II**

**ANEXO 7 PLANO ELÉCTRICO**

**ANEXO 8 MANUAL DE USUARIO TWIDO SUITE**

**ANEXO 9 COORDINACION DE PROTECCIONES**

**ANEXO 10.1 DIAGRAMA DE FLUJO. LÓGICA DE CONTROL**

**ANEXO 10.2 MATRIZ CAUSA EFECTO. LÓGICA DE CONTROL**

**ANEXO 11 VISTAS PREVIA TABLEROS DE CONTROL**

**ANEXO 12 COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN PARA LUMINARIAS**

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>XIV</b>
--------------------------	------------

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	<b>XX</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XXII</b>

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes

En la actualidad con el avance tecnológico, las luminarias de bajo consumo (LFC's "Lámpara Fluorescente Compacta") se han convertido en un medio de iluminación más generalizado debido a su bajo consumo de energía eléctrica para la generación de luz, siendo numerosas infraestructuras quienes las utilizan tales como: instituciones públicas, privados, domicilios, centros educativos, etc.

El desuso y desecho de estas luminarias tienen implicaciones ambientales, las mismas que al romperse liberan de su interior pequeñas cantidades de vapor de mercurio (Hg) mezclado con argón, un potente contaminante que afecta a la salud humana y al medio ambiente. Estos impactos ambientales son conocidos en la mayoría de las empresas que fabrican estas lámparas, pero desconocidas casi en su totalidad en muchos hogares quienes son los usuarios finales de las mismas, provocando que las personas no proporcionen un adecuado tratamiento (reciclaje) para estas luminarias; al ser tratados como residuos ordinarios y no como residuos especiales.

El correcto tratamiento de las luminarias LFC's es el de extraer materia prima tal como: vidrio, metales/plásticos y polvo de fósforo que contiene mercurio; los mismos que son reutilizados (reciclaje), a excepción del polvo de fósforo que debe ser tratado en un proceso adicional para poder reutilizar el mercurio reciclado como mercurio puro.

Debido a la falta de información y cultura sobre el correcto tratamiento de estas luminarias, en Ecuador no existe un proceso (infraestructura) de recolección y reciclaje adecuado para evitar que el vapor de mercurio sea liberado al exterior cuando una luminaria se rompe. Tampoco

existen disposiciones por el Ministerio del Ambiente para que las LFC's sean tratadas como residuos especiales.

## **1.2. Justificación e Importancia**

Hoy en día el respeto y cuidado al medio ambiente es un tema primordial debido a los altos índices de contaminación existentes por diferentes medios, uno de ellos es la liberación de vapor de mercurio a la biósfera que se produce a través de una LFC rota, de esta manera el mercurio se encuentra recirculando en el ambiente produciendo metilación a través de procesos biológicos y su bioacumulación en diferentes organismos vivos.

Una LFC que contiene mercurio puede contaminar alrededor de unos 30.000 litros de agua transformándose así en un potente veneno cuyo efecto tarda unos 50 años en desaparecer, afectando de esta manera a plantas y animales; y por ende al ser humano a través de la cadena alimenticia, provocando en él daños permanentes en el cerebro, riñones y en los fetos en desarrollo.

Con el constante desarrollo de la tecnología, los procesos de automatización industrial se han convertido en una herramienta muy útil cuando se trata de implementar procesos que contribuyen con el desarrollo y cuidado del medio ambiente.

Es importante proponer un Diseño de un Sistema de Control Automático para el Proceso de Reciclaje de LFC's, el mismo que permita obtener vidrio, metales/plásticos y polvo de fósforo con mercurio de las LFC's totalmente reciclables, de manera segura evitando emisiones de polvo contaminante al medio ambiente.

Para una futura implementación del Sistema de Reciclaje es necesario contar con el apoyo de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE); al ser una institución ligada al Estado Ecuatoriano es más fácil emprender este proyecto a través del Gobierno y el Ministerio del Ambiente; al ser un proyecto eminentemente ambiental.

## **1.3. Alcance del Proyecto**

El alcance de este proyecto de grado es el de Diseñar y Simular un Proceso Automatizado de Reciclaje de LFC's, realizando para el efecto las ingenierías básica y de detalle que



intervienen en todas las áreas del proceso del reciclaje como son: trituración, separación y extracción.

Mediante la ingeniería básica se analizará la filosofía de operación del proceso de reciclaje y se identificarán las variables a ser controladas los mismos que definirán los lineamientos generales para la adecuada selección de equipamientos necesarios y suficientes para operar un sistema de reciclaje de LFC's.

Se efectuará la ingeniería de detalle, la misma que permitirá realizar un análisis de la instrumentación necesaria, tal como sensores y actuadores. Además describir las características y necesidades técnicas como físicas para escoger un sistema de control que satisfaga las necesidades del proceso considerando que el control de las variables debe ser controladas minuciosamente, ya que el producto que se procesa es altamente tóxico para el ser humano como para el medio ambiente.

Finalmente se realizará una Simulación para Control y Supervisión del Proceso de Reciclaje de LFC's a través de los Software: Twido Suite y Viejo Citect de Schneider Electric; el mismo que nos permitirá: visualización de pantallas que muestren el estado del proceso, comunicación y control con toda la instrumentación del proceso, visualización de datos históricos de cada una de las variables I/O que intervienen en el proceso y para una futura implementación la adquisición de datos de las variables del proceso.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar y Simular un Sistema de Control Automático para el Proceso de Reciclaje de Luminarias de Bajo Consumo.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Investigar el principio de funcionamiento de las lámparas LFC's y su incidencia en el Medio Ambiente.
- Analizar y definir los elementos a usarse en el proceso de reciclaje de Lámparas LFC's.

- Seleccionar los elementos adecuados para la etapa de automatización como sensores, actuadores y controlador
- Diseñar y Simular el Proceso de Reciclaje de LFC's mediante el software: Twido Suite y Vijeo Citect de Schneider Electric.
- Realizar un análisis financiero para determinar el periodo de retorno de la inversión, necesaria para la implementación de un proceso de reciclaje de LFC's.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contiene una investigación pormenorizada sobre los inicios de la iluminación hasta la actualidad, con una visión generalizada de los beneficios que estos implican y que influyen en el entorno en los que se desarrollan los seres humanos; adicionalmente se enfocó en el estudio y tratamiento de las lámparas de mayor consumo a nivel mundial como es el caso de las lámparas fluorescentes compactas LFC's.

Se proyectará un estudio de las LFC's en función de sus elementos constitutivos y principio de funcionamiento para mostrar una descripción teórica de los conceptos fundamentales, es decir, analizando los impactos ambientales positivos y negativos para el medio ambiente, con el objeto de concientizar a las personas acerca del tratamiento adecuado que se debe proporcionar a las mismas con el objeto de reducir los impactos ambientales negativos sin dejar a un lado el uso de las LFC's por todos los beneficios positivos que estos representan.

Finalmente se investigará que métodos de reciclaje son apropiados para el tratamiento adecuado de las LFC's.

#### **2.1. Lámparas Fluorescentes Compactas**

##### **2.1.1. Inicios de la Iluminación**

Desde la Prehistoria el ser humano ha buscado su supervivencia, a través de métodos que permitieron su desarrollo en entornos notablemente limitados; uno de ellos era la iluminación cuando el sol dejaba de lucir. Pero el ser humano a través del descubrimiento del fuego, que no sólo era utilizado para calentarse y cocinar; también lo utilizó como medio de iluminación. A partir de este descubrimiento, inicia un largo camino en donde el ser humano creó las primeras antorchas, que se convirtieron en el primer ejemplo de iluminación pública. Entre los años 7000 y 8000 A.C surge una nueva idea de iluminación como son las lámparas de aceite, que eran recipientes de líquido oleoso que se hacían arder por medio de una mecha. Estas lámparas se llenaban de aceite o de grasa y sobre su superficie flotaba la mecha. A partir del siglo XVIII, la industria ballenera introdujo al mercado el aceite de ballena (spermaceti); a partir de esto se fabricaron velas de spermaceti, las mismas que se convirtieron en medidas estándares, conocido como la candela. La candela era la luz producida por una vela spermaceti

con un peso de 1/6 de libra y quemándose a un ritmo de 120 gr. por hora. Este tipo de velas eran muy costosas, por lo que a partir de 1850 se desarrolló la parafina, que sustituyó a la spermaceti. A partir del año 1650, existen las primeras apariciones de iluminación a través de la electricidad. El alemán Otto von Guericke descubrió que la luz podía ser producida por excitación eléctrica, cuando un globo de sulfuro era rotado rápidamente y frotado, este producía una emanación luminosa. En 1706 Francis Hauksbee reprodujo el efecto de Otto al inventar la primera lámpara eléctrica al introducir sulfuro dentro de un globo de cristal al vacío rotándola a gran velocidad y frotándola. Thomas A. Edison produjo una lámpara incandescente con un filamento carbonizado, la misma que producía luz constante durante un periodo de dos días, continuando sus investigaciones con materiales alternos para la construcción de un filamento más duradero. Continuaron las investigaciones encaminadas a desarrollar lámparas más eficientes. Welsbach inventó la primera lámpara con un filamento metálico (osmio), siendo un metal sumamente raro y caro, por lo que su fabricación se interrumpió en 1907 cuando se produjo la aparición de la lámpara de tungsteno.

Los desarrollos de estas lámparas no se detuvieron con la finalidad de conseguir eficiencia en la iluminación; en 1904 el norteamericano Willis R. Whitney produjo una lámpara con filamento de carbón metalizado. Sin embargo con el objeto de conseguir eficiencia en la producción de luz a través de energía eléctrica, se empezó a producir filamentos de tungsteno. Para conseguir eficiencia en la energía eléctrica, en 1913, Irving Langmuir introdujo gases inertes dentro del cristal de la lámpara logrando retardar la evaporación del filamento, de esta manera se conseguía tiempos mayores de vida útil de estas lámparas.

Este experimento dio paso al mejoramiento de la eficiencia en la luminosidad siendo dos o tres veces mayor que la lámpara incandescente. Varias investigaciones permitieron al científico Daniel McFarlan Moore combinar varios gases en el tubo Geissler demostrando que al introducir nitrógeno producía luz amarilla, con bióxido de carbón producía luz rosada-blanca; este tubo se denominó tubo de Moore. Este tubo presentó algunas desventajas como: balance en el color y dificultad en la instalación, reparación y mantenimiento; sin embargo, Moore continuó con sus investigaciones ideando una pantalla fluorescente, mejorando así el color de la luz. Con este invento nace la lámpara denominada *fluorescente*, que inmediatamente tuvo aceptación en Norteamérica.

Las lámparas fluorescentes se empezaron a fabricar en Francia y Alemania a partir de la década de los 30, siendo su ventaja principal un bajo consumo de electricidad con una gran variedad de colores. La primera lámpara era a base de un arco de mercurio de aproximadamente 15 watts dentro de un tubo de vidrio revestido con sales minerales fluorescentes (fosforescentes).

A partir de 1944 estas lámparas se han convertido en el medio de iluminación de uso más generalizado en comercios, oficinas, sitios públicos, viviendas, etc. Siendo de diversas formas y tamaños como se puede ver en la Figura. 2. 1.



**Figura. 2. 1. Lámparas Fluorescentes**

Fuente <http://jorgeloayza.blogspot.com/2011/09/reciclaje-de-lamparas-fluorescentes-y.html>

El estudio de este proyecto de grado se enfocará al reciclaje de las lámparas fluorescentes, debido a que estas son de uso generalizado; tomando en consideración su nivel de contaminación ambiental a través de su componente gaseoso, mercurio Hg.

Se debe diseñar y simular una propuesta alternativa para un sistema de control automático que permita un tratamiento adecuado para estas lámparas, logrando un nivel de contaminación ambiental reducido.

### **2.1.2. Elementos Constitutivos de las Lámparas Fluorescentes**

Una lámpara fluorescente es un tipo de luminaria que en su interior posee un material fluorescente y una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa) que es utilizada para la iluminación doméstica e industrial debido a su eficiencia energética (producción de más lúmenes con menos watts), vida útil mayor (más horas de funcionamiento) y su despreciable disipación de calor al medio ambiente (consideradas lámparas frías). El inconveniente que presentan estas lámparas es su nivel de contaminación al término de su vida útil (en caso de rotura) ya que emanan al exterior partículas de gas conteniendo mercurio, siendo este gas tóxico-bioacumulante para el medio ambiente.

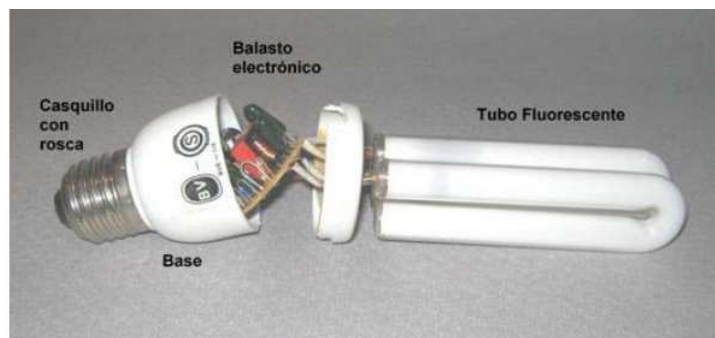
El inicio de estas lámparas eran constituidas a través de tubos de vidrio de diámetro y longitud variable según la potencia deseada. Sin embargo, estas presentan la desventaja de su tamaño y peso, siendo limitadamente manejables.

En el año de 1976 el ingeniero Edward Hammer de la empresa norteamericana General Electric, frente a la desventaja que presentaban las lámparas de tubo, construyó una lámpara de tubo de vidrio alargado y de diámetro reducido doblado en forma de espiral con la finalidad de reducir sus dimensiones, siendo una lámpara similar a una lámpara incandescente, pero manteniendo sus propiedades de iluminación que el de una lámpara fluorescente tradicional (tubo lineal).

Con el avance de las tecnologías de producción, hoy en día estas lámparas constituyen un medio de iluminación generalizado las mismas que toman el nombre de lámparas fluorescentes compactas “LFC’s”, es decir, son lámparas que en una misma pieza se encuentra todos sus elementos; a diferencia de los tubos fluorescentes que el elemento electrónico se encuentra fuera de la lámpara.

Las lámparas LFC’s han tomado varios nombres, simplemente como medio de comercialización pero manteniendo su constitución; siendo conocidos como: foco ahorrador, lámpara de luz fría, lámpara de bajo consumo, etc.

Las lámparas LFC’s constan de las siguientes partes como se indica en la Figura. 2.2:



**Figura. 2. 2. Elementos constitutivos de una LFC**

Fuente

[http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/404/3/Capitulo1\\_Analisis\\_de\\_demanda\\_del\\_sistema\\_electrico\\_de\\_Empresa\\_Electrica\\_Azogues\\_por\\_uso\\_de\\_LFCs.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/404/3/Capitulo1_Analisis_de_demanda_del_sistema_electrico_de_Empresa_Electrica_Azogues_por_uso_de_LFCs.pdf)

**Tubo fluorescente:** Tubo de vidrio de 6 mm de diámetro aproximado y una longitud de acuerdo a la potencia en vatios que posee la lámpara de acuerdo a la Tabla.2 .1; donde el tubo puede ser doblado en forma de espiral o de una U invertida.

EQUIVALENCIA LONGITUD/POTENCIA	
LONGITUD [mm]	POTENCIA [W]
600	18
900	30
1200	36
1500	58

**Tabla. 2. 1. Equivalencia longitud/potencia de una LFC**

Fuente <http://www.lamparadirecta.es/philips/tubos-fluorescentes>

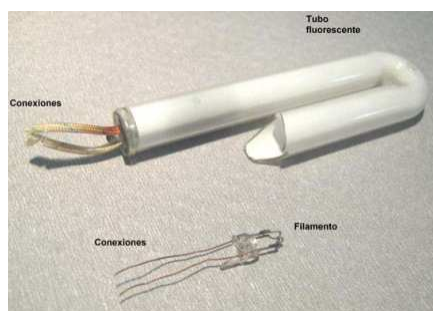
El tipo de vidrio utilizado en la fabricación del tubo fluorescente son los vidrios técnicos o vidrios comunes. A este tipo de vidrio se le denomina “*sílice vítrea*”; siendo un óxido de silicio de fórmula química  $\text{SiO}_2$  que se presenta en estado sólido cristalino, siendo la más conocida el cuarzo (estable a temperatura ambiente). Cuando se calienta el cuarzo lentamente, va pasando por distintas formas hasta alcanzar su punto de fusión de  $1.713\text{ }^\circ\text{C}$  a  $1.723\text{ }^\circ\text{C}$ .

A esta temperatura se obtiene un líquido incoloro y muy viscoso que si se enfría con relativa rapidez, se convierte en una sustancia de naturaleza vítrea a la que se suele denominar vidrio de cuarzo.

Este tipo de vidrio es de gran utilidad y aplicación en múltiples disciplinas de la industria enfocándose en la fabricación de lámparas fluorescentes debido a las siguientes características:

- Gran resistencia al ataque por agentes químicos. Sólo es atacado, de manera importante a temperatura ambiente, por el ácido fluorhídrico en sus diferentes formas (gaseosa o disolución), a temperaturas superiores a  $800\text{ }^\circ\text{C}$ . Esta característica es importante considerarle debido que en el interior del tubo se inyectará gases de Argón y Mercurio, por lo que el vidrio no debe sufrir ninguna reacción.
- Su resistividad eléctrica es del orden de los  $10^{20}$  ohm·cm en condiciones normales siendo uno de los mejores aislantes eléctricos. Esta característica garantiza que en el funcionamiento de la lámpara al tocarla no exista corriente eléctrica sobre el vidrio, debido a que en el interior del vidrio se está produciendo conductividad eléctrica.
- La absorción del espectro ultravioleta muestra una gran transparencia a la luz visible. Esta característica es fundamental ya que las paredes del vidrio son recubiertas de polvo de fósforo con la finalidad de que la luz ultravioleta se convierta en luz visible.

**Filamentos:** En los extremos del tubo de vidrio existen dos filamentos de tungsteno o wolframio (W) como se puede ver en la Figura. 2. 3; con el propósito de convertir la energía eléctrica en calor y luz para que los gases inertes y el gas de mercurio que se encuentra dentro del tubo produzcan el efecto de fluorescencia (emisión de radiaciones ultravioleta en la banda de  $253,7\text{ nm}$ ) a través de la ionización de los gases.



**Figura. 2. 3. Filamentos de las LFC's**

Fuente

[http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/404/3/Capitulo1\\_Analisis\\_de\\_demanda\\_del\\_sistema\\_electrico\\_de\\_Empresa\\_Electrica\\_Azogues\\_por\\_uso\\_de\\_LFCs.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/404/3/Capitulo1_Analisis_de_demanda_del_sistema_electrico_de_Empresa_Electrica_Azogues_por_uso_de_LFCs.pdf)

Un gas inerte se caracteriza por ser un gas no reactivo bajo unas determinadas condiciones de trabajo químico presentes en estado gaseoso, principalmente se usan neón (Ne), criptón (Kr) o Argón (Ar). Estos gases se usan principalmente para facilitar el encendido de la lámpara y controlar la descarga de electrones.

**Sustancias Fluorescentes:** En la actualidad se usan dos tipos de fósforos: los que producen un espectro continuo, haluros como los fosfatos, y los trifósforos como aluminatos, boratos y silicatos; que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios. Los fósforos usados en las LFC's son compuestos inorgánicos de alta pureza con partículas de tamaño aproximadamente entre 10 a 50  $\mu\text{m}$ .

Este tipo de fósforos utilizados en las lámparas fluorescentes son polvos blancos, inoloros, insípidos y estables en el aire.

El color característico de una lámpara está definido a través de una radiación emitida, la cual tiene una longitud de onda mayor que la radiación de excitación (radiación ultravioleta), dependiendo de la naturaleza del fósforo usado.

Los polvos de fósforos combinan bandas de emisión de colores a través de su pico de longitud de onda, de esta manera produciendo luz percibida. La Tabla 2.2 muestra los fósforos más usados con su respectivo pico de longitud de onda.

NOMBRE DEL COMPUESTO	COLOR
<b><u>Haluros</u></b>	
Halofosfato de Calcio	Blanco (480 nm, 580 nm)
<b><u>Trifósforos</u></b>	
Óxido de itrio + trifósforos de europio	Rojo – naranja (611nm)



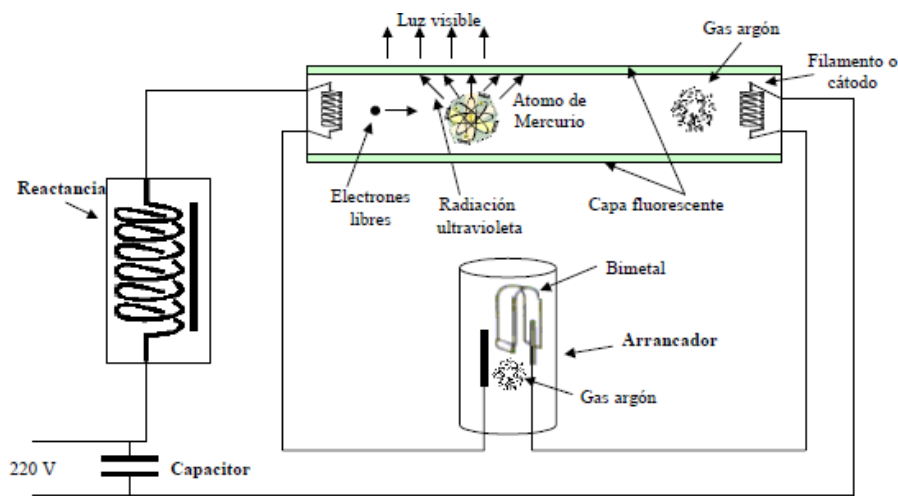
Aluminato de magnesio, cesio y terbio	Verde (543 nm)
Fosfato de lantano + fosfuro de cesio y terbio	Verde (544 nm)
Borato de magnesio y gadolinio + fosfuro de cesio y terbio	Verde (545 nm)
Aluminato de magnesio y bario + fosfuro de europio	Azul (450 nm)
Cloroapatita de estroncio + fosfuro de europio	Azul (447 nm)
<b>Fósforos de lujo</b>	
Estroncio verde, azul	Verdoso (480 nm, 560 nm)
Estroncio Rojo	Rojizo (530 nm)

**Tabla. 2. 2. Tipos de Fósforos más usados**

El tipo de fosfato utilizado en la fabricación de las mayores lámparas fluorescentes es el “*fosfato di cálcico anhidro*”, cuya fórmula química es  $\text{CaHPO}_4$  y como elementos mayoritarios constitutivos se tienen al Calcio y Fósforo en cantidad del 29% y 21% respectivamente, con mayor detalle se puede ver el Anexo 1.

**Balasto Electrónico:** Es un equipo que permite proveer de un sistema de alimentación para las lámparas fluorescentes con el objeto de obtener el encendido de la lámpara y limitar la corriente de operación evitando que existan incrementos altos de corriente ocasionando la reducción de la vida útil de la lámpara.

Inicialmente aparecieron balastos electromagnéticos constituidos por un transformador de corriente (reactancia), un capacitor en paralelo a la tensión de entrada y un arrancador (capacitor) como se puede ver en la Figura. 2.4.



**Figura. 2. 4. Balasto Electromagnético**

Fuente <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=35>

El principio de funcionamiento se basa en:

- Al conectar el circuito a la red eléctrica (trabajan a frecuencia de la red), la tensión se aplica a los terminales del arrancador, donde la ionización del gas argón produce un arco eléctrico, el mismo que produce la deformación del bimetal; cerrando el circuito. A partir de este instante, la tensión queda aplicada en los filamentos del tubo, logrando la ionización del mercurio presente en el tubo a través de la emisión de electrones de un filamento hacia el otro.
- En un instante el bimetal se enfría, produciendo una apertura brusca del circuito; sin embargo la reactancia (elemento almacenador de energía en forma de corriente) provoca una sobretensión que queda aplicado a través de los filamentos del tubo continuando con la emisión de electrones y colisionando con los átomos de mercurio.

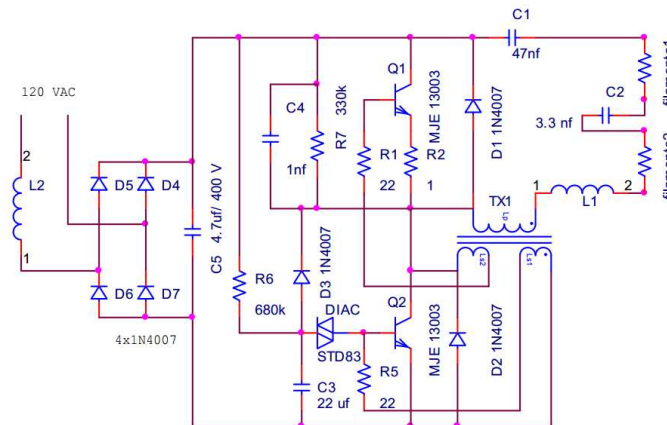
El avance electrónico ha dado lugar a mejoras en el funcionamiento de los balastos. El balasto electrónico está basado en el funcionamiento a través de altas frecuencias mayores a 20 kHz, a diferencia del balasto electromagnético convencional. La finalidad de elevar la frecuencia es la de eliminar el parpadeo que produce el arco eléctrico a través de la emisión de electrones de una filamento al otro y conseguir factor de potencia alto ( $\approx 1$ ).

Otra característica importante de elevar la frecuencia es la de eliminar el efecto estroboscópico, siendo un efecto netamente óptico cuando la lámpara trabaja a frecuencias de la red (50 ó 60 Hz).

Este efecto es realmente notorio y preocupante en el ámbito industrial, debido a que existen maquinarias impulsadas por motores eléctricos. La presencia de este efecto puede resultar

peligrosa debido a que el parpadeo de la frecuencia de la lámpara puede sincronizar con la velocidad de giro de los motores, creando el efecto óptico de que no están funcionando. En el alumbrado general este efecto es realmente imperceptible.

El balasto electrónico se puede ver en la Figura. 2. 5, que está constituido por:



**Figura. 2. 5. Circuito Balasto Electrónico**

Fuente MOPOSITA MOYA, Edison Raúl. "Evaluación Técnica-Económica de las Lámparas Fluorescentes Compactas". Director: Ing. Gabriel Casco. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2012

**Circuito Rectificador de Onda Completa**, con la finalidad de convertir la corriente alterna en corriente continua y mejorar el factor de potencia.

**Circuito oscilador**, compuesto por un circuito transistorizado que hace la función de un amplificador de corriente.

**Una bobina o transformador y capacitor**, encargado de originar una corriente alterna con una frecuencia de 20 kHz a 60 kHz.

**Base:** Para las lámparas tradicionales se utilizan bases especiales en donde se localizan los elementos electrónicos de las lámparas.

En una lámpara LFC la base se compone de un receptáculo de plástico, en cuyo interior se deposita el balasto electrónico. Junto a la base se encuentra un casquillo el mismo que está normalizada según la norma IEC 60061-1, en la Tabla. 2.3 se detallan las medidas normalizadas por la norma IEC, adoptando la siguiente nomenclatura:

E<sub>xx</sub>






Dónde:




**E** = rosca Edison en honor a Thomas A. Edison; similar al de una lámpara incandescente.

**xx** = diámetro del conector expresado en milímetros.

Las lámparas fluorescentes son económicas, más duraderas y consumen menos energía. Se utilizan en instalaciones industriales, comerciales y públicas. Inicialmente aparecen los tipos de tubo recto más comunes son los T5, T8 y T12. Que su simbología está representada por la letra T para indicar que el foco fluorescente es de tipo tubo. Seguido de la letra, se encuentra el número que indica el diámetro del tubo medido en octavos de pulgada. Por ejemplo, un tubo T5 tiene un diámetro de 5/8 de pulgada, un tubo T8 tiene una pulgada de diámetro (8/8) y un tubo T12 tiene un diámetro de una pulgada y media (12/8); se debe considerar que las del tipo T12 ya no se fabrican. La longitud del tubo variará de acuerdo a la potencia a suministrar.

En la actualidad se encuentran diseños de lámparas más compactas con la finalidad de asemejarse a una lámpara incandescente cuyas aplicaciones prevalecen en el ámbito residencial cuya denominación es CFL.

TIPO	DIÁMETRO DEL CONECTOR [mm]	NOMBRE	IEC	FIGURA	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
E5	5	Rosca Edison Lilliput (LES)	IEC 60061-1 (7004-25)		<a href="http://www.osram.pl">http://www.osram.pl</a> , Bases IEC/EN 60061-1
E10	10	Rosca Edison Miniatura (MES)	IEC 60061-1 (7004-22)		
E12	12	Rosca Edison para Candelabro (CES)	IEC 60061-1 (7004-28)		
E14	14-17	Rosca Edison pequeña (SES)	IEC 60061-1 (7004-23)		
E17	14-17	Rosca Edison pequeña (SES)	IEC 60061-1 (7004-26)		

E26	26-27	Rosca Edison (Mediana) (ES)	IEC 60061-1 (7004-21A-2)	
E27	26-27	Rosca Edison (Mediana) (ES)	IEC 60061-1 (7004-21)	
E40	40	Rosca Edison Gigante (GES)	IEC 60061-1 (7004-24)	

**Tabla. 2. 3. Medidas Normalizadas IEC**

En la Tabla. 2. 4, se exponen modelos más comunes para lámparas tubo y lámparas compactas de acuerdo a la potencia y longitud.

TIPO	POTENCIA (W)	LONGITUD (mm)
T5	14W	549 mm
	21W	849 mm
	28W	1149 mm
	35W	1149 mm
T8	15W	438 mm
	18W	590 mm
	23W	970 mm
	30W	895 mm
	36W	1200 mm
	58W	1500 mm
CFL 20	20 W	155 mm
CFL 25	25 W	170 mm

CFL 55	55 W	257 mm
--------	------	--------

Tabla. 2. 4. Dimensiones estándar de lámparas fluorescentes del tipo tubo y compactas

### 2.1.3. Emisión de luz fluorescente

El principio de funcionamiento de una LFC comprende la ionización del gas inerte (gas Argón) que se encuentra en el interior del tubo de esta lámpara cuando los filamentos se calientan, es decir, esta ionización comprende la formación del puente de plasma que se origina de un filamento hacia el otro, como se puede ver en la Figura. 2.6.

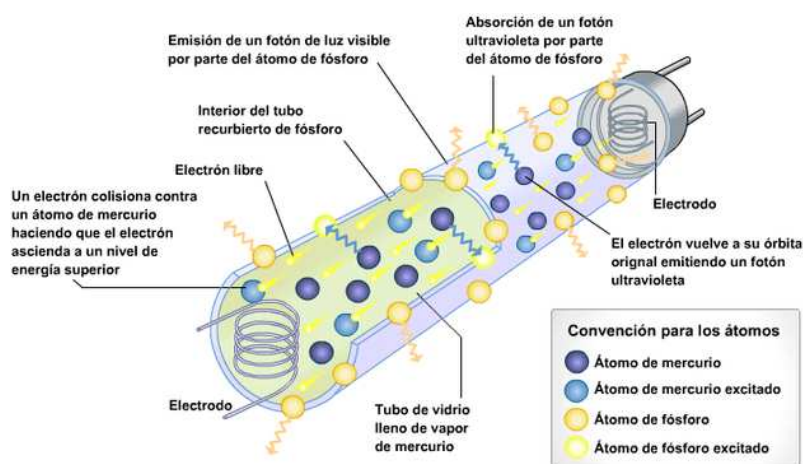


Figura. 2. 6. Emisión de luz fluorescente

Fuente [http://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria\\_fluorescente](http://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente)

La ionización del gas inerte permite dividir en electrones libres (carga negativa) y en iones (carga positiva), los mismos que colisionan con los electrones del átomo de mercurio Hg haciendo que el electrón de Hg ascienda a un nivel de energía superior; es así como este electrón se libera de la órbita en forma de fotón de luz ultravioleta.

Los fotones de luz ultravioleta liberados impactan sobre la capa fosforescente que recubre la pared interior del tubo de cristal de la lámpara, excitando los electrones de los átomos de fósforo (P) contenidos en éste y saliendo al exterior. En ese instante liberan fotones de luz blanca fluorescente visibles para el ojo humano. Ese proceso provoca que el tubo de la lámpara fluorescente se ilumine, proporcionando luz.

### 2.1.4. Impactos ambientales positivos y negativos de las LFC's

Los beneficios de la utilización de lámparas LFC's está asociado a su mayor nivel de eficiencia en la transformación de energía eléctrica en luz sin disipación de calor en comparación con una lámpara incandescente, es decir, producir más luz que calor a través de un ahorro de energía del 60 al 75%. Se obtiene un rendimiento luminoso (lm/W) de 3 a 4

veces mayor que una lámpara incandescente, por lo que las LFC's resultan lámparas de uso eficiente.

**Rendimiento Luminoso.-** El Rendimiento luminoso ( $\eta$ ) de una fuente de luz es la relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida por dicha fuente. En unidades del SI, se mide en lumen por watio (lm/w).

**Dado por la Ecuación.2 .1:**

$$n = \frac{F}{P} = \frac{\text{lm}}{\text{Watt}}$$

**Ecuacion. 2. 1. Rendimiento Luminoso**

Dónde:

n = Rendimiento Luminoso

F = Flujo luminoso emitido

P = Potencia consumida por la fuente

De acuerdo a la Tabla. 2. 5. Se tiene una relación del tipo de lámpara con el flujo luminoso respectivo.

<b>TIPO DE LÁMPARA</b>	<b>FLUJO LUMINOSO lm/W</b>
<u>Lámpara incandescente</u>	10 a 15
<u>Lámpara halógena</u>	15 a 25
<u>Lámpara LED</u>	15 a 130
<u>Mercurio Alta Presión</u>	35 a 60
<u>Lámpara fluorescente compacta</u>	50 a 90
<u>Lámpara fluorescente</u>	60 a 94
<u>Halogenuros metálicos</u>	65 a 120
<u>Sodio Alta Presión</u>	80 a 150
<u>Sodio Baja Presión</u>	100 a 200

**Tabla. 2. 5. Relación de Rendimiento Luminoso en las diferentes fuentes de iluminación**

Fuente <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/lamparas.pdf>

Al tener un ahorro energético se reducen las emisiones típicamente conocidas como gases de invernadero, conservación de recursos naturales y emisiones de mercurio, que en cierta manera se producen asociadas a distintas fuentes de generación.

La presencia de átomos de mercurio en una LFC es con la finalidad de producir luz ultravioleta cuando chocan con los átomos excitados del gas inerte (argón) producidos por la ionización del mismo; la luz ultravioleta choca con los polvos fluorescentes produciendo luz visible.

El impacto negativo que se puede observar en la lámpara con relación al mercurio, se identifica cuando este llega a su vida útil cuando no están intactos (están rotos). Si una LFC está en funcionamiento o no se encuentra rota no implica peligro con el mercurio.

El mercurio es un metal que existe de manera natural en pequeñas cantidades en el medio ambiente. El mercurio existe como un líquido, sólido y gas; puede ser muy tóxico al ser inhalado. El mercurio puede ser encontrado en:

- Termómetros (aquellos con un líquido color plata contienen mercurio, aquellos con un líquido rojo o azul no contienen mercurio)
- Lámparas fluorescentes
- Termostatos y barómetros
- Dispositivos de tensión arterial manuales
- Algunos medidores de gas (sobre todo los medidores instalados antes de 1961, que están dotados con reguladores que contienen mercurio)

Cuando una LFC se rompe las emisiones de mercurio se adicionan al ciclo global a través de la bioacumulación, a pesar que la cantidad de mercurio es muy pequeño (cantidad máxima permitida 5 mg); sin embargo se debe considerar que en todo el planeta tierra no existe una lámpara sino millones, es decir, millones volúmenes de emisiones, que esto si convierte en motivo de preocupación para el cuidado del medio ambiente.

A finales del 2010, la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) de los EE.UU. según "Compromiso voluntario de mercurio en las lámparas fluorescentes compactas, anunció que: En el marco del compromiso voluntario a partir de octubre 4 de 2010, el contenido total de mercurio en las lámparas fluorescentes compactas de menos de 25 vatios es de 4 miligramos (mg) por unidad. Las lámparas fluorescentes compactas que usan entre 25 y 40 vatios de electricidad tendrá un contenido de mercurio total limitada a 5 mg por unidad"<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup><http://www.nema.org/Policy/Environmental-Stewardship/Lamps/Pages/CFL-Mercury.aspx>



Este compromiso se basa en el compromiso de las empresas NEMA voluntarias, lanzado en marzo de 2007. Las empresas participantes en el Compromiso de 2010 se enumeran:

- An Hui George Food Enterprises Co., Ltd.
- EiKO, Ltd.
- Feit Electric Company, Inc.
- GE Lighting
- Halco Lighting Technologies
- Litetronics International, Inc.
- OSRAM Sylvania
- Philips Lighting
- Satco Lighting, including Nuvo Lighting
- SLi Lighting
- Technical Consumer Products, Inc.
- Ushio America, Inc.
- Westinghouse Lighting Corporation
- Xiamen Dekkon Technology

En la Tabla. 2. 6. Se puede observar la evolución en tiempo, la cantidad de mercurio contenido en las lámparas fluorescentes.

<b>AÑO</b>	<b>TIPO DE LÁMPARA</b>	<b>CANT. Hg/UNIDAD [mg]</b>
1996	Fluorescente	40
	Fluorescente Compacta	10
1997	Fluorescente	40
	Fluorescente Compacta	10
1998	Fluorescente	35
	Fluorescente Compacta	10
1999 - actualidad	Fluorescente	5
	Fluorescente Compacta	3

**Tabla. 2. 6. Cantidad de mercurio en las LFC's**  
Fuente <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/lamparas.pdf>

Cuando una LFC se rompe, libera aproximadamente un 18% del mercurio en un periodo de ocho (8) horas y puede contaminar alrededor de 30 000 (treinta mil) litros de agua.

Si una LFC se rompe en condiciones ambientales de temperatura entre 4 y 30 ° C se emitirá entre 17 y 40% de mercurio durante un periodo de 2 semanas, tomando en cuenta que un tercio de mercurio se emanará durante las primeras ocho (8) horas y el restante los siguientes días conforme aumente la temperatura.

En 1980, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, a través de análisis concluyó que el mercurio que se encuentra en el vertedero de residuos comunes se transporta en cantidades significativas hasta llegar a los acuíferos, por lo que se convierte en una bioacumulación en la cadena alimenticia; de esta manera se concluye que las lámparas contenidas de mercurio son *residuos peligrosos*.

A pesar de ser las LFC's residuos peligrosos con impactos ambientales, no se pueden omitir ciertas sustancias para la fabricación de las mismas, por ejemplo, estudios demuestran que una lámpara fluorescente sin mercurio consumiría aproximadamente tres veces más energía que una lámpara con mercurio. Por lo tanto, se debe considerar que el mercurio está íntimamente ligado a un óptimo rendimiento durante el ciclo de vida y una máxima eficiencia energética de la lámpara. Los mayores riesgos se encuentran en la etapa de residuo cuando se producen mediante rotura accidental en cualquier fase si no existe el tratamiento adecuado.

El tratamiento adecuado de las LFC's resulta una fuente difícil de controlar debido a la carencia de información que tienen las personas con respecto a los impactos negativos que las LFC's producen al medio ambiente (su alta permanencia en la atmósfera) y a los seres humanos (bioacumulación en la cadena alimenticia).

De acuerdo a organizaciones dedicadas al reciclaje, consideran que menos del 50% del mercurio utilizado por los fabricantes se encuentra contenido en las lámparas, y todo el mercurio utilizado es totalmente reciclado.

Debido a la falta de información y cultura sobre el correcto tratamiento de estas luminarias, en Ecuador no existe un proceso (infraestructura) de recolección y reciclaje adecuado para evitar que el vapor de mercurio sea liberado al exterior cuando una luminaria se rompe. Tampoco existen disposiciones por el Ministerio del Ambiente para que las LFC's sean tratadas como residuos especiales.

## **2.2. Reciclaje de LFC's**

Los desechos han existido desde el momento en que el ser humano apareció en este planeta, es decir, desde las primeras civilizaciones hasta las grandes ciudades de hoy en día; los desechos es un problema que continuamente va incrementándose sin tener una conciencia de cultura de reciclaje para evitar que los desechos afecten al medio ambiente; sin embargo el ser humano ha creado soluciones para contrarrestar daños al medio ambiente; siendo una de las mejores soluciones frente al impacto ambiental: el reciclaje.

El reciclaje es una técnica de convertir los desechos en materia prima, siendo estos reutilizados; por ejemplo, si reciclamos papel se podría evitar la tala de 250 millones de árboles cada año, ya que un árbol absorbe un aproximado de 14 libras de dióxido de carbono, por ende los 250 millones de árboles que no serían talados evitarían que 3.5 trillones de libras de CO2 se encuentren en la atmósfera cada año.

“En el año de 1690 una familia llamada Rittenhouse realizó una especie de experimento en el que por primera vez se reciclaron materiales. Posteriormente en la ciudad de New York se abrió el primer centro de reciclaje oficial en los Estados Unidos. Finalmente en 1970 se creó la Agencia de Protección Ambiental y se difundió con mayor interés el reciclaje”<sup>4</sup>.

Muchas personas consideran al reciclaje como una moda de temporada y no crean una conciencia de cultura sobre el reciclaje, sin embargo, el reciclaje debió existir desde inicios del ser humano con el objeto de evitar la contaminación ambiental que existe actualmente sobre el planeta; uno de los síntomas de contaminación es el calentamiento global.

El símbolo característico del reciclaje engloba un significado de reutilización, donde (1) inicia con la recolección de desechos, seguido (2) del tratamiento del desecho y finalmente (3) la utilización del material reciclado hasta convertirse nuevamente en desechos, es decir, es un ciclo continuo simbolizado en tres (3) flechas representando a cada proceso, como se puede ver en la Figura. 2. 7. El símbolo fue escogido en un concurso universitario en Estados Unidos, siendo el ganador Gary Anderson en 1838.

La importancia del reciclaje se engloba en las 3R:

- **Reducir:** producción de objetos susceptibles a convertirse en desechos.
- **Reutilizar:** desechos para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente.
- **Reciclar:** proceso que permite a los desechos reintroducir en un ciclo de vida.

---

<sup>4</sup><http://www.planverde.df.gob.mx/planverde/ecomundo/49-residuos-solidos/436-historia-y-reciclaje.html>, Historia del Reciclaje



**Figura. 2. 7. Símbolo del Reciclaje**

Fuente <http://qsmexikoblog.wordpress.com/2012/10/08/el-simbolo-del-reciclaje-de-donde-viene/>

Con el reciclaje se puede identificar grandes beneficios como son:

- Reducción del volumen de desechos, considerando que algunos desechos tardan años en degradarse.
- Conservación de recursos naturales, debido a la reutilización de los desechos.
- Reducción de costos de fabricación de nuevos productos; los costos de reciclaje son menores a una producción de productos nuevos. Se debe considerar que al reciclar un producto se puede utilizar la materia prima en otro producto.

En Ecuador, el tema de reciclaje se maneja de la siguiente manera: hay lugares que compran desechos (como papel, plástico, cartón) para procesarlos; es así, como se impulsa a las personas a reciclar mediante una pequeña gratificación. La cultura de reciclaje debe ser impulsada en las escuelas; en ciertos países esta cultura se maneja mediante normas que permiten separar adecuadamente los desechos en tachos identificativos para luego ser procesados.

No se tienen datos específicos de cuando nace el reciclaje de LFC's, sin embargo, desde la constitución de una LFC se tiene conocimiento de su potente contaminante al tener como elemento constitutivo gas de mercurio.

Se estima que en el año 2007, en Estados Unidos se compraron alrededor de 400 millones de LFC's y la industria del reciclaje estima que sólo un 2% fue reciclado, es decir, 320 millones de LFC's fueron a los desechos comunes. Realmente es un problema ambiental ya que este análisis se hace solo en un país, si se considera a nivel mundial la cantidad de LFC's como desechos en un número incomparable y preocupante para el medio ambiente.

A pesar de ser el reciclaje de LFC's, un sistema muy poco conocido, muchos organismos han creado normas de seguridad caseras que permiten al consumidor de LFC's tomar en cuenta para evitar emisiones de mercurio con la rotura de una LFC.

En caso de que una LFC se rompa en casa, el área donde se encuentra la LFC rota debe ser ventilada alrededor de unos quince (15) minutos, luego de los cuáles se debe recoger la LFC rota en una funda plástica negra y sellarla herméticamente para evitar continuas emanaciones de gas de mercurio; la persona que recoja la LFC debe utilizar guantes para

evitar el contacto con el mercurio, ya que este gas puede reaccionar en nuestro cuerpo y ocasionar futuras lesiones.

Sin embargo, las recomendaciones anteriores no constituyen un tratamiento adecuado, se debe enviar a las LFC's a un sistema de reciclaje; el mismo que permite obtener vidrio, plásticos y polvo de fósforo conteniendo mercurio para la reutilización y evitar contaminación al medio ambiente.

La concientización del reciclaje de LFC's inicia desde el consumidor de las mismas; antes de llevar a las LFC's a un sistema de reciclaje se debe tomar en consideración las siguientes recomendaciones:

- Las LFC's deben ser almacenadas en contenedores como: su caja original, envases plásticos o en cajas suministradas por las recicladoras, evitando la rotura de las LFC's ya que las recicladoras requieren que las LFC's lleguen sin romperse.
- Es importante que cuando el contenedor de LFC's se encuentre sellada debe ser marcado como un elemento frágil, básicamente esto es hasta crear una cultura de reciclaje y siempre tener un cuidado con el manejo de las LFC's hasta llevarlas al centro de reciclaje.
- Un siguiente paso corresponde llevar las LFC's al centro de reciclaje para que mediante un proceso, que posteriormente será explicado, extraer materia prima para ser reutilizada en diferentes productos. La materia prima obtenida del reciclaje puede ser comprada y/o vendida como un producto nuevo.

Varios métodos de reciclaje de LFC's se han establecido, tomando en cuenta que cualquiera que sea el proceso de reciclaje debe ser llevado a cabo con sistemas de sellado al vacío, esto con la finalidad de evitar cualquier peligro al ser humano. Entre los principales métodos tenemos:

- End cut
- Trituración
- Lavado

**Método End-Cut.-** Este tipo de método se aplica exclusivamente a lámparas fluorescentes tipo tubo y es considerado un método antiguo de reciclaje. Consiste en:

- ✓ Separar los casquillos (extremos) de la lámpara y este residuo se envía a un procesamiento independiente.

- ✓ Eliminación del fósforo mediante succión del vidrio restante, en este proceso el vidrio puede romperse, además el polvo puede ser separado mediante un precipitador de polvo.
- ✓ El tubo limpio de polvo puede ser triturado y enviado a un sistema de separación magnética para asegurar que no contenga metal, y de esta manera asegurar la producción de nuevas lámpara con el vidrio reciclado.

**Método Trituración.-** Este tipo de método, es un método generalizado en la actualidad para el reciclaje de lámparas debido a que se puede procesar cualquier tipo de lámpara sin influir tamaño o modelo de la misma. Consiste en los siguientes pasos:

- ✓ Trituración de la lámpara completa.
- ✓ Separación de la mezcla en diferentes tamaños de partículas, fracción media y fina. La fracción media es el vidrio / fracción de plástico y partes metálicas, con un tamaño de partículas de aprox. 10 cm. La tercera fracción tamizada contiene fósforo en polvo y vidrio de polvo aprox. 10 a 50  $\mu\text{m}$ .
- ✓ Utilización del reciclaje, las partes metálicas y fracciones de vidrio/plástico son enviados a su apropiado sistema de reciclaje.
- ✓ Opcional eliminación térmica de las partículas finas (fósforo/vidrio) por medio de destilación.

**Método Lavado.-** El método de lavado de vidrio roto puede usarse para reciclar grandes volúmenes de lámparas fluorescentes independientemente de su longitud y diámetro. Este método de reciclaje es el más actual en el cual intervienen procesos mas sofisticados.

Consiste en los siguientes pasos:

- ✓ Trituración de la lámpara con la finalidad de obtener el polvo de la lámpara y poder dar el tratamiento adecuado a todos los residuos.
- ✓ Eliminación del fósforo, las lámparas rotas se limpian de fósforo con agua en un tanque de vibración. El agua de lavado se bombea a través de un filtro inclinado en el que el fósforo en forma de lodos se sedimentan. El mercurio se retira del polvo de fósforo por medio de destilación rotativo.
- ✓ Separación del material, las fracciones de material individuales se enjuagan y se separa por medio de tamizado. El vidrio separado de esta manera se seca y se envía para el control de calidad a través una unidad de separación de metal y una

detección automática del sistema y entregado para la industria de la lámpara como un material secundario para la producción de lámparas nuevas.

Para objeto de estudio básico del reciclaje de LFC's se tomará como base al "**Método Trituración**"; la selección de este método se fundamenta en el cual se manipulan procesos netamente mecánicos como la presencia de trituradores y separadores. Mientras que en el método de lavado intervienen procesos netamente químicos como la presencia del lavado cuyos estudios se fundamentan en análisis químicos, siendo esto no objeto de investigación en este proyecto.

### 2.2.1. Proceso General del Reciclaje de LFC's. Método Trituración

El proceso de reciclaje incluye básicamente y de manera generalizada la separación de todos los componentes para una futura reutilización, como se puede ver en la Figura. 2. 8.



**Figura. 2. 8. Proceso General de Reciclaje de Lámparas Fluorescentes**

Fuente [http://oni.esuelas.edu.ar/2011/SAN\\_JUAN/1686/Reciclado%20de%20L%C3%A1mparas.html](http://oni.esuelas.edu.ar/2011/SAN_JUAN/1686/Reciclado%20de%20L%C3%A1mparas.html)

- **Trituración:** Las lámparas ingresan enteras al sistema, se trituran con la finalidad de reducir el tamaño de la lámpara y controlar las emisiones de Hg generadas en la trituración; este proceso se utiliza para evitar roturas incontroladas.
- **Separación:** Una vez trituradas las lámparas, se separan los cabezales de aluminio y vidrio a través de una separación sobre imán, siendo productos totalmente reciclables que pueden ingresar en diferentes tratamientos para su posterior utilización. Si la lámpara triturada posee componentes de plástico como se puede encontrar en las LFC's, la separación final se tendrá una mezcla de plástico con vidrio. Se debe tomar en cuenta que para el proceso de separación del polvo de la lámpara se debe emplear cribadores vibrantes para separar las partículas inferiores a granulometrías de 1 mm.



- **Filtros Extractores:** Utilizado para recuperar todo el mercurio transportado por el polvo de fósforo con un tamaño inferior a 5 micras. Mientras que todos los vapores y restos más finos son conducidos a un conducto que contiene carbón activado con base de azufre y plata con el cual reacciona la plata con el mercurio, es decir se forma una amalgama de mercurio; esto permite que el aire extraído quede limpio de mercurio y pueda salir a la atmósfera, con emisiones máximas permitidas de 0,025 mg/m<sup>3</sup>. Una vez saturada la amalgama producida de la reacción del mercurio con la plata puede ser tratada en un destilador de mercurio con lo que se recupera el mercurio con una pureza del 99 por ciento y la plata puede ser reutilizada indefinidamente.
- **Cintas Transportadoras:** Utilizadas para transportar el material de un proceso hacia otro, por ejemplo, luego de trituradas las lámparas deben transportarse al proceso de separación de componentes.
- **Tolva Principal:** Utilizadas para recoger polvo con mercurio de las lámparas trituradas de forma segura, es decir, evitar emanaciones de Hg inseguras. La tolva tiene conexión directa con el sistema de extracción, el mismo que transporte el polvo hacia el contenedor de polvo con mercurio.
- **Contenedores:** Utilizados para recoger vidrio, metales y polvo de fósforo después de la separación de los componentes.
- **Unidad de Recuperación Térmica:** El polvo separado es llevado a un horno, donde por la aplicación de calor, el mercurio es vaporizado y posteriormente condensado y enviado a un proceso de destilación.
- **Destilación:** El mercurio recuperado es sometido a una triple destilación con la finalidad de quitarle impurezas, para su venta como Mercurio Técnicamente Puro (99.99% puro).

Los procesos que corresponden a la Unidad de Recuperación Térmica y Destilación forman un sistema único denominado “Sistema de Retorta”.

En determinados procesos de reciclaje se incluyen los sistemas de retortas, mientras que otros procesos solo extraen el polvo de fósforo y entregan este polvo a procesos específicos de extracción de mercurio, como sistemas de retortas. Para procesos iniciales de reciclaje no es recomendable incluir los sistemas de retortas, ya que estos sistemas deben ser tratados y controlados con altos niveles de seguridad debido a que el material que se procesa es mercurio, por lo tanto la Unidad de Recuperación Térmica y Destilación no se

incluye en este documento de investigación, al ser un estudio de carácter químico y no es de nuestro ámbito de conocimiento.

En la Figura. 2. 9. Se indican de manera generalizada el proceso de reciclaje de lámparas fluorescentes actualmente utilizadas en países desarrollados e industrializados; al ser un sistema versátil y de funcionamiento sencillo para el reciclaje.

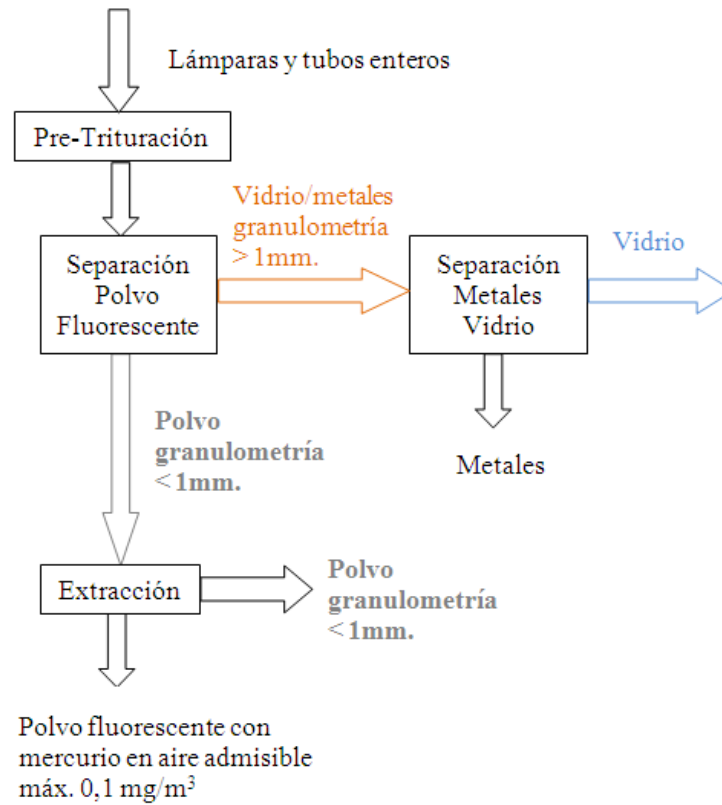


Figura. 2. 9. Diagrama de Bloques del Reciclaje de LFC's

## CAPÍTULO III

### INGENIERÍA BÁSICA

El presente capítulo está orientado en la selección de equipamiento mecánico necesario para el reciclaje de LFC's de una manera generalizada, considerando que este trabajo investigativo se enfoca en la automatización del sistema mas no en el diseño mecánico que interviene en el reciclaje de LFC's. Sin embargo la selección del equipamiento mecánico necesario está acorde al material que se encuentra en proceso.

A partir de la selección mecánica del sistema se puede definir la secuencia que permite encaminar las condiciones operativas del reciclaje de LFC's a través de características técnicas y físicas que constituye la base fundamental para seleccionar la instrumentación necesaria que permite automatizar el proceso, es decir, los sensores y actuadores más apropiados involucrados en el sistema con el objeto de establecer la filosofía de control del proceso.

#### **3.1. Método Trituración para el Reciclaje de LFC's**

La propuesta alternativa para el reciclaje de LFC's desarrollado en este trabajo investigativo se basa en el Método Trituración expuesto en el Capítulo II.

La selección de este método de reciclaje se considera al ser un sistema probado en la mayoría de países Europeos con grandes aceptaciones, además de ser un sistema capaz de procesar cualquier tipo de lámparas fluorescentes, es decir, tubo o compacta.

En la Figura. 3. 1. y/o Anexo 2. Se esquematiza el proceso de reciclaje a través del método trituración; el cual incluye cuatro (4) etapas: trituración, separación polvo, extracción y separación metálica / vidrio.

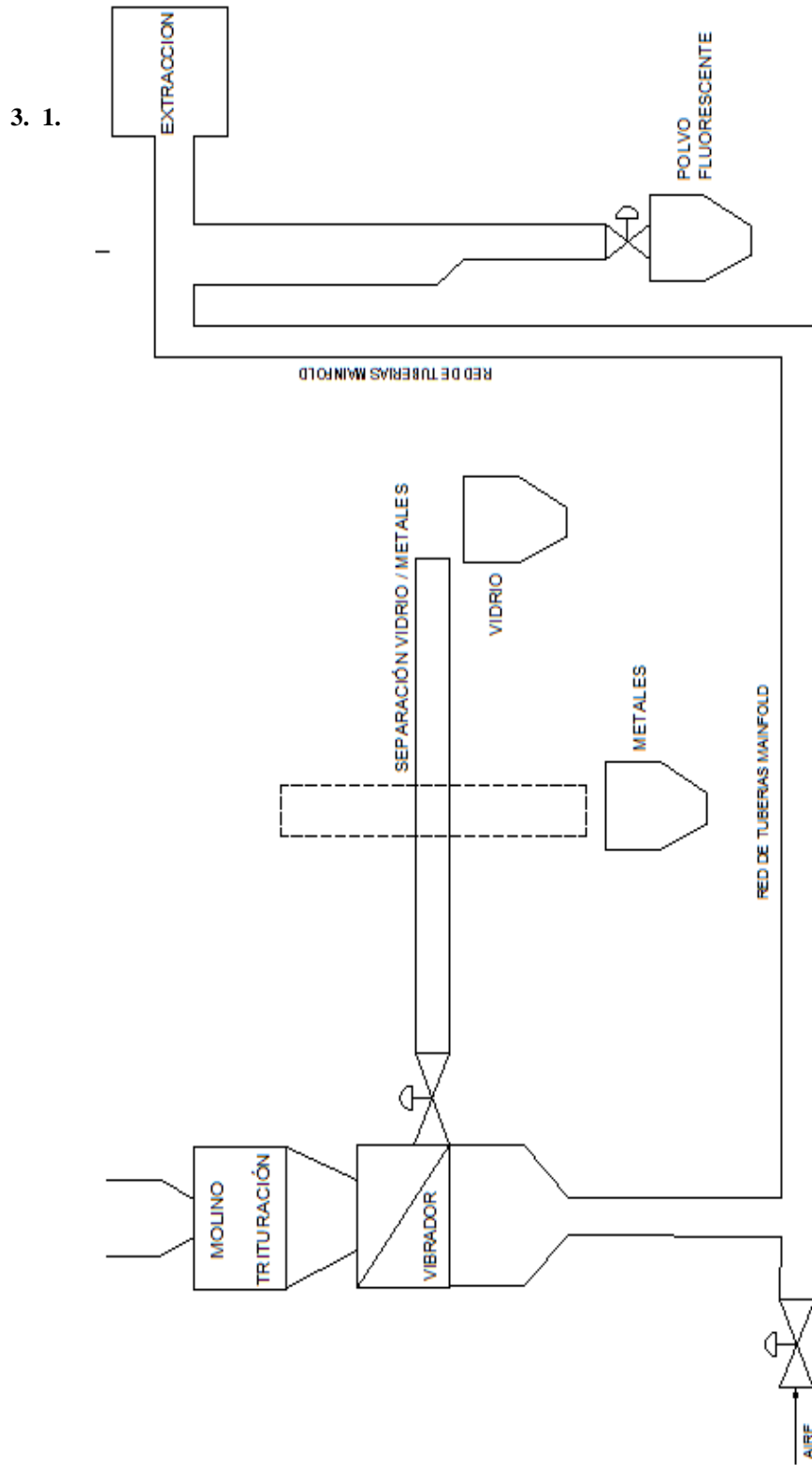


Figura.

Esquematzación Sistema de Reciclaje de LFC's

Para el proceso de reciclaje se debe tomar en consideración cuales son los productos iniciales (que tipos de materiales ingresan al sistema) y productos finales (que tipo de materiales salen del sistema) para su posterior utilización.

- **Productos iniciales:** En el sistema propuesto se puede procesar tubos y lámparas compactas. Para tubos fluorescentes se consideran tubos de hasta 150 cm de longitud, mientras que para lámparas compactas cualquiera está admisible debido a su variedad en tamaño y forma, como se puede ver en la Figura. 3. 2.



**Figura. 3. 2. Productos iniciales del sistema de reciclaje**

**Fuente:** <http://www.tecnocem.com/lamparas-fluorescentes.htm>

Se debe tomar en consideración que por cada 1000 kg de polvo fluorescente existe 2500 g de gas de mercurio; y que se “debe procesar alrededor de 1 millón de lámparas para conseguir 15 kg de mercurio líquido.”<sup>5</sup> Considerando que existen aproximadamente 5 mg de gas mercurio como contenido máximo.

Para nuestro entorno “ECUADOR” se debe asumir que por cada habitante se consume una LFC’s, es decir, según el Censo 2010, en Ecuador existen 14’451.115 habitantes por lo tanto 14’451.115 de lámparas procesadas anualmente, considerando aproximadamente 1 millón de lámparas por mes.

Para conseguir los resultados de operación del sistema, el mismo debe operar 8 horas diarias, por lo que mensualmente se tendría 160 horas de funcionamiento total de la planta, considerando que se debe procesar alrededor de un millón de lámparas para conseguir 15 kg de mercurio, es decir, se divide el millón de lámparas procesadas para 160 horas de trabajo, por lo tanto se obtiene que por cada hora de trabajo del sistema se deben procesar más de 6250 lámparas para obtener el mercurio suficiente reciclado.

---

<sup>5</sup> <http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/Tratamiento-t%C3%A9rmico-para-la-recuperaci%C3%B3n-de-mercurio-Diciembre-2011.pdf>

- **Productos Finales:** En la Tabla. 3. 1 se especifica el porcentaje de componentes contenido en una lámpara fluorescente, que se puede alcanzar al final del proceso de reciclaje.

<b>PORCENTAJE DE PRODUCTOS FINALES [%]</b>	
Polvo fluorescente con mercurio	1
Metales	5
Vidrio/Plásticos	94

**Tabla. 3. 1. Porcentaje de Productos Finales luego del reciclaje**

A continuación se describe que tipo de materiales se conseguirán al final del reciclaje de LFC's y cuál es la influencia para el tratamiento posterior de cada componente individualmente.

**Polvo Fluorescente con mercurio:**

El principal producto que se obtiene luego del reciclaje es el polvo fluorescente, debido a que contiene mercurio altamente tóxico; lo que importa recuperar es el mercurio en estado líquido luego de tratamientos térmicos - químicos al que es sometido el polvo fluorescente.

Los tratamientos térmicos a los que son sometidos los polvos fluorescentes son cámaras con un tambor de acero (puede tener varias boca de entrada, según el residuo a tratar), donde se calienta hasta 700°C (normalmente 500°C) con lo cual el mercurio se vaporiza. La corriente de salida pasa por un sistema de enfriamiento (aproximadamente -40°C) donde el mercurio condensa sobre una camada de mercurio líquido.

En la Tabla. 3. 2 se especifica los valores de temperatura adecuado para los estados: gaseoso y líquido del Mercurio.

<b>ESTADOS DEL MERCURIO Hg</b>	
Punto de ebullición, estado gaseoso	35 6,95°C
Punto de condensación, estado líquido	- 39°C

**Tabla. 3. 2. Estados del Mercurio Hg**

En los residuos de polvos fluorescentes luego del reciclado se puede presenciar partículas de vidrio, metales y/o plásticos << 1mm, que en realidad no afecta al tratamiento térmico, el cual es sometido

este residuo; tomando en consideración los puntos de ebullición y fusión de cada materia presente en el polvo fluorescente, considerando que todos los elementos se encuentran en estado sólido.

Según la Tabla. 3. 3 y de acuerdo con los rangos de temperatura del tratamiento térmico, se considera que no afecta si existen cantidades de residuos restantes en el polvo fluorescente, debido a que estos no reaccionan con las temperaturas de trabajo de 500°C y -40°C. La importancia de este tratamiento térmico es el de limpiar el polvo fluorescente del mercurio, luego de lo cual el polvo fluorescente descontaminado es enfriado para un posterior manejo. Sin embargo, los tratamientos térmicos poseen cámaras de combustión en el caso de que los residuos restantes de la corriente de salida sean quemados/oxidados, evitando la emisión de dioxinas a la atmósfera.

Elemento	Punto de fusión °C	Punto de Ebullición °C
Sílice Vítrea (vidrio)	171 3 - 1723	
<b>Componentes Electrónicos</b>		
Diodo  Silicio Si	141 4	290 0
Germanio Ge	938	282 0
Resistencias  Wolframio W	342 2	555 5
Capacitores  Aluminio	660	251 9
<b>Gases mezclados con el polvo</b>		
Mercurio	- 38,83	356, 73
Argón	- 189.35	- 185.85

**Tabla. 3. 3. Estados Químicos de residuos restantes en polvos fluorescentes**

La limitante de residuos restantes admisibles se basa en que con el tiempo se puede obstruir al tratamiento térmico, ya que muestras con alto contenido de residuos restantes hacen que sea necesaria una limpieza frecuente del destilador, y cambios de aceite y filtros en casi todos los procesos. La importancia de cantidades admisibles de residuos restantes básicamente se enfoca en ser más eficiente en términos de costos operativos, debido a la presencia de la cámara de combustión.

Una característica importante del polvo contenido en las lámparas: son polvos corrosivos, no explosivos, no oxidantes, muy finos y cohesivos, es decir polvos estables en el aire; se puede asemejar al polvo del talco o de la harina. Este polvo posee diámetros promedios entre 10 y 50  $\mu\text{m}$  (entre 0,01 y 0,05 mm). Con esto se garantiza que el polvo fluorescente que se entrega a los Sistemas de Retorta es totalmente garantizado para su posterior manejo.

### **Métales:**

Los metales se consiguen luego de separar magnéticamente a todo el residuo. Aproximadamente el 5% de todo el residuo corresponde a residuos de metales de las lámparas procesadas.

Los principales metales que se obtienen luego del proceso del reciclaje son el aluminio y wolframio que poseen propiedades paramagnéticas, es decir, moderadamente magnéticos con una intensidad magnética requerida de separación entre 5000 a 10000 Gauss.

Los materiales paramagnéticos sufren el mismo tipo de atracción y repulsión que los imanes normales, cuando están sujetos a un campo magnético. Sin embargo, al retirar el campo magnético, la entropía destruye el alineamiento magnético, que ya no está favorecido energéticamente. Es decir, los materiales paramagnéticos son materiales atraídos por imanes, pero no se convierten en materiales permanentemente magnetizados. Algunos materiales paramagnéticos son: aire, aluminio, magnesio, titanio y wolframio.

### **Vidrio / Plásticos**

Dentro del proceso de reciclaje existe una pre - trituración de la lámpara aproximadamente entre 1 cm. y 10 cm. de granulometrías con la finalidad de que el polvo contenido en la lámpara se pueda extraer.

El vidrio y plásticos pre – triturados, luego de la separación vidrio/metal, deben someterse a un proceso de trituración con el cual se conseguirán granulometrías de entre 0,1 cm. a 1 cm. considerando que para conseguir estas granulometrías la respectiva recicladora de vidrio se encargará de realizar la trituración final.



Una vez determinado los productos iniciales y finales para el proceso de reciclaje se deben seleccionar correctamente el uso de equipamiento necesario para cada sub-proceso del reciclaje tomando en consideración los resultados que se desea obtener anteriormente especificados.

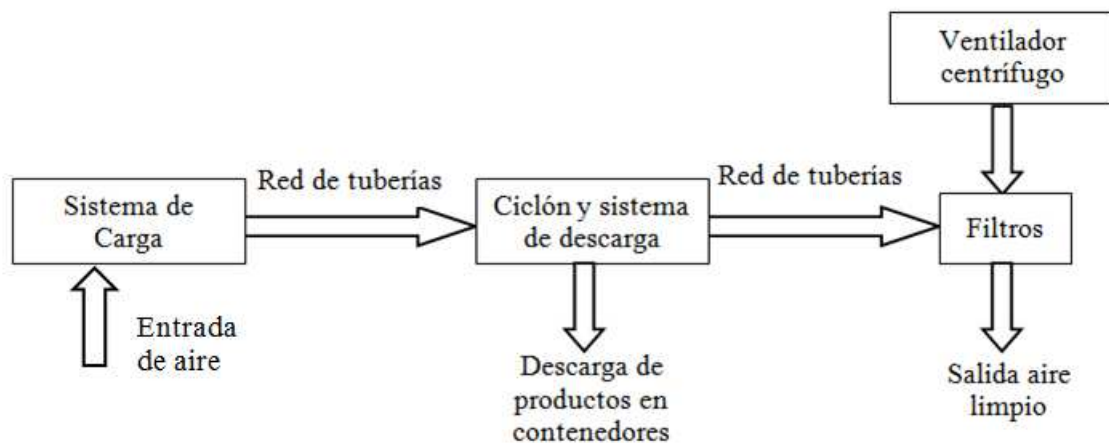
### 3.1.1. Extracción

La extracción es un sub-proceso del reciclaje el cual consiste en el transporte de materiales polvorientos, es decir, almacenar el polvo fluorescente contenido en la lámpara.

El transporte de estos materiales se lo hace a través de gas como el aire, conocido como transporte neumático. Este tipo de transporte se lo realiza principalmente para aspirar el polvo a través de corrientes de aire; al no tener presión dentro de todo el proceso del reciclaje debe existir algún agente externo que permita que el polvo pueda moverse dentro del proceso.

Una instalación de transporte neumático consta de los siguientes elementos, mostrados en la Figura. 3. 3:

- Ventilador
- Sistema de carga (tolva, válvula dosificadora, boquilla Venturi)
- Ciclón y sistema de descarga;
- Filtros;
- Red de tuberías de diámetro adecuado.



**Figura. 3. 3. Diagrama de Bloques Transporte Neumático de Polvos**

El transporte neumático ofrece ventajas positivas frente a otros sistemas mecánicos de transporte como cintas, tornillos sin-fin, elevadores de cangilones, etc.

Entre las ventajas se tiene:

- Seguridad de funcionamiento al necesitar un solo elemento mecánico: el ventilador.
- Las tuberías se conservan siempre limpias y no retienen parte alguna del producto transportado, lo que permite transportar alternativamente materiales diferentes sin presentarse contaminación apreciable.
- El transporte neumático intensifica las mezclas ya que la corriente turbulenta mezcla aún más íntimamente los productos transportados.
- Los tubos pueden atravesar paredes, tomar curvas, elevarse en vertical y acomodarse a cualquier trazado que difícilmente podría ser adoptado por cintas o elevadores mecánicos.

Existen sistemas básicos de transporte neumático descrito en la Tabla. 3. 4:

TIPO	VENTILADOR	DISTANCIAS	MATERIAL	TOLVA
Circuito por inducción	Baja o media presión (20-60 psi)	Distancias cortas y pequeños rendimientos de hasta 50 metros.	Sistemas para cargar, transportar y/o descargar productos a granel	Tolva de carga con boquilla Venturi
Circuito por presión	Media o alta presión (mayor a 50 psi)	Distancias de hasta 200 metros	Sistemas para cargar, transportar y/o descargar productos a granel	Válvulas dosificadoras en la tolva de carga y en la descarga del ciclón.
Circuito cerrado	No se especifica	Distancia hasta 100 metros	Sistema libre de polvo	No se especifica
Circuito por depresión	Media o alta presión (mayor a 50 psi)	Distancia hasta unos 100 metros	Productos Pulverulentos y finamente molidos.	Válvulas dosificadoras

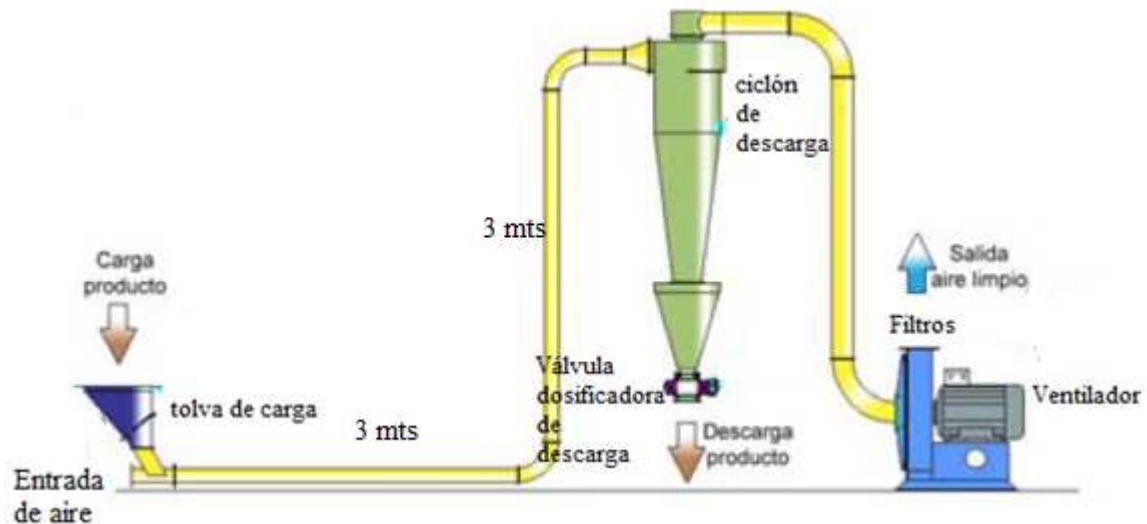
**Tabla. 3. 4. Sistemas básicos de transporte neumático**

Según la Tabla. 3. 4 se puede determinar que el sistema que mejor rendimiento presentará en el proceso de extracción del polvo es: **Circuito por depresión**; considerado por las siguientes razones:

- Procesa productos pulverulentos y finamente molidos, aproximadamente de 5 a 1000 micras, característica fundamental del polvo fluorescente contenido en las lámparas.
- El sistema por depresión o vacío evita pérdidas del producto en las posibles fugas del sistema de tuberías, consideración importante a tomar en cuenta debido que se debe evitar

fugas ya que el polvo contiene mercurio y no se debe expandir a la atmósfera; esto garantiza una atmósfera libre de polvo.

La esquematización del Circuito por Depresión con cada uno de los elementos se puede ver en la Figura. 3. 4.



**Figura. 3. 4. Sistema de Transporte Neumático por depresión**

Fuente: <http://www.gruberhermanos.com/documentos/Transporte%20neumatico.pdf>

El principio de funcionamiento de este tipo de sistema se basa en inyectar aire comprimido en el punto de carga (tolva de carga), que en conjunto con el ventilador centrífugo generará vacío obligando de esta manera a que el material pueda fluir hasta la descarga respectiva. Las longitudes de transporte pueden estar entre 50 y 100 metros con capacidades de transporte de hasta 300 ton/h.

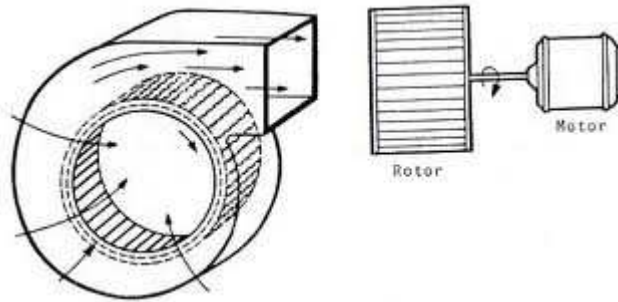
Entre las desventajas que presenta este tipo de transporte son las siguientes:

- Alto consumo de energía por ton/h de producto transportado
- Desgaste que sufren los elementos por el roce de los materiales, especialmente en los codos y válvulas; para esto se recomienda usar elementos con revestimientos cerámicos (porcelana dura), disminuyendo el desgaste por roce.

Para dimensionar los componentes mecánicos en esta etapa se debe realizar procedimientos analíticos de cálculo a: tipos de tolva, pérdidas en tuberías y codos, dimensionamiento del ciclón de descarga y selección del ventilador centrífugo.

La selección adecuada del ventilador centrífugo es primordial en la etapa de extracción ya que el mismo comandará el transporte del polvo hacia el sistema de descarga apropiado.

**Ventilador Centrífugo:** Los Ventiladores Centrífugos son un tipo de Turbo máquinas que se diferencia de los demás ventiladores porque su salida de dirección de flujo es perpendicular al de entrada como se puede ver en la Figura. 3. 5, además que proporciona un sistema en vacío. Está compuesto de un motor de inducción trifásico que proporciona el movimiento giratorio, y lo transmite mediante bandas y poleas a los alabes del ventilador generando la presión necesaria para mantener un flujo continuo de aire.



**Figura. 3. 5. Ventilador Centrífugo**

Fuente: [http://www.reocities.com/Athens/Troy/8084/Vent\\_exa.html](http://www.reocities.com/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html)

Para la selección de un ventilador centrífugo se debe tomar en consideración los siguientes puntos:

- Flujo másico de aire  $M_f$ , que tiene estrecha relación con el flujo másico del material  $M_p$  a extraer (polvo fluorescente).
- Flujo volumétrico de aire  $Q$  requerido para transportar el material.
- Presión de aire dentro del sistema de aspiración
- Potencia de consumo  $P$  adecuada que necesita el ventilador

#### Flujo volumétrico de aire $Q_f$

Es obligatorio conocer el volumen de aire que debe transportar el sistema, determinando la relación de flujo de masa de polvo a ser capturado con una carga de sólidos-aire en fase diluida. El diseño de sistemas de transporte en fase diluida consiste en llevar partículas en suspensión cuando estas ingresan a una corriente de aire utilizando presión de aire inferior a 1 bar. La relación entre el flujo másico del material y flujo másico del aire es del 5%.

$$R = \frac{M_p}{M_f}$$

**Ecuación. 3. 1. Relación entre el flujo másico del material y flujo másico del aire en fase diluida**

Dónde:

$M_p$  Caudal de polvo a transportar por hora, siendo este aproximadamente 14 kg/h

$M_f$  Caudal de aire requerido.

Despejando de la Ecuación. 3. 1 se obtiene el flujo volumétrico de aire requerido para transportar el polvo según Ecuación. 3. 2.

$$Q_f = \frac{M_p}{P_f * R}$$

**Ecuación. 3. 2. Flujo volumétrico de aire requerido para transportar el polvo**

Dónde:

$Q_f$  Flujo Volumétrico de aire  $m^3/h$

$M_p$  Caudal de polvo a transportar por hora  $\approx$  14 kg/h

$P_f$  Densidad del aire a condiciones normales 20°C es: 1,204 kg/m<sup>3</sup>

$R$  La relación entre el flujo másico del material y flujo másico del aire del 5‰ considerando fase diluida de transporte.

Remplazando los valores en la Ecuación. 3. 2 se obtiene:

$$Q_f = \frac{14 \text{ kg/h}}{1,204 \text{ kg/m}^3 * 0,005}$$

$$Q_f = 2325,58 \text{ m}^3/h$$

Para una mejor seguridad de transporte se adicionará en todos los cálculos un factor del 25%, obteniendo

$$Q_f = 2906,98 \text{ m}^3/h = 1710,98 \text{ CFM}$$

La velocidad del fluido se considera en un rango de 17,8 a 30,5 m/seg ya que el material a transportarse es polvo con granulometría en el orden de las micras, como se muestra en la Tabla. 3.

5. El valor seleccionado de velocidad debe ser el promedio del rango.

<b>VELOCIDADES MINIMAS DE AIRE PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES m/seg</b>	
arena	A 30,5 – 45,7
serrín	A 20,3 – 30,5
al	C 25,4 – 30,5
polvo	P 17,8 – 30,5

**Tabla. 3. 5. Velocidades min. De aire para el transporte de materiales**

Fuente: <http://www.ventdepot.com/mexico/temasdeinteres/ventilacion/funciones/transnuematica/>

El diámetro de la tubería que garantice el caudal requerido a la velocidad determinada previamente, se calcula según la Ecuación. 3. 3.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

**Ecuación. 3. 3. Diámetro de tubería**

Dónde:

D Diámetro de tubería (pie)

Q Caudal de aire (pie<sup>3</sup>/ min)

V Velocidad de transporte del material (pie / min)

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 3 se obtiene

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1710.98}{\pi * 4753.94}}$$

$$D = 0,68 \text{ pies} = 8.16 \text{ plg}$$

Considerando un factor del 25% de diseño, se tiene un diámetro de tubería de aproximadamente 10,2 plg. El valor obtenido debe ser ajustado a un diámetro comercial, para lo cual se sugiere escoger como diámetro de 12 plg según Tabla. 3. 6.

Tamaño de Tuberías Nominal (plg)	Diámetro Exterior mm	Tamaño de Tuberías Nominal (plg)	Diámetro Exterior mm	Tamaño de Tuberías Nominal (plg)	Diámetro Exterior mm
1/8"	10.29	2"	60.33	10"	273.05
1/4"	13.72	2 1/2"	73.03	12"	323.82
3/8"	17.15	3"	88.90	14"	355.50
1/2"	21.34	3 1/2"	101.60	16"	406.40
3/4"	26.67	4"	114.30	18"	457.20
1"	33.40	5"	141.30	20"	508.00
1 1/4"	42.16	6"	168.28		
1 1/2"	48.26	8"	219.08		

**Tabla. 3. 6. Dimensiones Normalizadas para Tubería de Acero Inoxidable según la Norma ANSI / ASME B36.19 M**

### Presión de aire dentro del sistema de aspiración

La presión de aire dentro del sistema de aspiración puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica siendo una medida del contenido energético del aire, y corresponde a la suma algebraica entre la presión estática y dinámica.

La presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad se denomina *Presión Dinámica*, y se calcula según la Ecuación. 3. 4.

$$P_{din} = \frac{V^2 \times \rho_{aire}}{2 \times g}$$

**Ecuación. 3. 4. Presión dinámica**

Donde

$P_{din}$  Presión dinámica ( $daN/m^2$ )

V Velocidad del fluido (m/seg)

$\rho_{aire}$  Peso específico del aire ( $kg/m^3$ )

g Fuerza de gravedad ( $9,81 m/s^2$ )

El peso específico del aire depende de su presión atmosférica, de su temperatura y de su contenido de humedad relativa. El peso específico de aire a 0 metros sobre el nivel de mar, con 20 ° C de temperatura, y con 60 % de humedad relativa es:  $\rho_{aire} = 1,1992 \text{ Kg}/m^3$ .

En caso de variaciones en la altura sobre el nivel de mar (m.s.n.m.) se calcula el peso específico según Ecuación. 3. 5.

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2}$$

**Ecuación. 3. 5. Peso específico del aire según variación de la altura**

Dónde:

$P_1$  Presión de aire a 0 m.s.n.m.

$\rho_1$  Peso específico del aire a 0 m.s.n.m.

$P_2$  Presión de aire a X m.s.n.m.

$\rho_2$  Peso específico del aire a X m.s.n.m.

La presión atmosférica se mide en mbar (milibar) y depende de la altura sobre el nivel de mar, como se muestra en la Tabla. 3. 7.

La variación de la Presión atmosférica en función de la altura m.s.n.m no es lineal, por lo que se debe encontrar la Ecuación de la Recta que representen a cada punto detallado en la Tabla. 3. 7.

Altura m.s.n.m	Presión atmosférica (mbar)
0	1013
20	989



0	
40 0	966
60 0	943
80 0	921
10 00	899
15 00	850
20 00	795
25 00	750
30 00	701

**Tabla. 3. 7. Presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar**

Se debe considerar que el sistema está instalado a una altura de 2800 m.s.n.m (altura de la Ciudad de Quito), según la Tabla. 3. 6, no se tiene el valor específico de la presión atmosférica; por lo que se debe encontrar la Ecuación de la Recta, tomando como referencia los puntos límites correspondiente a la altura de 2800 m.s.n.m. Según la Ecuación. 3. 6.

Estos valores son:

2500 m.s.n.m            750 mbar

3000 m.s.n.m            701 mbar

$$P_{\text{atmosferica (2800)}} = P_{\text{atmosferica (2500)}} + (2800 - 2500) \frac{P_{\text{atmosferica (3000)}} - P_{\text{atmosferica (2500)}}}{3000 - 2500}$$

**Ecuación. 3. 6. Cálculo de presión atmosférica a 2800 m.s.n.m**

Según la Ecuación. 3. 6 se obtiene que a 2800 m.s.n.m, la presión atmosférica es: 720,6 mbar.

Una vez obtenida la presión atmosférica a 2800 m.s.n.m, se reemplaza en la Ecuación. 3. 5 y se obtiene el peso específico del aire a 2800 m.s.n.m.

$$\rho_{2800 \text{ m.s.n.m}} = \frac{720,6 \text{ mbar} \times 1,1992 \text{ Kg/m}^3}{1013 \text{ mbar}}$$

$$\rho_{2800 \text{ m.s.n.m}} = 0,853 \text{ Kg/m}^3$$

Una vez obtenido el peso específico del aire a 2800 m.s.n.m, se reemplazan valores en la Ecuación. 3. 4.

$$P_{din} = \frac{V^2 \times \rho_{aire}}{2 \times g}$$

$$P_{din} = \frac{25^2 \text{ m}^2 / \text{seg}^2 \times 0,853 \text{ Kg/m}^3}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2}$$

$$P_{din} = 27,17 \text{ kg/m}^2 = 266,46 \text{ Pascal} = 2,66 \text{ mbar}$$

La presión dinámica se reduce a lo largo de un sistema de aspiración debido a fuerzas de rozamiento del aire en las paredes de los tubos. El accionamiento del extractor debe generar la energía necesaria para vencer esta diferencia de presión causada por la fuerza de rozamiento, denominada **Presión Estática**  $P_{est}$ . Se calcula según la Ecuación. 3. 7.

$$P_{est} = l * \frac{\lambda}{D} * P_{din}$$

### Ecuación. 3. 7. Cálculo de Presión Dinámica

Donde

$P_{est}$  Presión estática dNa/m<sup>2</sup>

$l$  Longitud de la tubería (m)

$\lambda$  Coeficiente de resistencia en la tubería

$D$  Diámetro de la tubería (m)

$P_{din}$  Presión dinámica dNa/m<sup>2</sup>

Para la determinación del coeficiente de resistencia de la tubería, según la Ecuación. 3. 8.

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{D}$$

**Ecuación. 3. 8. Cálculo del coeficiente de resistencia en la tubería**

Donde

$\lambda$  Coeficiente de resistencia en la tubería

D Diámetro de la tubería (m)

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 8. Se obtiene:  $\lambda = 0,016$

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 7. Se obtiene:

$$P_{esc} = 3 * \frac{0,016}{0,3048} * 26,642$$

$$P_{esc} = 4,22 \text{ daN/m}^2 = 0,42 \text{ mbar}$$

Por lo tanto el consumo de energía del aire será 3,5 mbar.

**Potencia de consumo  $P$  adecuada que necesita el ventilador**

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador para transportar el polvo se especifica en la Ecuación. 3. 9.

$$P = \frac{Q_f * \Delta P}{\eta * 6356}$$

**Ecuación. 3. 9. Potencia del Ventilador Centrífugo**

Dónde:

P Potencia Consumida (W)

$Q_f$  Flujo Volumétrico de aire requerido ( $\text{m}^3 / \text{h}$ )

$\Delta P$  Caída de presión total del Sistema ( $\text{N} / \text{m}^2$ )

$\eta$  Eficiencia del Ventilador Centrífugo  $\approx 0,7$

La caída de presión total del Sistema se especifica en la Ecuación. 3. 8.

$$\Delta P = \Delta P_h + \Delta P_v + P_{ru}$$

**Ecuación. 3. 10. Caída de Presión en la tubería del Sistema de Extracción**

Dónde:

$\Delta P$  Caída de Presión en el sistema ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

$\Delta P_h$  Caída de Presión en el tramo horizontal ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

$\Delta P_v$  Caída de Presión en el tramo vertical ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

$P_{ru}$  Pérdida de presión por resistencia de la tubería ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

Para el cálculo de la caída de presión en un tramo horizontal se calcula según la Ecuación. 3. 9.

$$\Delta P_h = \frac{V_{\text{aire}}^2 * \rho_{\text{aire}}}{2 * g} + \frac{W * V_p}{g} + \frac{2 * Lh}{9 * Dt} (\rho_{\text{aire}} * V_{\text{aire}}^2 * f + \lambda * V_p * W)$$

**Ecuación. 3. 11. Cálculo de caída de presión en tramos horizontales**

Dónde:

$\Delta P_h$  Caída de Presión en el tramo horizontal ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

$V_{\text{aire}}$  Velocidad del aire requerido para el transporte del material (pie / seg)

$\rho_{\text{aire}}$  Densidad del aire ( $\text{lb} / \text{pie}^3$ )

$g$  Gravedad ( $\text{pie} / \text{seg}^2$ )

$W$  Flujo másico del material a transportar ( $\text{lb} / \text{pie}^2$ )

$V_p$  Velocidad de la partícula (pie / seg)

$Dt$  Diámetro de la tubería (pie)

$Lh$  Longitud de la tubería horizontal (pie)

$\lambda$  Coeficiente de resistencia de la tubería

$f$  Factor de fricción convencional en tubería de extracción (basado en el número de

Reynold).

El flujo másico del material a transportar se calcula según la Ecuación. 3. 12.

$$W = \frac{W_m}{A_t}$$

**Ecuación. 3. 12. Cálculo del Flujo Másico del material a transportar**

Dónde:

W Flujo másico del material a transportar

$W_m$  Cantidad de material a transportar (lbs)

$A_t$  Área transversal de la tubería ( $\text{pie}^2$ )

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 12. Se obtiene:

$$W = \frac{W_m}{A_t}$$

$$W = \frac{30,8 \text{ lbs}}{0,79 \text{ pie}^2}$$

$$W = 39 \text{ lbs/pie}^2$$

La velocidad de la partícula se calcula según la Ecuación. 3. 13.

$$V_p = V_{\text{aire}} * (1 - 0,179 * D_p^{0,3} * \rho_p)$$

**Ecuación. 3. 13. Calculo de la Velocidad de la partícula en un sistema neumático**

Dónde:

$V_p$  Velocidad de la partícula (pie / seg)

$V_{\text{aire}}$  Velocidad del aire (pie / seg)

$D_p$  Diámetro de la partícula del material (pie)

$\rho_p$  Peso específico del material ( $\text{lb / pie}^3$ )

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 13. Se obtiene:

$$V_p = V_{aire} * (1 - 0,179 * D_p^{0,3} * \rho_p)$$

$$V_p = 79,23 * (1 - 0,179 * 0,000164^{0,3} * 70)$$

$$V_p = 6,57 \text{ pie}/\text{seg}$$

El factor de fricción se calcula según la Ecuación. 3. 14.

$$f = \frac{64}{Re}$$

#### Ecuación. 3. 14. Factor de Fricción en tuberías

Donde

f Factor de Fricción

Re Número de Reynolds

$$Re = 1270,17 * D$$

#### Ecuación. 3. 15. Cálculo de Número de Reynolds

Donde

D Diámetro de la tubería (m)

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 15. Se obtiene Re=387,15 que corresponde a un flujo laminar.

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 14. Se obtiene: f = 0,17

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 9. Se obtiene:

$$\Delta P_h = \frac{V_{aire}^2 * \rho_{aire}}{2 * g} + \frac{W * V_p}{g} + \frac{2 * Lh}{9 * Dt} (\rho_{aire} * V_{aire}^2 * f + \lambda * V_p * W)$$

$$\Delta P_h = \frac{79,23^2 * 0,053}{2 * 32,18} + \frac{39 * 6,57}{32,18} + \frac{2 * 9,84}{9 * 1} (0,053 * 79,23^2 * 0,17 + 0,0159 * 6,57 * 39)$$

$$\Delta P_h = 5,17 + 7,96 + 2,19(60,63)$$

$$\Delta P_h = 146 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2} = 0,070 \text{ mbar}$$

Para el cálculo de la caída de presión en un tramo vertical se calcula según la Ecuación. 3. 13.

$$\Delta P_v = \frac{2 * f * \rho_{\text{aire}} * L_v * V_{\text{aire}}^2}{D_t * g} * \left( 1 + \frac{\lambda * V_p * R_{M/a}}{f * V_{\text{aire}}} \right) + \frac{W * L_v}{V_p}$$

**Ecuación. 3. 16. Cálculo de caída de presión en tramos verticales**

Dónde:

$\Delta P_v$  Caída de Presión en el tramo vertical ( $\text{lb}_f/\text{pie}^2$ )

$V_{\text{aire}}$  Velocidad del aire requerido para el transporte del material (pie / seg)

$\rho_{\text{aire}}$  Densidad del aire ( $\text{lb} / \text{pie}^3$ )

$g$  Gravedad ( $\text{pie} / \text{seg}^2$ )

$W$  Flujo másico del material a transportar ( $\text{lb} / \text{pie}^2$ )

$V_p$  Velocidad de la partícula (pie / seg)

$D_t$  Diámetro de la tubería (pie)

$L_v$  Longitud de la tubería horizontal (pie)

$\lambda$  Coeficiente de resistencia de la tubería

$R_{M/a}$  Relación material – aire

$f$  Factor de fricción convencional en tubería de extracción (basado en el número de Reynold).

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 16 se obtiene

$$\Delta P_v = \frac{2 * f * \rho_{\text{aire}} * L_v * V_{\text{aire}}^2}{D_t * g} * \left( 1 + \frac{\lambda * V_p * R_{M/a}}{f * V_{\text{aire}}} \right) + \frac{W * L_v}{V_p}$$

$$\Delta P_v = \frac{2 * 0,17 * 0,053 * 9,84 * 79,23^2}{1 * 32,18} * \left( 1 + \frac{0,0159 * 6,57 * 0,0027}{0,17 * 79,23} \right) + \frac{39 * 9,84}{6,57}$$

$$\Delta P_v = 34,59 * (1) + 58,41$$

$$\Delta P_v = 93 \frac{lb_f}{pie^2} = 0,044 \text{ mbar}$$

Para el cálculo de la pérdida de presión por resistencia de la tubería  $P_{ru}$  (según la Ecuación. 3. 17) se debe tomar en consideración los factores de pérdida como: codos, desviaciones y reducciones. El sistema cuenta con dos codos de 90°.

$$P_{ru} = \sum \zeta \times P_{din}$$

**Ecuación. 3. 17. Pérdida de presión por resistencia de la tubería**

Donde

$\zeta$  Factor de resistencia unitaria (adimensional)

$P_{din}$  Presión dinámica ( $\frac{daN}{m^2}$ )

Para el cálculo del factor de resistencia unitaria se considera:

$$2 \text{ codos de } 90^\circ \quad \zeta = 0,15 * 2 = 0,3$$

Reemplazando los valores de  $\zeta$  y  $P_{din}$  en Ecuación. 3. 9. Se obtiene:

$$P_{ru} = 0,3 \times 27,17 \frac{daN}{m^2}$$

$$P_{ru} = 8,151 \frac{daN}{m^2} = 0,82 \text{ mbar}$$

Reemplazando valores en la Ecuación. 3. 8. Se obtiene:

$$\Delta P = 0,070 + 0,044 + 0,82 \text{ mbar}$$

$$\Delta P = 0,934 \text{ mbar} = 93,4$$

Para obtener la potencia requerida para el ventilador centrífugo se reemplaza los valores en la Ecuación. 3. 9.

$$P = \frac{2906,98 \frac{m^3}{h} * 93,4 \frac{N}{m^2} * 1h/3600s}{0,7}$$



$$P = 108 W = 0,15 \text{ hp}$$

El ventilador Centrífugo será con motor trifásico detallado en la Tabla. 3. 8 la selección de voltajes, corrientes, factor de potencia y frecuencia de operación será tomadas de acuerdo al libro de máquinas eléctricas especificado en el Anexo 3.

**Válvula dosificadora:** Corresponde a una válvula de cierre ON/OFF del tipo mariposa como se puede ver en la Figura. 3. 6. La relación del flujo con la acción en las válvulas de mariposa es brusca y debe ser suficiente un giro de 90° de arco para abrir o cortar totalmente el flujo.

El funcionamiento de esta válvula será descrita en el Capítulo IV, correspondiente a la instrumentación de esta etapa.



**Figura. 3. 6. Válvula dosificadora tipo mariposa**

CARÁCTERÍSTICAS ELECTRICAS	
MOTOR DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO	
Fases	3
Voltaje Trifásico V	220
Corriente A	1,74
Cos $\phi$	0,77
Frecuencia Hz	60
Potencia Hp	0,18
kW	0,135
	Considerando un factor de diseño del 25 %
	0,18

kVA	
-----	--

**Tabla. 3. 8. Características Eléctricas. Motor del ventilador centrífugo**

**Filtros de Carbón Activado:** Los filtros con carbón activado se utilizan generalmente en la purificación de aire, agua y gases; para quitar vapores de gases contaminantes a la atmósfera; siendo el carbón activado un agente adsorbente con azufre y plata (main filter stack) con el cual el vapor de mercurio reacciona (amalgama) y se fija permitiendo así obtener aire puro que puede ser liberado al ambiente.

El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000°C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón en los cuales se adhiere el gas mercurio, para más especificaciones del Filtro recomendado se puede ver en el Anexo 5.

### 3.1.2. Separación

En el proceso de reciclaje de LFC's se encuentran involucradas dos tipos de separación:

- El primero corresponde a la separación del polvo de la lámpara luego de la trituración, así este polvo puede dirigirse por las tuberías correspondientes. Esta separación se lo hace a través de cribas vibrantes; y
- El segundo corresponde a la separación del metal del vidrio, después de haber separado el polvo de todos estos residuos. Esto se consigue a través de procesos de separación magnética.

**Cribado o Tamizado:** El cribado se define como una operación de clasificación por tamaño de fragmentos de dimensiones y formas variadas, obligándolos a enfrentarse a una superficie con aberturas (superficie de cribado, tamiz o malla) que permitirá el paso de aquellos granos con dimensiones inferiores al tamaño de la abertura (pasante) y reteniendo o rechazando aquellos otros con un tamaño superior a la dimensión de la abertura (rechazo). Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular (vibración) al medio de cribado.

Para la correcta separación del polvo fluorescente se debe utilizar como medio de separación un tamiz, debido a que esta operación permite clasificar partículas de tamaños entre 40 y 150 µm; esto se consigue a través de cribas rotatorias o vibrantes.

Las cribas vibratorias es el grupo de cribas más importante, debido al número de equipos que hay operando en las diferentes etapas de la industria, enfocada en procesos de minerales.

En función de la pendiente de la superficie de cribado y del tipo de vibración, se clasifican en tres grupos, que son los siguientes:

- Cribas de vibración lineal y pendiente media
- Cribas de vibración circular y pendiente media.
- Cribas de vibración elíptica o rectilínea y horizontales o ligeramente inclinadas.

### **Cribas de Vibración Lineal**

Las características generales de este tipo de criba son las siguientes:

- Vibración perpendicular a la superficie de cribado.
- Inclinación: 35°-45°.
- Vibración: 700-3500 r.p.m.
- Campo de aplicación: cribados finos (80  $\mu$ m-4 mm) y medios (3-25 mm).

### **Cribas de Vibración Circular**

Las características generales de este tipo de criba son las siguientes:

- Vibración perpendicular a la superficie de cribado.
- Inclinación: 15°-25°.
- Vibración: 650-3000 r.p.m.
- Campo de aplicación: cribados con tamaños de corte desde 0.3-120 mm hasta 200-300 mm.

### **Cribas de Vibración Elíptica**

Las características generales de este tipo de criba son las siguientes:

- Vibración con componentes de avance.
- Inclinación: 0°-10°.
- Campo de aplicación: cribados con tamaños de corte inferiores a 40-50 mm (excepcionalmente podrán clasificar a tamaños comprendidos entre 60-80 mm pero con inclinaciones de 8-10°).

Para efectos de operatividad de un sistema de cribado en el reciclaje de LFC's se debe considerar la aplicación de una criba con vibrador electromagnética, debido a que esta posee una sola malla de

cribado, mientras que las demás son diseñadas a través de varios niveles de mallas para cribado; lo que implica costos de implementación. Se debe tomar en cuenta que el material que se está procesando luego de la trituración, no es un producto pesado difícil de separación por lo que no implica la necesidad de usar varios niveles de mallas.

Los vibrador electromagnéticas son sistemas de masa-resorte que aprovechan la cercanía de resonancia de todo el sistema vibrante (motor + equipo útil). La vibración que la corriente de excitación genera en el motor se transmite directamente a un equipo útil (por ejemplo, un tamiz, una canaleta, un tubo o una tolva). Con ello no se necesitan correas, ejes, bastidores, ventiladores, dispositivos de accionamiento o discos excéntricos para lograr un funcionamiento correcto.

Los vibradores electromagnéticos comerciales vienen incorporados con un sistema de control, el mismo que regula el número de vibraciones, para que de esta manera el producto a tamizar descienda hacia su depósito de almacenaje; en este caso el depósito de almacenaje será la tolva provisional que cuenta con un sistema de pesaje con la finalidad de setear un peso fijo para poder descargar el producto hacia la etapa de extracción.

Las recomendaciones para seleccionar el vibrador electromagnético se fundamenta en el peso del material que tiene que ser vibrado, considerando peso del producto adicionando el peso del tamiz incorporado. Se considera el peso del producto aproximadamente 1400 kg (1,4 tn) por cada hora de trabajo.

La selección de este equipamiento ya queda a consideración del diseñador final, para efectos de diseño del control automático del sistema se toma como referencia el vibrador electromagnético de la marca comercial Aviteq, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla. 3. 9.

<b>CARÁCTERÍSTICAS VIBRADOR</b>		
Corriente de vibración máxima		1
Voltaje de alimentación a 60 Hz		220
Potencia	W	0,18
		0,24
	p	0,24

	VA	
Cos $\phi$		0,75
Vibraciones por minuto		3600
Capacidad de vibración	n/h	4 Se considera peso del producto 1.4 Tn

**Tabla. 3. 9. Característica Vibradora Aviteq**

Los desechos libres de polvo fluorescente, son también reciclables en diferentes procesos específicos a cada uno, por ejemplo, el vidrio se entregará a recicladoras de vidrio y los residuos metálicos a su correspondiente recicladora.

En este sub-proceso del reciclaje se enfoca en separar el vidrio del metal para la entrega de los mismos a sus correspondientes recicladoras. Para esto interviene el término de separación magnética.

En los residuos triturados los principales elementos paramagnéticos a separar son:

- El aluminio contenido en los casquillos de las bases de las lámparas y en las placas metálicas de los capacitores del balasto electrónico, en el caso de procesar lámparas fluorescentes compactas.
- El wolframio, que son los hilos conductores, ya sea del interior de la lámpara o de las resistencias eléctricas del balasto electrónico.

Existen varios equipamientos magnéticos para la separación de fragmentos metálicos como se puede ver en la Tabla. 3. 10, tales como:

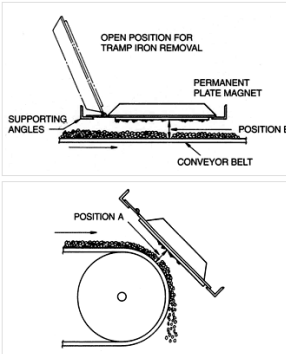
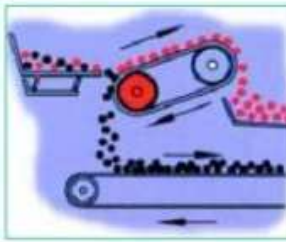
- Placas magnéticas
- Poleas
- Tambores
- Separadores suspendidos

**“Placas magnéticas:** Los fragmentos o piezas metálicas que van por conductos y canaletas inclinadas (chutes), son eliminados adhiriéndose en una placa magnética a medida que el material se desliza por el canal o conducto. Este equipo debe ser limpiado periódicamente. Estas placas funcionan en forma electromagnética o mediante imanes permanentes.

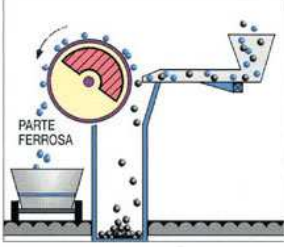

**Poleas:** Las poleas son utilizadas en la separación automática de impurezas ferrosas que contaminan productos transportados por correas transportadoras u otros sistemas. Debido a la gran capacidad de atracción, protegen trituradoras, molinos, y otras máquinas en el tratamiento de minerales, así como a las propias correas transportadoras.

**Tambores:** A diferencia de las poleas, los tambores son instalados exteriormente a la correa transportadora. Se aplican para la limpieza automática de productos transportados por cintas o en caída libre. Igual que en el caso de las poleas, el campo magnético se puede originar de dos formas: mediante una bobina electromagnética o a través de un conjunto de imanes permanentes. Los tambores pueden captar pedazos de hierro de peso y tamaños considerables. Son los separadores ideales para materiales finos.

**Separadores suspendidos:** Estos equipos separan las impurezas o piezas ferrosas del material no magnético transportado por correas, alimentadores vibratorios, etc., eliminando la intervención manual y sin afectar el correcto transporte del flujo. Son instalados externamente al transportador y captan el material ferroso que pasa sobre o bajo el separador. En estos equipos el campo magnético puede ser generado de dos formas distintas: a través de una bobina energizada (separadores electromagnéticos) o, por imanes permanentes.”<sup>6</sup>

<b>EQUIPAMIENTO PARA SEPARACION MAGNETICA</b>		
P lacas Magné ticas		<b>Fuente</b>  <a href="http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/curso/desecho2/desecho08.htm">http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/curso/desecho2/desecho08.htm</a>
P oleas		<b>Fuente</b>  <a href="http://www.ecured.cu/index.php/Separaci%C3%B3n_magn%C3%A9tica">http://www.ecured.cu/index.php/Separaci%C3%B3n_magn%C3%A9tica</a>

<sup>6</sup> <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r74391.PDF>

T ambore s		<p><b>Fuente</b></p> <p><a href="http://www.halde-gac.com/separador_mag_tambor.html">http://www.halde-gac.com/separador_mag_tambor.html</a></p>
S eparad ores Suspen didos		<p><b>Fuente</b></p> <p><a href="http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/curso/desecho2/desecho08.htm">http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/curso/desecho2/desecho08.htm</a></p>

**Tabla. 3. 10. Separadores Magnéticos**

Se debe considerar como un separador magnético apropiado para el reciclaje de LFC's a los separadores del tipo: poleas o separadores suspendidos. Debido a que estos separadores pueden ser adaptados a otros sistemas de transporte que permitan que los materiales paramagnéticos puedan dirigirse a su respectivo depósito de almacenamiento de una manera automática. Mientras que los otros tipos de separadores solo recogen el material, y para realizar la adecuada limpieza del separador y extraer el material se lo debe realizar manualmente. Una manipulación manual o intervención del ser humano en cualquier proceso del reciclaje no es adecuado debido a las características del material en proceso, siendo este tóxico.

Este trabajo investigativo se enfoca en el funcionamiento adecuado de la cinta transportadora que se encuentra suspendida para movilizar a los materiales paramagnéticos a su respectivo depósito.

### 3.1.3. Trituración

La trituración dentro del proceso de reciclaje consiste en la reducción de tamaño del vidrio de la lámpara con el objeto de extraer las partículas de polvo de fósforo.

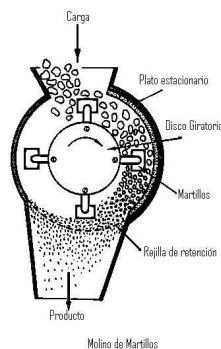
Los equipos para la reducción de tamaño se pueden clasificar de acuerdo con la forma en que se aplican las fuerzas, de la siguiente manera:

- Entre dos superficies: a través de trituración y corte
- En superficies sólidas: a través del impacto entre los materiales.
- En la acción del medio circundante: a través de molinos.

**Molinos de Martillos:** Se basa en el mecanismo de compresión del material entre dos cuerpos, consiste de un rotor horizontal o vertical unido a martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa como se puede ver en la Figura. 3. 7. En la parte inferior están dotados de un tamiz fijo o intercambiable.

**Modo de operación:** “El material que entra en el molino es golpeado por un conjunto de martillos girando a baja velocidad. De esta manera, se produce una primera rotura por impacto. Estos martillos lanzan el material contra el interior del molino, donde se encuentra una serie de placas de impacto, donde el material se rompe por segunda vez por impacto. Este proceso se repite mientras el material se mantiene en el interior del molino.”<sup>5</sup>

**Campos de Aplicación:** Se utilizan para materiales cristalinos y frágiles.



**Figura. 3. 7. Molino de Martillos**

**Fuente:** <http://taninos.tripod.com/molinosmartillo.htm>

Para realizar el cálculo de la potencia y velocidad necesarias de una triturada tipo martillo se partió del método Bond, siendo el más utilizado para el diseño de circuitos de reducción de tamaño.

### **Cálculo de la Potencia de la Trituradora:**

Los factores que son tomados en cuenta para el cálculo de consumo de energía de la máquina y potencia de la máquina se especifican en la Ecuación. 3. 18.:

<sup>5</sup> <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molinos-a-martillos-venta.html>



$$P = 1,46 * E_i * T * \left( \sqrt{\frac{1}{D_f}} - \sqrt{\frac{1}{d_f}} \right) [\text{hp}]$$

**Ecuación. 3. 18. Ecuación de Cálculo de Potencia para Máquinas Trituradoras**

Dónde:

$E_i$  Tipo y composición del material de alimentación, índice de triturabilidad, descritos en la Tabla. 3. 11.

$d_f$  Tamaño del material de alimentación en ft

$T$  Caudal del material (capacidad o velocidad) en tn/min

$D_f$  Granulometría final en ft

Para seleccionar el correcto índice de triturabilidad del material a procesar, se debe tomar en cuenta que el material con mayor dureza es la baquelita (placa electrónica). La baquelita es compuesta por fibra de carbono similar a la del grafito. Según la Tabla. 3. 11. se considera el índice de triturabilidad para el grafito para seleccionar el índice de triturabilidad.

ÍNDICE DE TRITURABILIDAD DE ALGUNOS MATERIALES					
V vidrio	2,31	H ematita	2,93	G ranito	5,05
C aliza	2,54	C uarzo	3,57	G rafito	3,56
M ineral de Cobre	2,73	M ineral de Oro	4,93	E smeril	6,7

**Tabla. 3. 11. Índice de Triturabilidad de algunos Materiales**

Fuente: NICOLINI, Jorge, *Industria I*, Tomo 72.02

$E_i = 43,56$  índice de triturabilidad para el grafito. Para la molienda en seco el valor de  $E_i$  hay que multiplicarlo por 1,34.

$d_f = 0,76$  pies = 23 cm; como tamaño del material de alimentación máximo.

$D_f = \frac{10}{30,48}$  pies = 10 cm, granulometría final del material.

$$T = 0,07 \text{ tn}/\text{min}$$

$$P = 1,46 * 43,56 * 1,34 * 0,07 * \left( \sqrt{\frac{1}{10/30,48}} - \sqrt{\frac{1}{0,75}} \right)$$

$$P = 3,53 \text{ [hp]} = 2,62 \text{ [kW]}$$

### Cálculo de la Velocidad de la Trituradora

En el caso de las partículas trituradas son arrastradas en un rápido movimiento de rotación por los percutores del rotor. Este movimiento se calcula según la Ecuación. 3. 19.

$$V_i = 1,27 * \omega * R_i$$

#### Ecuación. 3. 19. Ecuación para el Cálculo de Velocidad de Máquinas Trituradoras

Dónde:

$V_i$  Velocidad del rotor de la trituradora

$\omega$  Velocidad angular

$R_i$  Radio del rotor

La energía específica (e) se calculará con un rendimiento mecánico del 81 % (considerando un 19 % de pérdida por frotamiento), según la Ecuación. 3. 20.

$$e = 0,81 * \omega^2 * R_i^2$$

#### Ecuación. 3. 20. Ecuación de energía de Máquinas Trituradoras

Con la potencia de la máquina y la velocidad de alimentación (capacidad) de la misma se calcula el valor de la energía específica, según la Ecuación. 3. 21.

$$e = \frac{P \text{ [W]}}{T \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]}$$

**Ecuación. 3. 21. Cálculo de la Energía Específica de la trituradora**

Remplazando valores en la Ecuación. 3. 21 se obtiene:

$$e = \frac{2620 [W]}{0,389 \left[ \frac{kg}{s} \right]}$$

$$e = 6737,14 \text{ W}\cdot\text{seg}/\text{kg}$$

Remplazando la Ecuación. 3. 20 en la Ecuación. 3. 19, se calcula  $V_i$ :

$$V_i = 1,27 * \sqrt{e/0,81}$$

$$V_i = 1,27 * \sqrt{6737,14/0,81}$$

$$V_i = 115,82 \text{ m}/\text{seg}$$

Despejando  $w$  de la Ecuación. 3. 20, se calcula:

$$w = \frac{V_i}{1,27 * R_i}$$

$R_i$  radio del rotor de la trituradora

$$R_i = 0,245\text{m}$$

$$w = \frac{115,82}{1,27 * 0,245}$$

$$w = 372,24 \text{ rad}/\text{seg} = 3554,68 \text{ RPM}$$

Las características eléctricas de la tritura se especifican en la Tabla. 3. 12.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TRITURADORA	
Potencia	3,53 hp
	2,62 kW

	3,08 kVA
Requerimientos Eléctricos	$\Delta/Y$ 220 / 380 VAC Trifásica
Corriente A	$\Delta/Y$ 11,1 / 6,4
cos $\phi$	0,85
Capacidad kg/h	1400

**Tabla. 3. 12. Características Eléctricas Trituradora**

### 3.1.4. Transporte





El sistema de transporte es utilizado en el reciclaje de LFC's para trasladar el material de un proceso a otro, por ejemplo; una vez triturado el material se debe llevar los residuos al proceso de separación magnética. Esto se lo consigue a través de cintas transportadoras que se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, etc.


Consisten en una lámina sinfín (extremos unidos) plana y flexible; hecha de tela, goma, cuero o metal, estirada entre dos poleas que la hacen girar. El material se dispone en la parte superior de la banda para transportarlo. Pueden operar horizontales, inclinadas o verticales, dependiendo del producto y del diseño de la banda. La capacidad de la cinta puede ser controlada al variar la velocidad. Los modelos más comunes de Cintas Transportadoras se pueden ver en la Figura. 3. 8.



**Figura. 3. 8. Tipos de Cintas Transportadoras**

Fuente: <http://www.ar.all.biz/cinta-transportadora-g9092>

TIPO	CARACTERÍSTICA	APLICACIÓN	IMAGEN
Plana	<p>La banda es soportada por rodillos o por travesaños planos.</p>	<p>Usada para cargas unitarias, como cajas o bolsas.</p>	
Cóncava	<p>La banda es soportada por 3 o 5 rodillos de forma que los bordes se elevan con respecto al centro, formando una concavidad.</p> <p>Esto aumenta la capacidad de transporte. El retorno de la cinta es plano, soportado por rodillos rectos.</p>	<p>Se usan para productos a granel.</p>	
Tubular	<p>Es un diseño especial por el cual, después de cargar la cinta, los bordes se pegan uno contra otro, envolviendo el producto.</p>	<p>Es una alternativa habitual para prevenir contaminación.</p>	
Metálica	<p>Es una cinta plana en la cual la banda es remplazada por una malla de alambre o una cadena plana.</p> <p>Los extremos se conectan mediante remaches.</p>	<p>Se usa ampliamente en la industria alimenticia.</p>	

C errada	Se refiere a la estructura de soporte más que a la cinta.	La cinta queda encerrada en cajones de metal para evitar problemas de contaminación o pérdidas de producto.	
-------------	---	---	---

**Tabla. 3. 13. Tipos de Cintas Transportadoras**

Fuente: GOMEZ, Fabio, *Cintas Transportadoras en la Automatización de la Producción*, páginas 5

Existen varios tipos de cintas los mismos que pueden ser empleados en diferentes procesos industriales de acuerdo a las necesidades de transporte, según la Tabla. 3. 13.

Para la correcta selección de una cinta transportadora se debe tomar en cuenta varios puntos expuestos a continuación, los mismos que deben tenerse en cuenta que a veces es necesario modificar un requerimiento a los efectos de satisfacer otro más importante:

- Esquema de la instalación
- Material Transportado
- Capacidad máxima de transporte
- Ancho de la correa
- Distancia entre centro de tambores
- Mando
- Sistema tensor
- Rodillos portantes
- Rodillos de retorno
- Velocidad de la correa
- Potencia instalada
- Sistema de carga
- Sistema de descarga
- Horas de trabajo al día
- Sistemas de empalme
- Mínima temperatura ambiente promedio

Como objeto de estudio de esta investigación se debe tomar en consideración al momento de seleccionar una cinta transportadora los siguientes puntos:

- Esquema de la instalación
- Material Transportado
- Capacidad máxima de transporte
- Velocidad de la correa
- Potencia instalada
- Sistema de Carga
- Sistema de Descarga

Mientras que los demás puntos a ser considerados deben ser analizados y estudiados a través de la rama de la mecánica, por lo tanto esto no constituye objeto de esta investigación.

**Esquema de la instalación:** El esquema de instalación a ser considerada en el sistema de reciclaje debe ser de tramo recto, considerando un tramo adecuado mientras los residuos pasan por el proceso de separación magnética, distancia aproximadamente 3 mts en horizontal y 3 mts. En vertical.

**Material Transportado:** Para el sistema de reciclaje tiene dos etapas de transporte; la primera etapa constituye el transporte de los residuos vidrio/metal, y la segunda etapa comprende el transporte de los residuos de metal exclusivamente.

**Capacidad Máxima de Transporte:** Se debe considerar que cada LFC's aproximadamente pesa 200g y que por cada hora de trabajo del sistema se deben procesar alrededor de 7000 lámparas. Por lo que aproximadamente se tendrán un peso aproximado de 1400kg como capacidad de transporte cada hora de trabajo.

**Velocidad de la correa – Potencia Instalada:** Es necesario determinar la velocidad a la que viajará la cinta transportadora dependiendo del material a transportar.

La carga a transportar es la que permite seleccionar correctamente el motor, adicionalmente de la distancia total a transportar.

Para la calcular la potencia del motor de accionamiento de una banda transportadora se obtiene mediante la Ecuación. 3. 22.

$$P = \frac{T_E * S}{33000}$$

**Ecuación. 3. 22. Potencia del motor de una cinta transportadora**

Donde

$T_E$  Tensión efectiva de la cinta transportadora en lbs

S Velocidad de la banda en ft/min

Para obtener la potencia del motor de la cinta transportadora se debe seleccionar un modelo de varias marcas comerciales.

La propuesta es una cinta transportadora de la marca Icobandas S.A. modelo BFC – BLB, cuyas especificaciones de diseño son ideales para el transporte de objetos livianos. Una vez seleccionada la cinta transportadora se realiza los cálculos de la potencia del motor adecuado para mover a la cinta transportadora considerando las especificaciones de la misma, detallada en la Tabla. 3. 14.

Coeficiente de fricción de enrollamiento entre la banda y los rodillos deslizantes	
Vacío $F_x$	0.035
Con carga $F_y$ (movimiento horizontal)	0.04

**Tabla. 3. 14. Coeficiente de Fricción de la Cinta Transportadora modelo BFC – BLB**

Fuente: <http://www.icobandas.com/>

El valor ajustado de la distancia entre centros de la cinta transportadora seleccionada es:  $L_c=4,43$  pies con un peso de piezas móviles de 15 lb/ft.

La tensión efectiva de la cinta transportadora se calcula según la Ecuación. 3. 23.

$$T_E = T_X + T_Y + T_Z$$

**Ecuación. 3. 23. Tensión Efectiva de la Cinta Transportadora**

Donde

$T_E$  Tensión Efectiva

$T_X$  Tensión necesaria para mover la banda vacía

$T_Y$  Tensión necesaria para mover la carga en sentido horizontal

$T_Z$  Tensión necesaria para levantar o bajar la carga

Según la Ecuación. 3. 24. Se calcula la tensión necesaria para mover la banda vacía.



$$T_X = F_X * L_C * G$$

**Ecuación. 3. 24. Tensión necesaria para mover la banda vacía**

Donde

$T_X$  Tensión necesaria para mover la banda vacía

$F_X$  Valor según Tabla. 3. 13

$L_C$  Valor ajustado de la distancia entre centros. 4,43 pies

$G$  Peso de las piezas en movimiento. 15 lb/ft

Reemplazando valores en Ecuación. 3. 24. Se obtiene:

$$T_X = 0.035 * 4,43 \text{ ft} * 15 \text{ lb/ft}$$

$$T_X = 2.32 \text{ lb}$$

Según la Ecuación. 3. 25. Se calcula la tensión necesaria para para mover la carga en sentido horizontal.

$$T_Y = F_Y * L_C * Q$$

**Ecuación. 3. 25. Tensión necesaria para mover la carga en sentido horizontal**

Donde

$T_Y$  Tensión necesaria para mover la carga en sentido horizontal

$F_Y$  Valor según Tabla. 3. 13

$L_C$  Valor ajustado de la distancia entre centros. 4,43 pies

$Q$  Razón de carga, en libras de carga por pie de distancia transportado

La razón de carga está determinada por la Ecuación. 3. 26.

$$Q = \frac{33.3 * C}{S}$$

**Ecuación. 3. 26. Razón de carga de una cinta transportadora**

Dónde:

**Q** Razón de carga, en libras de carga por pie de distancia transportado

**C** Carga en tn/h

**S** Velocidad de la banda en ft/min

Para el valor de la carga C se asume que se procesan 7000 lámparas por hora, aproximadamente  $51.33 \text{ lb}/\text{min}$

Para la velocidad de la banda S se asume, que el material debe ser transportado en  $6.56 \text{ ft}/\text{min}$

Reemplazando los valores en la Ecuación. 3. 26. Se obtiene:

$$Q = \frac{33.3 * 51.33 \text{ lb}/\text{min}}{6.56 \text{ ft}/\text{min}}$$

$$Q = 260.56 \text{ lb}/\text{ft}$$

Reemplazando el valor de Q en la Ecuación. 3. 25. Se obtiene:

$$T_Y = 0.04 * 4.43 \text{ ft} * 260.56 \text{ lb}/\text{ft}$$

$$T_Y = 46.17 \text{ lb}$$

El valor de la tensión necesaria para levantar o bajar carga ( $T_Z$ ), en este caso es cero ya que no hay diferencia de nivel.

Reemplazando los valores de  $T_x$  y  $T_y$  en la Ecuación. 3. 23. Se obtiene:

$$T_E = 2.32 \text{ lb} + 46.17 \text{ lb}$$

$$T_E = 48.49 \text{ lb}$$

Reemplazando el valor de  $T_E$  y  $S$  en la Ecuación. 3. 22. Se obtiene:

$$P = \frac{48.49 \text{ lb} * 6.56 \text{ ft}/\text{min}}{33000}$$

$$P = 9.64 \times 10^{-3} \text{ Hp} = 7.18 \text{ W}$$

Tomando en cuenta la eficiencia aproximada en la reducción de velocidad de un 90% según la Ecuación. 3. 27.

$$P_n = \frac{P}{0.9}$$

**Ecuación. 3. 27. Potencia nominal del motor de la cinta transportadora**

Según la Ecuación. 3. 27. Se obtiene:

$$P_n = \frac{0.86 \text{ W}}{0.9}$$

$$P_n = 7.98 \text{ W}$$

Una vez calculada la potencia de trabajo nominal se debe dimensionar la potencia que el motor requiere al momento del arranque debido a que el proceso requiere un par y arrancar continuo de la cinta transportadora, por lo que se debe considerar cinco veces la potencia nominal.

$$P_{max} = 5 * P_n = 39.89 \text{ W}$$

Según la Tabla. 3. 15. Se especifican las características del motor, el Voltaje y Corriente se determina según Anexo 3. Se debe considerar el mismo motor para las dos etapas en los cuales interviene el proceso de reciclaje de LFC's; transporte de residuos vidrio/metal y residuos metálicos.

CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS MOTOR PARA CINTA TRANSPORTADORA	
Corrien te A	2.48 máx.

Voltaje V	220
Frecuencia Hz	60
Cos $\phi$	0,75
Potencia Hp	0.05
W	39.89
VA	53,19
Fase	3
Velocidad de la correa m/min	1

**Tabla. 3. 15. Características Eléctricas para motor de la banda transportadora**

**Sistema carga/descarga:** Este punto se debe considerar en una sola carga del residuo y dos descargas: una para el vidrio y otro para el metal. La carga se la realiza desde la criba electromagnética una vez que se ha tamizado todo el polvo fluorescente existente en la primera etapa del reciclaje, trituración. La descarga de los residuos de vidrio y metal se lo hace a través de los contenedores respectivos a cada residuo, una vez que se han pasado por el proceso de separación magnética.

### 3.1.5. Almacenaje

Al final del proceso de reciclaje se obtienen residuos libres de polvo de fosforo con contenido de mercurio, los mismos que deben ser almacenados adecuadamente para su posterior tratamiento y dar por terminado el reciclaje y la reutilización de los mismos.

Con lo que compete al residuo de vidrio y metal no se necesitan contenedores especiales ya que estos residuos no representan contaminación ambiental, según Figura. 3. 9; simplemente son medios de recogida de los mismos para enviarlos a sus sistemas de tratamiento respectivos, vidrio y metal.



**Figura. 3. 9. Contenedor para vidrio/metal**

**Fuente:** <http://medioambiente.aytosalamanca.es/es/consejosdereciclaje/>

El polvo de fósforo con mercurio es recogido mediante el sistema de extracción, el mismo que es dirigido a un contenedor sellado herméticamente, según Figura. 3. 10. Para luego ser enviado a su posterior tratamiento de destilación. Este contenedor es conectado directamente a las tuberías del proceso de extracción.

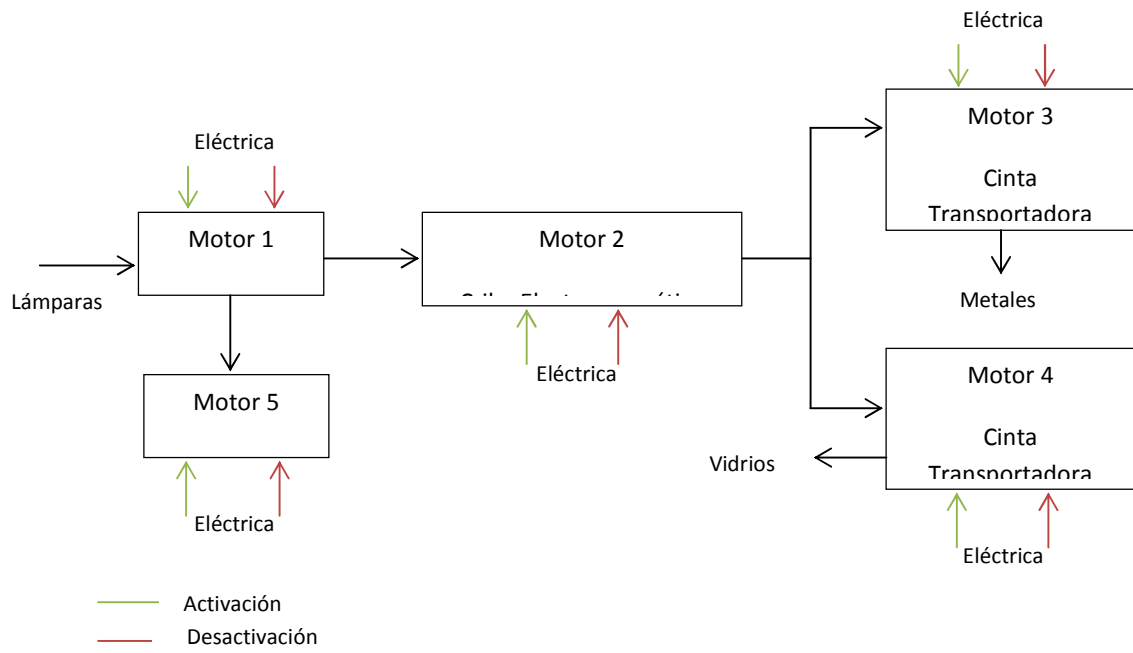


**Figura. 3. 10. Contenedor para polvo con mercurio**

**Fuente:** BALCAN, *Electric Machine Assembly from 'flatpack' shipping*

Una vez que se ha determinado que tipo de maquinaria puede ser implementado en un sistema de reciclaje de LFC's, se puede establecer un prototipo del sistema de reciclaje para futura implementación del mismo. La activación y desactivación de cada etapa se la realiza de manera manual y/o automática siendo una activación/desactivación eléctrica, como se muestra en la Figura. 3. 11.

Finalmente establecido el modo de activación/desactivación del sistema de reciclajes de LFC's se podrá analizar la etapa de la ingeniería de detalle, que básicamente comprende la automatización del sistema en el cual interviene sensores y actuadores respectivos a cada proceso. Es muy claro para el diseñador que una buena selección de equipos (sensores y actuadores) garantiza un buen funcionamiento del sistema.



**Figura. 3. 11. Activación / Desactivación de los Procesos del Sistema de Reciclaje**

## **CAPÍTULO IV**

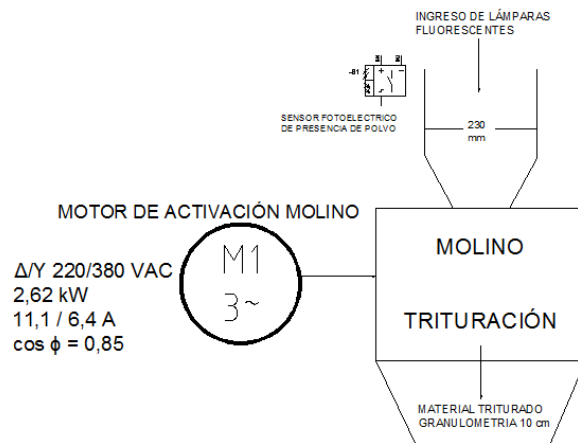
### **INGENIERÍA DE DETALLE**

En este capítulo se enfatiza en la automatización del reciclaje de LFC's, la cual comprende la activación eléctrica de los procesos mostrados en la Figura. 3. 12, con una lógica secuencial de cada proceso para evitar el uso de energía innecesaria, por ejemplo, mientras el material se encuentra en la etapa de trituración, no existe la necesidad de funcionamiento de la etapa de extracción de polvo o viceversa, sin embargo, como en todo proceso industrial se debe considerar activaciones manuales de cada subproceso.

A continuación se detallará la instrumentación necesaria en cada etapa del reciclaje de LFC's:

#### **4.1. Instrumentación Etapa de Trituración**

En esta etapa consiste en obtener material triturado con granulometría de 10 cm. esto con la finalidad de poder extraer el polvo fluorescente contenido en las lámparas, como se muestra en la Figura. 4. 1.



**Figura. 4. 1. Etapa de Trituración de las Lámparas LFC's**

La etapa de trituración será activada a través de un interruptor rotativo (Figura. 4. 2) que son usados en instalaciones eléctricas trifásicas para conexión y desconexión de cargas eléctricas.



**Figura. 4. 2. Interruptor rotativo para activación de Reciclaje de LFC's**

**Fuente:** <http://www.electricasbogota.com/detalles/selectores/3099-26370>

El interruptor rotativo activará la etapa de trituración, mas no activará la trituradora; es decir, si el interruptor está en posición ON y no existe lámparas a ser trituradas, el motor de la trituradora no entrará en funcionamiento. Si el interruptor está en posición OFF y existen lámparas a ser trituradas, el triturador no se activará; es decir, el proceso general de reciclaje de LFC's no será activado.

Para la activación del Motor 1 (Molino de Trituración) el sensor de presencia ubicado en la tolva de carga de lámparas debe activar su señal de sensamiento para iniciar la etapa de trituración. Esto con la finalidad de que el molino de trituración no funcione sin material ya que esto provocaría que se malogre. Cabe recalcar que mientras está activado el Motor 1 el resto de las etapas deben estar desactivadas.

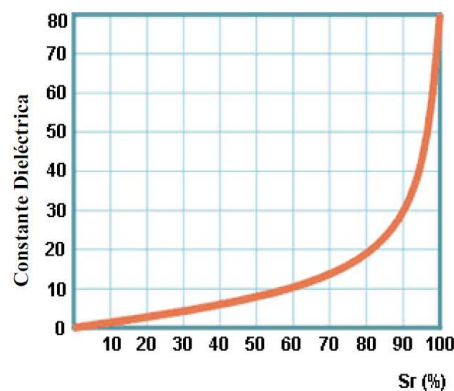


En esta etapa se debe considerar un sensor de presencia de lámparas fluorescentes, situado a la entrada del molino de trituración o en la tolva de carga de material.

Para el sensor de presencia de LFC's, se utilizará sensores fotoeléctricos, los cuales gozan de beneficios como detectar cualquier material a distancia sin contacto al sensor. A continuación se describe el sensor específico.

El principio de funcionamiento de los sensores de proximidad consiste en detectar un determinado material a través de su constante dieléctrica, mientras más grande es la cte. dieléctrica es más fácil de detectar el material.

La relación de la constante dieléctrica de un material está en función de detectar el material basado en la distancia nominal del sensado  $S_r$ , como se muestra en la Figura. 4. 3.



**Figura. 4. 3. Relación de la cte. dieléctrica en función de la distancia nominal del sensado  $S_r$**

Fuente: CANTO, Carlos, *Sensores de Proximidad Capacitivos*

En la Tabla. 4. 1 se presentan algunos constantes dieléctricas de materiales presentes en el proceso de reciclaje de LFC's.

MATERIAL	CONSTANTE DIELÉCTRICA	FACTOR DE CORRECCION $S_r$
Vidrio	3.7 – 10	0.3 – 0.7
Bakelita	3.6	0.3 – 0.5

**Tabla. 4. 1. Constante dieléctrica de algunos materiales presentes en el reciclaje de LFC's**

Fuente: CANTO, Carlos, *Sensores de Proximidad Capacitivos*

Para seleccionar el adecuado sensor se debe considerar el alcance de trabajo del objeto que se va a detectar, según Ecuación. 4. 1.

$$S_e = S_n * F_c$$

**Ecuación. 4. 1. Alcance de detección de Sensores de Proximidad**

Dónde:

St = alcance de trabajo.

Sn = alcance nominal del detector.

Fc = factor de corrección relativo al material que se va a detectar.

Para seleccionar el sensor adecuado en esta etapa del proceso se debe considerar que el ingreso de las lámparas tiene un ancho de 230 mm. Por lo tanto el alcance nominal del detector es 230 mm. Tomando en cuenta que el material en proceso es el vidrio de la lámpara. Considerando un factor de corrección del 0,3 a 0,7; al tener un rango de valores se toma como el valor promedio para asignar el factor de corrección.

Remplazando Valores en la Ecuación. 4. 1.

$$St = 230 * 0,3 [mm]$$

$$St = 69 [mm]$$

$$St = 230 * 0,7 [mm]$$

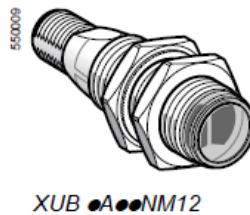
$$St = 161 [mm]$$

El alcance de trabajo del sensor comprenderá el rango entre 69 y 161 mm.

Es indispensable el uso de sensores fotoeléctricos ya que permite el sensamiento de objetos a largas distancias (no existe contacto del objeto con el sensor); su principio de funcionamiento se base a

través del emisor (integrado en el sensor juntamente con el receptor) donde genera un flujo de luz modulado. Si un objeto se sitúa en este flujo de luz entonces la luz se refleja en el objeto, una parte de esta luz reflejada va hacia el sensor. El receptor capta y dependiendo de la superficie, intensidad y color se puede evaluar los cambios.

El Sensor Fotoeléctrico recomendado, se puede ver en la Figura. 4. 4.



**Figura. 4. 4. Sensor fotoeléctrico Telemecanique**

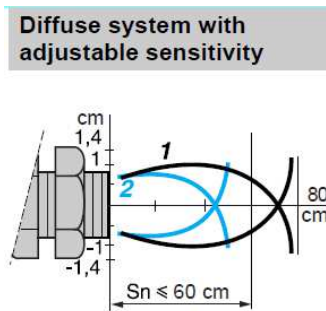
Fuente: Schneider Electric, Sensores Fotoeléctricos

Las ventajas de este sensor son las siguientes:

- Medición a corta distancia (min. 0,1 m.) o larga distancia (> 10m.) (a través de un sistema difuso), según Figura. 4. 5.
- Destinado a la medición de presencia de objetos opacos, brillantes y/o transparente.

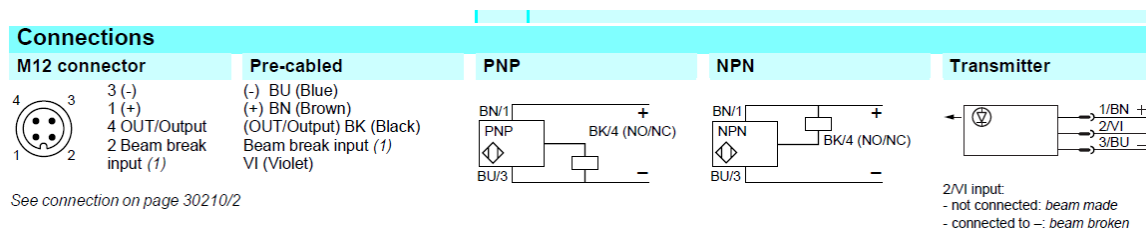
Las características del sensor son:

- Alimentación: 12 - 24 Vdc.
- Temperatura de Trabajo: -25 a 55 °C
- Distancia Nominal de Sensamiento  $S_n$  0.6 a 0.8 m
- Corriente de consumo 35 mA
- Señal de control tipo PNP, según Figura. 4. 6.
- Fuente de luz visible



**Figura. 4. 5. Sistema Difuso para sensores fotoeléctricos**

Fuente: Schneider Electric, Sensores Fotoeléctricos



**Figura. 4. 6. Conexión Sensor Fotoeléctrico**

Fuente: Schneider Electric, Sensores Fotoeléctricos

Este tipo de sensores debe ser usado en ambientes estrictamente secos, ya que líquido en la superficie puede hacer que el sensor dispare en falso. Considerando que el reciclaje de LFC's no deben existir agentes externos como fluidos, ya que el material en proceso contiene un agente tóxico (mercurio) que en conjunto con algún líquido puede reaccionar y la filosofía de reciclaje se desaprovecha.

Como se mencionó anteriormente para activar el motor M1 debe existir una señal de sensamiento de lámparas que permita activar el motor; para la activación del motor será a través de la configuración estrella – triángulo.

Esta conexión se fundamenta debido a que un motor trifásico, en el momento del arranque, consume entre 4 y 9 veces la intensidad nominal. Estos picos de corriente, aunque no perjudican el motor, pueden ocasionar trastornos en los demás aparatos, además de grandes caídas de tensión en el sistema eléctrico.

Este método de arranque se puede aplicar tanto a motores de rotor devanado como a motores de rotor en jaula de ardilla, la única condición que debe cumplir el motor para que pueda aplicarse este método de arranque es que tenga acceso completo a los devanados del estator (6 bornes de conexión).

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por  $\sqrt{3}$ . La punta de corriente durante el arranque se divide por 3.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor opera según sus características. Mediante un temporizador se controla el tiempo de transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo, entre 1 y 2 seg.

Al arrancar el motor con conexión estrella triángulo la intensidad del arranque es de 2 a 4 veces la intensidad nominal, es decir la intensidad se disminuye en 3 veces que en un arranque directo.

Para implementar este tipo de arranque, se debe hacer uso de tres contactores: uno que permita tener la conexión en Y, otro para la conexión en  $\Delta$  y finalmente otro para alimentar el circuito. Se hará uso de un solo temporizador para controlar el tiempo que el motor esté conectado en Y antes de hacer la conmutación a  $\Delta$ . Además de los elementos de protección como son fusibles y relé termo magnético, como se puede observar en la Figura. 4. 7.

Para el dimensionamiento de los elementos, se tomará como base el motor que se posea. En todo motor se dispone de una etiqueta en la cual constan algunas especificaciones técnicas de éste, dichos datos revelan información valiosa la cual se deberá interpretar para realizar el correcto dimensionamiento de los dispositivos que se vayan a conectar a la aplicación, como se puede observar en la Tabla. 3. 11.

Para la selección de los tres contactores serán dimensionados individualmente ya que la corriente que circula por el contactor de conexión estrella no será el mismo que el contactor que conmuta a conexión delta. Tanto el contactor de conexión triángulo como el contactor de alimentación tendrán el mismo dimensionamiento. En la Figura. 4. 8. Se muestra la simbología de un contactor.

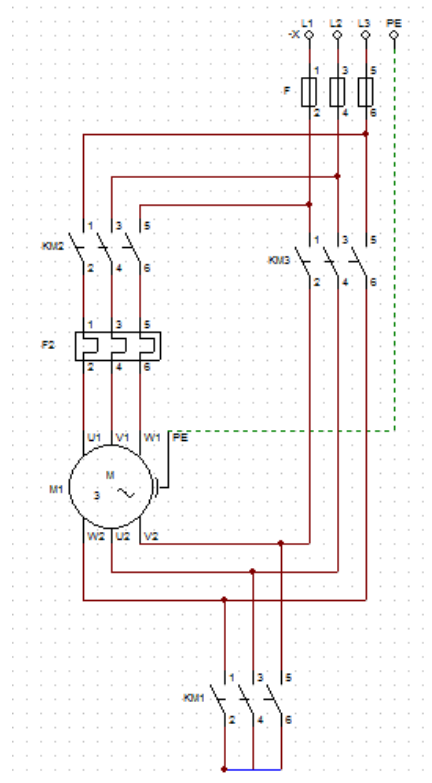


Figura. 4. 7. Arranque Estrella - Triángulo. Circuito de Potencia

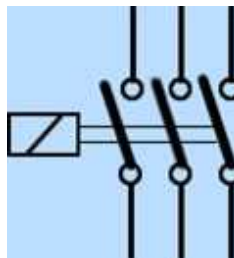


Figura. 4. 8. Simbología de un contactor

Fuente: <http://www.nichese.com/simbolos-nuevos7.html>

Para el contactor que realiza la conexión estrella, al cual se llamará KM1, se calculará según Ecuación. 4. 2. Tomando valores según Tabla. 3. 11.

$$I_{KM1} = \frac{I_{\Delta}}{3} + 10\%$$

Ecuación. 4. 2. Corriente del Contactor de Configuración Estrella Motor 1

$$I_{KM1} = \frac{11,1}{3} + 10\%$$

$$I_{KM1} = 4,07 A$$

Para el contactor que realiza la conexión triángulo, al cual se llamará KM3 se tomarán las siguientes consideraciones para dimensionamiento:

La corriente que circulara a través de este contactor será, según Ecuación. 4. 3. Y reemplazando los valores de la Tabla. 3. 11.

$$I_{KM3} = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}} + 10\%$$

**Ecuación. 4. 3. Corriente del Contactor de configuración Triángulo Motor 1**

$$I_{KM3} = \frac{11,1}{\sqrt{3}} + 10\%$$

$$I_{KM3} = I_{RM2} = 7,04 A$$

El relé térmico al estar ubicado a continuación del contactor de alimentación  $KM_2$ , deberá soportar la misma corriente con un rango de protección de 10%, según Ecuación. 4. 4.

$$F2 = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}} + 10\%$$

**Ecuación. 4. 4. Corriente que soporta el relé térmico del Motor 1**

$$F2 = \frac{11,1}{\sqrt{3}} + 10\%$$

$$F2 = 7,04 A$$

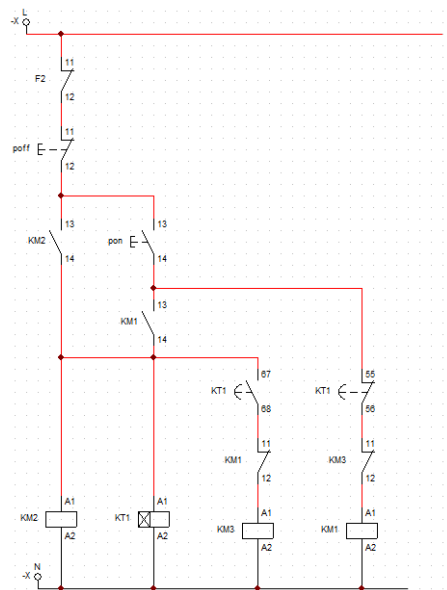
El circuito de control del arranque Y/ $\Delta$  del Motor 1 permite identificar el esquema de operación para bobinas de contactores, relés, temporizadores, elementos de señalización, etc. En la Figura. 4. 9. Se visualiza el conexionado respectivo del circuito de control, considerando el tipo de arranque manual. Para un arranque automático se omitirá el relé temporizador, ya que esta secuencia será comandada por un controlador lógico.

La lógica secuencial del arranque del Motor 1 es la siguiente:

Un pulsador pon activará a la bobina del contactor KM1, que a través de su contacto NC activará a la bobina del contactor KM2 y al temporizador KT1, conmutando en la configuración estrella del Motor 1, según Figura. 4. 10.

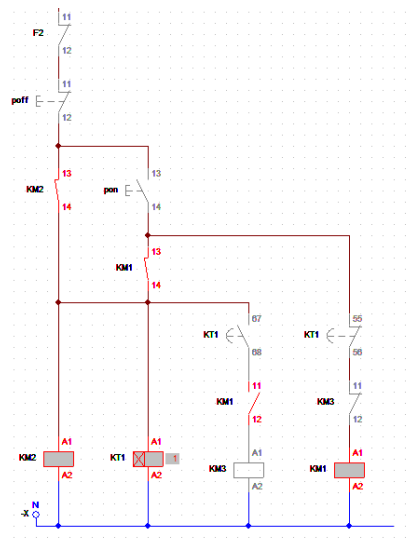
Luego de transcurrido el tiempo de KT1, a través de sus contactos:

- NC, desactivará a la bobina KM1
- NO, activará a la bobina KM3



**Figura. 4. 9. Circuito de Control del arranque Y/Δ del Motor 1**





**Figura. 4. 10. Conmutación Estrella Motor 1**

Con esto se consigue que la configuración delta se active, y el Motor 1 empiece a funcionar, como se observa en la Figura. 4. 11.

Para desactivar el funcionamiento del Motor 1 se lo hace manualmente a través del pulsador NC, poff.

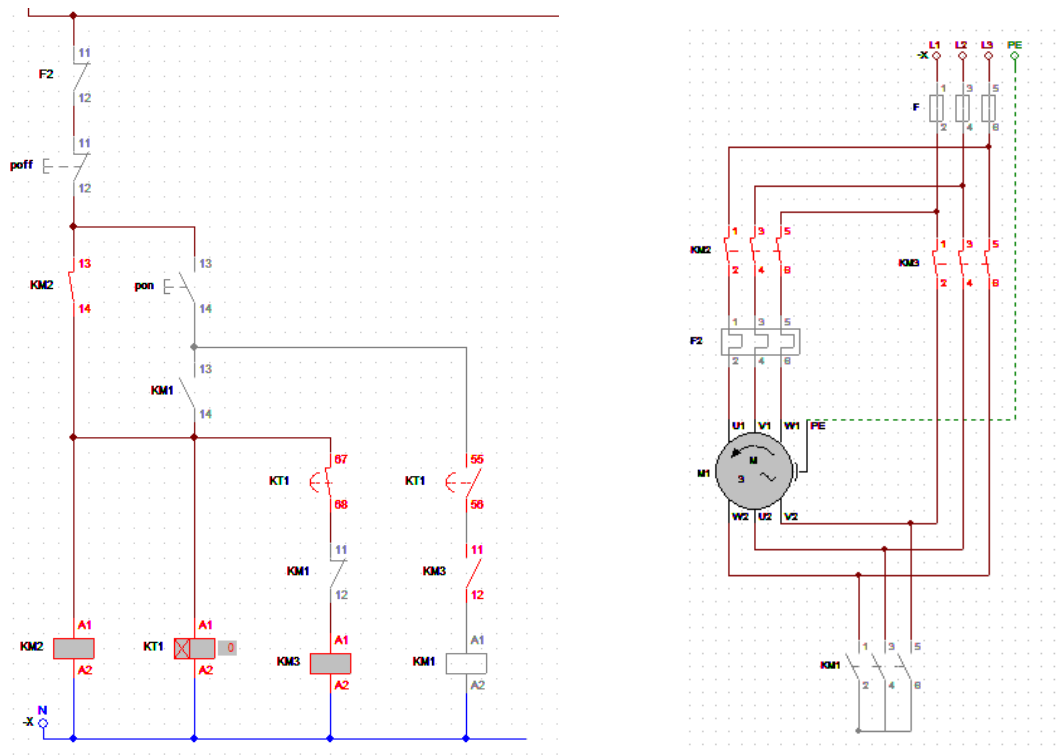


Figura. 4. 11. Conmutación Triángulo Motor 1

El Motor 1 será desactivado cuando la señal del sensor de lámparas fluorescentes este desactivado luego de un tiempo de 2 min, considerando un funcionamiento automático. Esto con la finalidad de garantizar que ya no existe ingreso de lámparas además de que el ingreso total de la carga debe ser continuo no por lotes.

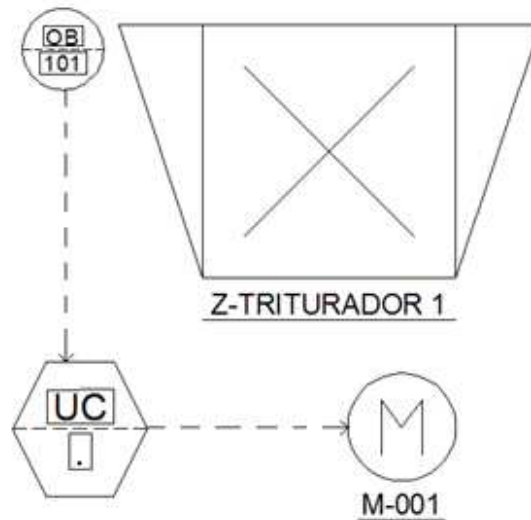
El arranque del Motor 1 a través de la configuración Y/ $\Delta$  detallado anteriormente, será implementada a través de un autómat programable; las señales pon, poff y temporizador serán señales internas del controlador; es decir la lógica secuencial de un arranque Y/ $\Delta$  será manejados a través del autómat programable, que se especificará más adelante. Físicamente se dispondrá de los contactores que manejen la potencia del Motor 1.

#### 4.1.1. Acondicionamiento de Señales. Etapa de trituración

El acondicionamiento de señales se puede ver en la Figura. 4.12.

En la Tabla. 4. 2 se identifica y describe las señales representadas en el esquema del proceso.

La técnica de control utilizada en esta etapa del sistema es del tipo On-Off ya que su elemento final de control (Motor 1) conmuta entre dos posiciones fijas, encendido o apagado; dependiendo de la señal que proporciona el sensor de presencia este se activará o desactivará.



**Figura. 4. 12. Diagrama P&ID. Etapa Trituración**

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
OB101	Sensor de Presencia
UC	Controlador Multifunción
M-001	Motor 1
Z1	Triturador

**Tabla. 4. 2. Instrumentación Etapa Trituración**

Se debe definir las entradas y salidas que se involucran en la etapa de trituración con la finalidad de escoger el controlador más apropiado.

En esta etapa el controlador recibirá dos señales de entrada discreta correspondiente al sensor de presencia e interruptor rotativo de activación del sistema, y tres salidas discretas tipo relé que activarán los contactores para manejar potencia indirectamente en el Motor 1, como se muestran en la Tabla. 4.

3.

Variable	Descripción	
<b>Entradas</b>		
SP101	Sensor de Presencia en tolva de entrada	Digital 0 VDC 24 VDC
SWP	Interruptor rotativo principal del sistema	Digital 0 VDC 24 VDC
<b>Salidas</b>		
KM101	Contactador que realiza la conmutación Y del Motor 1	110 VAC 4,07 A
KM102	Contactador que realiza la conmutación $\Delta$ /Y del Motor1	110 VAC 7,04 A
KM103	Contactador que realiza la conmutación $\Delta$ del Motor 1	110 VAC 7,04 A

**Tabla. 4. 3. Descripción E/S Controlador. Etapa Trituración**

La Tabla. 4. 4. Muestra los tipos de contactores electromagnéticos comerciales que se puede implementar en la etapa de trituración.

Características técnicas de contactores comerciales				
V oltaje	Co rriente A	P otencia	Voltaje Control	
			D	AC

Potencia V AC		Hp	C	
1 10	10	1/ 3	24	24
			48	48
2 20	10	1/ 2	11	110
			0	127
6 00	3	1/ 2	12	220
			5	
			22	
			0	
			25	
			0	

**Tabla. 4. 4. Características técnicas de contactores electromagnéticos comerciales**

Para la selección de un contactor se debe tomar en cuenta la categoría de empleo, que es la identificación del tipo de carga que puede manejar el contactor. Las diferentes categorías de empleo se muestran en la Tabla. 4. 5.

<b>CATEGORÍA DE EMPLEO DE CONTACTORES</b>	
<b>CATEGORÍA</b>	<b>APLICACIÓN</b>
AC-1	Se aplica a todos los aparatos de uso de corriente alterna (receptores), cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95 ( $\cos \phi \geq 0,95$ ).  Ejemplos de utilización: calefacción, distribución.
AC-2	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de anillos.
AC-3	Se aplica a los motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado.  Ejemplos de utilización: todos los motores de jaula habituales: ascensores, escaleras mecánicas, cintas

	transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.
AC-4	<p>Esta categoría se aplica a las aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha “a sacudidas” con motores de jaula o de anillos.</p> <p>Ejemplos de utilización: máquinas de impresión, máquinas de trefilar, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.</p>

**Tabla. 4. 5. Categoría de Empleo de Contactores en AC**

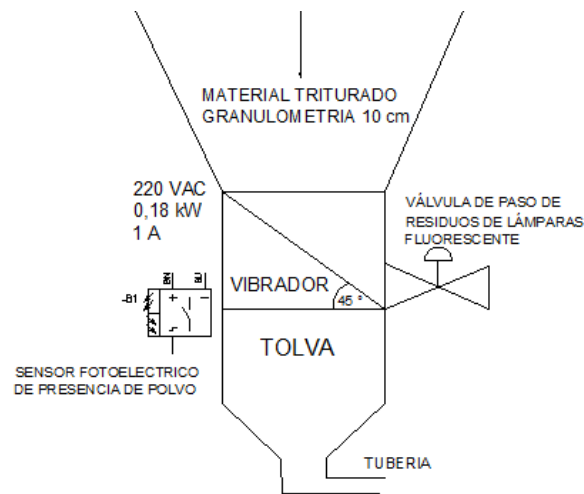
Los tipos de contactores utilizados en cada etapa del reciclaje serán de la categoría AC-3, cuya aplicación se especifica en la Tabla. 4. 5. Las características eléctricas del contactor a usarse en la etapa del reciclaje será: Voltaje de potencia 110 VAC, Corriente máxima 10 Amp y Voltaje de Control 24 Vdc, como se muestra en la Tabla. 4. 4.

#### **4.2. Instrumentación Etapa de Separación de Polvo Fluorescente**

Una vez que el material es triturado pasa a la siguiente etapa que consiste en separar el polvo del resto de residuos triturados, esto se lo realiza a través de un movimiento mecánico - vibratorio a través del Motor 2 correspondiente al vibrador electromagnético, según la Figura.4. 13. El vibrador (Motor 2) será activado cuando la señal del sensor de lámparas fluorescentes, SP101, esté desactivado luego de un tiempo de 2 min, asumiendo que ya no existe material (lámparas fluorescentes) de carga a la entrada del sistema.

En esta etapa se debe sensar la caída de polvo hacia la tolva, esto con la finalidad de determinar si los residuos aún contienen polvo, es decir, mientras siga cayendo polvo el Vibrador (Motor 2) debe estar en funcionamiento, caso contrario se debe desactivar esta etapa del reciclaje.

El polvo recolectado pasa inmediatamente a la etapa de extracción, para dirigirlo al depósito correspondiente y de esta manera evitar las continuas emanaciones del mercurio a la atmósfera.

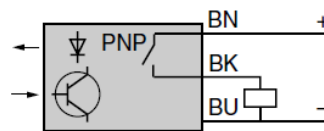


**Figura. 4. 13. Etapa de Separación de Polvo Fluorescente del material triturado**

Las características eléctricas del sensor fotoeléctrico deben ser: rango de alimentación entre 12 y 30 VDC y corriente de consumo en el orden de los miliamperios; el principio de funcionamiento de este sensor corresponde al de un interruptor.

Las características del sensor fotoeléctrico son:

- Alimentación: 12 – 30 Vdc.
- Corriente de consumo 35 mA
- Señal de control tipo PNP, según Figura. 4. 14. Se considera una configuración PNP ya que actúa como un switch, es decir, cuando existe señal de sensamiento el switch se cierra, mientras que si no existe señal de sensamiento el switch se mantiene abierto.
- Fuente de luz infrarroja



**Figura. 4. 14. Configuración PNP. Sensores Fotoeléctricos**

Fuente: Schneider Electric, Sensores Fotoeléctricos

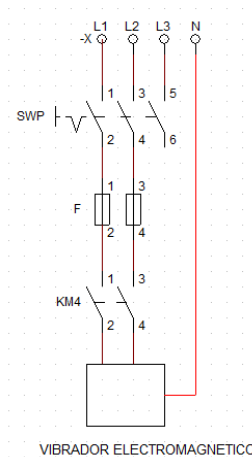
La activación del vibrador electromagnético (Motor 2) será:

- Después de la etapa de trituración.

La desactivación del vibrador electromagnético (Motor 2) será:

- Cuando el sensor fotoeléctrico no detecte la presencia de polvo descendiendo del tamiz de vibración.

Por las características eléctricas del vibrador Electromagnético (Motor 2 – Potencia Baja), se considera un arranque directo conmutado por relé electromecánico (Figura. 4. 18) garantizando el aislamiento de circuito de control con el circuito de potencia, protegiendo a los equipos de corrientes residuales.



**Figura. 4. 15. Circuito de Potencia Vibrador Electromagnético**

En la Tabla. 4. 6. Se especifican las características del relé electromecánico a usarse de acuerdo al Vibrador Electromagnético.

<b>CARACTERÍSTICAS RELE ELECTROMECHANICO</b>	
Voltaje nominal de la bobina VAC	110
Voltaje de control nominal VAC	220
Intensidad Nominal A	10 De acuerdo al Vibrador Electromagnético



Categoría de empleo	AC3
---------------------	-----

**Tabla. 4. 6. Características de Relé Electromecánico a usarse en el arranque del Vibrador Electromagnético**

En la Figura. 4. 15 se visualiza el circuito de potencia para el arranque del Vibrador Electromagnético.

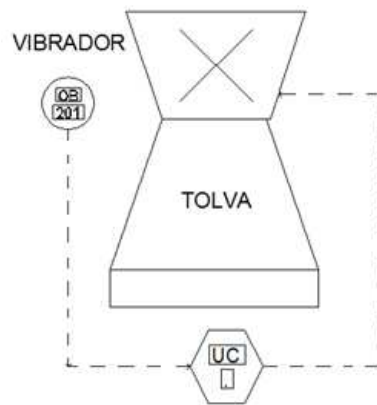
En la Tabla. 4. 7. Se detallan las entradas y salidas correspondientes a la etapa de extracción.

Variable	Descripción	
<b>Entradas</b>		
SWP	Interruptor rotativo principal del sistema	Digital 0 VDC 24 VDC
SP201	Sensor fotoeléctrico colocada a la salida del tamiz de vibración	Digital 0 VDC 24 VDC
<b>Salidas</b>		
KM4	Contactador para activación de VE  (Vibrador electromagnético)	Tabla. 4. 6.

**Tabla. 4. 7. Descripción E/S Controlador. Etapa de Separación Polvo**

#### 4.2.1. Acondicionamiento de Señales Etapa de Separación

El acondicionamiento de señales se puede ver en la Figura. 4.16.



**Figura. 4. 16. Diagrama P&ID. Etapa Separación**

En la Tabla. 4. 8. se identifica y describe las señales representadas en el esquema del proceso. En esta etapa el controlador recibirá una señal de entrada discreta correspondiente al sensor de presencia en el vibrador electromagnético y una salida discretas tipo relé que activará al vibrador electromagnético. La descripción de E/S se muestra en la Tabla. 4. 7.

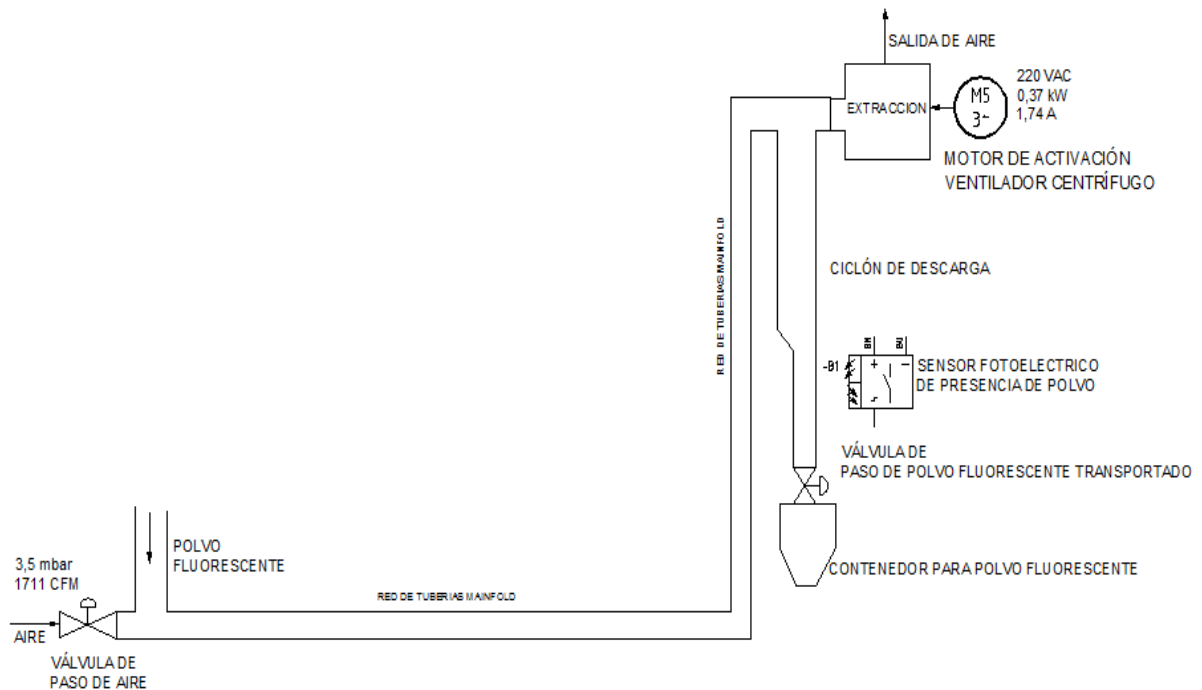
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
OB201	Sensor de Presencia
UC	Controlador Multifunción
VIBRADOR	Vibrador Electromagnético

**Tabla. 4. 8. Instrumentación Etapa Separación**

#### **4.3. Instrumentación Etapa de Extracción de Polvo Fluorescente**

Esta etapa consiste en extraer el polvo con la finalidad de llevar el polvo a un depósito seguro hasta que el polvo sea entregado al respectivo sistema de retorta según Figura. 4. 17.

En la Figura. 4.17. Se representa la etapa de extracción con los diferentes elementos que permiten realizar la automatización de esta etapa, como son: sistema de aire comprimido, sensor fotoeléctrico, válvula tipo mariposa y ventilador centrífugo.



**Figura. 4. 17. Etapa de extracción de Polvo Fluorescente**

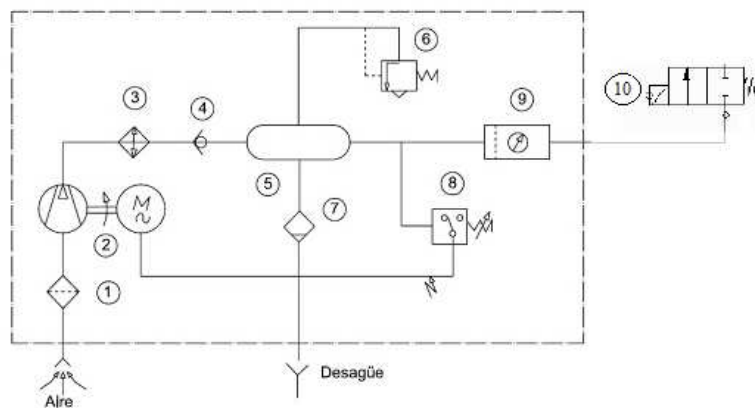
Una vez que el polvo desciende del tamiz, esta etapa se activará con la finalidad de evitar continuas emanaciones de mercurio, y de esta manera el polvo se almacenará en un contenedor seguro para luego ser entregado al sistema de retorta para la extracción del mercurio líquido. La activación de la etapa se lo hace a través del ventilador centrífugo y la inyección de aire de acuerdo a los cálculos realizados en el Capítulo III. El principio de funcionamiento se basa en crear una succión por medio de la cual el polvo empieza a desplazarse a través de toda la tubería hacia el depósito final.

### Sistema de aire

El sistema de aire comprimido es muy sencillo, ya que el aire es usado para transportar el polvo hacia el ciclón de descarga, esto se lo hace a través de un soplador. El esquema representado en la Figura. 4. 18. Comprende los siguientes elementos:

1. Filtro de aire aspirado

2. Grupo Moto compresor
3. Refrigerador
4. Válvula anti retorno
5. Acumulador de aire, depósito
6. Válvula de Seguridad, limitadora de presión
7. Purgador Manual
8. Presóstato
9. Unidad de mantenimiento compuesto por: filtro, manómetro y regulador.
10. Electroválvula 2/2, Activada por solenoide retorno a resorte.



**Figura. 4. 18. Esquema del Sistema Neumático**

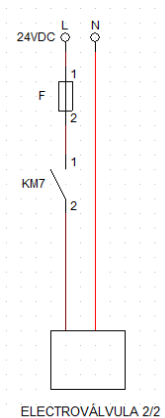
Fuente: [http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2\\_apartado4.htm](http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2_apartado4.htm)

La electroválvula utilizada en la etapa de extracción al menos debe poseer las siguientes características:

- Voltaje de activación 24 VDC
- Máximo consumo 4W.

La activación de la electroválvula será a través de un relé electromecánico, con las siguientes características, según Figura 4.19:

- Voltaje de potencia 110 VAC.
- Voltaje de control 24 VDC



**Figura. 4. 19. Circuito de Potencia. Electroválvula 2/2**

Las unidades de extracción de aire y mantenimiento corresponden a una unidad compacta, es decir, es un solo sistema.

El sensor de presencia fotoeléctrico (Figura. 4. 14) utilizado en este proceso debe tener las siguientes características:

- Alimentación: 12 - 30 Vdc
- Corriente de consumo 35 mA
- Señal de control tipo PNP
- Fuente de luz infrarroja

Para permitir el paso del polvo a su respectivo depósito se lo realiza a través de una válvula tipo mariposa que su funcionamiento se basa en la apertura o cierre para interrumpir el flujo de un sólido en un conducto mediante una placa, denominada “mariposa”, que gira sobre un eje. Las válvulas mariposas son las más utilizadas para tolvas, silos y/o básculas que contengan material en polvo.

El accionamiento de la válvula será eléctrico según Figura. 4. 20, considerando las siguientes características:

- Voltaje: 5 - 265 Volt AC
- Corriente de Consumo: > 3 A
- Tiempo de ciclo: 31 segundos por 90° de rotación



**Figura. 4. 20. Válvula de mariposa activada eléctricamente**

Fuente: [http://es.he.professional.danfoss.com/PCMPDF/VDHDT205\\_VFY-WA.pdf](http://es.he.professional.danfoss.com/PCMPDF/VDHDT205_VFY-WA.pdf)

La activación de la válvula de mariposa será a través de un relé electromecánico según Figura. 4. 21. Con características de acuerdo a la válvula seleccionada como se puede ver en la Tabla. 4. 9.

<b>CARACTERÍSTICAS RELE ELECTROMECHANICO</b>	
Voltaje nominal VAC	110
Voltaje de la bobina VAC	110
Intensidad Nominal A	> 3  De acuerdo a la válvula mariposa seleccionada

**Tabla. 4. 9. Características de Contactor a usarse en la activación de la Válvula Mariposa**

Para la activación del ventilador centrífugo se considera un arranque directo conmutado por relé electromecánico. La selección del relé será acorde a las características eléctricas del adecuado ventilador centrífugo que se empleará en el sistema de reciclaje de LFC's, según Tabla. 4. 10.

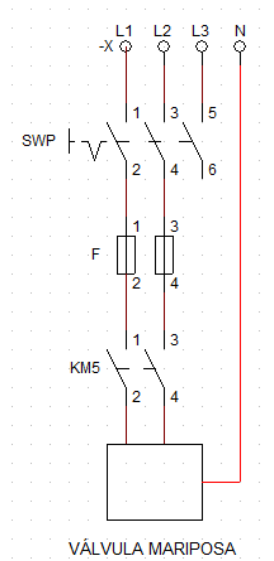
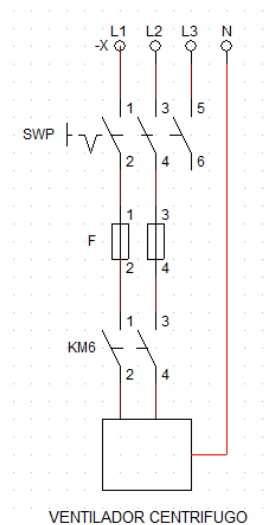


Figura. 4. 21. Circuito de Potencia para Válvula Mariposa. Etapa Extracción

CARACTERÍSTICAS RELE ELECTROMECHANICO	
Voltaje nominal de la bobina VAC	110
Voltaje de control nominal VAC	220
Intensidad Nominal A	10 De acuerdo al Ventilador Centrifugo
Categoría de empleo	AC3

Tabla. 4. 10. Características de Relé Electromecánico a usarse en el arranque del Ventilador Centrifugo



**Figura. 4. 22. Circuito de Potencia Ventilador Centrífugo**

En la Figura. 4. 22. se visualiza el circuito de potencia para el arranque del Ventilador Centrífugo.

En la Tabla. 4. 12. se detallan las entradas y salidas correspondientes a la etapa de extracción.

Una vez que el polvo es recogido en su respectivo depósito, es importante tener datos acerca del pesaje del mismo; con la finalidad de evitar que cuando el depósito se encuentre totalmente lleno poder descargar el polvo a la respectiva recicladora, y de esta manera tener datos históricos acerca de los pesajes de polvo que se han entregado a las recicladoras.

Para la selección adecuada del depósito de polvo se debe tomar en consideración lo siguiente:

- Capacidad en volumen del depósito
- Peso neto del depósito
- Peso neto del producto que se va almacenar en el depósito

A partir de esta información se puede dimensionar el sensor de peso adecuado para el depósito. Estos sensores son denominados celdas de carga que transforman las variaciones del peso en una señal análoga de voltaje, en el orden de los miliamperios. Estos sensores basan su funcionamiento en el efecto piezoresistivo de una galga extensiométrica. Las galgas se utilizan en puentes de Wheastone; que al recibir el peso: las galgas tienden a deformarse, la resistencia varía y por ende el voltaje varía.

Para la correcta selección de las celdas de carga se debe tomar en cuenta lo siguiente:



- Rangos de Trabajo (Capacidad)
- Diseños Mecánicos
- Características Eléctricas

Para determinar el rango de trabajo de la celda de carga se dimensionará bajo los siguientes parámetros: masa del polvo fluorescente y masa de la estructura mecánica. El diseño mecánico de la celda de carga debe ser seleccionado de acuerdo a la ubicación del mismo sobre el depósito. Las características eléctricas aplicadas a la celda de carga deben ser seleccionadas a tensiones disponibles, voltaje más común 24 VDC.

Una característica importante de las celdas de carga es la sensibilidad expresado en mV/V. los valores nominales de sensibilidad son 0.5, 1 y 2 mV/V. Estos valores indican el voltaje a fondo de escala, es decir; si la celda de carga se alimenta con una tensión de 24 VDC, capacidad de 50 Kg y sensibilidad de 2mV/V; cuando la celda sense el peso máximo de 50 Kg la deformación producirá una tensión de 48 mV.

Una vez obtenida la señal de deformación en mV se debe acondicionar la señal para poder procesarla en un autómata programable a su vez en una interfaz gráfica. Con el acondicionamiento de la señal se debe conseguir señales de 0 – 10 V al ser voltajes nominales de entrada a los autómatas programables.

Para efectos de cálculos y demostraciones se tomará como la base la siguiente información de una celda de carga, según Tabla. 4. 11.

<b>INFORMACION BÁSICA DE UNA CELDA DE CARGA</b>	
Capacidad máxima (Kg)	5
Peso neto del depósito + peso del material almacenado	
Voltaje de alimentación (VDC)	24
Sensibilidad (mV/V)	2

**Tabla. 4. 11. Información Básica de una Celda de Carga**

Para obtener una relación entre el peso y la señal de salida de la celda de carga, se considera según la Ecuación. 4. 5.

Capacidad (Kg) ----- Señal máxima en (mV)

Carga (Kg) ----- Salida (mV)

$$\text{Salida (mV)} = \frac{\text{Carga (Kg)} * \text{señal máxima (mV)}}{\text{Capacidad (kg)}}$$

**Ecuación. 4. 5. Señal de Salida de la Celda de Carga**

Remplazando los valores de la Tabla. 4. 11 en la Ecuación. 4. 5, se obtiene la relación de la Salida en mV en función de la carga en Kg, según Ecuación. 4. 6.

La cantidad necesaria de almacenamiento se basará en la capacidad máxima del depósito seleccionado; se debe considerar que esta información permitirá a un operario descargar el depósito con polvo de manera manual.

$$\text{Salida (mV)} = \frac{\text{Carga (Kg)} * 48}{5}$$

$$\text{Salida (mV)} = 9,6 \text{ Carga (Kg)}$$

**Ecuación. 4. 6. Relación de Salida (mV) de la celda de carga en función de la Carga (Kg)**

En caso de no descargar el polvo del depósito, el sistema total de Reciclaje se bloqueará, es decir, no se podrá activar principalmente las Etapas de: Trituración, Separación y Extracción; ya que estas etapas son críticas para el sistema considerando que el polvo se encuentra suelto.

V ariable	Descripción	
<b>Entradas</b>		
S WP	Interruptor rotativo principal del sistema	Digital 0 VDC 24 VDC

301	SP	Sensor fotoeléctrico colocada en el ciclón de descarga del polvo fluorescente	Digital 0 VDC 24 VDC
302	SP	Sensor de pesaje	Analógica 0 -10 V
<b>Salidas</b>			
M5	K	Relé para activación de válvula tipo mariposa	Tabla. 4. 9.
M6	K	Relé para activación de ventilador centrífugo	Tabla. 4. 10.
M7	K	Relé para activación de electroválvula 2/2	Voltaje de potencia 110 VAC Voltaje de control 24 VDC

**Tabla. 4. 12. Descripción E/S Controlador. Etapa de Extracción Polvo**

#### **4.3.1. Acondicionamiento de Señales Etapa de Extracción de Polvo Fluorescente**

El acondicionamiento de señales se puede ver en la Figura. 4. 23. La descripción de E/S se muestra en la Tabla. 4. 12. En la Tabla. 4. 13. Se identifica y describe las señales representadas en el esquema del proceso de extracción de polvo fluorescente. En esta etapa el controlador recibirá una señal de entrada discreta correspondiente al sensor de presencia ubicado en la Etapa de Separación, cuando esta señal se activa se debe poner en marcha al ventilador centrífugo en conjunto con la apertura de la electroválvula que permitirá el ingreso del aire comprimido. Cuando la señal del sensor de presencia ubicado en el ciclón de descarga se active se debe abrir la válvula de paso tipo mariposa para que el polvo pueda ser almacenado en su respectivo depósito.

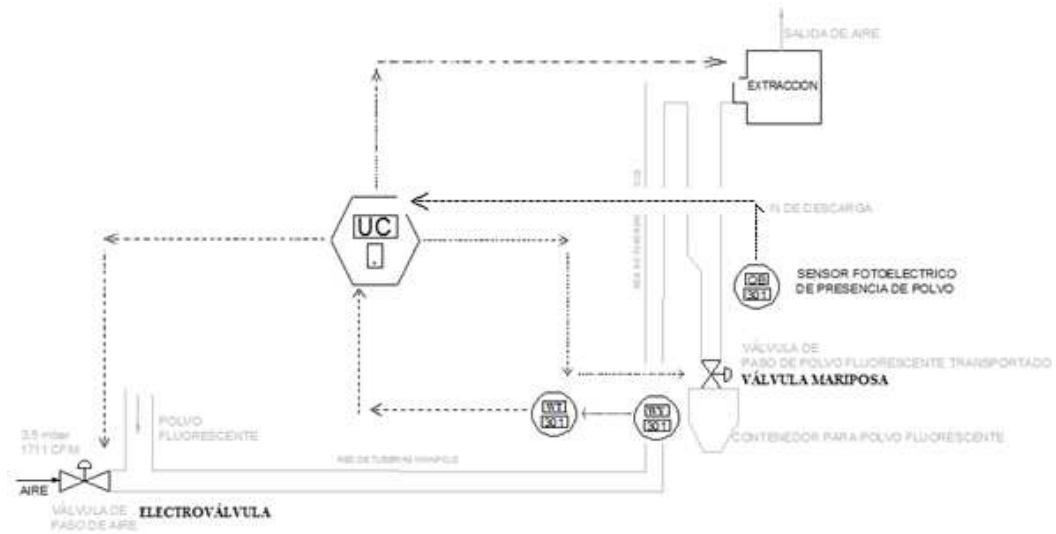


Figura. 4. 23. Diagrama P&ID. Etapa Extracción de Polvo Fluorescente

IDENTIFICAC IÓN	DESCRIPCIÓN
OB301	Sensor de Presencia
WY301	Transductor de Peso
WT301	Transmisor de Peso
UC	Controlador Multifunción
ELECTROVÁL VULA	Paso de aire, activada por solenoide
VÁLVULA MARIPOSA	Paso de polvo, activación eléctrica

Tabla. 4. 13. Instrumentación Etapa Extracción Polvo Fluorescente

#### 4.4. Instrumentación Etapa de Separación Vidrio/Metal

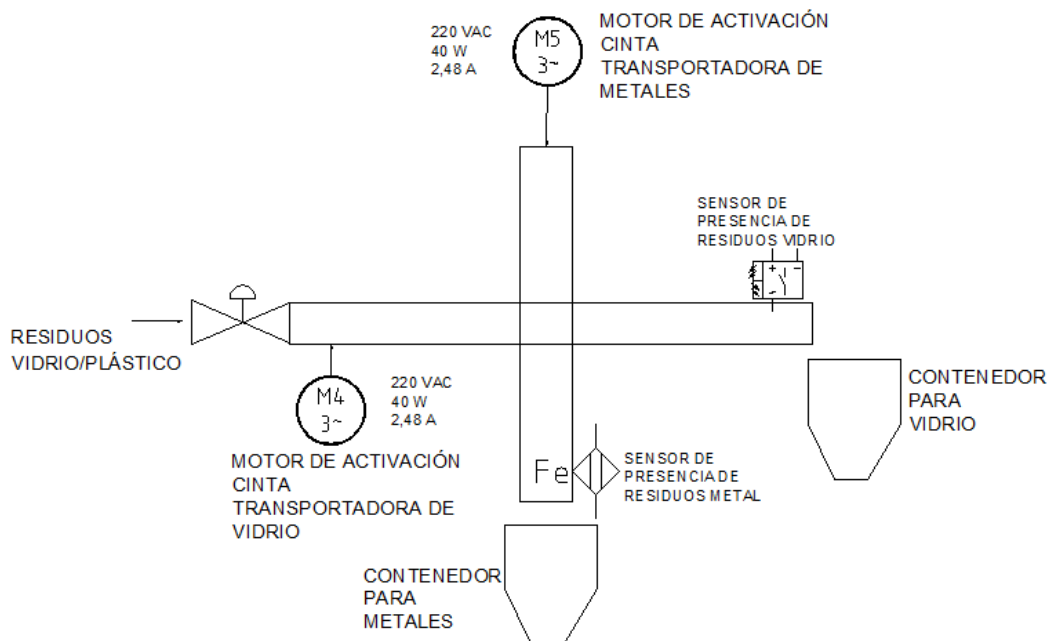
La etapa de Separación Vidrio/Metal es el proceso final del reciclaje de LFC's como se muestra en la Figura. 4. 24.; esta etapa será activada cuando los sensores de presencia ubicados en la Etapa de Separación y Extracción se encuentren desactivados.

La acción de esta etapa corresponde a la activación de:

- La válvula mariposa ubicada a la salida del tamiz de separación.
- Las Bandas Transportadoras para el transporte del metal y del vidrio a sus respectivos depósitos.

En esta etapa se utiliza dos tipos de sensores:

- Sensor Fotoeléctrico
- Sensor Inductivo



**Figura. 4. 24. Etapa de Separación Vidrio/Metal**

El sensor fotoeléctrico requerido será de similares características al sensor utilizado en la Etapa de Trituración.

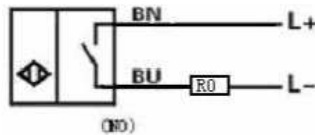
Las características del sensor son:

- Alimentación: 12 - 24 Vdc.

- Temperatura de Trabajo: -25 a 55 °C
- Distancia Nominal de Sensamiento  $S_n$  0.6 a 0.8 m
- Corriente de consumo 35 mA
- Señal de control tipo PNP, según Figura. 4. 6.
- Fuente de luz visible

El sensor inductivo será utiliza para detectar la presencia de metales en la etapa de separación, esta señal permitirá desactivar el movimiento de la banda transportadora de metal cuando ya no haya detección de metal, concluyendo que se ha depositado todos los metales de las lámparas en su respectivo depósito.

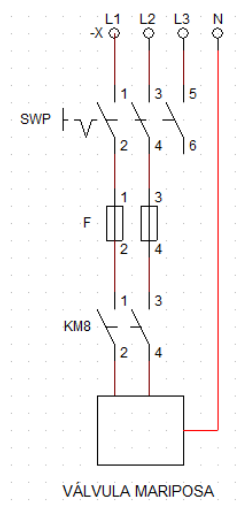
La activación de los sensores inductivos es similar a la activación de un interruptor como se muestra en la Figura. 4. 25.



**Figura. 4. 25. Sensor Inductivo**

**Fuente:** <http://wofory.blogspot.com/2010/04/tipos-de-sensores-y-su-conexion.html>

Las características eléctricas de un sensor inductivo son: tensión de alimentación 10-30 VCC, corriente de salida máxima=100mA. La corriente de salida dependerá de la resistencia  $R_0$  requerida y del estado del sensor. Si el sensor se encuentra activado la corriente de salida se aproximará a 100 mA, mientras si la señal del sensor está desactivada la corriente será inferior a 1 mA.



**Figura. 4. 26. Circuito de Potencia para Válvula Mariposa. Etapa Separación Vidrio/Metal**

La válvula mariposa requerida será similar a la empleada en la Etapa de Extracción, como se muestra en la Figura. 4. 26.

Para la activación de los motores de las respectivas bandas transportadoras se empleará contactores, de acuerdo a las características de los mismos según Tabla. 3. 14.

Las características de los contactores empleados se detallan en la Tabla. 4. 14. El circuito de potencia se muestra en la Figura. 4. 27.

<b>CARACTERÍSTICAS CONTACTOR</b>	
Voltaje nominal de la bobina VAC	110
Voltaje de control nominal VAC	220
Intensidad Nominal A	3  De acuerdo a los motores de las bandas transportadoras

**Tabla. 4. 14. Características de Contactores a usarse en el arranque de los motores de las bandas transportadoras.**

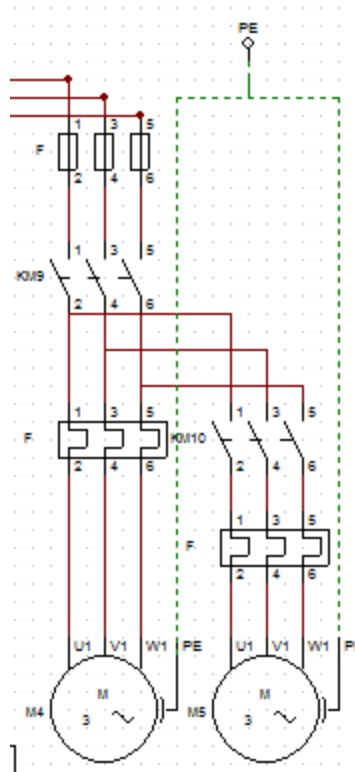


Figura. 4. 27. Circuito de Potencia. Etapa Separación Vidrio/Metal

**4.4.1. Acondicionamiento de Señales. Etapa Separación Vidrio/Metal**

En la Tabla. 4. 15. Se identifica y describe las señales de entrada y salida representadas en el esquema del proceso de separación Vidrio/Metal. En esta etapa el controlador recibirá una señal de entrada discreta correspondiente a los sensores de presencia ubicados en la Etapa de Separación y Extracción, cuando esta señal se desactive se debe abrir la válvula mariposa y poner en marcha a los motores correspondientes a cada banda transportadora. Para la desactivación de esta etapa se debe considerar los estados de los sensores: fotoeléctrico e inductivos localizados al final del tramo de cada banda. Cuando los estados de estos sensores se desactiven, después de haber detectado material; corresponde a que ya no existe material sobre las bandas. Por lo tanto la Etapa de Separación Vidrio/Metal ha concluido su proceso, y por ende el proceso de Reciclaje de LFC's también.

V ariable	Descripción	
<b>Entradas</b>		
S	Interruptor rotativo principal del	Digital



WP	sistema	0 VDC 24 VDC
SP 401	Sensor fotoeléctrico colocado al final de la banda transportadora de vidrio	Digital 0 VDC 24 VDC
SP 402	Sensor inductivo colocado al final de la banda transportadora de metal	Digital 0 VDC 24 VDC
<b>Salidas</b>		
K M8	Relé para activación de válvula tipo mariposa	Tabla. 4. 9.
K M9	Contactador para activación del motor de la banda transportadora de vidrio	Tabla. 4. 14.
K M10	Contactador para activación del motor de la banda transportadora de metal	Tabla. 4. 14.

**Tabla. 4. 15. Descripción E/S Controlador. Etapa de Separación Vidrio/Metal**

En la Figura. 4. 28. se visualiza el diagrama P&ID de la Etapa de Separación de Vidrio/Metal a ser automatizado.

En la Tabla. 4. 16. se identifica y describe las señales representadas en el esquema del proceso según el Diagrama P&ID.

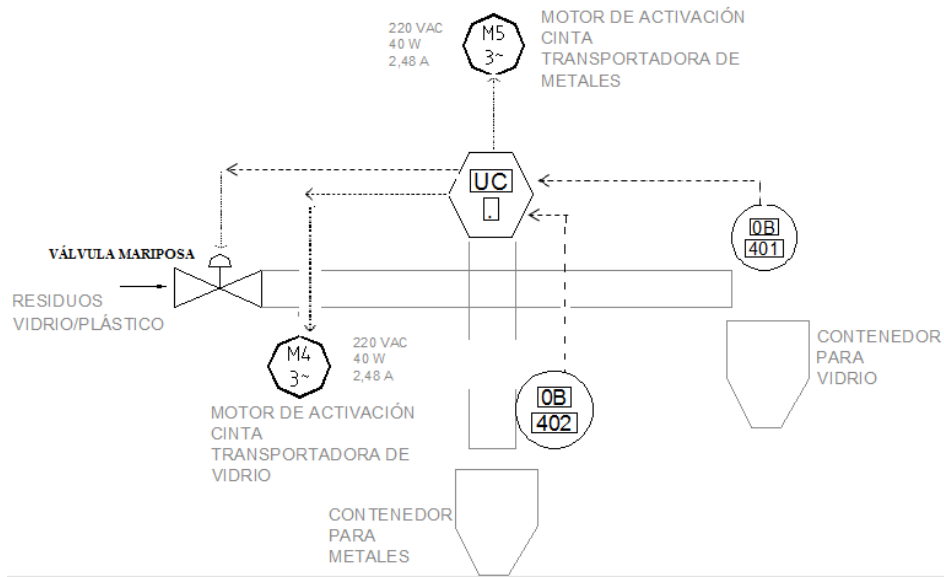


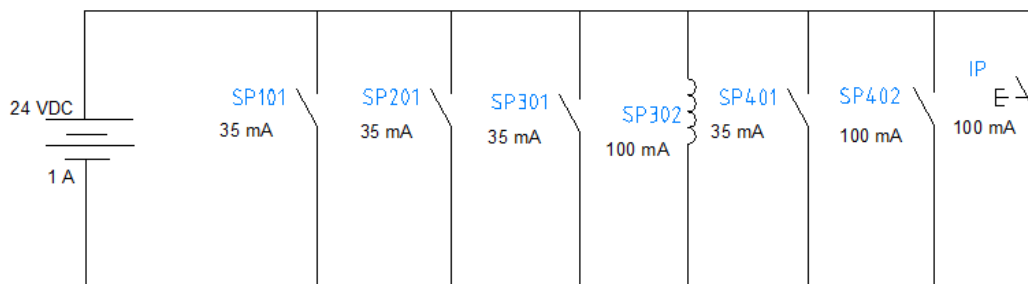
Figura. 4. 28. Diagrama P&ID. Etapa Separación Vidrio/Metal

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
OB401	Sensor de Presencia fotoeléctrico
OB402	Sensor de Presencia inductivo
UC	Controlador Multifunción
VÁLVULA MARIPOSA	Paso de material triturado libre de polvo, activación eléctrica
M4	Motor de activación cinta transportadora de vidrio
M5	Motor de activación cinta transportadora de metales

Tabla. 4. 16. Instrumentación Etapa Separación Vidrio/Metal

Una vez seleccionada la instrumentación necesaria en cada etapa del Reciclaje se debe considerar la fuente de alimentación de 24 VDC para toda la instrumentación, esta fuente debe ser seleccionada como parte integral del PLC, considerando que la mayoría de fabricantes de PLC's incluye dentro del equipo fuentes de 24 VDC cuya finalidad es la alimentación de la instrumentación.

En la Figura. 4. 29. se muestra el diagrama de conexionado de la instrumentación, considerando que el consumo de corriente en plena carga de cada uno de los sensores es de 35 mA. El consumo de corriente global es de 175 mA. Por lo tanto las características eléctricas para la correcta selección de la fuente de alimentación en DC debe ser:  $V_{in}=120VAC$ ,  $V_{out}=24VDC$  Corriente  $\geq 440$  mA.



**Figura. 4. 29. Conexionado de Instrumentación**

#### 4.5. Controlador

El control automático de un proceso permite controlar las activaciones de cada una de las etapas que intervienen en el Sistema de Reciclaje de LFC's.

Dentro de las alternativas de automatización se tienen: automatización con relés, sistemas basados en  $\mu P$  y  $\mu C$ , adquisición de datos basados en PC y mediante controladores lógicos programables. La selección adecuada de una alternativa de automatización siempre se enfocará en los siguientes aspectos: Costos, Confiabilidad, Monitoreo en Tiempo Real, Conexión, Vida útil, etc.

Uno de los aspectos por el cual se selecciona un Controlador Lógico Programable como alternativa de automatización para el control del proceso de Reciclaje de LFC's se fundamenta en la confiabilidad de las activaciones de los datos que se procesan.

Las activaciones de las etapas del proceso de Reciclaje de LFC's son realizadas mediante el uso de Controladores Lógicos Programables (PLC), los cuales permiten de una manera sencilla administrar los procesos existentes y su control. Existen tres opciones disponibles para poder realizar la

programación del autómatas que son a través de: lista de instrucciones, ladder o lenguaje de contacto y lenguaje SFC.

Para la correcta selección del controlador se debe definir entradas y salidas adecuadas dentro de todo el proceso. En la Tabla. 4. 17. Se identifica las variables de entrada y salida que intervienen en todo el Sistema de Reciclaje de LFC's.

Se debe considerar las siguientes características para la selección adecuada del controlador:

- 6 entradas discretas a 24 VDC correspondientes a cada sensor.
- 4 entradas discretas a 24 VDC correspondientes a interruptores de paro/emergencia ubicados en cada etapa del Reciclaje.
- 1 entrada analógica rango de 0 – 10 VDC
- 9 Salidas a Relé a 110 VAC, corriente máxima en cada punto 2 A
- 1 Salida a Relé a 24 VDC, corriente máxima en cada punto 2 A
- Fuente de alimentación de 100 – 240 VAC, potencia máxima 19 W.
- Fuente de voltaje de 24 VDC a 1 A, para alimentación de los sensores
- Módulos de ampliación de entradas analógicas y como reservas se debe prever de módulos de entradas digitales, para futuras ampliaciones.

El controlador seleccionado para la simulación del proceso es el modelo TWDLCAA24DRF de la firma Schneider Electric ya que cumplen las siguientes características:

- 14 Entradas discretas y 10 Salidas a Relé (cumple con el número de I/O requeridas en el Reciclaje de LFC's).
- Su configuración es expandible hasta cuatro módulos de I/O. Para el Reciclaje de LFC's se requiere de al menos un módulo de entrada analógica expandible, para lo cual cumple con lo requerido.
- Este tipo de controlador es diseñado para aplicaciones de sistemas de control pequeños, donde la lógica de control se basa en el tipo ON/OFF; siendo esta la lógica de control empleada en el Reciclaje de LFC's.
- La programación es sencilla y completamente amigable, en método Ladder. La programación se la realiza a través del Software Twido Suite cuyas versiones son totalmente gratuitas, facilitando de esta manera la programación de la lógica de control. Adicionalmente el

software de programación posee la opción de Simulador con lo que facilita la depuración de errores sin la necesidad de descargar el programa al PLC.

<b>RECICLAJE DE LFC'S</b>	
<b>ENTRADAS</b>	<b>SALIDAS</b>
<b>ETAPA DE TRITURACIÓN</b>	
Interruptor Principal 24 VDC 100 mA <b>PLC I0.0</b>	Contactor KM1 110VAC 4,07 A <b>PLC O0.0</b>
Sensor de Presencia 101 24 VDC 35 mA <b>PLC I0.1</b>	Contactor KM2 110VAC 7,04 A <b>PLC O0.1</b>
	Contactor KM3 110VAC 7,04 A <b>PLC O0.2</b>
<b>ETAPA DE SEPARACIÓN</b>	
Sensor de Presencia 201 24 VDC 35 mA <b>PLC I0.2</b>	Relé electromecánico KM4 110VAC 10 A <b>PLC O0.3</b>
<b>ETAPA DE EXTRACCIÓN</b>	
Sensor de Presencia 301	Relé electromecánico KM5

24 VDC 35 mA <b>PLC I0.3</b>	110VAC 10 A <b>PLC O0.4</b>
Sensor de Peso 302 0 – 10 VDC 100 mA	Relé electromecánico KM6 110VAC 10 A <b>PLC O0.5</b>
	Relé electromecánico KM7 24VDC <b>PLC O0.6</b>
<b>ETAPA DE SEPARACIÓN VIDRIO/METAL</b>	
Sensor de Presencia 401 24 VDC 100 mA <b>PLC I0.4</b>	Relé electromecánico KM8 110VAC 10 A <b>PLC O0.7</b>
Sensor de Presencia 402 24 VDC 35 mA <b>PLC I0.5</b>	Contactador KM9 110VAC 10 A <b>PLC O0.8</b>
	Contactador KM10 110VAC 10 A <b>PLC O0.9</b>

**Tabla. 4. 17. Variables de E/S. Sistema de Reciclaje de LFC's**

La asignación de las entradas/salidas del PLC se encuentra descrita en el Anexo 6 y anexo 6.1.

Los planos eléctricos de diseño de la recicladora de LFC's se encuentran esquematizados en el Anexo 7.

Se utilizará interruptores rotativos según Figura. 4. 2. Para la activación manual de la etapa de trituración, la etapa de vibración se activará manualmente en conjunto con la etapa de extracción de polvo y finalmente otro interruptor para la etapa de separación vidrio/metal.

Se implementará un botón de emergencia, el mismo que actuará en cualquier modo (automático o manual) del reciclaje. Si al momento de ocurrir una emergencia y el reciclaje se encuentra en modo automático, la emergencia desactivará este modo con el objetivo de que el reciclaje pueda entrar en modo manual, hasta volver a condiciones iniciales del sistema; y poder activar un modo automático del sistema.

#### **4.5.1. Twido Suite**

Una de las características de selección del Controlador se basa en el software de programación gratuito, por lo tanto la programación se la realizó a través del software Twido Suite V2.31.04 de Schneider Electric, siendo una herramienta muy sencilla y gratuita que permite monitorear el programa en ejecución, simular la programación y fundamentalmente la configuración, programación y depuración de la gama de controladores programables Twido.

Twido Suite es un programa basado en Windows de 32 ó 64 bits para un ordenador personal (PC) que se ejecuta en los sistemas operativos Microsoft Windows 2000, XP Professional y Windows 7; previamente probados. Se puede descargar desde la página del ISEFONLINE, a través de la siguiente dirección: [www.isefonline.com](http://www.isefonline.com). Para la activación del software únicamente se debe registrar el producto de manera gratuita, cuando se abre por primera vez el software. Si no se registra, solo se dispone de un periodo de prueba de 30 días para el funcionamiento del software. Para poder seguir utilizando este software después de que caduque el período de prueba, se debe registrar el producto. La configuración y programación de PLC's Twido se detallan en el Anexo 8.

Una vez definidos los elementos que conforman el Nivel I y Nivel II de la Pirámide de Automatización no se debe dejar a un lado el Análisis de riesgos eléctricos y medidas para prevenirlos, esto se consigue a través de un estudio de Coordinación de Protecciones.

El Estudio de Coordinación de Protecciones es un tema amplio y complejo, sin embargo, en la actualidad existen programas que facilitan todo el cálculo y de una manera rápida conseguir datos

necesarios para evitar riesgos. En el Anexo 9 se detalla de manera generaliza los aspectos básicos para un Estudio de Coordinación de Protecciones.

#### 4.6. Instalación Eléctrica

Toda instalación eléctrica tiene como objetivo primordial garantizar un servicio eléctrico adecuado, alto grado de seguridad a las personas y a los equipos, confiabilidad, flexibilidad y facilidad de operación y mantenimiento en toda la instalación.

Una vez diseñado el sistema de control del Proceso de Reciclaje de LFC's es necesario cumplir con los requisitos mínimos de seguridad para garantizar el buen funcionamiento de la instalación eléctrica.

La planta industrial de Reciclaje de LFC's estará ubicada en la ciudad de Quito a una altura aproximada de 2800 msnm con un área aproximada de 102 m<sup>2</sup>, conformado por las siguientes áreas: trituración, separación, extracción y gabinete eléctrico-electrónico; como se muestra en la Figura 4. 30.

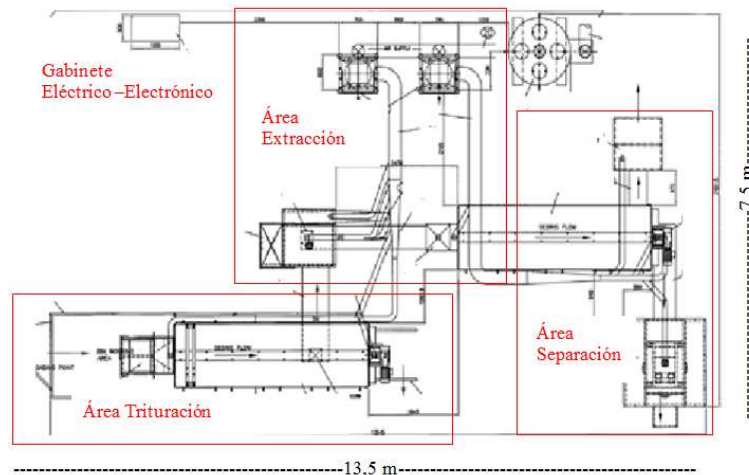


Figura. 4. 30. Distribución de las Áreas del Reciclaje de LFC's

##### 4.6.1.

##### inación del nivel de tensión de alimentación

Determ

El nivel de tensión ofrecido para la distribución de energía dentro de la planta se realizará en 208 V configuración estrella con neutro puesto a tierra, lo que corresponde a 120 V fase neutro, como se muestra en la Figura. 4. 31.



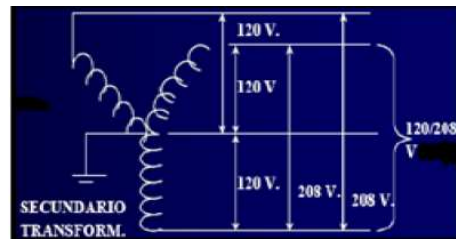


Figura. 4. 31. Transformador. Configuración estrella con neutro puesto a tierra

#### 4.6.2.

Estima

#### ción de la Demanda

##### 4.6.2.1.

#### Iluminación

En plantas industriales es importante conocer el nivel de iluminación correcto para el área de trabajo según la actividad a realizarse con la finalidad de asegurar una operación y mantenimiento eficiente de cualquier planta industrial.

Según el método Lumen se calcula la cantidad y disposición de las luminarias en la planta industrial considerando las siguientes especificaciones:

- Dimensiones del área a iluminarse, Figura. 4. 30. Dimensi
- Tipos de luminaria Tabla. 4. 18. Tipos
- Nivel de Protección de la Luminaria Tabal. 4. 19. Nivel de
- Nivel de Iluminación (lux) del área según la actividad a realizarse. Tabla. 4. 20. Nivel de
- Sistema de Iluminación. Tabla. 4. 21. Sistema
- Índice del Local RL. Tabla. 4. 22. Ecuación. 4. 7. Índice
- Coeficiente de utilización CU, en función del porcentaje de reflexión del techo y paredes, según Tabla. 4. 23. y Anexo 12. Coeficie

- Coeficiente de conservación CC, asociado al tipo de mantenimiento aplicado a las luminarias, según Tabla. 4. 24.
- Cálculo de número de lámparas según Ecuación. 4. 8. y Cálculo de Luminarias según Ecuación. 4. 9.
- Distribución de las luminarias según Figura. 4. 32.

Tipo de Lámpara		Eficiencia Luminosa Lm /Watt	Pro medio de Vida Útil (horas)	Tiempo de Encendido (seg)
Incandescentes	Con Gas	10 - 20	1.000	-
	Vacío	7,5 - 11	1.000	-
Halógenas		18 - 22	2.000	-
Fluorescentes		38 - 91	12.500	2 - 3
Compactas		50 - 82	10.000	1

Tabla. 4. 18. Tipos de Luminarias

1er Número	Descripción	2do Número	Descripción
0	No protegido	0	No protegido contra la humedad

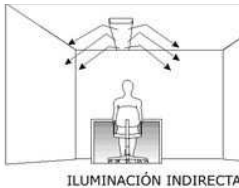
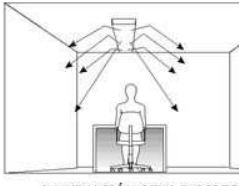
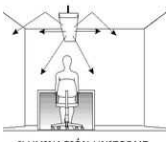
1	Protección contra objetos de diámetro superior a 50 mm	1	Protegido contra gotas de agua y caída vertical
2	Protección contra objetos de diámetro superior a 12 mm bajo tensión	2	Protegido contra goteo inclinado en ángulo hasta 15°
3	Protección contra objetos de diámetro superior a 2,5 mm bajo tensión	3	Protegido contra goteo inclinado en ángulo hasta 15° (lluvia)
4	Protección contra objetos de diámetro superior a 1 mm bajo tensión	4	Protección contra salpicaduras procedentes de cualquier dirección
5	Protegido contra acumulación de polvo y protección completa contra objetos bajo tensión	5	Protegido contra chorros de agua de 125 mm de diámetro y 30 kpa
6	Protección completa contra polvo y objetos bajo tensión	6	Protegido contra chorros de agua de 6,3 mm de diámetro y 30 kpa
		7	Protegido contra estanco de agua e inmersión temporal
		8	Protegido contra estanco de agua e inmersión continua

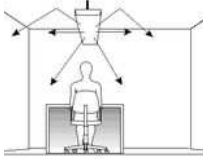
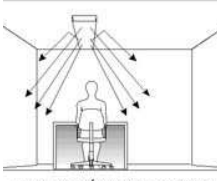

**Tabla. 4. 19. Grado de Protección para luminarias**

<b>Tareas y Clase del Local</b>	<b>Nivel de Iluminación en Servicio (lux)</b>	
<b>Industrial General</b>		<b>Recome</b>

	in	ndado
Trabajos con Requerimientos Visuales Limitados	00	300
Trabajos con Requerimientos Visuales Normales	00	750
Trabajos con Requerimientos Visuales Especiales	000	1500

**Tabla. 4. 20. Nivel de Iluminación para Áreas Industriales**

TIPO	FLUJO LUMINOSO	APLICACIONES
Indirecto	90 – 100%  ILUMINACIÓN INDIRECTA 0 – 100%	Ambientes Especiales: teatros, cines, restaurant, etc.
Semi – indirecto	60 – 90%  ILUMINACIÓN SEMI-INDIRECTA 40 – 10%	Hospitales
Mixto	40 – 50%  ILUMINACIÓN UNIFORME	Bibliotecas, almacenes

	 <p>ILUMINACIÓN UNIFORME</p> <p>50 – 40%</p>	
Semi – Directo	 <p>ILUMINACIÓN SEMI-DIRECTA</p> <p>90 – 60%</p>	Oficinas
Directo	 <p>ILUMINACIÓN DIRECTA</p> <p>100 – 90%</p>	Talleres Fábricas

**Tabla. 4. 21. Sistema de Iluminación**

$$RL = \frac{3 * l * a}{2 * H * (l + a)}$$

**Ecuación. 4. 7. Relación del área de iluminación**

Dónde:

l largo del área a iluminarse

a ancho del área a iluminarse

H altura entre la luminaria y el área de trabajo

<b>RL</b>	<b>Índice del Local</b>
< 0,7	J - 1
0,7 - 0,9	I - 2
1,12 - 1,38	H - 3
1,38 - 1,75	G - 4
1,75 - 2,25	F - 5
2,25 - 2,75	E - 6
2,75 - 3,5	D - 7
3,5 - 4,5	C - 8
> 4,7	B - 9

**Tabla. 4. 22. Índice del Local RL**

<b>TIPO DE REFLEXION</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>LUZ REFLEJADA %</b>
Techo	Pintura Blanca Standard	80
	Pintura Blanca Corrugada	50
	Pintura de tono Claro Corrugado	30
Pared	Pintura Blanca Standard	80
	Pintura de tono Claro Corrugado	30
Piso	Concreto Oscuro	20

	Alfombra	15
--	----------	----

**Tabla. 4. 23. Luz Reflejada para Techos y Paredes**

COEFICIENTE DE CONSERVACION	
Bueno	> 0,7
Medio	0,6 – 0,65
Bajo	< 0,5

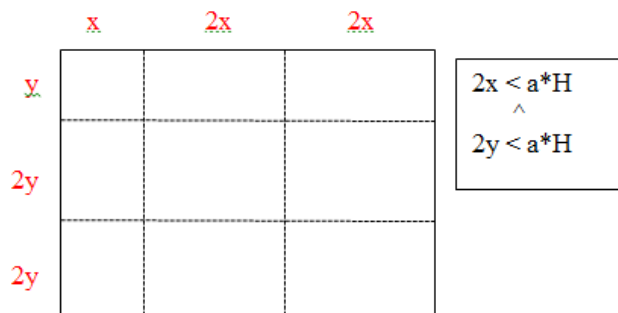
**Tabla. 4. 24. Coeficiente de Conservación de Luminarias**

$$\#lamp = \frac{NiveldeIluminación(lx) * Area}{\frac{lumenes}{lamp} * CU * CC}$$

**Ecuación. 4. 8. Cantidad de Lámparas**

$$\#luminarias = \frac{\#lámparas}{\#lamp / luminaria}$$

**Ecuación. 4. 9. Cálculo de Luminarias**



**Figura. 4. 32. Distribución de luminarias en el área de trabajo**

A continuación se presenta el cálculo de luminarias para el área del proceso de Reciclaje de LFC's.

**Datos:**

Se iluminará el área del reciclaje de LFC's con dimensiones 13,5\*7,5\*5 m; con lámparas fluorescentes de 4 X 17 Watts con un flujo luminoso de 91 lm.W y nivel de protección de 54. Sistema de iluminación Directo. Según Tabla. 4. 20 el nivel de iluminación recomendado es 750 lx. Según Tabla. 4. 23 la luz reflejada se encentra dentro de los siguientes parámetros: 80% techo, 80% pared y 20% piso.

La relación se obtiene según Ecuación. 4. 7 de  $RL = 1,61$  cuyo índice del local es 4. Según el Anexo 12 se obtiene el  $CU = 0,68$ . Según Tabla. 4. 28 el  $CC = 0,63$  con un mantenimiento medio de las luminarias. Reemplazando valores en la Ecuación. 4. 8 y 4. 9 se obtiene:

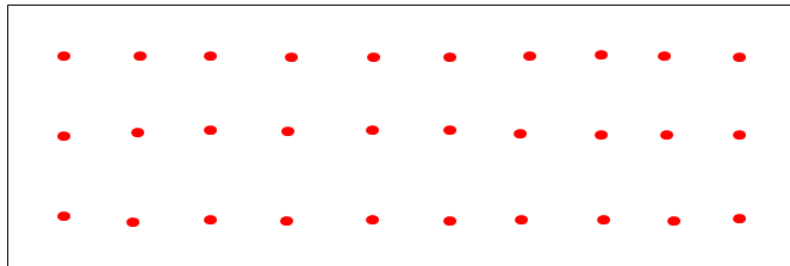
$$\# lamp = \frac{750 * 101,25}{1547 * 0,68 * 0,63}$$

$$\# lamp = 115$$

$$\# luminarias = \frac{115}{4}$$

$$\# luminarias = 30$$

La distribución de la luminaria en el área del reciclaje, se muestra en la Figura. 4. 33.



**Figura. 4. 33. Distribución de Luminaria en el Área de Reciclaje de LFC's**

Según Figura. 4. 32 las dimensiones quedan de la siguiente manera:

$$13,5 m = 20 x$$

$$x = 0,68 m$$

$$7,5 m = 6 y$$



$$y = 1,25 m$$

Una vez definido la cantidad de luminarias se puede realizar el cálculo de demanda, como se muestra en la Tabla. 4. 25. El factor de demanda aplicable a circuitos de iluminación según el Código Eléctrico Nacional CEN es de 0,9.

Zona	N° de Luminarias	Potencia por Lámpara W	Potencia Total W	Potencia Total VA
Reciclaje de LFC's	30	4 x 17	2040	2266,67

Tabla. 4. 25. Estimación de la Demanda del Sistema de Iluminación

#### 4.6.2.2.

#### Sistema

#### de Cargas Esenciales

La demanda de los sistemas de cargas esenciales va directamente relacionada con los procesos o actividades que no pueden interrumpir el servicio, como tomacorrientes de uso especial dedicado para equipos específicos como: fuente de alimentación de 24 VDC y PLC, como se muestra en la Tabla. 4. 26. El cálculo para tomacorrientes para circuitos de cargas especiales se ha considerado no menor a 180 VA por cada tomacorriente según la Sección 210.52 del Código Eléctrico Nacional.

No. Tomacorrientes	Tensión del TC	VA por TC	Potencia Total VA
2	120 V - 1Φ	180	360

Tabla. 4. 26. Estimación de Demanda para Cargas Especiales

#### 4.6.2.3.

#### Sistema

#### de Fuerza

La estimación de la demanda del sistema de fuerza de la planta de Reciclaje de LFC's se detalla en la Tabla. 4. 27.

Área	Equipo	Cant.	Capacidad kW	Capacidad kVA	Capacidad Total kW	Capacidad Total kVA
Trituración	Trituradora	1	2,62	3,08	2,62	3,08
Extracción	Vibrador Electromagnético	1	0,18	0,24	0,18	0,24
	Ventilador Centrífugo	1	0,14	0,18	0,14	0,18
Separación	Bandas Transportadoras	2	0,04	0,053	0,08	0,11
<b>Carga Total Estimada</b>					3,02 kW	3,61 kVA

**Tabla. 4. 27. Carga estimada de los equipos de fuerza a instalarse en el Proceso de Reciclaje de LFC's**

#### 4.6.3. Selección del Calibre de los Alimentadores

Los alimentadores utilizados para las instalaciones son cables de conductor de cobre, trenzado revestido, con aislamiento PVC para ambientes con temperaturas máximas de 60° tipo TW.

La capacidad de corriente de los conductores de fase debe ser menor al 80% de la capacidad nominal, pero si se tiene motores la corriente de diseño para el conductor se considera un 25% de sobrecarga del equipo, como se muestra en la Tabla. 4. 28.

El conductor del neutro se selecciona el mismo escogido para la fase, y el conductor de puesta a tierra debe ser al menos un número menos del conductor activo.

Equipo	Datos del Conductor		Datos del Equipo			Corriente de Diseño A	Calibre AWG Fase
	Tipo	Aislamiento	Tensión	Potencia	Corriente		

	<b>Cu Al</b>		<b>V</b>	<b>kW</b>	<b>Nominal A</b>		
Trituradora	Cu	PVC TW	220 - 3Φ	2,62	11,1	13,88	12
Vibrador Electromagnético	Cu	PVC TW	220 - 3Φ	0,18	1	1,25	22
Ventilador Centrífugo	Cu	PVC TW	220 - 3Φ	0,14	1,74	2,18	20
Bandas Transportadoras	Cu	PVC TW	220 - 3Φ	0,04	2,48	3,1	18

**Tabla. 4. 28. Selección de calibre de los conductores de alimentación**

Una vez seleccionado los conductores, la canalización para los mismos será mediante bandejas porta cables ya que reducen los costos de instalación.

#### **4.6.4. Selección del Sistema de Transformación**

Para dimensionar el transformador conveniente se debe considerar la carga y el factor de demanda de todos los circuitos conectados al alimentador. La suma de todas las cargas: iluminación, tomacorrientes y fuerza en VA; determinan la capacidad del alimentador, el cual se selecciona un valor normalizado por encima de la selección. La carga conectada al alimentador en el proceso de Reciclaje de LFC's es de: 6,24 kVA; según valores nominales de Transformadores tipo Pad Mounted se seleccionará capacidad de 10 kVA a una tensión de 22/0,22 kV.

El cálculo del nivel de corto circuito del lado de baja tensión se calcula según la Ecuación. 4. 10.

$$I_{cc} = \frac{CargainstaladaenVA}{\sqrt{3} * V}$$

**Ecuación. 4. 10. Corriente de Corto circuito lado de baja tensión del transformador**

Reemplazando valores en Ecuación. 4. 10. Se obtiene:

$$I_{cc} = \frac{6240 VA}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_{cc} = 16,33 A$$

Para la correcta selección de equipamiento de protección tomar consideraciones de acuerdo al Anexo 9.

En la Tabla. 4. 29 se describe el equipamiento necesario para las protecciones de los circuitos según Figura. 4. 34

LISTADO DE COMPONENTES				
No. De Circuito	Referencia	Cant.	Precio Unitario	Precio total
1	Fuente de la Red  <b>Transformador trifásico reductor de tensión MT/BT de 10 kVA de potencia, tensión primario 22 kV, tensión de salida de 220 entre fases.</b>  Interruptor automático	1	\$ 12,000.00  Aproximadamente	\$ 12,000.00
2	Motor de la Etapa de Trituración  Interruptor automático	1	\$ 160.00  Aproximadamente	\$ 160.00
3	Vibrador Electromagnético  Interruptor automático:	1	\$ 139.13  Aproximadamente	\$ 139.13
4	Ventilador Centrífugo  Interruptor automático:	1	\$ 139.13  Aproximadamente	\$ 139.13
5	Motor banda transportadora vidrio  Interruptor automático	1	\$ 120.00  Aproximadamente	\$ 120.00
6	Motor banda transportadora metal Interruptor automático	1	\$ 120.00  Aproximadamente	\$ 120.00
7	Toma corrientes  Breaker	1	\$ 120.00  Aproximadamente	\$ 120.00
8	Iluminación	1	\$ 120.00	\$ 120.00

	Breaker		Aproximadamente	
	Cables de Fuerza tipo TW, secciones de acuerdo a las especificaciones para cada circuito	GLB	\$ 1,000.00 Aproximadamente	\$ 1,000.00
<b>Total</b>				\$ 13,918.26

**Tabla. 4. 29. Lista de Componentes para Coordinación de Protecciones**

Finalmente el diseño de potencia y control del Proceso de Reciclaje de LFC's se muestran en los Anexos: 6, 6.1 y 7.

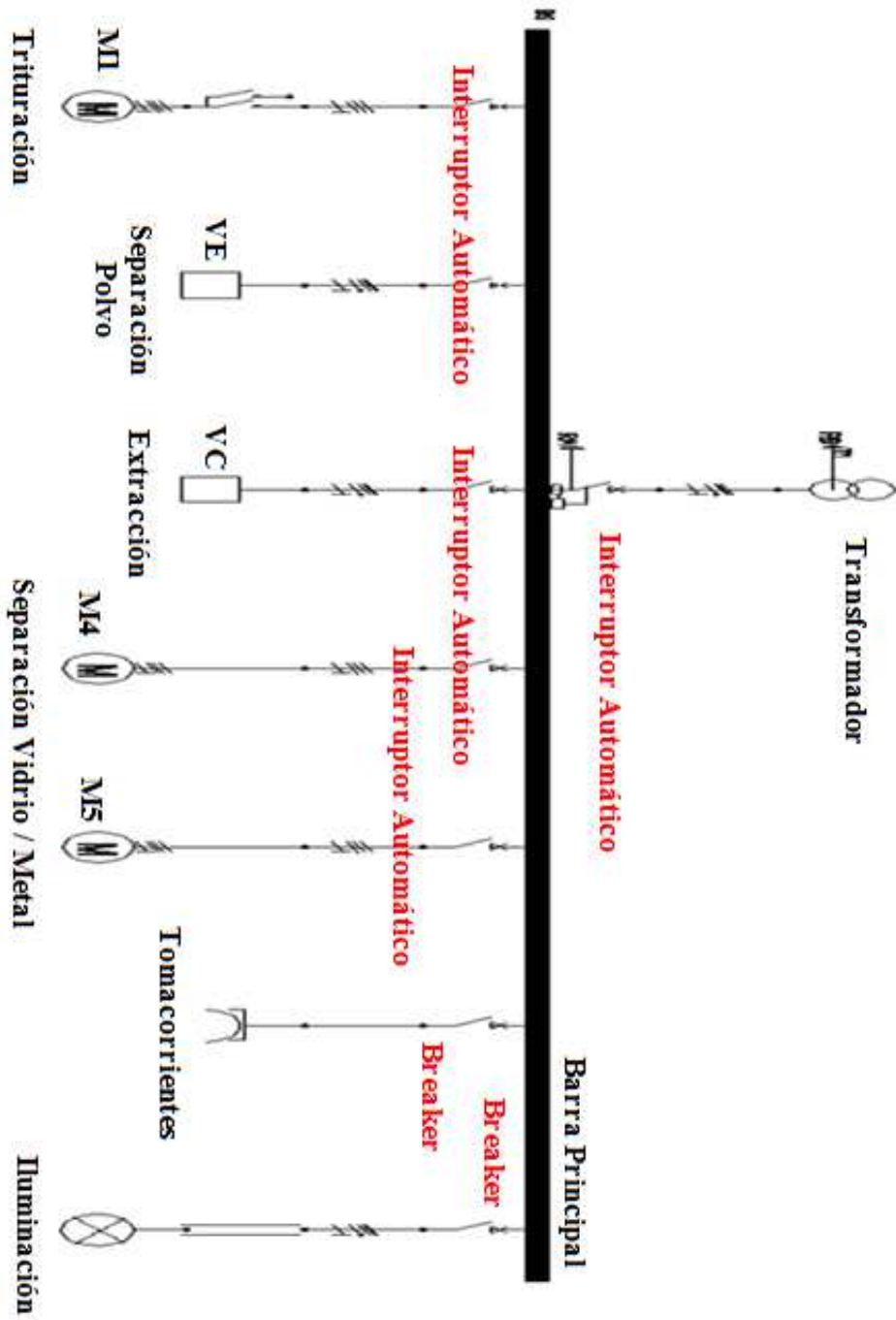


Figura. 4. 34. Diagrama Unifilar Proceso de Reciclaje de LFC's

## CAPÍTULO V

### SIMULACIÓN DEL PROCESO

En el presente capítulo se presenta la simulación del proceso de reciclaje de LFC's con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento del diseño del software del proceso.

La simulación se realiza a través de dos medios:

- Controlador Twido modelo TWDLCAA24DRF de la firma Schneider Electric.
- Interfaz HMI a través de la plataforma Vijeo Citect 7.20 de la firma Schneider Electric.

#### 5.1. Simulación Controlador

El controlador empleado para la simulación es de la gama Twido de Schneider, en donde este tipo de controlador es utilizado para instalaciones sencillas y máquinas pequeñas, es decir, aplicaciones estándar de 10 a 100 E/S (máx. 252 E/S); por lo que el Twido ofrece una flexibilidad y sencillez a la hora de automatizar este tipo de aplicaciones.

El controlador Twido dispone de dos modelos: **Compacto o Modular**.

- **Compacto:** La gama de controladores programables compactos Twido ofrece una solución “todo en uno” con unas dimensiones reducidas, es decir, tienen integradas en el mismo cuerpo las entradas y salidas, este dependerá del modelo, pudiendo elegir: 10 E/S, 14 E/S, 16 E/S, 24 E/S y 40 E/S.
- **Modular:** La gama de controladores programables modulares Twido ofrece una solución mediante bases de ampliación, es decir, pueden ampliarse con cualquier módulo de entradas/salidas, hasta 7 módulos (configuración máxima).

Las ventajas del uso del controlador modular Twido, Figura. 5. 1, son que en la misma base se tienen las entradas y salidas necesarias para el proceso de reciclaje, y el estado de las salidas se puede visualizar en el display, con lo que es sencillo el darse cuenta de que salida se activa con cada

combinación de entradas activadas. Las entradas activadas se simulan a través de entradas forzadas cuando el programa del controlador se encuentra en modo online.

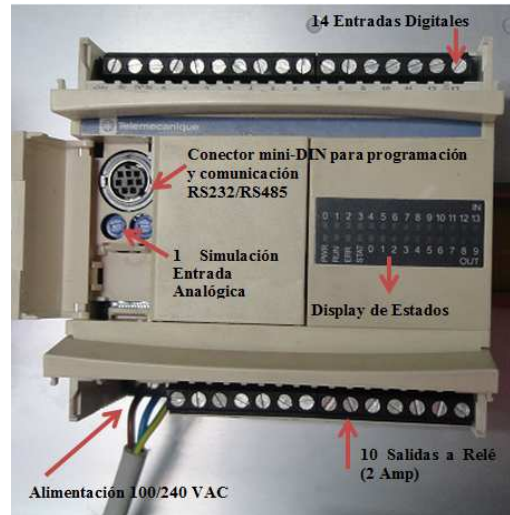


Figura. 5. 1. Controlador Twido

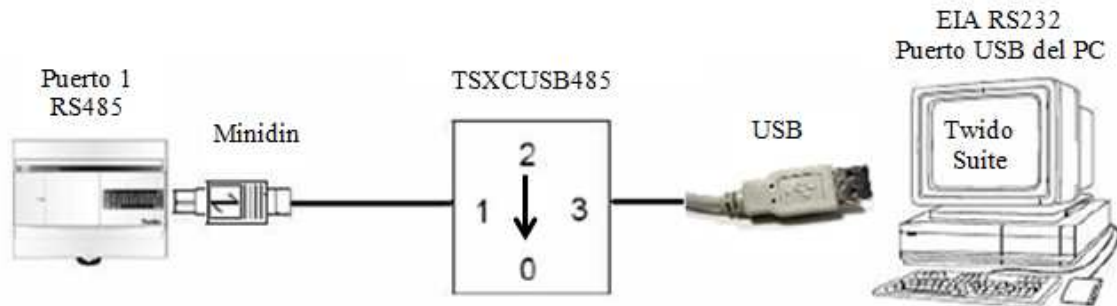
El desarrollo del programa y requisitos, previo a la simulación del proceso, se detallan en la Sección 4.5.1. Capítulo IV de este documento.

Los requisitos para la activación de cada salida de cada proceso se deben considerar de acuerdo al modo de activación del sistema, es decir, modo manual o modo automático.

Para la simulación en cada modo, la activación de entradas se modifica (forzar) en la tabla de animaciones.

Para descargar la aplicación desarrollada del PC al Controlador Twido se realiza mediante un cable de comunicación, conectado al Puerto Mini - Din del controlador y al puerto serie del PC. El cable requerido es TSXCUSB485, la conexión se muestra en la Figura. 5. 2.

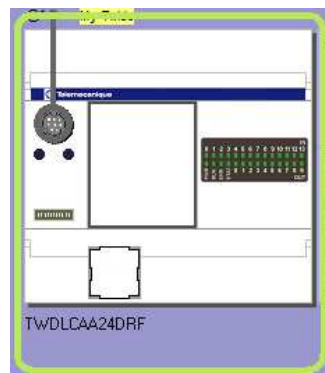




**Figura. 5. 2. Cable de conexión y programación del PLC Twido**

Se debe tomar en consideración que el cable se debe conectar primero al PC y luego al PLC ajustando el conmutador rotativo en la posición 0 para la programación de la aplicación del Twido Suite hacia el controlador.

El programa de simulación del Proceso de Reciclaje de LFC's está compuesto por un PLC de base compacta Twido TWDLCAA24DRF, como se muestra en la Figura. 5. 3.



**Figura. 5. 3. Descripción Inicial del Programa de Simulación**

El programa utiliza 38 líneas de código en lenguaje Ladder, como se muestra en la Figura. 5.4. Los cuales se encargan de realizar activaciones de cada etapa del Reciclaje de LFC's en modo manual o automático. La configuración de datos utilizado en el programa se especifica como: 31 Bits de Memoria (% M), 3 bloques contadores (%C) y 7 Bloques Temporizadores (%TM).

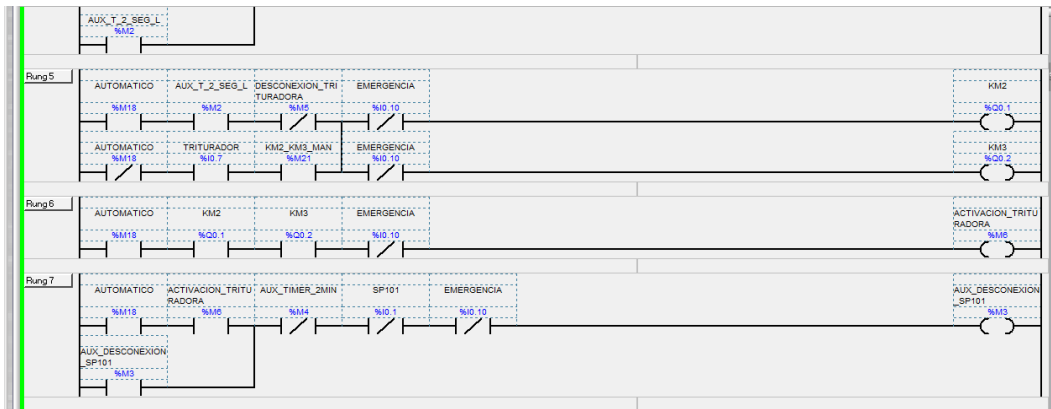


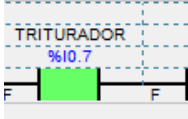

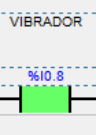



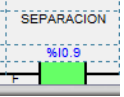

Figura. 5. 4. Lenguaje de Programación Ladder. Reciclaje de LFC’s

Para comprender la lógica de control empleada para el Proceso de Reciclaje de LFC’s nos podemos guiar a través del Diagrama de Flujos según Anexo 10.1, o a través de la matriz de causa efecto según Anexo 10.2

**5.1.1 Pruebas y Resultados. Simulación Controlador**

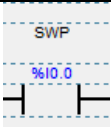
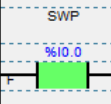
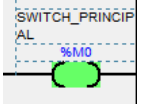
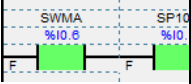
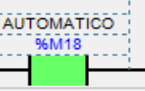
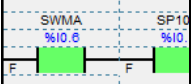

La Simulación del proceso correspondiente a los modos manual y automático se muestra en las Tablas 5.1 y 5. 2. Respectivamente.


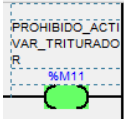

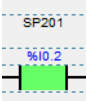
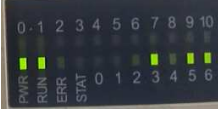
REQUISITOS DE ACTIVACIÓN – MODO MANUAL			
Estado Generado		Estado Obtenido	
WP = 0	<p>S</p>	Proceso de Reciclaje Totalmente Desactivado	
WP = 1	<p>S</p>	Proceso de Reciclaje Activado	
WMA = 0	<p>S</p>	Modo Manual Activado	

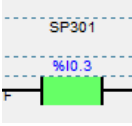

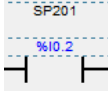

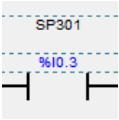

<p>S P101 = 1 A nd T riturad or = 1</p>		<p>Etap a Trituración Activada en Modo Manual. Transición (2 seg.) Estrella Triángulo.</p>	
<p>V ibrado r = 1</p>		<p>Etap a Separación Activada en Modo Manual.</p>	
<p>Una vez activada la etapa de Vibración en Modo Manual, la etapa de Extracción se debe activar automáticamente debido a que el polvo ya se encuentra suelto y debe ser almacenado inmediatamente para evitar emanaciones del mercurio. Se activa la etapa de extracción al momento que el sensor de presencia ubicado a la salida de la tolva de vibración se activa. La activación de estas etapas es considerada semi - automática.</p>			
<p>S P201 = 1</p>		<p>Etap a Extracción Activada en Modo Manual</p>	
<p>S eparac ión = 1</p>		<p>Etap a Separación Vidrio/Met al Activada en Modo</p>	

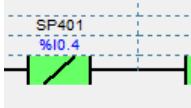

		Manual	
--	--	--------	--

**Tabla. 5. 1. Requisitos de Activación del Proceso en Modo Manual**

REQUISITOS DE ACTIVACIÓN – MODO AUTOMATICO			
Estado Generado		Estado Obtenido	
WP = 0	<p>S</p> 	Proceso de Reciclaje Totalmente Desactivado	
WP = 1	<p>S</p> 	Proceso de Reciclaje Activado	
WMA = 1 and SP101 = 1	<p>S</p> 	Modo Automático Activado	
<p><b>Nota:</b> El modo automático se activará siempre y cuando el sensor de presencia ubicado a la entrada del proceso de reciclaje SP101 se ha activado, en este momento el reciclaje de lámparas no se detendrá hasta terminar su proceso, a menos que se haya presionado el boton EMERGENCIA, en donde el todo sistema de reciclaje queda inactivo.</p>			
WMA = 1	<p>S</p> 	Etap a Trituración Activada	

<p>nd S P101 = 1</p>		<p>en Modo Automátic o. Transición (2 seg.) Estrella Triángulo.</p>	
<p>Cuando el sensor SP101 se desactiva, la etapa de trituración tomará 2 min. para desactivar a la trituradora. Tiempo en el cual el sensor SP101 podrá volver activarse y el tiempo se reiniciará dejando a la trituradora activada. Hasta nuevo cambio de estado del sensor SP101.</p>			
<p>S P101 = 0 A nd T imer de 2 min conclu ido</p>		<p>Etap a Separación Activada en Modo Automática</p>	
<p>S P201 = 1</p>		<p>Etap a Extracción Activada en Modo Automátic o</p>	
<p><b>Nota:</b> En este momento solo se activa la electroválvula para el aire y el ventilador centrífugo, la válvula de paso del polvo al contenedor aun no se activa hasta que el sensor ubicado en el ciclón de descarga se active.</p>			

<p>S P301 = 1</p>		<p>Etap a Extracción Activada en Modo Automátic o</p>	
<p><b>Nota:</b> Cuando el sensor SP201 se desactiva, tomará 2 min hasta que el vibrador se desactive. Si durante los 2 min el sensor SP201 vuelve a ser activada, el vibrador no se desactivará.</p>			
<p>S P201 = 0  A nd  T ime de 2 min conclu ido</p>		<p>Vibr ador desactivad o</p>	
<p><b>Nota:</b> Cuando el sensor SP301 se desactiva, tomará 2 min hasta que el sistema de aire (electroválvula, ventilador, válvula de paso de polvo) se desactive. Si durante los 2 min el sensor SP301 vuelve a ser activada, el sistema de aire no se desactivará. Al desactivarse el sistema de aire, inmediatamente se activará las bandas transportadoras y válvula de paso de material de triturado hacia la etapa final del reciclaje que consiste en la separacion vidrio metal</p>			
<p>S P301 = 0  A nd  T ime de</p>		<p>Des activación Etapa Extracción.  Acti vación Etapa</p>	

<p>2 min conclu ido</p>		<p>Separación Vidrio/Met al</p>	
<p>S P401 = 0 A nd S P402 = 0 A nd T imer de 2 min conclu ido</p>		<p>Etap a Separación Vidrio/Met al desactivada  Proc eso de reciclaje finalizado.</p>	

**Tabla. 5. 2. Requisitos de Activación del Proceso en Modo Automático**

En cualquier momento del Reciclaje de LFC's puede ser activado el botón EMERGENCIA, el mismo que actúa desactivando totalmente al proceso. Para reanudar la activación únicamente el operario calificado podrá hacerlo. Este estado puede ser visualizado en la interfaz HMI, que se describe en la Sección 5. 2. correspondiente a este capítulo.

Existen una condición importante, que a través del Sensor de Peso ubicado en la tolva de almacenamiento de polvo, se puede detectar la cantidad de polvo ya almacenado. Por propósitos de seguridad, cuando el 80% de polvo almacenado se detecte, no se podrá activar etapas en modo manual; si el sistema está modo automático, el proceso de reciclaje finalizará y a partir de este instante se bloqueará la activación del Reciclaje hasta que un operario calificado descargue el polvo almacenado y desde la HMI active nuevamente el sistema.

Con los resultados obtenidos, se verificó que la lógica diseñada para el proceso de Reciclaje de LFC's, están acorde a lo esperado cumpliendo las condiciones necesarias del proceso, quedando pendiente únicamente la implementación, que puede ser objeto de un estudio alternativo.

## 5.2. Simulación Interfaz HMI

La simulación gráfica del proceso de Reciclaje de LFC's se desarrolla a través del HMI/SCADA (Human Machine Interface / Supervisory Control and Data Acquisition) de Vijeo Citect 7.20 de la firma Schneider, ideal para la supervisión y el control de cualquier aplicación industrial.

Vijeo Citect es considerado un software de alto nivel, complejidad media, arquitectura flexible y escalable que a medida que se cambie o aumente la instrumentación o procesos no presenta inconvenientes.

La elección de este software se fundamenta en la compatibilidad del PLC, ya que los dos pertenecen al mismo fabricante, Schneider Electric, facilitando la comunicación de la interfaz del proceso sin la necesidad de equipos intermedios como el OPC (OLE for Process Control), estándar que se utiliza para leer/escribir cualquier variable de PLC's de diferentes fabricantes.

Este software funciona sobre cualquier plataforma, la simulación fue implementada sobre Windows 7 sin inconvenientes.

La desventaja de este software es que necesita una llave de hardware USB y la correspondiente licencia para activar el modo runtime a tiempo completo, de lo contrario el software funciona en modo demo, como se muestra en la Figura. 5. 5.



**Figura. 5. 5. Error de Activación modo Runtime Completo. Vijeo Citect**

Para adquirir una licencia se debe conocer el número de tags que se requiere supervisar y controlar dentro de la aplicación. Sin embargo, para la simulación del Proceso de Reciclaje de LFC's no se



requiere de la licencia, ya que no se tiene acceso a los tags del PLC Twido para la simulación, debido a la falta de recursos y el alcance del proyecto no es la implementación del proceso como tal.

### 5.2.1 Entorno de Configuración de Vijeo Citect

El entorno de configuración de Vijeo Citect está formado por tres programas independientes, siendo: Explorador de Citect, Editor de Proyectos de Citect y Editor Gráfico de Citect; como se muestra en la Figura. 5. 6.



**Figura. 5. 6. Entorno de Configuración de Vijeo Citect**

En la Tabla. 5. 3. se detalla las funciones de cada programa de Vijeo Citect.

ENTORNO DE CONFIGURACIÓN DE VIJEO CITECT	
PROGRAMA	FUNCIÓN
Explorador de Citect	Crear, eliminar, hacer copias de seguridad y restaurar proyectos de Vijeo Citect
Editor de Proyectos de Citect	Crear y Editar Base de Datos de Vijeo Citect.  Configuración de dispositivos de

	E/S ó PLC, tags, clusters, alarmas, tendencias, reportes, comunicaciones, direcciones de red, etc.
Editor Gráfico de Citect	Crear y/o editar pantallas de la HMI usando símbolos y elementos gráficos.

**Tabla. 5. 3. Descripción del Entorno de Configuración de Vijeo Citect**

Las pantallas gráficas son principales para la simulación del Proceso de Reciclaje de LFC's, este diseño se basa en la interacción del operario y el PC en un sistema SCADA mediante el cual se pueda tener adquisición y supervisión de datos relevantes en el Proceso de Reciclaje de LFC's.

En la Figura. 5. 7. se muestra la pantalla de inicio para la simulación del Reciclaje de LFC's, a la cual cualquier operador puede acceder.



**Figura. 5. 7. Pantalla de Inicio. Simulación de Reciclaje de LFC's**

En la pantalla de la Figura. 5. 7. se tienen 4 accesos: Simulación, Monitoreo, Informes y Emergencia. La funcionalidad de estos accesos se detalla en la Tabla. 5. 4.

FUNCIONES DE ACCESOS A LA SIMULACIÓN	
ACC	FUNCIÓN

ESO	
Simulación	En esta pantalla se activan las siguientes funciones: Estado del Sistema, Modo del Sistema, Emergencias y en Caso de estar en Modo Manual, la activación de cada una de las Etapas de Reciclaje. Figura. 5. 8.
Monitoreo	Esta pantalla es solo de visualización de los estados de entradas y salidas del proceso, como son, activación de sensores y actuadores. Además se visualiza el histórico de almacenamiento de polvo. En esta pantalla se incluye el botón de vaciar contenedor siempre y cuando el contenedor se haya vaciado físicamente, por lo que este botón tiene acceso restringido. Figura. 5. 9.
Informes	Pantalla de Visualización de Reportes con fecha y hora cuando el contenedor de polvo se ha vaciado. Figura. 5. 12.
Emergencia	Pantalla de Visualización de Reportes con fecha y hora cuando el sistema estuvo en Emergencia en los modos Manual y Automático. Figura. 5. 13.

**Tabla. 5. 4. Funcionalidad de Accesos a la Simulación del Reciclaje de LFC's**



**Figura. 5. 8. Pantalla Simulación**

Según la Figura. 5. 8. Cuando el sistema se encuentre desactivado, no se tiene acceso a la activación del Modo del Sistema, Etapas del Reciclaje y Emergencia. Para la activación del sistema se tiene acceso restringido, solo personal autorizado podrá activar el sistema a través de usuario y contraseña.

En la parte derecha – inferior de la Figura. 5. 8. Se tiene una prototipo del Sistema de Reciclaje de LFC's.

Una vez que el usuario ha tenido acceso al botón ON (Figura. 5. 8.). Se activarán los botones correspondientes a: Modo del Sistema; por default el botón **Manual** se activará. El proceso de reciclaje empezará a funcionar en cualquier modo siempre que se ingrese la cantidad de lámparas a procesar presionando el botón **Ingresar Valor** (Figura. 5. 8.). El sistema está limitado a procesar hasta 1000 lámparas. Si se ingresa una cantidad mayor a 1000, el sistema no admite y mantendrá la cantidad de lámparas en cero, por lo tanto no se podrá iniciar el reciclaje de las lámparas.

Si se selecciona modo **Manual**, esta opción permite ir activando cada una de las etapas, por ejemplo, si se ingresa una cantidad establecida de lámparas a procesar el único botón que se activará será el ON de la etapa de trituración, no se podrá activar las etapas de extracción y separación vidrio/metal hasta que la etapa de trituración finalice. Al finalizar la etapa de trituración, se podrá activar la etapa de Separación Polvo, la Etapa de Extracción se activará automáticamente una vez finalizada la Etapa Separación Polvo. Finalmente concluida estas etapas se podrá activar la etapa final del reciclaje, Separación Vidrio/Metal, finalizada esta etapa se concluirá con el reciclaje de las lámparas.

El operario del sistema debe considerar que no podrá activar las etapas en cualquier orden, siempre será consecutivamente, tampoco el sistema permite activar más de una etapa; esto se considera por sistemas de seguridad, por el material en proceso que es tóxico.

Si el operario selecciona un Modo Automático, siempre y cuando ninguna etapa se encuentre en funcionamiento a través del Modo Manual, basta con seleccionar la cantidad de lámparas a procesar, respetando cantidades admisibles, para que el Modo Automático entre en funcionamiento.

La única forma de detener cualquier etapa del reciclaje, es a través del Botón Emergencia, en caso de avería de cualquier etapa del reciclaje.

El funcionamiento del reciclaje se puede monitorear gráficamente, como se muestra en la Figura. 5. 9. En esta pantalla el operario puede visualizar las cantidades almacenadas de: polvo, metales y vidrio; señales tomadas a través de los sensores de carga ubicados en el respectivo contenedor de cada residuo. Adicionalmente en esta pantalla se podrá visualizar el estado y modo de funcionamiento del sistema.

En la Pantalla Monitoreo, el operador puede visualizar gráficamente como actúa cada una de las etapas que intervienen en el proceso de reciclaje, es decir, si está en funcionamiento cualquier elemento actuador se visualizará de color verde, si no está en funcionamiento se mantendrá de color gris, como se muestra en la Figura. 5. 10.

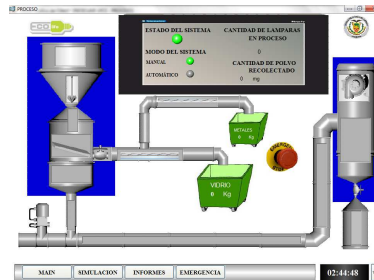
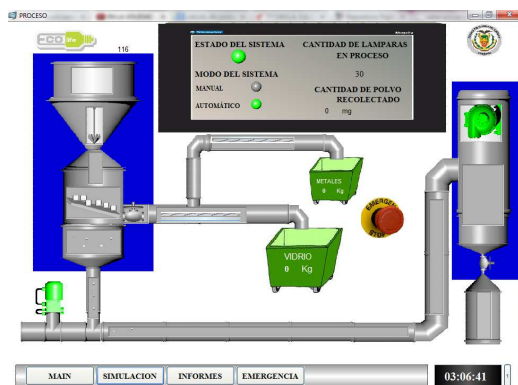
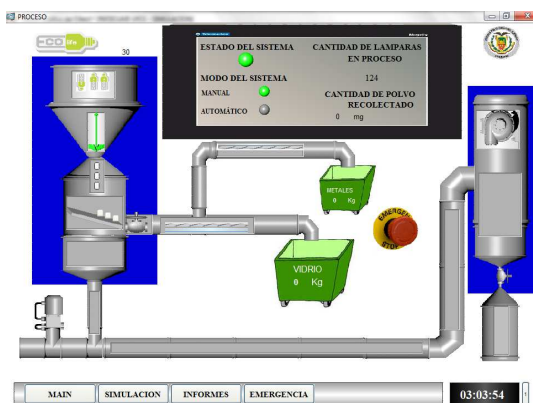


Figura. 5. 9. Pantalla Monitoreo



**Figura. 5. 10. Funcionamiento Etapas de Reciclaje**

Cuando el contenedor del polvo se encuentre lleno, en la Pantalla Monitoreo se mostrará la alerta, como se muestra en la Figura. 5. 11. El Botón Vaciar se activa para que el operario calificado pueda vaciar el contenedor gráficamente, siempre y cuando el contenedor haya sido vaciado físicamente. Para esta operación de vaciado se ha activado un usuario y contraseña como se muestra en la Figura. 5. 12.

**Figura. 5. 11. Alerta de Contenedor de Polvo Lleno****Figura. 5. 12. Autenticación de Usuarios para operaciones Restringidas**

La información necesaria que se debería mantener un registro es de: Fecha y Hora de Vaciado del contenedor de polvo y los estados de emergencia generados en cualquier modo ya sea manual o automático, esto se visualiza en las Figuras 5. 14 y 5. 15. Respectivamente. Adicionalmente esta información es almacenada en un archivo editable tipo Wordpad.

Si el operador presiona el botón **Emergencia**, se mostrará la siguiente pantalla (Figura. 5. 13.), todo el proceso de reciclaje se detendrá hasta que la emergencia generada se solucione; el operador podrá quitar la Emergencia a través de un usuario y contraseña, presionando el botón **Desactivar Emergencia**.

Una vez desactivado el estado emergente, las pantallas de visualización del proceso se resetean, es decir, si el proceso de reciclaje se encontraba en la Etapa de Extracción, los operadores físicamente deben liberar esta etapa y realizar los mantenimientos respectivos.

Las pantallas de Simulación y Monitoreo se encuentran listas para dar inicio a un nuevo proceso de Reciclaje.



Figura. 5. 13. Pantalla Emergente del Proceso de Reciclaje



Figura. 5. 14. Pantalla Informes



**Figura. 5. 15. Pantalla Emergencia**

Finalmente se debe realizar un análisis básico de costos de inversión económica frente a los beneficios que conlleva implementar este tipo de Procesos en el Ecuador. Esta información se detalla en el Capítulo VI.



## CAPÍTULO VI

### FACTIBILIDAD ECONÓMICA

En el presente capítulo se detalla uno de los puntos más importantes de estudio, el cual consiste en indicar los costos aproximados de implementación y operación de un sistema de Reciclaje de LFC's frente a los beneficios que implica dicha implementación en Ecuador.

#### 6.1. Análisis de Inversión

El análisis económico de inversión se fundamenta en dos tipos de costos: inversión y operativos.

##### 6.1.1 Costos de inversión

El total de la inversión inicial económica, se deben considerar todos los factores que implican la implementación, siendo: equipo mecánico, equipo eléctrico - electrónico y mano de obra. Estos valores se muestran en la Tabla. 6. 1.

- **Equipo Mecánico:** La empresa Balcan, del Reino Unido, fabricante de equipos mecánicos para reciclaje desde 1980, proveerá los siguientes equipos: trituradoras, vibradores, bandas transportadoras, ventilador centrífugo, cabinas herméticas, tuberías, etc. En sí todo el equipo mecánico para el reciclaje. Todo este equipo es de importación por lo que tardaría de 5 a 6 meses de entrega de los equipos.
- **Equipo Eléctrico – Electrónico:** Se considera precios aproximados para la instrumentación necesaria que comprenden este proyecto. La instrumentación a considerarse se detalla en la Tabla. 6. 1.
- **Mano de obra:** La Mano de Obra se considera tanto para la implementación mecánica como la eléctrica-electrónica. La mano de obra que prevalecen deben ser Ingenieros Electrónicos e Ingenieros Mecánicos, para efectos de implementación se remunerará la cantidad de USD 21,000. En este valor se considera a los técnicos de la maquinaria de Reciclaje para el comisionado y puesta en marcha de todo el equipamiento mecánico que interviene en el proceso de reciclaje.

- **Plan Piloto Regionalizado:** Actualmente en el Ecuador no existe un proceso de recolección y reciclaje adecuado de las luminarias de bajo consumo, sin embargo, este proyecto de investigación abarca la implementación de estos tipos de Sistemas. Considerándose a este proyecto como Macro, para el cual los Municipios son parte esencial actuando como centros de apoyo y confinamiento de las lámparas antes de ser llevadas al proceso de reciclaje. El plan piloto regionalizado consiste en adquirir tres trituradoras manuales a fin de ser operadas en tres ciudades, que por su ubicación geográfica permitan centralizar la recolección de las lámparas, siendo estas ciudades: Quito, Guayaquil y Cuenca. El plan piloto consiste en la recolección y trituración de lámparas de las diferentes ciudades pilotos, considerando que la factibilidad de transporte de las lámparas hacia la Recicladora es más seguro cuando estas están trituradas que enteras, evitando que se rompa durante el transporte.
- **Infraestructura:** El Proceso de Reciclaje de LFC's operará en la ciudad de Quito, por lo que la infraestructura debe estar acorde a la capacidad física y operativa del Sistema. Aproximadamente el área que ocuparía el sistema de reciclaje es 102 m<sup>2</sup>. Según el artículo "<http://revistapropiedades.com.uy/jupgrade/index.php/noticias/42-2008-07-24-21-50-57/941-el-costo-de-construccion-es-un-16-mayor-en-un-ano>" el metro cuadrado de construcción cuesta aproximadamente USD 15,00; por lo que la inversión en construcción sería aproximadamente USD 1,530. A este valor se debe adicionar el costo promedio del terreno y costos de acabados de la construcción, considerando un valor aproximado de USD 80,000.

### 6.1.2 Costos Operativos

Los costos operativos nos permitirán establecer costos anuales para el funcionamiento del Sistema de Reciclaje de LFC's, siendo estos: publicidad, mantenimiento preventivo y mano de obra, como se muestra en la Tabla. 6.2.

GASTOS DE INVERSION (aproximados en dólares \$)			
Descripción	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
Equipo Mecánico	GLB	\$ 300,000.00	\$ 300,000.00
		Aproximadamente	

Equipo electrónico	Sensores Fotoeléctricos de la marca Schneider Electric	3	\$ 40.00 Aproximadamente	\$ 120.00
	Sensor Inductivo de la marca Omron	1	\$ 20.00 Aproximadamente	\$ 20.00
	Válvulas Tipo Mariposa accionamiento eléctrico	2	\$ 100.00 Aproximadamente	\$ 200.00
	Electroválvula 2/2 activada por solenoide y retorno a resorte	1	\$ 100.00 Aproximadamente	\$ 100.00
	Switch Selector de 2 posiciones	5	\$ 20.00 Aproximadamente	\$ 100.00
	Luz Piloto de Emergencia	4	\$ 15.00 Aproximadamente	\$ 60.00
	Controlador Twido + Cable de programación	GLB	\$ 1,200.00 Aproximadamente	\$ 1,200.00
	Cables de Control para conexionado	GLB	\$ 100.00 Aproximadamente	\$ 100.00
	Tablero de Control	1	\$ 1000.00 Aproximadamente	\$ 1000.00
	Instalación Eléctrica	1	\$ 12,919.00 Aproximadamente	\$ 12,919.00
Cables de Fuerza	GLB	\$ 1,000.00 Aproximadamente	\$ 1,000.00	
Mano de Obra	Diseño Mecánico y Electrónico	GLB	\$ 21,000.00	\$ 21,000.00

			Aproximadamente	
Plan Piloto regionalizado	Trituradoras manuales por Región	un	\$ 15,000.00 Aproximadamente	\$ 45,000.00
Infraestructura		GLB	\$ 80,000.00 Aproximadamente	\$ 80,000.00
<b>Total</b>				\$ 462,819.00

**Tabla. 6. 1. Inversión inicial aproximada para la Implementación del Reciclaje de LFC's**

<b>GASTOS OPERATIVOS (aproximados en dólares \$)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unidad</b>	<b>Costo Total</b>
Mantenimiento Preventivo Anual	GLB	\$ 1,500.00 Aproximadamente	\$ 1,500.00
Publicidad e Inducción Anual	GLB	\$ 100,000.00 Aproximadamente	\$ 100,000.00
Mano de Obra	GLB	\$ 24,000.00 Aproximadamente	\$ 24,000.00
<b>Total</b>			\$ 125,500.00

**Tabla. 6. 2. Costos de operación anual del Sistema de Reciclaje**

- **Mantenimiento:** Se debe realizar tareas de mantenimiento preventivas, como reparaciones y búsqueda de fallos, este mantenimiento puede ser semanal y/o mensual dependiendo del volumen de producción de lámparas y consiste en limpieza e inspecciones visuales de todo el equipo mecánico. El mantenimiento del tablero de control puede ser por separado del mantenimiento mecánico, exclusivamente cuando sea necesario. En sí, el mantenimiento es

reducido al máximo con la finalidad de la operación continua del proceso de Reciclaje de LFC's.

- **Publicidad e Inducción Anual:** A fin de culturizar a la población ecuatoriana sobre el correcto tratamiento de las lámparas, la publicidad debe ser profundizada a través de los gobiernos seccionales con el objeto de promover la cultura de reciclaje en la población ecuatoriana.
- **Mano de obra:** Esta mano de obra corresponde a los operarios que manejan y controlaron el buen funcionamiento del Sistema en su conjunto, como pueden ser: ingenieros mecánicas, eléctricos y electrónicos. El promedio mensual salarial de un ingeniero bordea aproximadamente USD 1,000. Se considera al menos que en el Proceso de Reciclaje la presencia de dos ingenieros: electrónico y mecánico, ya que el manejo del proceso en general no es complejo. Por lo tanto el gasto anual en mano de obra aproximadamente es USD 24,000.

En la Tabla 6. 3. se detalla el flujo de egresos de la siguiente manera:

- **Mantenimiento.-** Para el año 3 se considera 7% de incremento, para el año 6 se considera un incremento del 8% y para el año 9 se considera 10% de incremento.  
El incremento en el mantenimiento es considerado debido al desgaste de la maquinaria.
- **Publicidad.-** Para el desempeño de la Planta Recicladora, el factor importante que se debe considerar es al publicidad, como tal los primeros cinco años son esenciales con la finalidad de concientizar a la población ecuatoriano, la inversión de la publicidad se mantiene los primeros cinco años, a partir de lo cual se puede disminuir la inversión en un 5%.
- **Mano de obra.-** Los incrementos salariales de la mano de obra se considera un incremento del 7% cada tres años.

EGRESOS / AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MANTENIMIENTO	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 1.612,90	\$ 1.612,90	\$ 1.612,90	\$ 1.753,16	\$ 1.753,16	\$ 1.753,16	\$ 1.947,95	\$ 1.500,00
PUBLICIDAD	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00	\$ 95.000,00	\$ 90.250,00	\$ 85.737,50	\$ 81.450,63	\$ 77.378,09
MANO DE OBRA	\$ 24.000,00	\$ 24.000,00	\$ 25.806,45	\$ 25.806,45	\$ 25.806,45	\$ 27.748,87	\$ 27.748,87	\$ 27.748,87	\$ 29.837,50	\$ 29.837,50
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 125.500,00</b>	<b>\$ 125.500,00</b>	<b>\$ 127.419,35</b>	<b>\$ 127.419,35</b>	<b>\$ 127.419,35</b>	<b>\$ 124.502,03</b>	<b>\$ 119.752,03</b>	<b>\$ 115.239,53</b>	<b>\$ 113.236,07</b>	<b>\$ 108.715,59</b>

**Tabla. 6. 3. Flujo de Egresos para 10 años de Operación**

## 6.2. Análisis de Ingresos

Los ingresos previstos de la operación de un Sistema de LFC's se enfoca en la venta del material que se obtienen del reciclaje como: vidrio, metales ferrosos y no ferrosos y polvo con mercurio; este último es una materia prima crítica ya que se debe vender a recicladoras en las cuales manejan operaciones de destilación de mercurio.

Existe un ente regulador a nivel Europeo que es el encargado de comprar/vender residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE, a través de un decreto que tiene vigencia desde 13 de Agosto 2005 en toda la Unión Europea.

Este ente tiene como finalidad:

- Promover el reciclaje, esto lo realiza comprando los materiales reciclados a las diferentes recicladoras.
- Reutilización, esto lo consigue con la venta de materia prima a los diferentes fabricantes de: lámparas, baterías, termómetros, etc.; en sí todo material reciclado para la fabricación de equipo eléctrico electrónico.

Este ente compra material reciclado y lo paga en función de la cantidad y la frecuencia en la que se entregue.

Para determinar los ingresos se toma como premisa que en Ecuador se consume al menos una lámpara por persona anual. Según el Censo 2010, el Ecuador aproximadamente tiene 14'451.115 de habitantes, que en teoría se tendrían 14'451.115 lámparas anuales por reciclar.

Sin embargo, este proyecto inicia como un plan piloto regional, el cual consiste que las provincias más pobladas del Ecuador sean las encargadas de recaudar la mayor cantidad de lámparas y enviarlas a la Recicladora. Según datos del Censo 2010, las provincias más pobladas son: Pichincha, Guayas y Azuay.

Mediante el plan piloto regional teóricamente se deberían tener 6'933.897 lámparas por reciclar; pero considerando que este proyecto inicia como plan piloto, se considera un margen de error del 50% en la recolección, es decir, se procesaría 3'500.000 lámparas para el primer año de operación.

Con la información obtenida del mínimo de lámparas a procesar, se negocia a través del RAEE, el costo de venta del material obtenido de la Recicladora. En la Tabla. 6. 4 se detallan los términos de compra por parte del RAEE.

A partir de la información de la Tabla. 6. 4. Se puede aproximar los ingresos anuales que generaría el reciclaje de LFC's, considerando a partir del año 2, un incremento del 10% hasta el año 5, a partir de este año se debe considerar un incremento del 15% considerando que la publicidad invertida de frutos en la concientización de la población ecuatoriana, los datos se muestran en la Tabla. 6. 5.

<b>RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Precio Referencial</b>
Polvo con mercurio	17500	gramos	Anual	<p>Registered User :Paulina Arias, Espe</p> <p>Price Information : The Current Less-than Truck Load Spot Market Price for Mercury Content Battery Scrap is <b>\$ 0.13</b> USD / LBS</p> <p>Accept or Update your Price Below:</p> <p>Price: <input type="text" value="\$ 0.13"/> Currency: <input type="text" value="USD"/> Per Units: <input type="text" value="lbs"/></p>
Residuos de Circuitos Electrónicos	35000	Kilogramos	Anual	<p>Registered User :Paulina Arias, Espe</p> <p>Price Information : The Current Truck Load Spot Market Price for Circuit Boards (shredded flash) is <b>\$ 0.84</b> USD / LBS</p> <p>Accept or Update your Price Below:</p> <p>Price: <input type="text" value="\$ 0.84"/> Currency: <input type="text" value="USD"/> Per Units: <input type="text" value="lbs"/></p>

Vidrio	658000	Kilogramos	Anual	<p>The Current Truck Load Spot Market Price for Class B 10 WEEE Scrap is</p> <p><b>\$ 79.76</b> USD / TON</p> <p>Accept or Update your Price Below:</p> <p>Price: <input type="text" value="\$ 79.76"/> Currency: <input type="text" value="USD"/> Per Units: <input type="text" value="ton"/></p>

**Tabla. 6. 4. Costos Aproximados para Venta de Material Reciclado según RAEE**

INGRESOS	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ENTREGA DE POLVO DE MERCURIO A RAEE \$ 0,13/lb		\$ 0,00	\$ 5,01	\$ 5,57	\$ 6,19	\$ 6,88	\$ 7,64	\$ 8,99	\$ 10,58	\$ 12,44	\$ 14,64	\$ 17,22
ENTREGA DE VIDRIO TRITURADO A RAEE \$ 79,76/tn		\$ 0,00	\$ 52.482,08	\$ 58.313,42	\$ 64.792,69	\$ 71.991,88	\$ 79.990,98	\$ 94.107,03	\$ 110.714,15	\$ 130.251,95	\$ 153.237,58	\$ 180.279,51
ENTREGA DE MATERIAL ELECTRONICO A RAEE \$ 0,84/lb		\$ 0,00	\$ 64.801,97	\$ 72.002,19	\$ 80.002,43	\$ 88.891,59	\$ 98.768,43	\$ 116.198,15	\$ 136.703,71	\$ 160.827,90	\$ 189.209,29	\$ 222.599,16
TOTAL INGRESOS		\$ 0,00	\$ 117.289,06	\$ 130.321,18	\$ 144.801,31	\$ 160.890,35	\$ 178.767,05	\$ 210.314,18	\$ 247.428,44	\$ 291.092,29	\$ 342.461,51	\$ 402.895,90

**Tabla. 6. 5. Ingresos anuales aproximados luego del Reciclaje de LFC's**

Según los valores mostrados en las Tablas: 6.1, 6.2 y 6.5, se puede calcular el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Según la Tabla. 6. 6 se muestran las proyecciones de Ingresos y Egresos a 10 años considerando fundamentalmente crecimiento de ingresos y egresos.



AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION INICIAL	\$ 462.819,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
INGRESOS	\$ 0,00	\$ 117.289,06	\$ 130.321,18	\$ 144.801,31	\$ 160.890,34	\$ 178.767,05	\$ 210.314,17	\$ 247.428,44	\$ 291.092,28	\$ 342.461,51	\$ 402.895,89
EGRESOS	\$ 0,00	\$ 125.500,00	\$ 125.500,00	\$ 127.419,35	\$ 127.419,35	\$ 127.419,35	\$ 124.502,03	\$ 119.752,03	\$ 115.239,53	\$ 113.236,07	\$ 108.715,59
FLUJO DE CAJA	-\$ 462.819,00	-\$ 8.210,94	\$ 4.821,18	\$ 17.381,95	\$ 33.470,99	\$ 51.347,69	\$ 85.812,15	\$ 127.676,41	\$ 175.852,75	\$ 229.225,43	\$ 294.180,30

**Tabla. 6. 6. Flujos de Caja para determinar el VAN**

Según la Ecuación. 6. 1. Se calcula el VAN, este valor nos permite determinar cuánto van a valer los flujos de entrada y salida al día de hoy, es decir, es un procedimiento que nos permite calcular el valor presente de un determinado flujo de caja futuros originados por una inversión.

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n}$$

**Ecuación. 6. 1. Cálculo de VAN**

Dónde:

VAN = Valor Actual Neto

N = número de años de duración del proyecto, 10 años.

$I_n$  = Ingresos por año

$E_n$  = Egresos por año

$i$  = tasa de descuento, considerando 20% para equipos de automatización.

Reemplazando valores en la Ecuación 6. 1. se obtiene un VAN de USD 240.546,94. Este valor representa la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión considerando desde luego el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer periodo.

Según la Tabla 6. 6 el primero año de operación es crítico ya que los valores muestran pérdidas, sin embargo se debe enfatizar en la publicidad para aumentar los ingresos a través de la cantidad de lámparas a procesar. Para hallar el TIR se emplea la Ecuación. 6. 2.

$$TIR = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + VAN)^n}$$

**Ecuación. 6. 2. Cálculo del TIR**

Dónde:

TIR = Tasa Interna de Retorno

N = Número de años de duración del proyecto, 10 años.

$I_n$  = Ingresos por año

$E_n$  = Egresos por año

VAN = Valor Actual Neto

Remplazando valores en la Ecuación 6. 2 se obtiene un TIR de 10%, es decir, porcentaje menor a la tasa de descuento. En términos financieros el TIR (10%) significa que por cada dólar invertido se obtiene una rentabilidad de 10 ctvs. en diez años.

Con estas premisas se concluye que el proyecto **NO ES ECONÓMICAMENTE RENTABLE** para una empresa privada, sin embargo, existen alternativas que se detallan a continuación.

A partir de la información anterior se concluye que este proyecto no se lo debe visualizar desde un enfoque económicamente rentable, sino desde un enfoque netamente ambiental; por lo tanto el apoyo para la Implementación del Proyecto debe ser estatal.

En nuestro entorno, Ecuador, existen varios factores que de cierta manera pueden influir negativamente para la Implementación de este tipo de Reciclaje. Estos factores se detallan a continuación:

- En el Ecuador no está creado una cultura de reciclaje total de las lámparas, debido a la falta de recursos y la intención de pagar para que las lámparas sea recicladas.

- En caso que el Gobierno decreta la disposición para el reciclaje total de las lámparas, no existe la infraestructura adecuada para la implementación de la misma.
- Empresas privadas se encuentran limitadas para la inversión de este proyecto, ya que no se facilita el retorno de la inversión.

El proyecto del reciclaje debe tener apoyo integral por parte del Gobierno para la implementación y ejecución del mismo.

Los costos para la continua operación de la Planta debe basarse en el Principio de *“El que contamina, paga”*; por lo tanto el Estado puede generar un impuesto al reciclaje a toda lámpara con mercurio que se importe. Este impuesto cubrirán los costos de instalación y operación de la Planta. Los valores recolectados de los impuestos, no deben ser vistos como utilidad, al contrario, estos fondos servirán adicionalmente para la inversión en la concientización de la población ecuatoriana a través de campañas de apoyo al reciclaje.

Las entidades que más aporten al impuesto deberían ser empresas privadas como: bancos, industrias, sistema eléctrico/iluminación público, etc.; ya que son empresas que utilizan millones de este tipo de lámparas.

Se considera que la entidad adecuada para iniciar la ejecución de este proyecto podría ser la Escuela Politécnica del Ejército ESPE, ya que es una entidad que evitará distorsiones de carácter político, considerando que el proyecto es de carácter netamente ambiental y no debe estar influenciado por elementos diferentes a la Salud Pública y Ambiental. La ESPE no tiene dentro de sus funciones institucionales Operar un Proceso de Reciclaje de LFC's, sin embargo, puede emprender este proyecto bajo la filosofía BOT (Comprar, Operar y Transferir). Al ser la ESPE una entidad pública, el crédito para la inversión de la planta puede ser factible y respaldado por el Estado Ecuatoriano. El Estado puede decidir si la ESPE continúa con la operación de la Planta o a su vez poder transferir la producción de la planta a un tercero privado.

Con todo lo expuesto anteriormente, el Ecuador podría aportar en la disminución de la contaminación ambiental, por lo que no se debería dejar a un lado la posibilidad de Implementar una Planta de Reciclaje en nuestro país.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- El Diseño y Simulación de una Planta de Reciclaje de LFC's desarrollado en este trabajo investigativo, debe ser considerado como un modelo para que en una futura implementación pueda tomarse como base para el desarrollo del mismo; considerando que este proyecto debe ser perfeccionado y apoyado por varias ramas de la ciencia como son: química, mecánica y finalmente la electrónica.
- A partir del análisis del funcionamiento de una planta de reciclaje se determinaron los elementos mecánicos y electrónicos idóneos para usarse en el sistema de control automático, es decir, los sensores y actuadores adecuados que cumplen con la lógica de control empleada en cada etapa del proceso de reciclaje, como es trituración, extracción y separación.
- La implementación de un sistema de control automático en este tipo de procesos es esencial ya que se procesa componentes tóxicos, como el mercurio, considerando que una lámpara que contiene 5 mg de gas mercurio puede contaminar alrededor de 30000 litros de agua; por lo tanto debe ser tratado minuciosamente para conseguir material reciclable en los siguientes porcentajes: 94 % vidrio, 5% metales y 1% polvo fluorescente con gas mercurio.
- Si bien es cierto, la temática del reciclaje es conseguir productos totalmente reciclables; en la propuesta presentada no se considera la etapa para la extracción mercurio líquido, ya que el proceso para la recuperación de mercurio debe ser analizado y proceso a través de técnicas de destilación mediante retortas cuyo tratamiento es desarrollado por personal de ingeniería química; siendo este campo no objeto de estudio.
- La aplicación desarrollada para el control de la Planta de Reciclaje es sencilla y cumple de manera óptima la lógica de control, a través de un control ON-OFF; siendo visualizados desde la interfaz gráfica del PLC y/o interfaz gráfica HMI/SCADA la activación y/o desactivación de cada etapa.

- La evaluación y resultados del diseño de control ON/OFF propuesto se analizó mediante la simulación del mismo, gracias al software de programación de PLC's, Twido Suite by Schneider Electric, que dentro de sus características incluye la herramienta de simulación cuyos beneficio permite verificar la lógica de control sin la necesidad de descargar la aplicación directamente al controlador.
- La supervisión y control de la Planta del Reciclaje es monitoreado a través de la herramienta gráfica Vijeo Citect by Schneider Electric, la cual presenta pantallas animadas y amigables para el operador calificado en la operación del proceso de reciclaje.
- El análisis de la inversión para la implementación de un sistema de reciclaje es un tema negativo, debido a los costos que se generan frente a la rentabilidad del mismo, considerando que se generaría un beneficio del 10% respecto a la inversión inicial en 10 años. Sin embargo, este proyecto debe ser considerado netamente ambiental más no rentable. La rentabilidad se ve reflejada en la aportación para la disminución de la contaminación ambiental.
- La negatividad para la implementación de un sistema de reciclaje no debe ser una traba para que el Ecuador apoye en la disminución de la contaminación ambiental, por lo que el Estado en conjunto con la concientización de las personas podrá implementar este tipo de procesos y de una manera positiva aportar al medio ambiente.

## **7.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que al momento de adquirir las maquinas mecánicas que intervienen en el Proceso de Reciclaje, se lo haga a través de fabricantes de maquinarias para reciclaje, ya que ellos mantienen estándares de calidad frente a la filosofía del reciclaje.
- La clasificación de Zonas para el Proceso de Reciclaje no se aplica debido a que no se procesa material explosivo, sin embargo, se recomienda tomar las medidas preventivas ya que el material en proceso es altamente tóxico para la Salud Humana.
- Se recomienda que la persona que opere el Sistema de Reciclaje conozca detalladamente la filosofía del reciclaje, así como la funcionalidad de la interfaz gráfica para actuar oportunamente en casos de emergencia.
- Se recomienda analizar las fuentes de energía eléctrica más propicias para el proceso considerando la ubicación geográfica de la planta.

- Para mantener la continuidad de servicio de energía eléctrica, se recomienda hacer estudios para la integración de un generador y así garantizar continuidad del servicio y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.
- Se recomienda a toda la población ecuatoriana crear una cultura de reciclaje y no verlo como una moda de temporada, estar conscientes que estas mejoras influyen directamente al cuidado del medio ambiente.
- Se recomienda a todos los estudiantes de ingenierías: química, mecánica y electrónica analizar esta alternativa de implementación de una Planta de Reciclaje de LFC's en el Ecuador.
- Este proyecto debe ser emprendido por el Estado Ecuatoriano, por lo que se recomienda que el Ministerio del Medio Ambiente tome en consideración la puesta en marcha de este proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [http://villadtembleque.blogspot.com/2011/12/utensilios-aperos-y-maquinas-del-ayer\\_12.html](http://villadtembleque.blogspot.com/2011/12/utensilios-aperos-y-maquinas-del-ayer_12.html), **Breve resumen sobre la Historia de la iluminación**
- [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_fluorescentes/af\\_fluorescentes\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_1.htm), **Así funcionan las lámparas fluorescentes.**
- SANDOVAL, José, *Fuentes Luminosas*, Capítulo 4, pág. 68.
- MOPOSITA MOYA, Edison Raúl. *"Evaluación Técnica-Económica de las Lámparas Fluorescentes Compactas"*. Director: Ing. Gabriel Casco. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2012.
- <http://www.nema.org/Policy/Environmental-Stewardship/Lamps/Pages/CFL-Mercury.aspx>, **CFL Mercury Commitment**
- <http://mamenehervasestrella.blogspot.com/>, **Estado vítreo**
- <http://bombillasverdes.blogspot.com/2009/07/medidas-de-tubos-fluorescentes.html>, **MEDIDAS DE TUBOS FLUORESCENTES**
- <http://www.youtube.com/watch?v=BgZzj0DGnUk>, **Ambi y Lamp en la Escuela de Reciclaje**
- NIVELLO, Juan, *"Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda"*, Universidad Politécnica Salesiana.
- SAENZ, Carlos, *"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTA CONTROLADO PARA LA INDUSTRIA "MADERAS EQUINOCCIO MADEQUISA CIA LTDA"*, Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga.
- DE CAIRES, Juan, *"DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE"*, Universidad Central de Venezuela
- CASTILLO, Andrés, *"REPOTENCIACION Y AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE MEZCLADORA BANDA TRANSPORTADORA PARA*

***PRACTICAS DE LABORATORIO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL DEL DECEM***, Escuela Politécnica del Ejército.

- <http://www.gruberhermanos.com/documentos/Transporte%20neumatico.pdf>,  
**Transporte Neumático**
- <http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=Bk9OIWu9gI8>,  
**Piab vacuum conveying principle**
- [http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=594&catid=35:articulos-tecnicos](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=594&catid=35:articulos-tecnicos), **El principio de funcionamiento de la Técnica de vibración**
- NICOLINI, Jorge, *Industria I*, Tomo 72.02
- GOMEZ, Fabio, *Cintas Transportadoras en la Automatización de la Producción*, páginas 5
- BALCAN, *Electric Machine Assembly from 'flatpack' shipping*
- CARRANZA, Carlos, *Diseño de Estación de Descarga de Big-Bag y Transporte Neumático de polvos en fase diluida*, 2007
- CONSTANTE, Mario, *Implementación de un sistema de compensación a la velocidad de acarreo de hebra de tabaco*, 2009
- CANTO, Carlos, *Sensores de Proximidad Capacitivos*
- Schneider Electric, *Sensores Fotoeléctricos*
- <http://es.scribd.com/doc/71094512/PRACTICA-2-4PLC>, **Arranque-estrella triangulo**
- <http://es.scribd.com/doc/57200201/50/>, **CONFIGURACION MOTORES**
- <http://es.scribd.com/doc/50089575/25/PLACA-CARACTERISTICA>, **Control de Motores Eléctricos**
- Schneider Electric, **Manual Twido Suite**, páginas. 131
- Schneider Electric, **Quickstart Tutorial V7.20 Vijeo Citect**, páginas. 114



## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

Figura. 2. 1. Lámparas Fluorescentes .....	7
Figura. 2. 2. Elementos constitutivos de una LFC .....	9
Figura. 2. 3. Filamentos de las LFC's .....	10
Figura. 2. 4. Balasto Electromagnético .....	12
Figura. 2. 5. Circuito Balasto Electrónico .....	13
Figura. 2. 6. Emisión de luz fluorescente .....	16
Figura. 2. 7. Símbolo del Reciclaje .....	22
Figura. 2. 8. Proceso General de Reciclaje de Lámparas Fluorescentes .....	26
Figura. 2. 9. Diagrama de Bloques del Reciclaje de LFC's .....	28

### CAPÍTULO III

Figura. 3. 1. Esquematización Sistema de Reciclaje de LFC's .....	30
Figura. 3. 2. Productos iniciales del sistema de reciclaje .....	31
Figura. 3. 3. Diagrama de Bloques Transporte Neumático de Polvos .....	35
Figura. 3. 4. Sistema de Transporte Neumático por depresión .....	37
Figura. 3. 5. Ventilador Centrífugo .....	38
Figura. 3. 6. Válvula dosificadora tipo mariposa .....	50
Figura. 3. 7. Molino de Martillos .....	57
Figura. 3. 8. Tipos de Cintas Transportadoras .....	60
Figura. 3. 9. Contenedor para vidrio/metal .....	67
Figura. 3. 10. Contenedor para polvo con mercurio .....	68
Figura. 3. 11. Activación / Desactivación de los Procesos del Sistema de Reciclaje .....	68

### CAPÍTULO IV

Figura. 4. 1. Etapa de Trituración de las Lámparas LFC's .....	69
Figura. 4. 2. Interruptor rotativo para activación de Reciclaje de LFC's .....	70
Figura. 4. 3. Relación de la cte. dieléctrica en función de la distancia nominal del sensado $S_r$ .....	71
Figura. 4. 4. Sensor fotoeléctrico Telemecanique.....	72
Figura. 4. 5. Sistema Difuso para sensores fotoeléctricos .....	73
Figura. 4. 6. Conexión Sensor Fotoeléctrico.....	73
Figura. 4. 7. Arranque Estrella - Triángulo. Circuito de Potencia .....	75
Figura. 4. 8. Simbología de un contactor .....	75
Figura. 4. 9. Circuito de Control del arranque Y/ $\Delta$ del Motor 1.....	77
Figura. 4. 10. Conmutación Estrella Motor 1 .....	77
Figura. 4. 11. Conmutación Triángulo Motor 1.....	78
Figura. 4. 12. Diagrama P&ID. Etapa Trituración.....	79
Figura. 4. 13. Etapa de Separación de Polvo Fluorescente del material triturado .....	82
Figura. 4. 14. Configuración PNP. Sensores Fotoeléctricos.....	82
Figura. 4. 15. Circuito de Potencia Vibrador Electromagnético.....	83
Figura. 4. 16. Diagrama P&ID. Etapa Separación .....	84
Figura. 4. 17. Etapa de extracción de Polvo Fluorescente .....	85
Figura. 4. 18. Esquema del Sistema Neumático .....	87
Figura. 4. 19. Circuito de Potencia. Electroválvula 2/2 .....	87
Figura. 4. 20. Válvula de mariposa activada eléctricamente .....	88
Figura. 4. 21. Circuito de Potencia para Válvula Mariposa. Etapa Extracción .....	89
Figura. 4. 22. Circuito de Potencia Ventilador Centrífugo .....	90
Figura. 4. 23. Diagrama P&ID. Etapa Extracción de Polvo Fluorescente.....	93
Figura. 4. 24. Etapa de Separación Vidrio/Metal.....	95
Figura. 4. 25. Sensor Inductivo.....	96
Figura. 4. 26. Circuito de Potencia para Válvula Mariposa. Etapa Separación Vidrio/Metal .	96
Figura. 4. 27. Circuito de Potencia. Etapa Separación Vidrio/Metal.....	97
Figura. 4. 28. Diagrama P&ID. Etapa Separación Vidrio/Metal .....	99
Figura. 4. 29. Conexionado de Instrumentación .....	100
Figura. 4. 30. Distribución de las Áreas del Reciclaje de LFC's.....	104
Figura. 4. 31. Transformador. Configuración estrella con neutro puesto a tierra.....	105
Figura. 4. 32. Distribución de luminarias en el área de trabajo .....	109

## CAPÍTULO V

Figura. 5. 1. Controlador Twido .....	115
Figura. 5. 2. Cable de conexión y programación del PLC Twido .....	116
Figura. 5. 3. Descripción Inicial del Programa de Simulación .....	116
Figura. 5. 4. Lenguaje de Programación Ladder. Reciclaje de LFC's.....	117
Figura. 5. 5. Error de Activación modo Runtime Completo. Vijeo Citect .....	121
Figura. 5. 6. Entorno de Configuración de Vijeo Citect .....	122
Figura. 5. 7. Pantalla de Inicio. Simulación de Reciclaje de LFC's.....	123
Figura. 5. 8. Pantalla Simulación .....	124
Figura. 5. 9. Pantalla Monitoreo .....	125
Figura. 5. 10. Funcionamiento Etapas de Reciclaje.....	126
Figura. 5. 11. Alerta de Contenedor de Polvo Lleno .....	126
Figura. 5. 12. Autenticación de Usuarios para operaciones Restringidas .....	126
Figura. 5. 13. Pantalla Emergente del Proceso de Reciclaje.....	127
Figura. 5. 14. Pantalla Informes.....	127
Figura. 5. 15. Pantalla Emergencia	128

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

Tabla. 2. 1. Equivalencia longitud/potencia de una LFC.....	9
Tabla. 2. 2. Tipos de Fósforos más usados .....	11
Tabla. 2. 3. Medidas Normalizadas IEC .....	15
Tabla. 2. 4. Dimensiones estándar de lámparas fluorescentes del tipo tubo y compactas.....	16
Tabla. 2. 5. Relación de Rendimiento Luminoso en las diferentes fuentes de iluminación ...	18
Tabla. 2. 6. Cantidad de mercurio en las LFC's .....	20

### CAPÍTULO III

Tabla. 3. 1. Porcentaje de Productos Finales luego del reciclaje.....	32
Tabla. 3. 2. Estados del Mercurio Hg .....	32
Tabla. 3. 3. Estados Químicos de residuos restantes en polvos fluorescentes.....	33
Tabla. 3. 4. Sistemas básicos de transporte neumático .....	36
Tabla. 3. 5. Velocidades min. De aire para el transporte de materiales.....	40
Tabla. 3. 6. Dimensiones Normalizadas para Tubería de Acero Inoxidable según la Norma ANSI / ASME B36.19 M.....	41
Tabla. 3. 7. Presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar .....	42
Tabla. 3. 8. Características Eléctricas. Motor del ventilador centrífugo.....	50
Tabla. 3. 9. Característica Vibradora Aviteq .....	53
Tabla. 3. 10. Separadores Magnéticos .....	55
Tabla. 3. 11. Índice de Triturabilidad de algunos Materiales .....	58
Tabla. 3. 12. Características Eléctricas Trituradora.....	60
Tabla. 3. 13. Tipos de Cintas Transportadoras .....	61

Tabla. 3. 14. Coeficiente de Fricción de la Cinta Transportadora modelo BFC – BLB.....	63
Tabla. 3. 15. Características Eléctricas para motor de la banda transportadora .....	67

## CAPÍTULO IV

Tabla. 4. 1. Constante dieléctrica de algunos materiales presentes en el reciclaje de LFC's..	71
Tabla. 4. 2. Instrumentación Etapa Trituración .....	79
Tabla. 4. 3. Descripción E/S Controlador. Etapa Trituración.....	80
Tabla. 4. 4. Características técnicas de contactores electromagnéticos comerciales.....	80
Tabla. 4. 5. Categoría de Empleo de Contactores en AC .....	81
Tabla. 4. 6. Características de Relé Electromecánico a usarse en el arranque del Vibrador Electromagnético .....	84
Tabla. 4. 7. Descripción E/S Controlador. Etapa de Separación Polvo .....	84
Tabla. 4. 8. Instrumentación Etapa Separación.....	85
Tabla. 4. 9. Características de Contactor a usarse en la activación de la Válvula Mariposa ...	89
Tabla. 4. 10. Características de Relé Electromecánico a usarse en el arranque del Ventilador Centrífugo .....	89
Tabla. 4. 11. Información Básica de una Celda de Carga.....	92
Tabla. 4. 12. Descripción E/S Controlador. Etapa de Extracción Polvo .....	93
Tabla. 4. 13. Instrumentación Etapa Extracción Polvo Fluorescente .....	94
Tabla. 4. 14. Características de Contactores a usarse en el arranque de los motores de las bandas transportadoras.....	97
Tabla. 4. 15. Descripción E/S Controlador. Etapa de Separación Vidrio/Metal .....	98
Tabla. 4. 16. Instrumentación Etapa Separación Vidrio/Metal.....	99
Tabla. 4. 17. Variables de E/S. Sistema de Reciclaje de LFC's.....	102
Tabla. 4. 18. Tipos de Luminarias .....	106
Tabla. 4. 19. Grado de Protección para luminarias.....	106
Tabla. 4. 20. Nivel de Iluminación para Áreas Industriales.....	106
Tabla. 4. 21. Sistema de Iluminación.....	107
Tabla. 4. 22. Índice del Local RL .....	108
Tabla. 4. 23. Luz Reflejada para Techos y Paredes .....	108
Tabla. 4. 24. Coeficiente de Conservación de Luminarias .....	108
Tabla. 4. 25. Estimación de la Demanda del Sistema de Iluminación.....	110
Tabla. 4. 26. Estimación de Demanda para Cargas Especiales .....	111

Tabla. 4. 27. Carga estimada de los equipos de fuerza a instalarse en el Proceso de Reciclaje de LFC's .....	111
Tabla. 4. 28. Selección de calibre de los conductores de alimentación .....	112
Tabla. 4. 29. Lista de Componentes para Coordinación de Protecciones.....	113

## **CAPÍTULO V**

Tabla. 5. 1. Requisitos de Activación del Proceso en Modo Manual .....	118
Tabla. 5. 2. Requisitos de Activación del Proceso en Modo Automático .....	120
Tabla. 5. 3. Descripción del Entorno de Configuración de Vijeo Citect .....	122
Tabla. 5. 4. Funcionalidad de Accesos a la Simulación del Reciclaje de LFC's	123

## **CAPÍTULO VI**

Tabla. 6. 1. Inversión inicial aproximada para la Implementación del Reciclaje de LFC's...	131
Tabla. 6. 2. Costos de operación anual del Sistema de Reciclaje .....	132
Tabla. 6. 3. Flujo de Egresos para 10 años de Operación.....	133
Tabla. 6. 4. Costos Aproximados para Venta de Material Reciclado según RAEE .....	135
Tabla. 6. 5. Ingresos anuales aproximados luego del Reciclaje de LFC's .....	135
Tabla. 6. 6. Flujos de Caja para determinar el VAN.....	136

## ÍNDICE DE ECUACIONES

### CAPÍTULO II

Ecuacion. 2. 1. Rendimiento Luminoso.....	17
---	----

### CAPÍTULO III

Ecuación. 3. 1. Relación entre el flujo másico del material y flujo másico del aire en fase diluida .....	39
Ecuación. 3. 2. Flujo volumétrico de aire requerido para transportar el polvo.....	39
Ecuación. 3. 3. Diámetro de tubería.....	40
Ecuación. 3. 4. Presión dinámica .....	41
Ecuación. 3. 5. Peso específico del aire según variación de la altura .....	42
Ecuación. 3. 6. Cálculo de presión atmosférica a 2800 m.s.n.m .....	43
Ecuación. 3. 7. Cálculo de Presión Dinámica .....	43
Ecuación. 3. 8. Cálculo del coeficiente de resistencia en la tubería .....	44
Ecuación. 3. 9. Potencia del Ventilador Centrífugo.....	44
Ecuación. 3. 10. Caída de Presión en la tubería del Sistema de Extracción .....	45
Ecuación. 3. 11. Cálculo de caída de presión en tramos horizontales .....	45
Ecuación. 3. 12. Cálculo del Flujo Másico del material a transportar .....	46
Ecuación. 3. 13. Calculo de la Velocidad de la partícula en un sistema neumático .....	46
Ecuación. 3. 14. Factor de Fricción en tuberías .....	47
Ecuación. 3. 15. Cálculo de Número de Reynolds .....	47
Ecuación. 3. 16. Cálculo de caída de presión en tramos verticales .....	48
Ecuación. 3. 17. Pérdida de presión por resistencia de la tubería.....	49
Ecuación. 3. 18. Ecuación de Cálculo de Potencia para Máquinas Trituradoras.....	57
Ecuación. 3. 19. Ecuación para el Cálculo de Velocidad de Máquinas Trituradoras .....	58

Ecuación. 3. 20. Ecuación de energía de Máquinas Trituradoras .....	59
Ecuación. 3. 21. Cálculo de la Energía Específica de la trituradora .....	59
Ecuación. 3. 22. Potencia del motor de una cinta transportadora .....	63
Ecuación. 3. 23. Tensión Efectiva de la Cinta Transportadora.....	64
Ecuación. 3. 24. Tensión necesaria para mover la banda vacía.....	64
Ecuación. 3. 25. Tensión necesaria para mover la carga en sentido horizontal.....	64
Ecuación. 3. 26. Razón de carga de una cinta transportadora.....	65
Ecuación. 3. 27. Potencia nominal del motor de la cinta transportadora.....	66

## **CAPÍTULO IV**

Ecuación. 4. 1. Alcance de detección de Sensores de Proximidad .....	71
Ecuación. 4. 2. Corriente del Contactor de Configuración Estrella Motor 1 .....	75
Ecuación. 4. 3. Corriente del Contactor de configuración Triángulo Motor 1 .....	76
Ecuación. 4. 4. Corriente que soporta el relé térmico del Motor 1 .....	76
Ecuación. 4. 5. Señal de Salida de la Celda de Carga.....	92
Ecuación. 4. 6. Relación de Salida (mV) de la celda de carga en función de la Carga (Kg)...	92
Ecuación. 4. 7. Relación del área de iluminación .....	107
Ecuación. 4. 8. Cantidad de Lámparas.....	108
Ecuación. 4. 9. Cálculo de Luminarias .....	109
Ecuación. 4. 10. Corriente de Corto circuito lado de baja tensión del transformador .....	112

## **CAPÍTULO VI**

Ecuación. 6. 1. Cálculo de VAN.....	136
Ecuación. 6. 2. Cálculo del TIR.....	137



## **GLOSARIO**

### **Candela**

Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir la intensidad Luminosa.

### **Destilación**

Operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla.

### **Dioxinas**

Grupo de contaminantes orgánicos.

### **Efecto estroboscópico**

Efecto óptico que se produce al iluminar mediante destellos, un objeto que se mueve en forma rápida y periódica.

### **Gas inerte**

Gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.

### **IEC**

International Electrotechnical Commission

### **Ionización**

Fenómeno químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra.

### **Lúmen**

Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso.

### **NEMA**

National Electrical Manufacturers Association.

### **PLC**

Controlador Lógico Programable.

**Punto de condensación**

El proceso de condensación suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío.

**Punto de ebullición**

Temperatura en la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión de vapor del medio en el que se encuentra.

**Punto de fusión**

Temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido - líquido, es decir la materia pasa de estado sólido a estado líquido, se funde.

**RAEE**

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

**Twido Suite**

Software para la creación de aplicaciones Ladder para Controladores Twido de la firma Schneider Electric.

**Vijeo Citect**

Software para la creación de aplicaciones SCADA/HMI de la firma Schneider Electric.