



Facultad de Ingeniería Automotriz

Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje  
de botellas plásticas PET impulsado por energía solar.

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

Director: PhD. Pablo Espinel Viteri

Quito, Ecuador

2016

## CERTIFICACIÓN

Yo, Diego Andrés Recalde Samaniego, declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la presente Investigación serán de mi exclusiva responsabilidad.

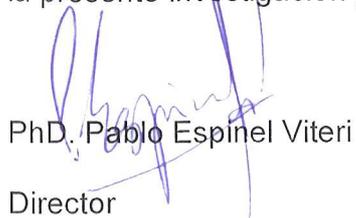
Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Diego Andrés Recalde Samaniego

CI: 1718831363

Yo, PhD. Pablo Espinel Viteri, declaro que en lo que yo personalmente conozco, al señor Diego Andrés Recalde Samaniego, es el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.



PhD. Pablo Espinel Viteri  
Director

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy,

Cuidándome y dándome fortaleza y fe para continuar.

A mis padres Ángel y Ángela, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo y ejemplo a seguir en todo momento.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

A Gaby mi esposa por su entera confianza y amor en cada reto que se me presenta sin dudar ni un solo momento en mí.

Por su vocación a la tarea de educar que sin duda me ha ayudado a desarrollar mis capacidades críticas y analíticas y por su amistad agradezco a mis

profesores

Es por todos ellos que soy lo que soy ahora.

¡Gracias!

## DEDICATORIA

Referirse a energías renovables es hablar de amor y responsabilidad con nuestro planeta, de un amor profundo por vivir, también es estar agradecido por estar en un país con paisajes sorprendentes, aire fresco y hermosos manantiales de agua limpia pero sobre todas las cosas es ayudar y fomentar el que se preserve así y que nuestros herederos puedan disfrutar de todas estas maravillas de la misma forma como lo hacemos nosotros.

Por eso quiero dedicar este trabajo a todo aquel que se sienta responsable y comprometido con la preservación y la energía positiva de nuestro planeta.

## RESUMEN

Las energías renovables se centran en que el suministro de energía en forma local con el aprovechamiento de recursos naturales, una de ellas es la luz solar que incide sobre células fotovoltaicas, lo que produce una pequeña cantidad de electricidad, obtenida por pilas solares y luego utilizada para hacer funcionar bombas de agua, lámparas, neveras, televisiones, entre otros.

El reciclaje es parte de la regla de las 3 “r”: reducir, reutilizar y reciclar, lo cual permite vivir en un mundo más sano y limpio, con respeto por el medio ambiente. El PET es un tipo de plástico que gracias a sus propiedades es muy utilizado en la fabricación de envases para bebidas y textiles, pudiendo ser reutilizado luego de su uso, sin embargo una gran parte de estos desechos no son recuperados, creándose la necesidad de hacerlo empleando métodos con costos lo más bajos posible.

El objetivo básico de la presente investigación es recuperar botellas desechables de uso cotidiano, que normalmente están fabricadas en material PET (politereftalato de etileno) mediante su compactación, utilizando para ello un prototipo fabricado con bajo precio, el mismo que está conformado por sistemas hidráulico, eléctrico y electrónico, alimentados por energía producida por un panel solar, energía que es almacenada en un grupo de baterías.

Para hacer posible este proyecto se han establecido seis capítulos, por lo que en el Capítulo I se realiza una revisión a los argumentos iniciales que permitieron proponer el tema, enfocados en el análisis del problema de investigación, los objetivos, justificación y delimitación de la investigación. En el

Capítulo II se analizó la fundamentación teórica relacionada con las botellas plásticas tipo PET y su aprovechamiento (reciclaje), los paneles solares, los dispositivos fotovoltaicos y los factores técnicos que inciden en su uso. En el Capítulo III se plantea una metodología donde se contemplan las fases o pasos técnicos a seguir para llevar a cabo el diseño del prototipo. En el Capítulo IV se estudian las alternativas (3) que sirven como referencia previo el diseño del prototipo. El Capítulo V sirve para proponer el diseño del prototipo, empleando cálculos matemáticos y planos de cada uno de los componentes que conforman los sistemas hidráulico, eléctrico y electrónico, así como la parte de soporte mecánico. El Capítulo VI trata de la construcción y montaje de cada una de las partes del prototipo, así como de las pruebas iniciales y costos finales.

En la última parte de este trabajo se concluye que de la alternativa escogida no presenta afectación al medio ambiente con mínimas tolerancias a riesgos personales y de salud. El prototipo diseñado y construido tiene un costo de 1,700 USD ubicándolo con un valor muy por debajo de equipos similares, pasando todas las pruebas técnicas de verificación, por lo que se recomienda la difusión de este trabajo para que sirva como referente a otros investigadores y público en general.

**Palabras claves:** diseño, construcción, reciclaje, compactador eléctrico, PET, energía solar.

## ABSTRACT

Renewable energies are focused on the energy supply locally with the use of natural resources, one of which is the sunlight that strikes photovoltaic cells, which produce a small amount of electricity obtained by solar cells and then used to operate water pumps, lamps, refrigerators, televisions, among others.

Recycling is part of the rule of 3 "r": reduce, reuse and recycle, which can live in a healthier and cleaner world, with respect for the environment. PET is a type of plastic that thanks to its properties is widely used in the manufacture of packaging for beverages and textiles, can then be reused use, however much of this waste is not recovered, creating the need to do using methods with lower costs possible.

The basic objective of this research is to recover disposable bottles daily use, which are usually made of a material PET (polyethylene terephthalate) by compaction, using a prototype manufactured with low price, the same consists of hydraulic systems, electrical and electronic, powered by energy produced by a solar panel, energy is stored in a battery bank.

To enable this project has established six chapters, so in Chapter I reviews the initial arguments that allowed propose the theme, focused on the analysis of the research problem, objectives, justification and delimitation of the research is done . In Chapter II the theoretical foundation regarding PET plastic bottles type and use (recycling), solar panels, photovoltaic devices and technical factors

affecting their use was analyzed. In Chapter III a methodology where the phases or contemplated technical steps to follow to carry out the design of the prototype arises. In Chapter IV alternatives (3) serving as a preliminary prototype reference design are studied. Chapter V serves to propose the design of the prototype, using mathematical calculations and plans of each of the components that make up the hydraulic, electrical and electronic systems and mechanical support part. Chapter VI deals with the construction and assembly of each of the parts of the prototype and initial testing and final costs.

In the last part of this work it is concluded that the alternative chosen no damage to the environment with minimal tolerances personal and health risks. The prototype designed and built at a cost of \$ 1.700 placing a value well below similar equipment, passing all technical verification tests, so that the dissemination of this work is recommended to serve as a reference to other researchers and public in general.

**Keywords:** design, construction, recycling, electric compactor, PET, solar energy.

## TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vii
TABLA DE CONTENIDOS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
1. CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN .....	1
2. CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.1 Las botellas plásticas tipo PET .....	8
2.1.1 ¿Qué es el PET? .....	8
2.1.3 Degradación del PET.....	10
2.1.4 Aprovechamiento del PET .....	13
2.2 El reciclaje .....	14
2.2.3 ¿Qué es reciclar? .....	17
2.3 Residuos sólidos en Quito.....	19
2.3.1 Datos estadísticos .....	19
2.3.2 Reglamentación legal del reciclaje en Quito.....	22
2.4 El sistema de paneles solares fotovoltaicos .....	22
2.4.1 La geometría solar.....	25
2.4.2 La radiación solar .....	29
2.4.3 Célula solar.....	30

2.4.4	Asociación de dispositivos fotovoltaicos .....	32
2.4.5	Seguridad en los sistemas fotovoltaicos .....	35
2.4.6	Operación de sistemas solares.....	38
2.4.7	Instalación y mantenimiento de sistemas solares.....	42
3.	CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	44
3.1	Diseño metodológico .....	44
	Fase 1. Definición Estratégica.....	44
	Fase 2. Diseño de Concepto.....	44
	Fase 3. Diseño de Detalle .....	46
	Fase 5. Verificación y testeo .....	47
3.2	Definición estratégica .....	47
	3.2.1. Impacto .....	48
	Análisis de la demanda .....	50
	Análisis de la oferta .....	52
4.	CAPÍTULO IV ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL COLECTOR Y COMPACTADOR DE BOTELLAS PET.....	59
4.1	Descripción general del prototipo y sus Alternativas .....	59
4.2	Valoración de alternativas .....	62
5.	CAPÍTULO V DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES .....	65
5.1.	Generalidades .....	65
5.2.	Requerimiento de fuerza de compactado.....	66
5.3.	Selección del Motor para el accionamiento del cilindro hidráulico.....	67
5.4.	Sistema de retorno .....	69
5.5.	Diseño mecánico.....	71
	5.5.1. Cálculo de la viga principal.....	71
	5.5.2. Diseño de los apoyos de la viga principal .....	76
	5.5.3. Placa de Presión. ....	78

5.5.4. Recipiente de recepción de botella .....	80
5.5.5. Estructura del Equipo .....	84
5.6. Diseño de sistema eléctrico fotovoltaico.....	88
5.6.1. Consideraciones para dimensionar el sistema fotovoltaico.....	89
5.6.3. Pérdidas en el sistema fotovoltaico .....	90
5.6.5. Dimensionamiento y selección del sistema de acumulación.....	104
5.6.6. Dimensionamiento y selección del regulador de carga .....	108
5.6.7. Especificaciones para seleccionar el conductor.....	112
5.6.8. Estructuras de soporte del SFV .....	114
5.7. Sistema de encendido.....	114
5.7.1. Recepción y estabilización de energía .....	115
5.7.2. Etapa de control.....	117
5.7.3. Etapa suiche .....	118
5.7.4. Etapa fin de carrera .....	120
5.7.5. Etapa driver .....	121
5.7.6. Etapa de potencia e inversor de giro motor (válvula).....	123
5.7.7. Etapa de potencia motor manivela .....	125
5.7.8. Etapa Leds monitores.....	129
6. CAPÍTULO VI CONSTRUCCION Y MONTAJE DE PROTOTIPO .....	131
6.1. Partes mecánicas.....	133
6.1.1. Estructura principal .....	133
6.1.2. Instalación de correas.....	134
6.1.3. Tapa superior del sistema .....	136
6.1.4. Pernos laterales de sujeción.....	137
6.1.5. Fabricación de la palanca lateral .....	139
6.1.6. Base de placas de polea .....	139
6.2. Acoplamiento de Motores eléctricos.....	140

6.3. Sistema de compactación .....	144
6.3.1. La placa de presión .....	144
6.3.2. Eje base de placa de presión .....	146
6.3.3. Instalación de la gata hidráulica.....	147
6.4. Acoplamiento del sistema eléctrico fotovoltaico .....	150
6.5. Primeras pruebas .....	153
6.5.1. Ensayos preliminares: Botella tipo PET .....	153
6.5.2. Memoria de cálculo.....	155
6.5.3. Cálculo de la bomba del cilindro hidráulico.....	160
6.5.4. Partes electrónicas .....	160
6.6. Análisis de costos del sistema fotovoltaico para el módulo .....	162
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	167
7.1 Conclusiones.....	167
7.2 Recomendaciones.....	168
Bibliografía .....	170
ANEXOS .....	173

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ordenanza Municipal .....	173
Anexo 2 Plano del diseño del dispositivo compactador.....	182
Anexo 3 Diseño integral del sistema. ....	183
Anexo 4 Plano armado de las correas. ....	184
Anexo 5 Instalación contra presión de pared. ....	185
Anexo 6 Tapa con caucho de ingreso. ....	186
Anexo 7 Recipiente recepción de botella y Vista del alojamiento de la botella (batea).....	187
Anexo 8 Diseño de la placa de compactación.....	189
Anexo 9 Ejes base de la placa de presión. ....	190
Anexo 10 Panel solar .....	191
Anexo 11 Bateria.....	193
Anexo 12 Regulador.....	195
Anexo 13 Diagrama del cargador.....	197
Anexo 14 Diagramas electrónicos.....	198
Anexo 15 Cálculos del sistema .....	200

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Envases PET .....	8
Figura 2.2 Reciclaje de PET .....	16
Figura 2.3 Contenido de una funda de basura .....	18
Figura 2.4 Tour de reciclaje.....	18
Figura 2.5 Principales generadores de residuos sólidos urbanos domésticos .....	20
Figura 2.6 Tipologías de residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito.....	21
Figura 2.7 Geometría solar.....	26
Figura 2.8 Geometría Sol-tierra.....	27
Figura 2.9 Célula solar fotovoltaica .....	31
Figura 2.10 Configuración de diodos de paso en una serie de 36 células .....	34
Figura 2.11 Esquema de un generador fotovoltaico.....	34
Figura 2.12 Formación de un rayo eléctrico .....	37
Figura 5.1 Prototipo.....	65
Figura 5.2 Cilindro hidraulico.....	67
Figura 5.3 Esquema eléctrico del motor de plumas utilizado .....	69
Figura 5.4 Viga principal.....	72
Figura 5.5 Fuerzas en Viga principal.....	72
Figura 5.6 Diagrama de cortante en Viga principal .....	74
Figura 5.7 Momento reflector en Viga principal .....	74
Figura 5.8 Estructura del conjunto compactador .....	79
Figura 5.9 Factor de seguridad para el conjunto compactador. ....	80
Figura 5.10 Perno lateral 1 .....	81
Figura 5.11 Perno lateral 2.....	82

Figura 5.12 Diseño de la palanca lateral .....	83
Figura 5.13 Diagrama de fabricación de la base de la palanca lateral .....	84
Figura 5.14 Estructura del equipo .....	85
Figura 5.15 Propiedades del conjunto compactador. ....	86
Figura 5.16 Factor de seguridad para la estructura del equipo .....	87
Figura 5.17 Típico Sistema eléctrico fotovoltaico .....	88
Figura 5.18 Pérdidas en sistemas fotovoltaicos .....	96
Figura 5.19 Diagrama de bloques .....	115
Figura 5.20 Diagrama de fuente.....	117
Figura 5.21 Diagrama etapa de control.....	118
Figura 5.22 Diagrama etapa suiche .....	119
Figura 5.23 Diagrama etapa de fin de carrera.....	121
Figura 5.24 Diagrama driver.....	122
Figura 5.25 Diagrama etapa de potencia e inversor de giro.....	124
Figura 5.26 Diagrama etapa de control .....	126
Figura 5.27 Diagrama para determinar corriente del motor.....	128
Figura 5.28 Diagrama etapa leds monitores.....	130
Figura 6.1 Prototipo armado.....	131
Figura 6.2 Armado de la estructura inicial (4).....	134
Figura 6.3 Procesos de armado de las correas (4) .....	135
Figura 6.4 Proceso de armado tapa y recipiente de botellas.....	137
Figura 6.5 Fabricación de los pernos laterales en el torno.....	138
Figura 6.6 Fabricación de los pernos laterales en el torno (3).....	138
Figura 6.7 Fabricación de la palanca lateral.....	139
Figura 6.8 Fabricación de la base de la palanca lateral .....	140

Figura 6.9 Motor de plumas.....	141
Figura 6.10 Válvula de cerrado y apertura hidráulica de la gata .....	142
Figura 6.11 Motor de elevador de vidrios .....	143
Figura 6.12 Sistema de adaptación del motor de elevador de vidrios .....	143
Figura 6.13 Fabricación de la placa de compactación .....	145
Figura 6.14 Fabricación de los rieles y ejes de base.....	147
Figura 6.15 Adaptación e instalación de una gata hidráulica .....	148
Figura 6.16 Adaptación e instalación de una gata hidráulica .....	149
Figura 6.17 Conexión a motores .....	150
Figura 6.18 Conexión al controlador .....	151
Figura 6.19 Controlador de carga.....	152
Figura 6.20 Ubicación del panel solar .....	153
Figura 6.21 Acción gata – palanca – motoreductor .....	157
Figura 6.22 Pcb del circuito electrónico.....	161
Figura 6.23 Vista superior en 3D de Pcb.....	161
Figura 6.24 Vista inferior en 3D de Pcb.....	162

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Principales propiedades mecánicas y térmicas del PET .....	10
Tabla 2.2. Recolección anual por tipo de vehículo .....	20
Tabla 3.1. Escala de valoración .....	46
Tabla. 4.1. Descripción general del prototipo .....	59
Tabla. 4.2. Escala de valoración .....	62
Tabla. 4.3. Calificación de Alternativas .....	63
Tabla. 4.4. Escala de valoración .....	64
Tabla. 5.1. Propiedades de la Viga .....	75
Tabla. 5.2. Pasos para dimensionar el sistema fotovoltaico.....	89
Tabla. 5.3. Estimado de consumo eléctrico.....	90
Tabla. 5.4 Factor K para una Latitud 0°.....	92
Tabla. 5.5 Cálculo de las HSP sobre un módulo fotovoltaico inclinado 15°.....	94
Tabla. 5.6 Cálculo del rendimiento por temperatura <i>ntem</i> .....	98
Tabla. 5.7 Rendimiento global del sistema fotovoltaico (PR) .....	99
Tabla. 5.8 Calculo de la potencia pico mensual [Wp].....	102
Tabla. 5.9 Calculo de la potencia pico [Wp] mes de mazo.....	103
Tabla. 5.10 Máxima profundidad de descarga en función del tipo de batería ....	106
Tabla. 6.1 Sistemas a montar.....	132
Tabla. 6.2 Elementos y partes.....	132
Tabla. 6.3 Velocidades de los componentes .....	158
Tabla. 6.4 Datos alcanzados en las pruebas.....	159
Tabla. 6.5 Listado de materiales .....	163
Tabla. 6.6 Análisis de costos de un sistema fotovoltaico .....	165

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo a información obtenida en el Municipio de Quito, la ciudad cuenta con 32 parroquias urbanas y 33 parroquias suburbanas con una población de acuerdo al Censo del 2010 (INEC, 2013) de 2.239.191 y una producción *per cápita* promedio de basura de 0,883 Kg por habitante y por día, de acuerdo a la empresa EMASEO (2013), como se puede observar en la tabla No.1.1 a continuación.

Tabla. 1.1. Evolución de la producción per cápita de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de Quito

Año	Producción per cápita (kg/hab/día)
2001	0.793
2002	0.801
2003	0.809
2004	0.817
2005	0.826
2006	0.833
2007	0.841
2008	0.849
2009	0.857
2010	0.866
2011	0.874
2012	0.883

Fuente: EMASEO 2013

Esto significa producir diariamente un promedio de 1.977 toneladas de basura al día, de la cual, de acuerdo a TERMOPICHINCHA, el 61% son desechos orgánicos, un 8.6% corresponde a desechos de papel y cartón, otro 13.8% son plástico (PET), un 4.4% más son desechos tipo vidrio y materiales ferrosos y finalmente un 11.7% son basura que no se puede reutilizar, así se expone en la tabla No.1.2.

**Tabla 1.2. Distribución porcentual de residuos sólidos per capita de Quito 2012**

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Generación en porcentaje %</b>
<b>Orgánicos</b>	61.0
<b>Vidrio</b>	3.2
<b>Plástico (PET)</b>	13.8
<b>Madera</b>	0.5
<b>Metales</b>	1.2
<b>Papel</b>	8.6
<b>Escombros</b>	0.7
<b>Residuos de baño</b>	8.0
<b>Textiles</b>	2.0
<b>Caucho</b>	1.0
<b>TOTAL</b>	100.0

Fuente: Termopichincha. 2012

A simples cálculos, Quito genera 272.83 toneladas de desechos PET al día, de los cuales los hogares solo reciclan o reutiliza un 10% según Carlos Sagasti, Gerente de Emaseo. Esto se puede deber a que una botella plástica ocupa un espacio considerado en una cocina, muy a pesar que los materiales actuales con las que se fabrica, posibilitan el estrujamiento. Si una botella ocupa mucho espacio, 10, 20 o 30 botellas que podrían salir al mes, significaría mantener un sitio exclusivo en la casa para su almacenamiento, lo que dificulta el reciclaje y se prefiere botar día a día, los envases plásticos PET a la basura.

Para tratar de incentivar el reciclaje y disminuir la contaminación ambiental, el Estado creó el “Impuesto Redimible a las Botellas Plásticas no Retornables” en noviembre del 2011, el cual aplica un impuesto adicional a las botellas plásticas no retornables, que el ciudadano consumidor puede recuperar el valor pagado con un correspondiente a dos centavos de dólar por unidad.

Este incentivo ha permitido un gran incentivo al reciclaje, es así que, según información publicada por el diario Hoy (2013) “en el último trimestre de 2012, Ecuador ganó un puesto en el libro Guinness de los Récords por la recolección de más de 1,5 millones botellas de plástico en 15 días”, así mismo, el diario publica que el SRI recaudó USD14 millones por este impuesto y devolvió USD8 millones por el reciclaje.

Esta información es alentadora y sugiere que los hogares ecuatorianos tiene una predisposición de reciclaje, por lo que es necesario eliminar o reducir el problema del almacenamiento, de tal manera que se pueda mantener un buen número de botellas recicladas, sin que ello signifique espacios grandes necesarios.

Es así como, a través del presente proyecto, se pretende entregar un recolector electromecánico, que permita compactar las botellas que día a día salen de un hogar, de manera limpia, sin ocupar grandes espacios en la casa y sin consumo de energía eléctrica pública, sino a través del suministro eléctrico proveniente de paneles solares.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá diseñar un recolector de fuente fotovoltaica (paneles solares) que permita la compactación de botellas PET?

## **1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Se cuenta con un motor eléctrico con el caballaje suficiente para compactar una botella PET?
- ¿Qué sistema de panel solar fotovoltaico será suficiente para generar electricidad a un motor eléctrico de alto caballaje?
- ¿Qué niveles de seguridad deberá tener un equipo compactador de basura doméstico?
- ¿Existe la suficiente conciencia ecológica como para implementar un sistema de reciclaje de botellas dentro de un hogar?
- ¿Qué presupuesto tendrá un sistema de este tipo para el hogar?

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un recolector y compactador eléctrico, para el reciclaje de botellas plásticas PET, impulsado por energía solar.

## **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Entender los principios teóricos respecto al PET, y su recuperación mediante el uso de compactadores a base de energía solar
- Establecer una metodología, que considere las fases de trabajo encaminadas a concretar el desarrollo del producto planteado.
- Analizar tres alternativas de diseño del colector y compactador de botellas PET que sirvan como referente para la construcción del prototipo.
- Diseñar y seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que servirán para armar el prototipo.
- Construir y montar el colector y compactador impulsado por energía solar, para el reciclaje de botellas plásticas PET.

## **1.5 JUSTIFICACION Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

De acuerdo a la información obtenida en Aduanas del Ecuador (2013), el Ecuador importó 47.000 toneladas de PET<sup>1</sup> en el año 2010, de este monto, 32.900 toneladas (equivalente al 70%) fueron utilizadas para la producción de

---

<sup>1</sup> Polyethyleneterephthalate o PET, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas

botellas plásticas transparentes para el consumo de agua y otro tipo de bebidas.

De estas 47.000 toneladas, de acuerdo al Municipio de Quito, solo se reciclan 22.000 toneladas que no fueron consumidas por la industria, por lo que sería de mucha importancia que el reciclaje naciera desde el hogar mismo donde se consumen las bebidas, esto es, reciclar los envases PET una vez que hayan sido utilizados.

De acuerdo al informe emitido por Laboratorios Rocnarf (2011) las botellas de plástico, una vez que han sido enterradas, tardan de 100 a 1.000 años en degradarse, ya que no tienen microorganismos que las ataquen, esto ha impulsado a las persona y al Estado a reciclar dichas botellas para reducir el impacto en el ambiente.

Pero la problemática es que no todas las personas quieren mantener bolsas muy grandes de almacenamiento de botellas, que ocupan espacios que muchas veces no se dispone, por lo que una compactadora, permitirá reducir considerablemente el espacio de almacenamiento, estimando a breves cálculos, que se podría optimizar hasta en un 80% el almacenamiento, una vez que haya sido compactada.

Esto traerá como beneficios, el que se pueda almacenar un número mayor de envases, con el consiguiente beneficio para la naturaleza y la comodidad para almacenar y empacar. Aparte de lo dicho, la persona o comunidad que puede disponer de un recolector y compactador como el de la

propuesta, no tendrá que preocuparse por el consumo de electricidad, ya que el sistema trabajará con un panel solar que captará la luz tanto proveniente del sol, como de la iluminación interna de un hogar, así tendremos beneficios conjuntos, que sería el reciclaje y el bajo consumo eléctrico sin el uso de combustibles fósiles.

### **1.5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La investigación y desarrollo de este recolector y compactador de botellas PET dará paso a la necesidad de que se quiera instalar en la ciudad de Quito y si la instalación es realizada por un técnico capacitado teniendo en cuenta todas las variables del sistema de paneles fotovoltaicos, el sistema estará listo para funcionar durante periodos prolongados sin ser necesario un mantenimiento esmerado, tan solo una inspección técnica cada seis meses.

### **1.5.3 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA**

La investigación se realiza en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en el período de septiembre a diciembre del 2013.

### **1.6 DELIMITACIÓN DEL CONTENIDO**

El diseño y construcción del proyecto que tendrá como resultado un compactador de botellas plásticas tipo PET, tendrá como fuente de energía el panel solar (fuente fotovoltaica), será destinado para uso semi industrializado, con medidas de protección que evite la introducción de las manos, de un tamaño adecuado.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Las botellas plásticas tipo PET

##### 2.1.1 ¿Qué es el PET?

Según Néstor Fraume (2010) el PET es en sus siglas en inglés *polietilen tereftalato*, es un polímero plástico que se obtiene a través de un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. “Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo que lo hace apto para ser transformado a través de procesos de extrusión, inyección, inyección soplado y termoformado” (pág. 345).



**Figura 2.1 Envases PET**

**Fuente:** (Valtueña, 2004)

Entre sus principales características se encuentran:

- Presenta cristalinidad y transparencia
- Alta resistencia a esfuerzos permanentes

- Alta resistencia al desgaste
- Posee buen coeficiente de deslizamiento
- Posee gran resistencia química
- Posee buenas propiedades térmicas
- Es compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera al CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y humedad
- Es reciclable
- Es apto para su uso en productos alimentarios
- No es biodegradable (Valtueña, 2004)

El PET es un tipo de plástico que gracias a sus propiedades es muy utilizado en la fabricación de envases para bebidas y textiles. El PET fue utilizado como fibra a partir de 1946 y a partir de 1952 su uso fue incrementado en la fabricación de envases para alimentos y por sus características se abrió camino en la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno, como el caso de agua mineral o bebidas carbonatadas.

### **2.1.2 Propiedades Mecánicas del PET**

El PET se caracteriza por poseer baja dureza (HB 20), propiedades mecánicas relativamente bajas, como son su resistencia a la compresión (260 – 468) y al impacto (>50), como se muestran en la tabla 1. Igualmente sus principales propiedades térmicas indican, que pueden ser sometidos al procesos de conformado en frío, como extrusión, embutido, trefilado, entre otros, sin deformarse, lo que favorece el desarrollo de este trabajo (Valtueña, 2004).

Tabla 2.1. Principales propiedades mecánicas y térmicas del PET

Propiedades	Unidad	Norma (ASTM)	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	D-792	1,34 - 1,39
Resistencia a la compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695	260-468
Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790	1450
Resistencia al Impacto	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	D-256	>50
Módulo de elasticidad (Tracción)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	37 000
Dureza Brinell	HB	D-2240	20
Resistencia al calor	°C	C-351	80 – 120
Dilatación Térmica	10 <sup>-4</sup> /°C	D-696	15,2 – 24
Temperatura de Fusión	°C	-	224–254

Fuente: Richardson, J., y M. Lokensgard. 2003. p: 256 - 258.

Las características de este material (PET), sirvieron de base para la selección de los materiales empleados en las alternativas de diseño y desarrollo del prototipo propuesto, para el reciclaje de las botellas plásticas, ya que todos los valores de resistencia son menores de 1N/mm<sup>2</sup>, lo que garantiza utilizar materiales de bajo costo económico y sin grandes exigencias técnicas, como los aceros al carbono (Valtueña, 2004).

### 2.1.3 Degradación del PET

Según Edwin Fuentes y otros (2012) señalan que el PET puede degradarse a través de diferentes métodos, entre los que se cuentan el químico

y natural. Dentro del químico se puede hacer el reuso del material para un nuevo producto, lo que se puede lograr por la modificación de su estructura molecular. Dentro del proceso natural, la degradación puede demorar 50 o más años.

### **2.1.3.1 Degradación química**

Edwin Fuentes y otros (2012) añaden que dentro de la degradación química intervienen las propiedades físicas y mecánicas del desecho PET. Existe la degradación por medio de fluido supercrítico que se realiza a través del uso de disolventes como: tolueno, acetona, benceno, xileno y etil-benceno a temperaturas que se ubican entre 583 y 643 K y presiones entre 4 y 6 MPa.

Disolución de poliestireno mediante corrientes petroquímicas (aceite de ciclo ligero), esta degradación consiste en el craqueo térmico en reactor de contacto corto a una temperatura entre 723 a 823 K.

En la degradación por hidrocraqueo se realiza por medio del procesamiento de aceite proveniente de pirolisis de plásticos para obtener un producto que cumpla con las propiedades de un combustible. Para llevar a cabo esta degradación se requiere de un reactor tubular continuo, con la utilización de óxido de aluminio como catalizador a una temperatura entre 623 y 723 K. A través de este proceso:

Se obtiene conversiones de poliestireno hasta el 98% a través de un proceso térmico y el 88% sobre Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, durante un tiempo de reacción de 240 minutos a

685 K y 6 MPa de H<sub>2</sub>. La disminución en la conversión del proceso catalítico frente al térmico se encuentra relacionada con que el Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> promueve reacciones de terminación, posiblemente por hidrogenación de radicales (Fuentes, González, & López, 2012, pág. 54).

La degradación por hidrólisis alcalina consiste en la trituración de los desechos de PET con una solución de NaOH, esta mezcla se somete a calor hasta que alcance el punto de ebullición, al finalizar se enfría y los residuos son filtrados.

### **2.1.3.2 Degradación natural del PET**

Según Ortuño (2005) dentro de la degradación natural del PET, se halla la foto degradación por acción de la energía de activación requerida por medio de luz ultravioleta del sol, necesaria para la incorporación de oxígeno en el polímero. Esta acción produce que el plástico se rompa y se divida en pedazos cada vez más pequeños hasta que las cadenas poliméricas alcancen un peso molecular suficientemente bajo para que pueda ser metabolizado por los microorganismos. Este proceso puede alcanzar un periodo de 50 años o más.

La degradación por termo-oxidación, en la cual el oxígeno juega un papel importante, ya que de él depende en gran medida que las reacciones de escisión de la cadena domine sobre las reacciones de ampliación moleculares. “Los radicales alquilo reaccionan rápidamente con el oxígeno y forma radicales peroxilo, lo que puede hacer abstracción de hidrógeno inter o intramolecular para formar hidroperóxidos poliméricos” (Ortuño, 2005, pág. 71). Este tipo de degradación se lleva a cabo en un rango de 150 a 250°C de temperatura.

Finalmente se halla la biodegradación por medio de microorganismos. De este tipo de degradación aún existen estudios que determinan el tipo de microbios que podrían colaborar, no obstante, estudios han demostrado que el esterasa un tipo de microbio de la especie de nocardia podrían ser los seleccionados. Este proceso sería muy lento.

#### **2.1.4 Aprovechamiento del PET**

Ortuño (2005) menciona que la recuperación de envases PET es el inicio del aprovechamiento postconsumo de este tipo de residuo. Existen diversas formas de recolección selectiva, tal como sucede con otro tipo de materiales, una vez recogidos son transportados a plantas de clasificación de residuos, en donde se separan por grupos.

Los sistemas de aprovechamiento de los envases PET postconsumo pueden ser de tres tipos: reciclado mecánico, reciclado químico y valorización energética (Ortuño, 2005, pág. 71).

El primero es el sistema más usado, su selección está basada en operaciones que diferencian la densidad de diferentes materiales y luego del proceso mecánico se obtiene un material en forma de escamas o de granza que sirve para ser utilizado en envasado similar al del PET virgen, con excepción de aquellas que tengan relación con alimentos.

El segundo tipo de reciclado está basado en la metanólisis, hidrólisis, glicólisis y saponificación que consiste en la despolimerización del material a través de distintos agentes químicos, obteniéndose productos con elevada pureza. Tienen la particularidad de ser igual al material virgen, por lo que tiene los mismos usos, incluyendo alimentos.

En cuanto a la valorización energética, el PET posee un poder calorífico parecido al del carbón con una combustión considerada limpia, pudiendo ser utilizada de forma eficaz como sustituto de los combustibles fósiles en la producción de energía.

El aprovechamiento del PET reciclado es variado, lo que hace que tenga gran demanda, aunque uno de los inconvenientes para un eficaz aprovechamiento del PET reciclado radica en la recuperación de los envases postconsumo, por lo que es imprescindible concientizar en la población el efecto que tiene sobre el medio ambiente el reciclaje de este tipo de materiales.

## **2.2 El reciclaje**

El reciclaje es parte de la regla de las 3 “r”: reducir, reutilizar y reciclar. Según Marco Seoáñez (2005), esta regla permite vivir en un mundo más sano y limpio, muestra respeto por el medio ambiente y por el deber de heredar un planeta que brinde todas sus riquezas a las futuras generaciones.

Marco Seoáñez (2005), indica que con el continuo crecimiento en la generación de basura, las complejidades del tratamiento de desechos están relacionadas con la forma de tratar los nuevos materiales que se encuentran en los botaderos, así como en buscar estrategias que permitan mantener una relación amigable con el medio ambiente. Dentro de estas estrategias se consideran aquellos argumentos que influyen en optar por las alternativas que ofrece el reciclaje.

El reciclado es: “un método de tratamiento de residuos sólidos que permite obtener fracciones compuestas por agrupaciones de sus componentes, sin estar estos sometidos a alteraciones químicas. Estas fracciones debidamente acondicionadas o transformadas serán productos viables de ser reutilizados” (Seoáñez, 2005, pág. 12).

El reciclaje es un proceso que tiene como objetivo primordial recuperar de forma directa o indirecta los componentes de los residuos urbanos que permitan: conservar o ahorrar recursos naturales, disminuir el volumen de residuos a ser eliminados, conservar o ahorrar energía y proteger el medio ambiente (Seoáñez, 2005). Es un método que va acorde a las condiciones sanitarias, sociales y técnicas que requieren los métodos de disposición final para ser factibles y como tal presenta ventajas y desventajas como:

### **2.2.1 Ventajas:**

- Permite la recuperación de materia orgánica, la cual es usada como abono o fertilizante.

- Disminuye de forma considerable el volumen de residuos sólidos que son destinados a rellenos sanitarios.
- Fomenta una cultura de reciclaje.
- Reduce las emisiones de gases de invernadero.
- Colabora en el sostenimiento del medio ambiente para generaciones futuras.
- El material reciclado se convierte en materia prima de buena calidad, a menor costo y produce un ahorro de energía.
- Conlleva a la creación de plazas de trabajo.

### 2.2.2 Desventajas:

- Sobreoferta de productos reciclados
- Requiere una suficiente demanda de materiales recuperados para que se convierta en un sistema realmente sustentable.



Figura 2.2 Reciclaje de PET

Fuente: Clan eco.com (2012)

### 2.2.3 ¿Qué es reciclar?

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua (2008), reciclar es someter materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizables. Los materiales que pueden ser reciclables son: el vidrio, el papel, el plástico en todas sus formas (PET), el cartón, el metal, el cobre, el hierro, entre otros.

En la actualidad en la ciudad de Quito, se está promoviendo una cultura sobre el reciclaje, tanto a nivel social, cultural, comercial y educativo, así el 1 de junio del año 2011, se inició un amplio proyecto público-privado sobre la necesidad de cuidar el ambiente, a través de mejores prácticas en la generación y manejo de residuos.

También, se puede mencionar a EMASEO (2013) que ha lanzado una campaña informativa y educativa que tiene el fin de promover la práctica del reciclaje en la ciudad de Quito, para ello dentro del informativo hace referencia a lo que generalmente contiene una funda de basura para motivar la selección de residuos, e indica que: el 54,69% corresponde a residuos orgánicos de cocina, el 11,53% a rechazos, el 5,64% a fundas plásticas, el 4,89% a madera, textiles y otros, el 3,72% a papel, el 3,09% a residuos orgánicos de jardín y el resto incumbe vidrio, botellas pet, metal y electrónicos.

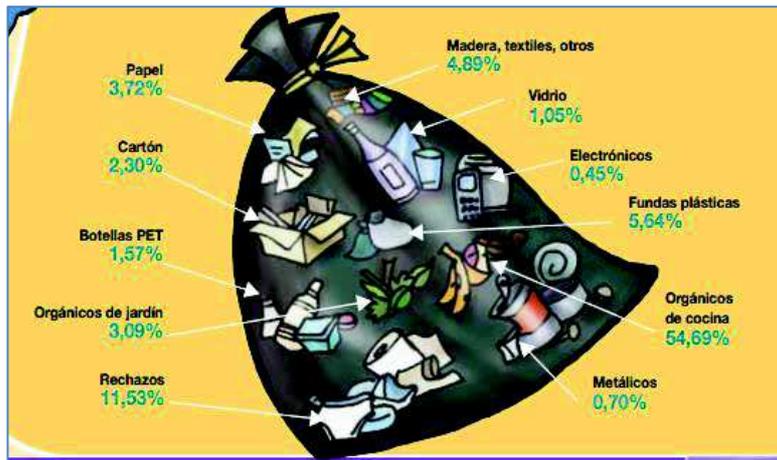


Figura 2.3 Contenido de una funda de basura

Fuente: (EMASEO, 2013)

Para impulsar el reciclaje, EMASEO ha establecido Puntos Limpios en donde la recolección diferenciada transporta los residuos a centros de acopio para que recicladores autorizados sean los que separen los materiales considerando sus características.



Figura 2.4 Tour de reciclaje

Fuente: (EMASEO, 2013)

Según Santiago Armas (2010) para reciclar es preciso considerar:

- En los contenedores verdes se debe colocar: vidrio (botellas de vidrio de todo color), tarros de vidrio, frascos de conservas, tarros de cosmética y perfumería, sin sus tapas.
- En los contenedores azules se deben depositar: periódicos, revistas, propagandas, cajas pequeñas de cartón, envases de cartón, bolsas de papel. No se deben depositar pañales, papeles sucios o encerados.
- En los contenedores amarillos se deben depositar: envases de metal (botes de bebidas, latas de conservas, aerosoles, platos y bandejas de aluminio, chapas de metal); cartones plastificados (de leche, nata, zumos, vinos); envases plásticos para alimentación; envases plásticos para productos de limpieza y belleza, bolsas y envolturas de plástico y aluminio.

## **2.3 Residuos sólidos en Quito**

### **2.3.1 Datos estadísticos**

EMASEO (2013) señala que en Quito se recogen 1.600 toneladas de basura diariamente, lo que quiere decir que cada ciudadano que vive en esta ciudad produce 0,85 kg de residuos sólidos cada día. Los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Quito, responden a las diferentes actividades desarrolladas en la urbe. Marcelo Castillo (2012) indica que las fuentes de producción de estos residuos corresponden a instituciones, escuelas y colegios, industrias, parques, mercados, hospitales, viviendas y barrido.

Castillo (2012) indica que el porcentaje de residuos sólidos urbanos recogidos en mayor proporción en el año 2012 corresponde a los vehículos que llevan carga posterior con un 82,43%; y en menor proporción (1,11%) a las barredoras o canters.

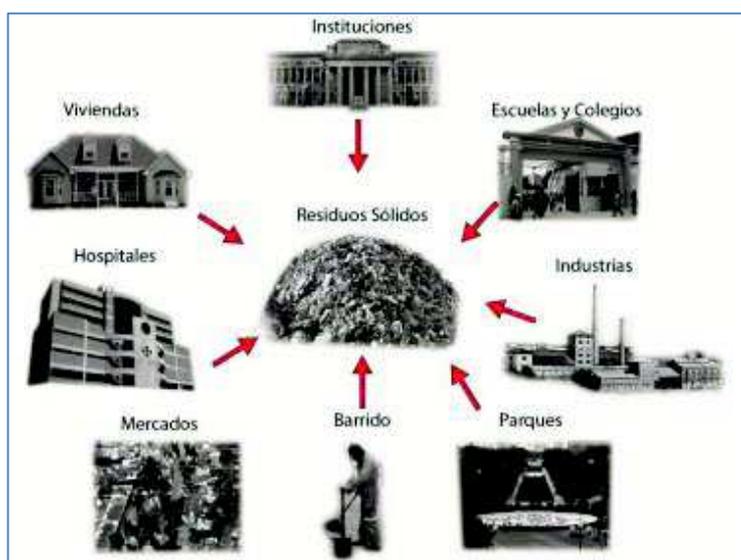


Figura 2.5 Principales generadores de residuos sólidos urbanos domésticos

Fuente: (Castillo, 2012)

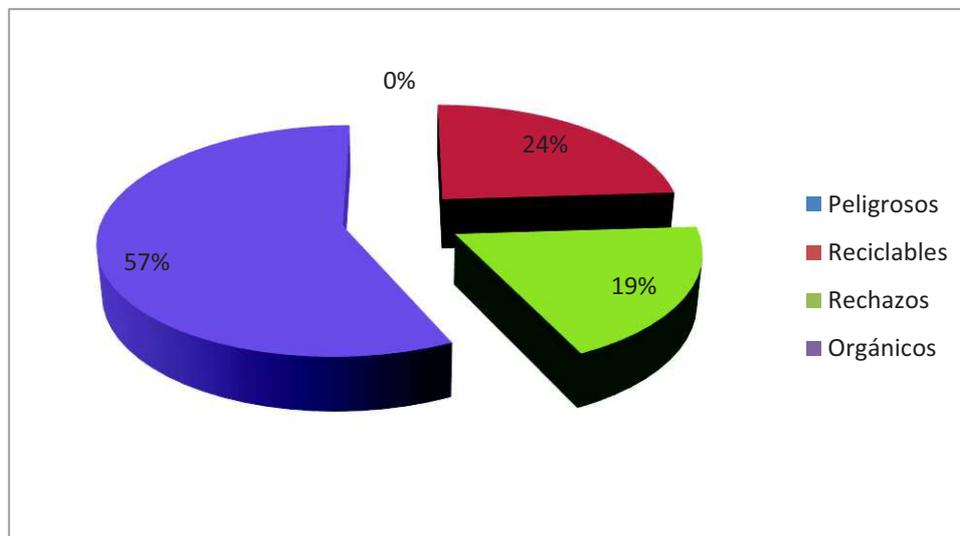
En el Tabla que se expone a continuación se puede apreciar los porcentajes de residuos sólidos que recogieron los diferentes vehículos en la ciudad en el año 2012.

Tabla 2.2. Recolección anual por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Promedio 2012
Carga posterior	82,43%
Carga frontal	5,48%
Carga lateral	3,03%
Volqueta + roll off	7,96%
Barredora, Canter	1,11%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Diego Recalde

Recalde (2012) señala que al agrupar por tipologías de residuos los resultados para el Distrito Metropolitano de Quito, a base de una agregación de medias ponderadas de sectores censales (véase Gráfico1).



**Figura 2.6 Tipologías de residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito**

**Fuente:** (Castillo, 2012)

**Elaborado por:** Diego Recalde

La mayor cantidad de residuos sólidos urbanos en la ciudad corresponden a desechos orgánicos y un buen porcentaje pertenece a material reciclable que podría procesarse para obtener materia prima para elaborar nuevos productos. En cuanto a reciclaje, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2010), en Ecuador el 15% de los hogares clasifican los desechos orgánicos, el 17% los desechos plásticos y el 20% el papel.

Reciclar es una tarea de todos los que se consideren amigos de la naturaleza, es preciso concientizar en la herencia que se dejará a los ciudadanos del mañana. EMASEO (2013) aconseja que para tener una ciudad limpia se sigan estos tres pasos:

1. Respetar el horario de recolección y sacar la basura en fundas cerradas.
2. No arrojar basura a las calles cuando se camina, ni desde los vehículos.  
Se debe usar siempre los basureros.
3. Mantener limpio el frente de la casa en la que habita o negocio.

### **2.3.2 Reglamentación legal del reciclaje en Quito**

En la Constitución de la República del Ecuador (2008), en el Título II, Capítulo II, Sección segunda “Ambiente Sano”, Artículo 14: se reconoce que la población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, principalmente para garantizar la sostenibilidad y el buen vivir. Además se aclara que es de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país.

Tomando en cuenta estos principios el Municipio Metropolitano de Quito, expide la Ordenanza del manejo de residuos sólidos del DMQ, en él se expone las obligaciones que tienen los habitantes de la ciudad y de los compromisos que asume como ente regulador (Ver anexo 1).

## **2.4 El sistema de paneles solares fotovoltaicos**

José Valtueña (2004) menciona que el interés por las energías renovables ha despertado el interés de numerosos países, ONG y organismos

gubernamentales, en vista de que su valor se centra en que el suministro de energía en forma local con el aprovechamiento de recursos naturales.

Con esta visión la UNESCO en el año 1996 inició un Programa Decenal de Energías Renovables, advirtiendo que las energías renovables suministran el 18% de la energía en el mundo, del cual el 60% corresponde a la biomasa (madera) y el 30% a las centrales hidroeléctricas, cuyas posibilidades de renovación han llegado casi a los límites en numerosos países occidentales. No así el viento y el Sol quienes proporcionan el 0.4% del total de la energía producida en el mundo. (Valtueña, 2004).

Razones por las cuales Allan y Gill Bridgewater (2009) mencionan que las células fotovoltaicas son la “gran promesa futura” en el campo de las energías alternativas. “La luz solar incide sobre las células, lo que produce una pequeña cantidad de electricidad; que se utiliza directamente para pequeños ventiladores o motores, o bien se almacena en un conjunto de baterías” (pág. 15). Las células fotovoltaicas de acuerdo a su tamaño y tipo pueden proporcionar tanta energía eléctrica como sea necesario.

Existen células solares monocristalinas, paneles solares policristalinos, paneles de silicio amorfo, paneles de silicio multicristalino, células de selenio de indio-cobre, células de galio y arsénico (Bridgewater & Bridgewater, 2009). La electricidad obtenida por pilas solares se utiliza para hacer funcionar bombas de agua, lámparas, neveras, televisiones, entre otros. y en cuanto a ventajas y desventajas se tiene

Las ventajas de este tipo de energía son:

- Es libre y abundante
- Tiene un impacto ambiental bajo
- Sus costos de operación son bajos
- No requieren grandes suministros ni centrales, ni redes de distribución caras
- Tiene aceptación pública como fuente de energía natural
- Produce emisiones de CO<sup>2</sup> insignificantes, no emite otro tipo de gases contaminantes a la atmósfera por lo que no contamina
- No genera residuos ni ruidos
- Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad
- Instalación en zonas rurales: desarrollo tecnologías propias.
- Tolera aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos (Bridgewater & Bridgewater, 2009)

Las principales desventajas de este tipo de energía son:

- Su disponibilidad resulta intermitente y por lo tanto, requiere un almacenaje eficiente o la construcción de sistemas de retroceso, con el fin de que el suministro de energía sea continuo
- Es una fuente de energía difusa, ya que provee una energía de baja densidad por unidad de superficie de captación, con lo que se necesitan grandes áreas para captar energía. (En promedio, un kilovatio requiere un metro cuadrado).

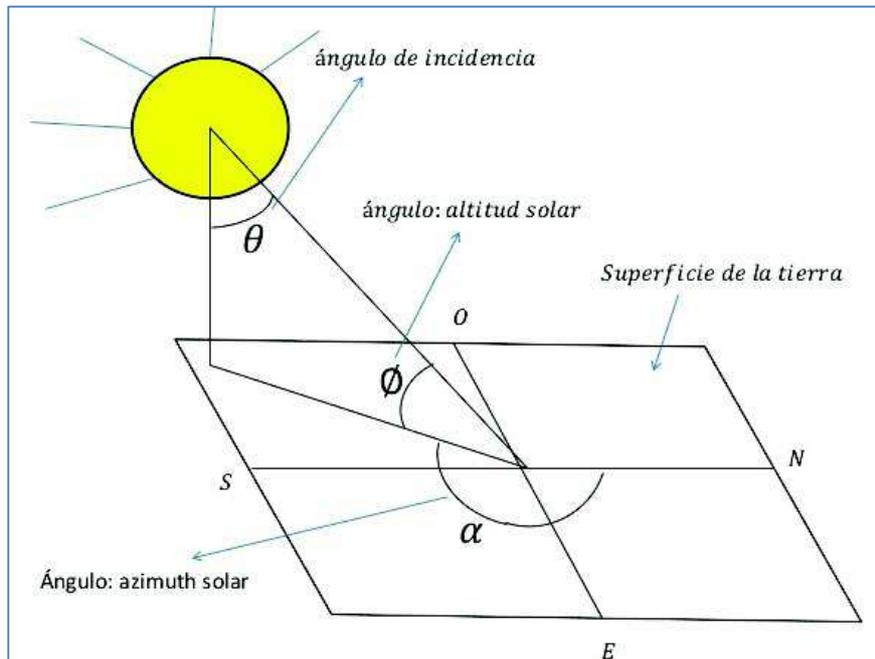
- Para la construcción del captador de energía y para su almacenaje, se requiere elevados costes de capital; esto contrarresta la naturaleza libre de la misma energía durante varios años, hasta que la inversión se recupera.
- No recibe ayudas económicas ni créditos en buenas condiciones de los gobiernos que reconozcan el bajo nivel de contaminación y de emisiones de gases invernadero que ocasiona respecto al uso de combustibles fósiles (Bridgewater & Bridgewater, 2009).

#### **2.4.1 La geometría solar.**

Al hablar del aprovechamiento de la energía solar, es preciso tomar en cuenta la geometría solar. Para Rubén Rodríguez (2013) al modelar cualquier tipo de sistema que esté basado en la radiación solar, es importante considerar: los cambios de estación, la posición del Sol cada hora, el ángulo de incidencia de la luz, la posición del Sol al momento de decidir la colocación del colector.

La posición del Sol se puede describir a través de dos ángulos diferentes:

- Ángulo azimuth o alfa ( $\alpha$ )
- Ángulo altitud o elevación ( $\phi$   $\Phi$ )



**Figura 2.7 Geometría solar**

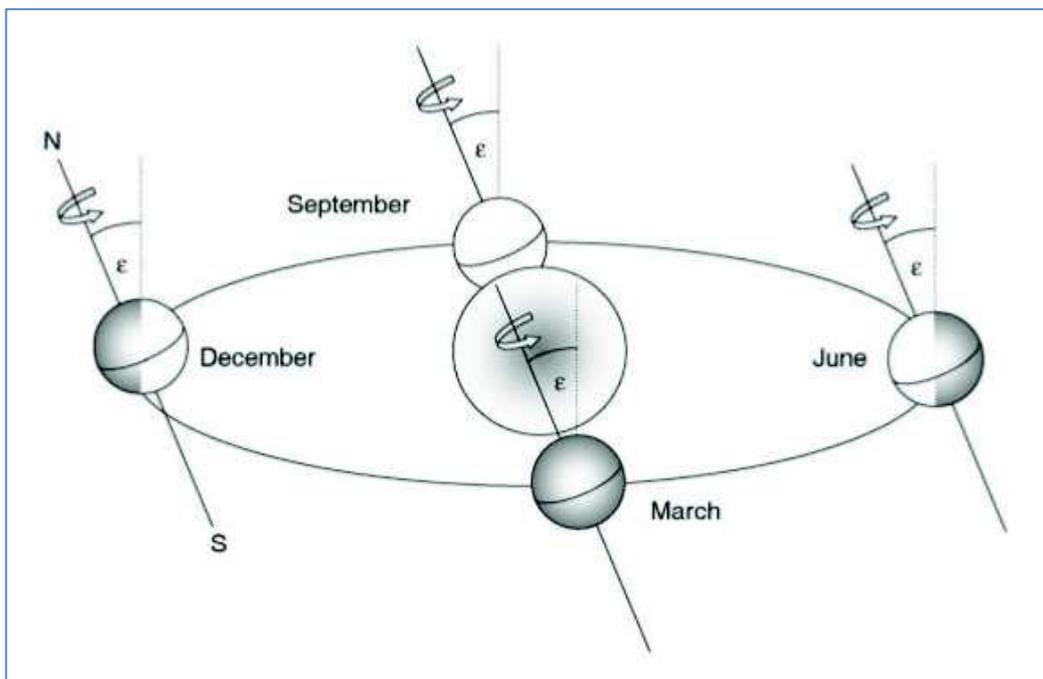
**Fuente:** (Rodríguez R. , 2013)

El ángulo de incidencia “no es una medida de la posición del Sol, más bien es una medida de la cantidad de radiación incidente sobre una superficie vertical” (Rodríguez R. , 2013, pág. 5). El ángulo de incidencia está relacionado con la altitud solar:  $\Phi = 90^\circ - \phi$ .

Los dos ángulos suministran valiosa información sobre la orientación de la luz solar entrante en un objeto o estructura. Con esta información, los colectores solares “deben instalarse para que estén a menos de  $20^\circ$  de cada lado perpendicular al Sol. Mediante la incorporación de un sistema que se adapta al ángulo de incidencia del Sol, podemos controlar mejor el ángulo de incidencia en la superficie del colector” (Rodríguez R. , 2013, pág. 5).

El Sol es una estrella razonablemente constante, en su radiación se pueden detectar mínimas variaciones en la naturaleza e intensidad de la radiación que emite. “Por esta razón hablamos de la constante solar, que es la intensidad de la radiación solar que alcanza la parte superior de la atmósfera terrestre” (Glynn & Heinke, 2004, pág. 221)

Dentro de la constante solar según Steven Szokolay (2004 ) es preciso considerar que el Sol “es una esfera de diametro  $1.39 \times 10^9$  m y su distancia media es de  $1,495 \times 10^{11}$ m” (pág. 245). El Sol es considerado como un cuerpo negro, cuya temperatura efectiva es de  $T_s = 5762$  K. Apenas el 70% de la radiación incidente es absorbida por la tierra y el 30% restante es reflejado directamente en el cielo.



**Figura 2.8 Geometría Sol-tierra**

**Fuente:** (Rodríguez R. , 2013)

Steven Szokolay (2004 ) señala que la tierra tiene varios movimientos, de los cuales dos son los más significativos. El primero es el de translación orbital alrededor del Sol que sucede en un año solar de 365d 5h 45m 45.19s con una velocidad orbital media de 107,229km/h. El segundo es el movimiento de rotación que acontece en un día solar medio de 23h 56m 4.0989s a una velocidad de 465m/s.

La tierra se mueve alrededor del Sol en una órbita elíptica, lo que le permite completar una vuelta cada año y gira sobre su propio eje una vez al día. “Este eje está inclinado en un ángulo de 23,45° respecto de la normal al plano de la órbita de la tierra (la eclíptica)” (Rodríguez R. , 2013, pág. 10).

En vista de que la inclinación del eje de rotación siempre es paralelo a sí mismo a lo largo de su desplazamiento orbital, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre en un punto distinto cada día del año. El ángulo máximo que se produce en el hemisferio norte entre el rayo solar y el Ecuador se presenta en el día 21 de junio, por otro lado, el ángulo máximo que se da en el hemisferio sur entre el rayo solar y el Ecuador se presenta el día 21 de diciembre (Fuentes V. , 2007, pág. 47). Existen dos puntos en los cuales los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el Ecuador, a lo que se le llama Equinoccio de Primavera y se produce el 21 de marzo, y el segundo se le conoce como Equinoccio de Otoño y se produce el 23 de septiembre.

“Son éstas variaciones del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre las que determinan las distintas duraciones del día y la noche a lo largo del año, un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre

con altas diferencias de presión que originan desplazamientos atmosféricos compensatorios (el viento). Determinan también a las estaciones, a todos los factores ambientales naturales y a la vida misma” (Fuentes V. , 2007, pág. 47).

Dentro del diseño arquitectónico es preciso considerar la geometría solar. El conocimiento de la trayectoria de los rayos solares, como su efecto térmico y lumínico permite dar una mejor orientación a las edificaciones, optimizar la orientación de los dispositivos de control solar.

#### **2.4.2 La radiación solar**

Henry Glynn y Gary Heinke (2004) en relación a la radiación solar, manifiestan que:

El Sol suministra el 99.97% del calor que se utiliza para todos los procesos naturales en la superficie terrestre. Las otras fuentes son 1) la energía geotérmica, proveniente de la desintegración nuclear que se produce en el interior del planeta, y 2) la luz de las estrellas que llega del espacio (pág. 221).

La energía media anual que recibe la tierra es de  $5.5 \times 10^{24}$  J, ó  $1.5 \times 10^{18}$  kWh y la constante solar medida en ángulo recto al haz solar, se estima en 1368 W sobre cada metro cuadrado del perfil circular del planeta de cara al Sol. La rotación de la Tierra permite que se distribuya la energía solar sobre la superficie de la esfera (Glynn & Heinke, 2004, pág. 221).

En promedio, la radiación solar se distribuye de la siguiente forma:

1. Las nubes, el vapor de agua y el dióxido de carbono absorben alrededor del 17% y calientan la atmósfera directamente.
2. Aproximadamente el 30% se refleja de regreso al espacio desde las nubes y desde los gases o partículas atmosféricas.
3. Alrededor del 53% alcanza el suelo. Unas dos terceras partes de esto es en forma de luz solar directa, capaz de formar sombras. El resto de luz difusa: el azul del cielo y el gris de un día nublado.

La intensidad media real en promedio de 24 horas de radiación solar en el nivel suelo puede variar entre los  $80\text{W/m}^2$  (en las zonas subpolares nubladas) y  $250\text{W/m}^2$  (en los desiertos subtropicales). Lógicamente, la intensidad es 0 durante la noche y los valores durante el día pueden ser mayores que el promedio. Para acumular  $1\text{kW}$  de energía solar es preciso recolectarla sobre un área de  $6\text{ m}^2$ , si se consigue una absorción perfecta (Glynn & Heinke, 2004, pág. 221).

### **2.4.3 Célula solar**

Según consta en el diccionario Oxford-Complutense (2004) se conoce como célula solar a la célula eléctrica que emplea la radiación solar para producir una corriente eléctrica que puede ser utilizable. La mayoría de las células solares consisten en un único cristal de una unión *p-n* de silicio. Cuando los fotones de la energía luminosa del Sol inciden sobre o cerca de la unión semiconductor, los pares electrón-hueco creados son forzados a separarse por el campo

eléctrico en la unión de manera que los huecos pasan a la región  $p$  y los electrones pasan a la región  $n$  (UNJAEN, 2010).

Este desplazamiento de cargas libres crea una corriente entre los terminales del dispositivo. Las células solares de silicio individuales no pueden ser fabricadas con un área superficial mayor de  $4.000 \text{ mm}^2$  y la potencia máxima liberada por esta célula es de aproximadamente  $0,6\text{W}$  a unos  $0,5\text{V}$  en su máximo. La eficiencia de dichos dispositivos es de aproximadamente el 15%.

Generalmente las células solares son ensamblados en redes. Los paneles de células solares han sido la única fuente de energía de satélites y capsulas espaciales. Su utilización sobre la Tierra es limitada por su alto coste. Para que pueda ser manejada en igual forma que las otras fuentes de energía debería reducirse en su coste un factor 10 (UNJAEN, 2010).

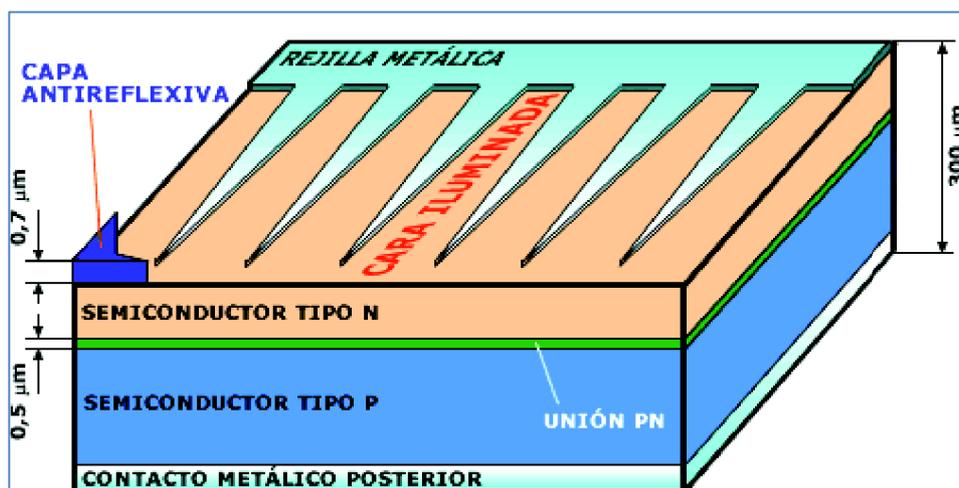


Figura 2.9 Célula solar fotovoltaica

Fuente: (UNJAEN, 2010)

#### **2.4.3.1 Funcionamiento de una célula solar**

Oscar Perpiñán (2012) indica que la corriente de una célula solar es un balance entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad, que a su vez, depende de la tensión aplicada en los terminales del dispositivo. Cuando la tensión aplicada es nula (la célula está cortocircuitada) la corriente se debe exclusivamente a la fotocorriente.

El valor de la corriente permanece casi constante hasta las cercanías del valor de tensión en el que el diodo empieza a conducir. A partir de este punto, la corriente disminuye abruptamente hasta alcanzar un valor nulo (célula en circuito abierto) en el punto donde la fotocorriente y la corriente de oscuridad quedan compensadas. Para entender el funcionamiento de la célula solar, es necesario considerar la influencia de los dos principales factores externos: la temperatura ambiente y la iluminación incidente (Perpiñán, 2012, pág. 48).

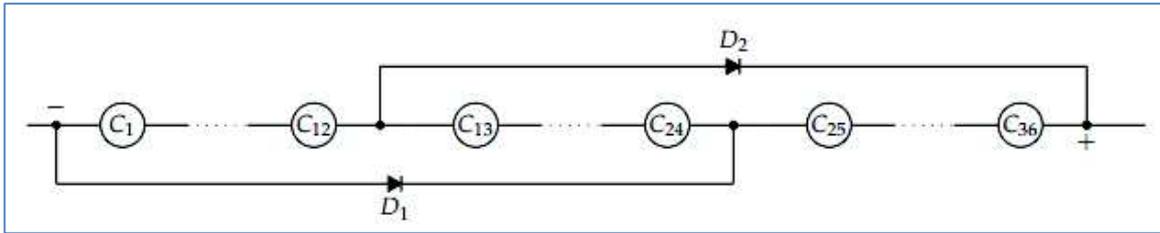
#### **2.4.4 Asociación de dispositivos fotovoltaicos**

Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales, es preciso hacer agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente adecuadas. A esta asociación de dispositivos fotovoltaicos se les llama módulo fotovoltaico, y debido a esta asociación haya una protección para las células físicamente de la intemperie aislándolas eléctricamente del exterior (Perpiñán, 2012, pág. 48).

Es preciso señalar que existen variedades de módulos diferentes, tanto por su configuración eléctrica como por sus características estructurales y estéticas. Por lo general este conjunto se encuentra dentro de una estructura de aluminio anodizado con la finalidad de aumentar la resistencia mecánica del conjunto además de facilitar la fijación del módulo a la estructura.

“En general, la asociación de células es encapsular en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico (frecuentemente se emplea el tedlar) u otra lámina de cristal cuando se desea obtener módulos con algún grado de transparencia” (Perpiñán, 2012, pág. 53).

El vidrio frontal debe tener las características necesarias para mantener una alta transmisividad en la banda espectral en la que trabajan las células solares, sea resistente al impacto y a la abrasión. Su superficie debe ser de tal forma que combine su comportamiento antireflexivo con la ausencia de bordes que permitan la acumulación de suciedad o dificulten la limpieza de esta a través de la acción combinada del viento y la lluvia (Perpiñán, 2012). En la creación de paneles solares son frecuentes los módulos de potencia superior a los 200Wp y tensiones en el rango de 30V a 50V. Para resguardar a la célula sombreada es preciso habilitar un camino alternativo de corriente y así evitar que trabaje como un receptor de la potencia del resto de la agrupación, y para ello se suele incluir diodos de paso conectados en paralelo con la agrupación serie, de esta manera la curva corriente-tensión de la agrupación difiere sensiblemente de la ideal cuando estos se activan. A continuación se expone una configuración típica de diodos de paso en una serie de 36 células.

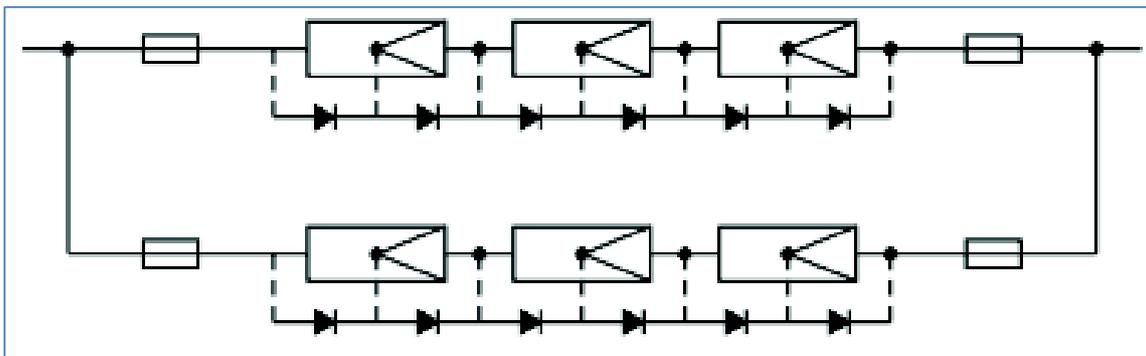


**Figura 2.10 Configuración de diodos de paso en una serie de 36 células**

Fuente: (Perpiñán, 2012)

Para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada, la asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos denominada generador fotovoltaico, está compuesto de un total  $N_p - N_s$  módulos, siendo  $N_p$  el número de ramas y  $N_s$  el número de módulos en cada serie. El número de ramas establece la corriente total del generador y el número de módulos por serie establece la tensión del generador (Perpiñán, 2012).

A continuación se expone el esquema de un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de 3 módulos en serie. El esquema incluye la protección con fusibles y por rama y los diodos de paso incluidos en cada módulo.



**Figura 2.11 Esquema de un generador fotovoltaico**

Fuente: (Perpiñán, 2012)

## **2.4.5 Seguridad en los sistemas fotovoltaicos**

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico requiere tomar medidas de seguridad, la existencia de ciertas circunstancias pueden resultar peligrosas para las personas o perjudiciales para los equipos.

### **2.4.5.1 Protección de las personas**

En cuanto a los riesgos que se pudieron presentar para las personas cabe señalar que están ligados a los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano. En tal virtud, “el efecto que produce la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano depende de su intensidad y del tiempo de duración. Independientemente de la duración hasta 10mA no genera efectos peligrosos pero por encima de 500 mA puede producir fibrilación muscular” (Perpiñán, 2012, pág. 126).

La intensidad que puede circular por el cuerpo obedece a la tensión de contacto y la resistencia expuesta. Entonces, las medidas de seguridad básicas están en la reducción de la tensión a la que se puede exponer una persona e incrementar su resistencia a través del uso de guantes, calzado adecuado o aislamiento del suelo.

Perpiñán (2012) refiere que las protecciones a utilizar para resguardar a las personas frente a contactos directos deben estar basadas en evitar que un individuo pueda entrar en contacto con las partes activas de la instalación, para lo cual es importante proteger por aislamiento las partes activas, por medio de

barreras o envolventes, por medio de obstáculos, por puesta fuera de alcance, por alejamiento, por corte automático de la alimentación, cuando se produce el contacto, por empleo de equipos de clase II o por aislamiento equivalente, y puesta a tierra, como camino preferente para conducir la corriente de fuga.

En un sistema fotovoltaico generalmente se utiliza el esquema de tierra sea IT en la zona del generador fotovoltaico y TT a partir de la salida del inversor. En este contexto, todo sistema de protecciones se halla en tres niveles:

- Nivel 1: Refuerzo del aislamiento de las partes activas. En este nivel se incluyen las siguientes medidas:
  - Configuración flotante del generador: se impiden los accidentes por contactos indirectos.
  - Cableado con aislamiento de protección para reforzar la protección contra contactos indirectos.
  - Aislamiento galvánico AC-DC: a través de transformadores de devanados independientes en los inversores se imposibilita el cierre de corriente de fallo por medio del inversor.
  
- Nivel 2: Sistema de detección de aislamiento. Este nivel abarca medidas necesarias para comprobar el adecuado funcionamiento del nivel 1 y las debidas acciones cuando el nivel 1 ha fallado.
  
- Nivel 3: Puesta a tierra (Perpiñán, 2012, pág. 126).

### 2.4.5.2 Protección de los equipos

La protección de los equipos incluye las tormentas eléctricas. Si bien las instalaciones fotovoltaicas favorecen la formación de trazadores ascendentes que conecten con el descendente (ver figura N° 6), no aumentan la probabilidad de descargas locales, sin embargo, una vez que se producen, estas instalaciones son lugares con mayor riesgo de impacto (Sapiain, 2012, pág. 5).



Figura 2.12 Formación de un rayo eléctrico

Fuente: (Perpiñán, 2012)

Otro riesgo que corren los sistemas fotovoltaicos está ligado al efecto de una descarga eléctrica que se manifieste mayoritariamente en forma de sobretensión inducida, debido a tres fenómenos de acoplamiento diferenciados: el galvánico, el capacitivo y el inductivo.

El primero surge cuando la descarga se produce de forma directa sobre alguna de las partes del sistema. El segundo se debe a la existencia de cargas

positivas en la superficie terrestre atraídas por la carga negativa de la base del núcleo tormentoso. El tercero se produce cuando existe una sobretensión inducida en sus conductores, que a modo de antena captan el flujo magnético derivado de la descarga.

Para hacer frente a estos riesgos, existen sistemas de protección que pueden ser: métodos de protección externa frente a descargas y métodos de protección frente a sobretensiones. El primero tiene la tarea de captar y conducir adecuadamente la descarga para evitar que impacte sobre el objeto a proteger; y como elementos de protección adicional se pueden nombrar: el empleo de porta fusibles, la caja de protecciones situada a la salida de un generador fotovoltaico, un interruptor manual para efectos de control de circuitos y sobrecargas, la puesta a tierra y el cableado (Perpiñán, 2012).

#### **2.4.6 Operación de sistemas solares**

De acuerdo a Sapiain (2012) un sistema de electricidad solar fotovoltaica por lo general cuenta con los siguientes elementos:

1. Dos módulos solares de silicio policristalino. Los módulos suelen estar orientados hacia el norte, instalados sobre un poste metálico a una altura de 2.5 m.
2. Un regulador de carga.
3. Un banco de baterías.
4. Un inversor de corriente con un voltaje.

5. Un tablero eléctrico de control, con instrumentación visual, que cuenta con:

- Un interruptor general de corte que interrumpe o deje pasar la corriente generada por los módulos solares hacia el regulador de carga y banco de baterías.
- Un voltímetro que sirva para indicar el estado de carga de las baterías e indique su voltaje.
- Un amperímetro CD, con rango de 0 a 20 A que sirve para medir la corriente de carga desde los módulos solares hacia el banco de baterías (con una plena radiación solar entre 800 a 1000 W/m<sup>2</sup> el instrumento debe indicar entre 10 – 11 A. En días nublados y baja radiación solar la corriente de carga puede disminuir hasta un 30 o 40%).

6. Un selector que permita dar la opción de operar con el sistema de energía solar o el sistema de electricidad de la red en 120V.

Según Sapiain (2012) el modo de operación de un sistema de electricidad fotovoltaico que cuente con los elementos descritos puede hacerse de dos formas a través del selector instalado:

En la posición 1. El selector conecta el sistema que opera con el voltaje de la Red en 110V instalada originalmente, es decir desconectada completamente del sistema solar.

En la posición 2. El selector desconecta el sistema de la red por completo y conecta directamente el sistema solar de 110V CA, operando así todo el sistema con energía solar.

Para comprender de mejor forma el sistema de operación de un sistema solar fotovoltaico, es necesario aclarar ciertos conceptos, así:

Sapiain (2012) menciona que la transformación de la luz solar en electricidad es el principio por el cual operan los módulos solares fotovoltaicos. Al impactar los fotones de la luz contra la superficie de una celda fotovoltaica, ellos transportan su energía a los electrones en el semiconductor, generando así un voltaje por cada celda de aproximadamente 0,5 V y una corriente que es proporcional a la luz. La corriente continua generada se puede ser almacenada en baterías (pág. 8).

Para la construcción de sistemas solares, el mercado ofrece diferentes tipos de paneles de silicio, entre los que se encuentran los contruidos de silicio monocristalino, policristalino y de una película delgada de silicio amorfo. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se realiza por medio de las baterías. Estas son diseñadas especialmente para sistemas fotovoltaicos. Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación (MEER , 2010, pág. 27).

Es importante que exista una provisión adecuada de energía eléctrica (en cantidad, calidad y tipo). Para ello es preciso contar con un inversor de

corriente que suministre los valores de voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de diferentes aparatos. En el medio generalmente se utiliza 120V o 110V que es sistema conectado a la red pública convencional.

El voltaje con el que cuentan los tomacorrientes de tiene una corriente alterna que fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo equivale a 115V. Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 14 Voltios por lo que es preciso un inversor que transforma a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa de 12V de la batería, a corriente alterna de 115V. Adicionalmente, el inversor puede contar con las siguientes funciones (MEER , 2010, pág. 28):

- Protección contra descarga total,
- Desconexión por sobre tensión en la batería,
- Protección contra el exceso de temperatura y sobrecarga,
- Protección contra cortocircuitos,
- Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno,
- Alarma acústica en caso de descarga total o sobrecalentamiento.

El regulador o controlador de carga es un dispositivo electrónico que “controla tanto la corriente de los paneles fotovoltaicos hacia la batería, como la corriente de descarga que va desde la batería hacia los aparatos que utilizan electricidad” (MEER , 2010, pág. 28). En el caso de que la batería ya este cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta

y si ya ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las cargas.

Es importante tomar en consideración que para que un sistema solar fotovoltaico pueda prestar un servicio confiable durante su vida útil que es aproximadamente de 25 a 30 años, es preciso que exista un correcto montaje e instalación, así como que tenga una apropiada orientación hacia el sol para que se pueda aprovechar de mejor manera la energía que proviene de él durante todo el día. En el hemisferio sur (al sur de la línea Ecuador), los módulos solares fotovoltaicos se orientan hacia el norte geográfico, con una inclinación con respecto al horizonte con un ángulo correspondiente a la latitud del lugar + 7° aproximadamente” (Sapiain, 2012, pág. 5)

Las baterías requieren ser instaladas en lugares ventilados, cubiertos y protegidos. Los cables conductores que unen los módulos con el regulador de carga no deben sobrepasar los 10m. El tablero eléctrico debe contener sistemas de corte automáticos de los circuitos, además debe contar con los instrumentos de medición de voltaje del estado de carga de la batería y corriente desde los módulos y el inversor debe contar con su propio sistema de fusible automático que apague el sistema ante cualquier corto circuito (MEER , 2010, pág. 28).

#### **2.4.7 Instalación y mantenimiento de sistemas solares**

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2010) hace mención que para mantener un buen rendimiento de los paneles solares, es preciso evitar que algún objeto produzca sombra sobre ellos. Los panerles deben ser

inspeccionados cada semana para ver si no hay basuras o sombras que den sombra a los paneles, así mismo, deben ser lavados por lo menos cada tres meses.

También importante inspeccionar los conectores, cables, tornillos y base metálica para asegurarse que el funcionamiento del sistema sea el más adecuado y que toda la estructura se halle en buen estado. Si el mantenimiento es el adecuado, los paleros solares pueden llegar a tener una vida útil entre 20 a 25 años.

En el caso de las baterías, es preciso evitar que se descarguen por completo, en visto de que las placas pierden sus propiedades de almacenar la energía. La batería necesita estar ubicada sobre una superficie no conductiva como madera, caucho o plástico, considerando además que las baterías existentes en el mercado tienen una vida útil que oscila entre los 5 y 6 años.

Para evitar sobrecargas en los inversores, es importante que no se añada o se mueva el enchufe de cualquier aparato que esté usando el sistema para su funcionamiento. Estos aparatos son equipos electrónicos diseñados para operar en lugares cerrados, protegidos de la intemperie, lluvia y radiación solar.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

En este capítulo se establece la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, que consta de fases de trabajo encaminadas a concretar el desarrollo del producto planteado.

#### 3.1 Diseño metodológico

La metodología utilizada para diseñar la compactadora de plástico PET ha sido la definida por el INTI<sup>2</sup>, que consta de cinco fases que no necesariamente son secuenciales, pueden ser simultáneas o integradas, que van desde la definición estratégica hasta el fin de la vida del producto (Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, 2009).

El diseño de la propuesta establece aspectos formales, constructivos, utilitarios, semánticos y características del producto.

#### Fase 1. Definición Estratégica

En función de información de fuentes secundarias relacionadas al problema ambiental y social en el país, y consulta con expertos, se plantea la estrategia para solucionar el problema y materializar la idea.

#### Fase 2. Diseño de Concepto

El diseño conceptual debe integrar la ergonomía y manejo ambiental, “desde el enfoque sistémico, analiza las personas y sus relaciones con el entorno, para prevenir, controlar y mitigar los impactos que podrían generarse” (Saravia & Mejía, 2012, pág. 26); esto por cuanto el entorno es un factor

---

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Buenos Aires, Argentina

determinante del comportamiento humano, y el diseño del concepto busca optimizar la relación de los potenciales usuarios de la compactadora de plástico Pet alimentada con energía solar, con las condiciones ambientales, económica y sociales de su espacio habitable; “comprender y explicar las leyes que organizan el comportamiento de las personas en la vida real” (Magnusson, 2010, pág. 54). En el diseño del concepto se desarrolla: generación de ideas, bocetos, dibujos, evaluación del concepto.

Para evaluar los diversos conceptos y seleccionar la mejor opción de entre las propuestas, se ha utilizado la matriz de Holmes o matriz de priorización que permite jerarquizar alternativas y facilitar la toma de decisiones; se deben determinar las opciones sobre las que se va a decidir, identificar los criterios de análisis, y valorar el peso que cada uno tendrá en la toma de decisiones (Alteco Consultores, 2015).

Los pasos para elaborarla son (Alteco Consultores, 2015):

- a. Identificar las opciones, en el presente caso se establecen tres opciones de compactadoras de PET a evaluar.
- b. Definir los criterios de decisión o evaluación, que se escogieron de acuerdo a las características requeridas en el prototipo y para obtener su valor de influencia en cada alternativo. se ha utilizado pesos ponderados o “Weighting Factor”. Se considera que si un criterio de evaluación es más importante que otro, entonces tiene un valor de uno y si tienen la misma importancia cada uno tiene un valor de 0.5; con este principio se estructuró la siguiente matriz escala de valoración:

**Tabla 3.1. Escala de valoración**

No	Criterios de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	$\Sigma$	WF
1	Riesgo	---	0,5	1	1	1	1	2	6,5	0,24
2	Costo	0,5	---	1	1	1	1	2	6,5	0,24
3	Diseño			---	1	1	1	2	5	0,19
4	Peso				---	1	1	2	4	0,15
5	Dimensión					---	0,5	2	2,5	0,09
6	Mantenimiento					0,5	---	2	2,5	0,09
								$\Sigma =$	27	1

Elaborado por: Diego Recalde

- c. Ponderar los criterios. Mediante una matriz tipo L se ponderan los distintos criterios, confrontándolos con los demás; se compara el primer criterio con los restantes y se les asigna el valor que se considere más adecuado, conforme la escala de valoración existente.
- d. Comparar las opciones. Se comparan todas las opciones entre sí en función de cada uno de los criterios.
- e. Seleccionar la mejor opción. Se compara cada una de las opciones sobre la base de la combinación de criterios. En cada celda de la matriz de priorización se multiplica el valor de ponderación de cada criterio por el valor de calificación de cada opción. La opción seleccionada es la que logra la valoración total más alta.

### Fase 3. Diseño de Detalle

En esta fase se comprueba el cumplimiento de las especificaciones para posteriormente pasar a la producción, se verifican características técnicas, compatibilidad de las dimensionales, de ensamblado y montaje.

Para el diseño a detalle se sigue los siguientes pasos:

- a. Especificaciones del diseño.
- b. Planos Técnicos.
- c. Secuencia de armado.
- d. Relación del producto con el usuario.
- e. Modelos o prototipos de estudio.

#### **Fase 4. Producción**

En esta fase se materializa el diseño, comprende:

- a. Especificaciones.
- b. Materiales.
- c. Proceso (conjunto de procedimientos).
- d. Costos.

#### **Fase 5. Verificación y testeo**

En esta fase mediante la experimentación, se verifica y testea el diseño, como resultado se concluye si el diseño es fiable, eficiente, y cubre las necesidades y expectativas de los potenciales usuarios.

### **3.2 Definición estratégica**

La crisis ambiental en un problema mundial, el inadecuado manejo de los residuos sólidos es uno de los factores que impacta negativamente en el ambiente, y la basura uno de los mayores contaminantes, porque la sociedad actual es altamente consumista y la produce en grandes cantidades; en países

en vías de desarrollo como el Ecuador, el impacto es mayor por la carencia de una cultura ambiental, de evacuación y reciclamiento de desperdicios.

En los últimos años en el país se han producido profundas transformaciones sociales, pero un 35% de las personas que habitan los barrios marginales del Distrito Metropolitano de Quito, están afectadas por desempleo, subempleo y empleo precario (Agencia Metropolitana de Promoción Económica, 2013, pág. 47), lo que les imposibilita proveerse de condiciones adecuadas de vida; sin embargo en estos sectores no se promueve el reciclaje de basura, pese a que esta actividad ha demostrado ser una fuente de riqueza y mejoramiento de la calidad de vida de las personas y comunidades que la desarrollan.

De esta situación surge la idea de desarrollar un sistema maquinizado para compactar plástico PET, sin necesidad de utilizar la energía eléctrica de la red pública, sino que utilice energía fotovoltaica (panel solar).

El plástico es uno de los materiales más importantes desarrollados en el siglo XX, por ser económico, liviano, durable, versátil, resistente a la humedad y productos químicos, sustituye a otros materiales. El plástico más utilizado a nivel mundial es el Polietileno de Tereftalato - PET, que se emplea en envases para líquidos, cosméticos, fibras textiles, laminados en productos alimenticios, entre otros; al ser utilizado en nuevos productos tiene la ventaja ambiental de que se requiere menos energía para el proceso (Elias & Jurado, 2012, pág. 99).

### **3.2.1. Impacto**

Para conceptualizar el impacto que puede generar la iniciativa, se utiliza una investigación desarrollada en los barrios del sector sur oriente del Distrito

Metropolitano de Quito, en las parroquias La Ferroviaria y La Argelia, con una población de 122.134 personas el año 2015 que consolida a 33.946 familias (Instituto de la Ciudad, 2014, pág. 7), respecto a un emprendimiento asociativo de reciclaje.

En las dos parroquias en promedio viven en cada domicilio seis personas; la basura generada en las viviendas se desecha mayoritariamente (95%) mediante el servicio de recolección, 3,95% en botaderos; 0,79% por incineración, y en 0,26% por otros medios, lo que evidencia la existencia de responsabilidad social y por el cuidado del ambiente.

En 86,05% de los domicilios desecha la basura mediante fundas de basura; en 1,32% mediante cajas; en 8,42% en cartones; y en 4,21% en otros medios como costales; la gran mayoría de la comunidad (86,05%), evacúa la basura utilizando fundas, que son el medio más idóneo, lo que ratifica la responsabilidad por el cuidado del ambiente existente.

En los hogares de la comunidad los residuos de desecho están constituidos 9,47% por papel y cartón; 13,20% por plástico; 2,67% por vidrio; 60,80% por residuos orgánicos, y 13,87% por otros tipos de residuos.

97,63% de la comunidad considera que es importante colaborar con la conservación del medio ambiente, si bien la mayoría reconoce la importancia de cuidar el ambiente, solo 9,64% ha implementado prácticas de reciclaje.

Una maquinaria de reciclaje constituiría un importante vector de integración comunitario; más aún por cuanto 67,63% de las personas sí desean

participar en un proyecto participativo que ayude a cuidar el ambiente, a mejorar los ingresos y nivel de vida

### **Análisis de la demanda**

Actualmente en el Distrito Metropolitano de Quito las industrias que producen papel, cartón, metal, plástico y vidrio demandan anualmente 1'670.000 toneladas de materia prima, cantidad que crece 5% cada año; 11% de estos requerimientos se cubren con materiales reciclados, pese a las ventajas que generan por ahorro de energía en el proceso productivo (Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico, 2014, pág. 29).

La demanda de las empresas industriales es cubierta por acopiadores intermediarios como: Reciclajes MYS S.A., Industrial Cartonera del Ecuador INCSA S.A., Punto Verde RECOVERDE S.A., Rey PROPAPEL Reciclar Cía. Ltda., Bioreciclar Cía. Ltda., Recicladora Andina Cía. Ltda., Bio Recicladores del Ecuador S.A., Reciclajes internacionales Recynter S.A., entre otros.

La estructura porcentual de la demanda es (Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico, 2014, pág. 34).

**Tabla 3.2. Composición porcentual de la demanda por tipo de material**

<b>Material</b>	<b>%</b>
Plásticos	20,00%
Papel y cartón	25,00%
Vidrio	15,00%
Chatarra metálica	40,00%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Recopilado por: Diego Recalde

La demanda actual que puede ser cubierta con materiales reciclados es:

**Tabla. 3.3. Demanda actual por tipo de material**

Material	%	Toneladas
Plásticos	20,00%	334.000,00
Papel y cartón	25,00%	417.500,00
Vidrio	15,00%	250.500,00
Chatarra metálica	40,00%	668.000,00
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.670.000,00</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Recopilado por: Diego Recalde

Para estructurar la tendencia de la demanda del proyecto, se ha considerado un crecimiento de 5% anual; (Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico, 2014, pág. 29).

$$D_i = D_{2014} (1+0,05)^i$$

El exponente  $i$  corresponde al año, tomando como año 0 el 2014; con lo que la proyección de la demanda de materiales reciclados es:

**Tabla. 3.4. Demanda proyectada por tipo de material (Tonelada TM)**

Material	2015	2016	2017	2018	2019
Plásticos	350.700,00	368.235,00	386.646,75	405.979,09	426.278,04
Papel y cartón	438.375,00	460.293,75	483.308,44	507.473,86	532.847,55
Vidrio	263.025,00	276.176,25	289.985,06	304.484,32	319.708,53
Chatarra metálica	701.400,00	736.470,00	773.293,50	811.958,18	852.556,08
<b>Total</b>	<b>1.753.500,00</b>	<b>1.841.175,00</b>	<b>1.933.233,75</b>	<b>2.029.895,44</b>	<b>2.131.390,21</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Recopilado por: Diego Recalde

## Análisis de la oferta

Se señaló anteriormente que únicamente 11% de la materia prima demandada por la industria anualmente se cubren con materiales reciclados (Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico, 2014, pág. 29), por lo que la oferta actual es:

Tabla. 3.5. Oferta actual de material reciclado (Tonelada TM)

Material	Toneladas
Plásticos	36.740,00
Papel y cartón	45.925,00
Vidrio	27.555,00
Chatarra metálica	73.480,00
<b>Total</b>	<b>183.700,00</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Recopilado por: Diego Recalde

Para proyectar la oferta, se considera que su crecimiento es 7,50% anual (Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico, 2014, pág. 33)

$$O_i = O_{2014} (1+0,075)^i$$

El exponente  $i$  corresponde al año, tomando como año 0 el 2014 que es el año de referencia inicial. Con lo que se tiene que la proyección de la oferta es:

**Tabla. 3.6. Oferta proyectada de material reciclado (Tonelada TM)**

Material	2015	2016	2017	2018	2019
Plásticos	39.495,50	42.457,66	45.641,99	49.065,14	52.745,02
Papel y cartón	49.369,38	53.072,08	57.052,48	61.331,42	65.931,28
Vidrio	29.621,63	31.843,25	34.231,49	36.798,85	39.558,77
Chatarra metálica	78.991,00	84.915,33	91.283,97	98.130,27	105.490,04
<b>Total</b>	<b>197.477,50</b>	<b>212.288,31</b>	<b>228.209,94</b>	<b>245.325,68</b>	<b>263.725,11</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Elaborado por: Diego Recalde

La demanda insatisfecha de materiales reciclados, no cubierta con la oferta existente es:

**Tabla. 3.7. Demanda insatisfecha de material reciclado (Tonelada TM)**

Material	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Plásticos	297.260,00	311.204,50	325.777,34	341.004,76	356.913,95	373.533,02
Papel y cartón	371.575,00	389.005,63	407.221,67	426.255,95	446.142,44	466.916,28
Vidrio	222.945,00	233.403,38	244.333,00	255.753,57	267.685,46	280.149,77
Chatarra metálica	594.520,00	622.409,00	651.554,68	682.009,53	713.827,90	747.066,04
<b>Total</b>	<b>1.486.300,00</b>	<b>1.556.022,50</b>	<b>1.628.886,69</b>	<b>1.705.023,81</b>	<b>1.784.569,76</b>	<b>1.867.665,10</b>

Fuente: CONQUITO, 2014

Elaborado por: Diego Recalde

La demanda insatisfecha de plástico reciclado equivale a 89% de la demanda total, por lo que la compactadora de plástico PET alimentada con energía solar, aportará a viabilizar el proyecto de reciclaje.

Para medir el impacto que genera la compactadora de plástico, elemento que posibilita el reciclaje de plástico, se ha empleado la matriz simple de Leopold, que relaciona las acciones en el eje horizontal, y los factores modificados o afectados en el vertical (Gómez, 2002, pág. 45).

Los factores para cuantificar el impacto son:

- I = Intensidad, del impacto generado.
- EX = Extensión, ámbito territorial de influencia.
- MO = Momento, se relaciona al tiempo que toma la aparición del impacto.
- PS = Persistencia, tiempo que permanece presente el impacto.
- PR = Periodicidad, frecuencia de aparición del impacto.
- AC = Acumulación, permanencia e incremento de la intensidad del impacto en el tiempo.
- EF = Efecto, tipo de incidencia del impacto, directa o indirecta.
- RV = Reversibilidad, capacidad propia de recuperación de la calidad ambiental, que tiene el ambiente natural y/o el sistema biótico, con el que se relaciona el proyecto.
- RC = Recuperabilidad, se utiliza únicamente para medir el impacto ambiental, es la capacidad de recuperación de la calidad ambiental a través de técnicas externas.(Gómez, 2002, pág. 58).

La escala de calificación de impactos es

Tabla. 3.8. Escala de valoración de impactos

Caracterización	Valor
<b>Crítico</b>	<b>-4</b>
<b>Severo</b>	<b>-3</b>
<b>Moderado negativo</b>	<b>-2</b>
<b>Irrelevante</b>	<b>-1</b>
<b>Bajo</b>	<b>1</b>
<b>Moderado positivo</b>	<b>2</b>
<b>Medio</b>	<b>3</b>
<b>Alto</b>	<b>4</b>

Fuente: (Dewey, 2010)

Elaborado por: Diego Recalde

La evidencia relevante a considerar para valorar los impactos es:

- Actualmente solo el 11% de los requerimientos anuales de materia prima se cubren con materiales reciclados, por lo que la demanda insatisfecha de es muy alta, 89% de la demanda total.
- El reciclaje es importante pues se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables, en el caso del Ecuador apoyará a disminuir la importación de materia prima y mantener la dolarización, adicionalmente aportará a incrementar el PIB nacional.
- La empresa asociativa es un mecanismo de cooperación, un esquema para generar variaciones positivas en varios procesos, para generar provecho y bienestar en toda la comunidad. El factor comunitario se manifiesta en la cooperación, la satisfacción de necesidades de convivencia y participación, impulsar objetivos compartidos y defender intereses comunes (Razeto M., 2010, págs. 29-31).

Con las acciones relevantes expuestas, se tiene que los impactos generados por el proyecto son:

**Tabla. 3.9. Impacto económico**

Dimensión	Aporte a disminuir las importaciones.	Mayores ingresos en las personas de la comunidad.	Protección de la dolarización	Impuestos adicionales al Estado.	Incremento del PIB.
Intensidad = I	3	2	2	2	3
Extensión = EX	3	1	3	3	2
Momento = MO	2	2	2	2	2
Persistencia = PS	2	2	3	2	2
Periodicidad = PR	3	1	3	1	2
Acumulación = AC	3	1	4	1	1
Efecto = EF	2	1	3	2	2
Total	18	10	20	13	14
Promedio	2,14				

Elaborado por: Diego Recalde

El proyecto genera un impacto económico positivo algo superior a moderado.

**Tabla. 3.10. Impacto social**

Dimensión	Cambio de idiosincrasia de las personas para asociarse.	Enseñanza de que las personas deben trabajar con esmero y calidad.	Creación de una cultura social de solidaridad.	Desarrollo de una cultura de protección y cuidado del ambiente.
Intensidad = I	2	2	2	2
Extensión = EX	3	3	4	2
Momento = MO	1	2	2	1
Persistencia = PS	2	2	2	2
Periodicidad = PR	2	2	2	2
Acumulación = AC	3	3	3	2
Efecto = EF	3	4	4	2
Total	16	18	19	13
Promedio	2,36			

Elaborado por: Diego Recalde

El proyecto genera un impacto social positivo superior a moderado, la difusión permitiría extenderlo a comunidades del ámbito local y nacional, amplificando el impacto.

El cuadro de valoración del impacto ambiental “alteración del medio natural biótico y social de las personas” (Gómez, 2002, pág. 39) es.

**Tabla. 3.11. Impacto ambiental**

Dimensión	Generación de ruido	Consumo de agua	Residuos líquidos	Recolección de residuos	Accidentes laborales	Generación de empleo
Intensidad = I	-1	-1	-1	2	-1	2
Extensión = EX	-1	-1	-1	3	-1	2
Momento = MO	-1	-1	-1	2	-1	1
Persistencia = PS	-1	-1	-1	3	-1	2
Periodicidad = PR	-1	-1	-1	3	-1	2
Acumulación = AC	-1	-1	-1	3	-1	2
Efecto = EF	-1	-1	-1	3	-1	2
Reversibilidad = RV	-1	-1	-1	0	-1	0
Recuperabilidad = RC	-1	-1	-1	0	-1	0
Total	-9	-9	-9	20	-9	13
Promedio	<b>-0,06</b>					

Elaborado por: Diego Recalde

La mayoría de impactos negativos son irrelevantes, destaca la presencia de impactos positivos como es la recolección selectiva de basura y generación de empleo, por lo que el impacto negativo acumulado es muy leve e irrelevante.

El impacto general que puede producir el proyecto de construcción de la compactadora de plástico PET alimentada con energía solar, como vector para impulsar proyectos asociativos en las comunidades marginales, es igual al

promedio de los diversos factores, evidenciándose que se caracteriza como positivo moderado.

**Tabla. 3.12. Impacto**

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Económico	2,14
Social	2,36
Ambiental	(0,06)
<b>Impacto general</b>	<b>1,15</b>

Elaborado por: Diego Recalde

La estrategia del producto es: construir una compactadora de plástico PET alimentada con energía solar, que por su bajo costo; fácil fabricación, montaje y mantenimiento; seguridad de operación, fiabilidad y capacidad de proceso, sea un vector para impulsar proyectos para apoyar el cuidado ambiental y favorecer mejores condiciones de vida en las comunidades marginales del país.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DEL CONCEPTO

#### 4.1 Descripción general del prototipo y sus Alternativas

Las características generales del prototipo son las siguientes:

Tabla. 4.1. Descripción general del prototipo

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCION
Materia prima	Botellas PET de 500ml a 3L
Alimentación	Manual
Altura máxima	1.20 metros
Fuente de carga	Foto voltaica
Operación	Semi-automática: la compactación se realiza sin ayuda del operador
Costo Fabricación	Menor a \$5.000

Elaborado por: Diego Recalde

También se debe tomar en cuenta que el prototipo debe ser de fácil fabricación montaje mantenimiento y debe ofrecer seguridad para la persona que lo utilice.

Las tres alternativas que se describirán a continuación utilizan principios similares que funcionamiento, pero se diferencian en los tipos de mecanismos que utilizan para la compactación.

##### 4.1.1 Alternativa de compactación de botellas PET N°1

Sistema compactador de botellas tipo PET basado en un sistema hidráulico casero (gata hidráulica utilizada para el cambio de llantas), que permita automatizar la subida y bajada del sistema obteniendo una botella con muy poco espesor y fácil de almacenar en cantidades grandes.

#### **4.1.1.1 Funcionamiento**

El sistema consiste en la adaptación de un sistema hidráulico automotriz de elevación de vehículos de hasta 2 toneladas, el cual se automatizará a través de un motor reductor que dará manivela para la subida del cilindro que estará unido a una plancha de acero, hasta un nivel apropiado de compactación de la botella, para luego, automáticamente bajar, con ayuda del peso de la plancha y de la gravedad, colocándose en su posición inicial.

Compactada la botella, caerá a un recipiente provisto por la persona para el almacenamiento, pudiendo compactar botellas PET desde las más pequeñas hasta aquellas que contienen 3 litros de líquido.

El sistema hidráulico automotriz no utiliza elementos complejos para su instalación y los mismos se pueden obtener de forma fácil en el mercado

#### **4.1.2 Alternativa de compactación de botellas PET No. 2**

Sistema compactador de botellas tipo PET basado en un sistema hidráulico industrial, que a través de un cilindro que se eleva impulsado por una bomba, genera altas presiones entre una plancha de acero y otra similar, obteniendo una botella con muy poco espesor que facilita su almacenamiento dentro del hogar.

##### **4.1.2.1 Funcionamiento**

El sistema consiste en la implementación de un sistema hidráulico industrial que contiene un cilindro hidráulico con capacidad de hasta 10 toneladas,

siendo éste el más pequeño de su tipo, el cual, a través de una bomba de presión, permite la subida del cilindro, el cual sujeta una plancha de acero y la acerca hacia otra de la misma construcción, las cuales, teniendo a la botella de plástico PET en la mitad, la compacta hasta quedar en una semi hoja, para luego retroceder automáticamente y regresar a su sitio de origen.

De la misma manera, una vez compactada la botella, caerá a un recipiente provisto por la persona para el almacenamiento, este y todos los sistemas propuestos podrán compactar botellas desde las más pequeñas hasta aquellas que contienen 3 litros de líquido.

Este sistema utiliza elementos que se deben mandar a fabricar a medida, algunos de los cuales son de costosa fabricación y únicamente se pueden conseguir en lugares específicos.

#### **4.1.3 Alternativa de compactación de botellas PET No. 3**

Sistema compactador de botellas tipo PET basado en un sistema de aspas de corte de widia, que consiste en convertir al material PET en pequeñas rodajas, que permitirán el almacenamiento muy cómodo en pequeños espacios, ya que se eliminará el espacio interior de la botella al reducirla a pequeños anillos plásticos fáciles de manipular.

##### **4.1.3.1 Funcionamiento**

Para éste sistema se utilizarán 26 aspas de widia, material que tiene propiedades para el trabajo de corte de madera y plástico. Una vez introducida la botella en la máquina, las aspas la transformarán en pequeños anillos, pudiendo cortar desde el pico hasta la base, en una sola aserrada.

Los anillos resultantes, caerán a un recipiente provisto por la persona para el almacenamiento, logrando reducir las botellas desde las más pequeñas hasta aquellas que contienen 3 litros de líquido. El costo de este tipo de materiales es alto y además su disponibilidad es limitada, además su fabricación es compleja.

## 4.2 Valoración de alternativas

### 4.2.1 Criterios de evaluación para la selección

Los criterios de evaluación se escogieron de acuerdo a las características que se necesita en el prototipo y para obtener su valor de influencia en cada alternativo se utiliza el método de los pesos ponderados o “Weighting Factor”. Para lo cual se tiene la siguiente matriz:

**Tabla. 4.2. Escala de valoración**

No	Criterios de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	$\Sigma$	WF	
1	Riesgo	---	0,5	1	1	1	1	2	6,5	0,24	
2	Costo	0,5	---	1	1	1	1	2	6,5	0,24	
3	Diseño			---	1	1	1	2	5	0,19	
4	Peso				---	1	1	2	4	0,15	
5	Dimensión					---	0,5	2	2,5	0,09	
6	Mantenimiento					0,5	---	2	2,5	0,09	
									$\Sigma =$	27	1

Elaborado por: Diego Recalde

Para la tabla 3.5 se consideró que si un criterio de evaluación es más importante que otro, entonces tiene un valor de uno y si tienen la misma importancia cada uno tiene un valor de 0.5.

#### 4.2.2 Selección de las alternativas

Para la selección óptima de las alternativas, se ha realizado un Tabla de valoración de cada una de ellas tomando en consideración los parámetros más lógicos y ponderando de acuerdo a su importancia objetiva, así la ponderación se multiplicará por la valoración de cada propuesta, obteniendo un valor por cada parámetro.

Sumados los valores totales, se obtendrá un valor final por cada alternativa y de allí se escogerá el que tenga el mayor valor total.

**Tabla. 4.3. Calificación de Alternativas**

PARAMETROS	FACTORES DE PONDERACION	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		CALIFIC.	VALOR	CALIFIC.	VALOR	CALIFIC.	VALOR
Riesgo	0,24	10	2,41	10	2,41	8	1,93
Costo	0,24	10	2,41	8	1,93	8	1,93
Diseño	0,19	9	1,67	9	1,67	9	1,67
Peso	0,15	8	1,19	8	1,19	9	1,33
Dimensión	0,09	9	0,83	9	0,83	9	0,83
Mantenimiento	0,09	9	0,83	9	0,83	8	0,74
TOTAL			<b>9,33</b>		8,85		8,43

Elaborado por: Diego Recalde

Los criterios y puntajes utilizados para calificar cada alternativa son:

**Tabla. 4.4. Escala de valoración**

VALORACIÓN	PUNTAJE
<b>MALO</b>	8
<b>BUENO</b>	9
<b>MUY BUENO</b>	10

Elaborado por: Diego Recalde

#### **4.2.3 Conclusión de la evaluación**

Después de haber efectuado el análisis, se determina que cada una de las alternativas difiere de la otra en aproximadamente en 0.5 puntos, sin embargo la que presenta mayores ventajas es la alternativa N°1 ya que cuenta con todas las características requeridas en un principio, como son:

- Facilidad de fabricación.
- Bajo costo.
- Facilidad de mantenimiento.
- Alta seguridad del operador.

Por lo tanto se escoge el diseño e implementación de un sistema de compactación a través de un sistema hidráulico manual adaptado, que es la alternativa No. 1, con un total de 9.33 puntos.

## CAPÍTULO V

### DISEÑO A DETALLE Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

#### 5.1. Generalidades

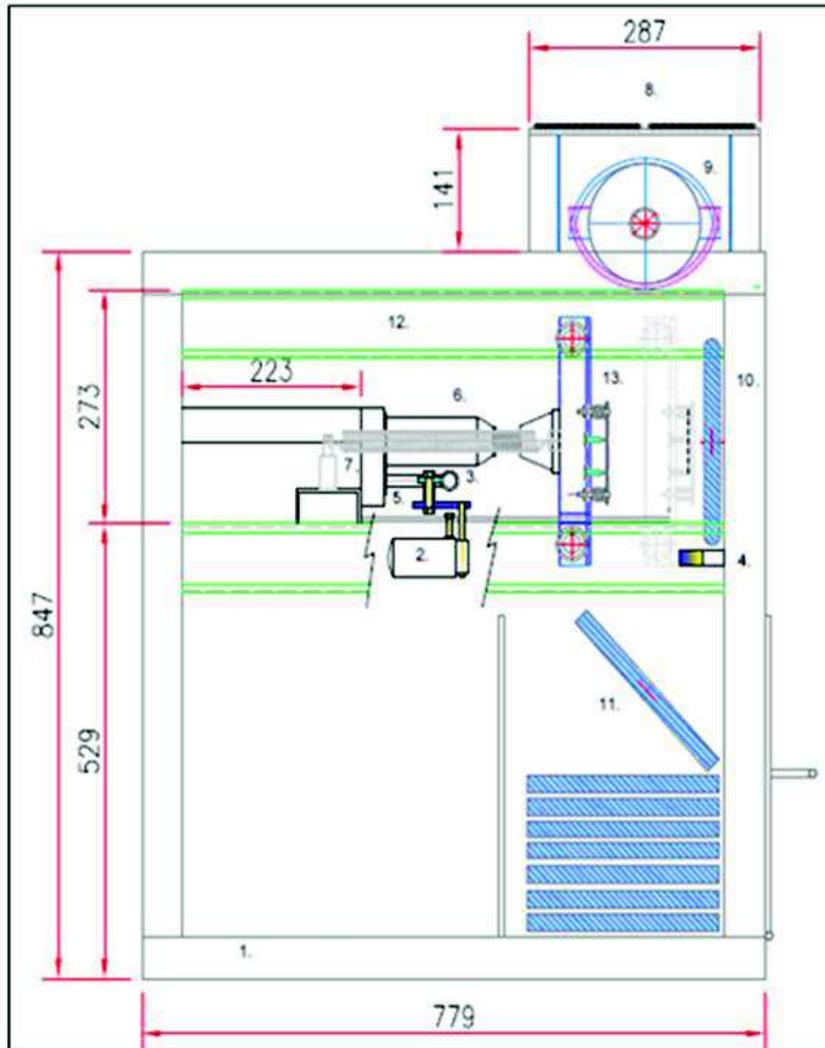


Figura 5.1 Prototipo

Elaborado por: Diego Recalde

#### COMPRESION DE PLASTICO

- |   |  |
|---|--|
| 1. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN.                  | 7. RESORTE RETORNO GATA.                       |
| 2. MOTOREDUCTOR: 0.25 HP                                  | 8. TAPA CON CAUCHO DE INGRESO                  |
| 3. PALANCA BOMBEO   | 9. RECIPIENTE RECEPCION DE BOTELLA.            |
| 4. TOPE DE PRESION: DESACTIVA CARGA, ACTIVA RETORNO.      | 10. ÁREA DE PRESIÓN.                           |
| 5. VALVULAS AUTOMÁTICAS DE RETORNO DE ACEITE.             | 11. AREA DE ALMACENAMIENTO BOTELLAS COMPACTAS. |
| 6. CILINDRO HIDRAULICO: 3", 1700 PSI, CARRERA MAX. 18 CM. | 12. SOPORTES DE DESPLAZAMIENTO.                |
|   | 13. PLACA DE PRESIÓN.                          |

El diseño del sistema está pensado en ocupar el menor espacio posible, pero también se fundamenta en la seguridad para el usuario, durabilidad y fuerza.

Entre los principales parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño están:

- Fuente de energía
- Mecanismo de compresión
- Elementos de protección
- Potencia mecánica consumida
- Costo de los elementos

## 5.2. Requerimiento de fuerza de compactado.

De acuerdo a Sandoval y Ushiña (2011) la fuerza máxima de compactado para una botella de PET de 500ml es de 1520.33 N, y debido a que la mayoría de presentaciones de botellas PET tiene las mismas características en el pico, se puede utilizar este valor como referencia para la compactación de envases de hasta 3L.

Para otorgar una fuerza de tipo conservadora se utiliza un factor de seguridad de 2, obteniendo el siguiente valor:

$$F_c = FS \times F_E$$
$$F_c = 2(1521N) \times \frac{1kg}{9.81N} \times \left( \frac{1Ton}{1000kg} \right)$$
$$F_c = 0.4Ton$$

El dispositivo que se debería escoger debe tener una capacidad de 0.4Ton. Esta alternativa se basa en la compactación con un cilindro hidráulico, en el mercado se encuentra local en el que menor capacidad presenta y tiene la característica de ser utilizado en forma horizontal es un cilindro hidráulico es de 3TON. Las características se muestran en Anexos.

### 5.3. Selección del Motor para el accionamiento del cilindro hidráulico.

La prensa hidráulica va a ser accionada por un motor eléctrico. Para escoger el motor se necesita obtener la fuerza al inicio de la palanca,  $F_M$  como se muestra en la siguiente figura.

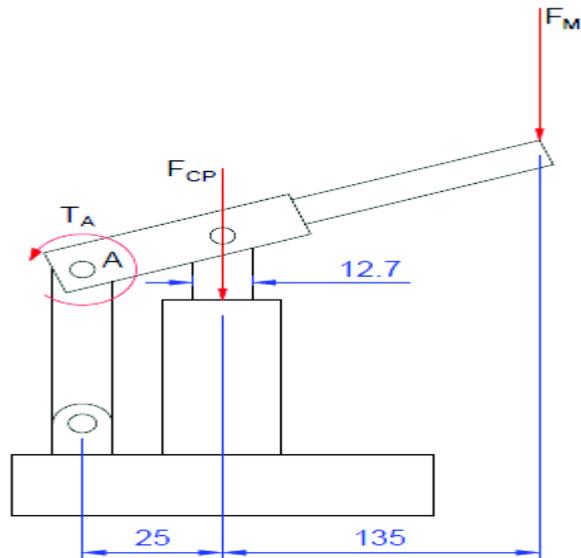


Figura 5.2 Cilindro hidráulico

Elaborado por: Diego Recalde

Debido a que la presión es constante por la ley de Pascal, la fuerza que se necesita aplicar en el cilindro pequeño para levantar un peso de 0.4 toneladas es de:

$$F_{CP} = \frac{A_{CP}}{A_{CG}} \times F_C$$

El torque que produce esta fuerza en el punto A es:

$$T_A = F_{CP} \times d_1$$

La fuerza que se necesita al inicio de la palanca para producir ese torque previamente calculado es, entonces:

$$F_M = \frac{T_A}{d_1 + d_2} = \frac{\frac{A_{CP}}{A_{CG}} \times F_C \times d_1}{d_1 + d_2}$$

$$F_M = \frac{\frac{\pi \left( \frac{12.7mm}{2} \right)^2}{\pi \left( \frac{25.4mm}{2} \right)^2} \times 400kg \times 25mm \times \frac{9.81N}{1kg}}{160mm}$$

$$F_M = 153.3N$$

Con esta fuerza se procede a calcular el torque que se realizaría a un eje ubicado a 35mm del punto de aplicación.

$$T_M = F_M \times d_{pp}$$

$$T_M = 153.3N \times 0.035m$$

$$T_M = 5.37Nm$$

Para calcular la potencia que se necesita en el motor es necesario que se imponga una cierta velocidad de giro del mismo. Se desea que la compactación se realice de forma lentamente para garantizar la seguridad del usuario. Por lo tanto se impuso una velocidad de giro del motor de 50RPM. Entonces, con la fórmula de la potencia:

$$P_M = T_M \times \omega_M$$

$$P_M = 5.37Nm \times 50RPM \times \frac{2\pi rad}{1rev} \times \frac{1min}{60s}$$

$$P_M = 28.12w$$

Con lo cual se sabe que cualquier motor que entregue una potencia a partir de 30W y un par mínimo de 6Nm es apropiado para este prototipo.



Para evaluar la fuerza que cada uno de estos resortes ejercería al final del proceso de compactado, se determina en primer lugar su constante elástica, sabiendo que al aplicar una fuerza de 11kg al final del resorte este se estira 43 mm y al aplicar una fuerza de 6kg se estira 22mm. Al aplicar la ley de Hooke a estos datos se obtiene:

$$F_{R1} = k_{R1} \times x_{R1}$$

$$k_{R1} = \frac{F_{R1}}{x_{R1}}$$

$$k_{R1} = \frac{11\text{kg}}{43\text{mm}} \times \frac{9.81\text{N}}{1\text{kg}} \times \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}$$

$$k_{R1} = 2509.5 \text{ N/m}$$

$$F_{R2} = k_{R2} \times x_{R2}$$

$$k_{R2} = \frac{F_{R2}}{x_{R2}}$$

$$k_{R2} = \frac{6\text{kg}}{22\text{mm}} \times \frac{9.81\text{N}}{1\text{kg}} \times \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}$$

$$k_{R2} = 2675.5 \text{ N/m}$$

$$k_R = \frac{k_{R1} \times k_{R2}}{2}$$

$$k_R = \frac{2509.5 \text{ N/m} + 2675.5 \text{ N/m}}{2}$$

$$k_R = 2592.5 \text{ N/m}$$

La distancia máxima que puede recorrer el cilindro hidráulico es de 105mm. Suponiendo que se llega al límite de salida del émbolo al final del proceso de compactado, la fuerza que se producirá en este punto, en cada resorte, será de:

$$F_R = 2592.5 \text{ N/m} \times 0.105\text{m}$$

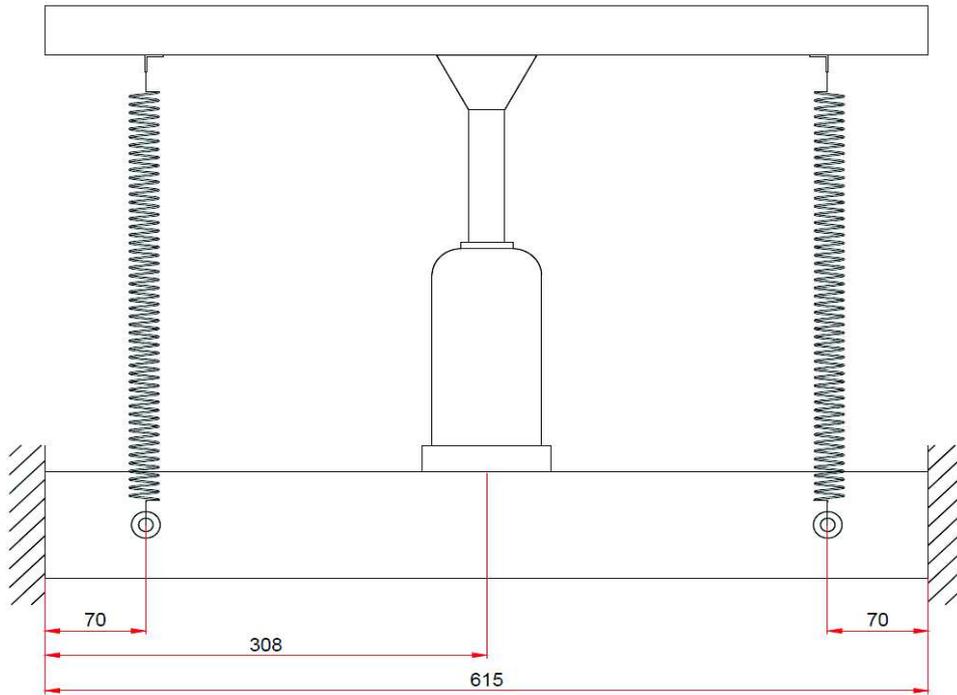
$$F_R = 272.11\text{N}$$

La cual es igual a la fuerza que ejerce cada resorte al momento del retorno. La fuerza de retorno total sería de aproximadamente 550 N, que no es suficiente para contrarrestar la fuerza inicial realizada por el cilindro hidráulico, de 4000N. Sin embargo, debido a que el aceite dentro del cilindro regresa a su reservorio una vez que se abre la válvula, no se requiere de resortes de mayor constante elástica, ya que la fuerza de retorno se encontraría actuando como un impulso inicial. Dicha fuerza no se adiciona a la fuerza de compactado, debido a que se está utilizando un factor de seguridad de 2, pero si se utiliza para calcular la sección de la viga que soportará todas las cargas.

## **5.5. Diseño mecánico**

### **5.5.1. Cálculo de la viga principal**

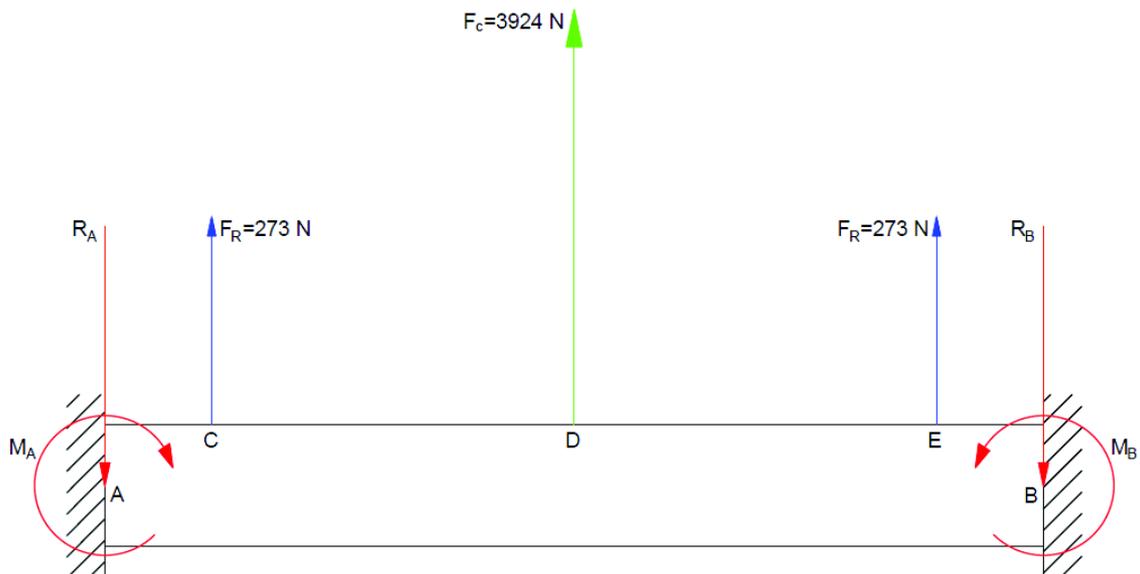
Para sostener el cilindro hidráulico y los resortes que permiten el retorno del mismo, se ha propuesto una viga doblemente empotrada, con una distancia entre apoyos de 615mm. Este valor se impuso pensando en un espacio que permita una fácil manipulación de todos los elementos del prototipo. El esquema de la viga es el siguiente:



**Figura 5.4 Viga principal**

Elaborado por: Diego Recalde

El esquema de las fuerzas correspondientes a cada elemento se muestra a continuación:



**Figura 5.5 Fuerzas en Viga principal**

Elaborado por: Diego Recalde

Para obtener los valores de las reacciones en los puntos A y B se utiliza el método de superposición, entonces:

$$M_A = M_{F_C} + M_{F_{RC}} + M_{F_{RE}}$$

$$M_A = \frac{F_C AB}{8} + \frac{F_{RC} AC \times CB^2}{AB^2} + \frac{F_{RE} AE \times EB^2}{AB^2}$$

$$M_A = \frac{3924N \times 0.615m}{8} + \frac{273N \times 0.07m \times (0.545m)^2}{(0.615m)^2} + \frac{273N \times 0.545m \times (0.07m)^2}{(0.615m)^2}$$

$$M_A = 316.98Nm$$

$$R_A = R_{F_C} + R_{F_{RC}} + R_{F_{RE}}$$

$$R_A = \frac{F_C}{2} + \frac{F_{RC} CB^2}{AB^3} (3AC + CB) + \frac{F_{RE} EB^2}{AB^3} (3AE + EB)$$

$$R_A = \frac{3924N}{2} + \frac{273N \times (0.545m)^2}{(0.615m)^3} (3 \times 0.07m + 0.545m) + \frac{273N \times (0.07m)^2}{(0.615m)^3} (3 \times 0.545m + 0.07m)$$

$$R_A = 2235N$$

Para obtener los valores en el punto B se realiza el equilibrio estático:

$$\sum F = 0$$

$$-R_A + F_{RC} + F_C + F_{RE} - R_B = 0$$

$$R_B = 273N + 3924N + 273N - 2235N$$

$$R_B = 2235N$$

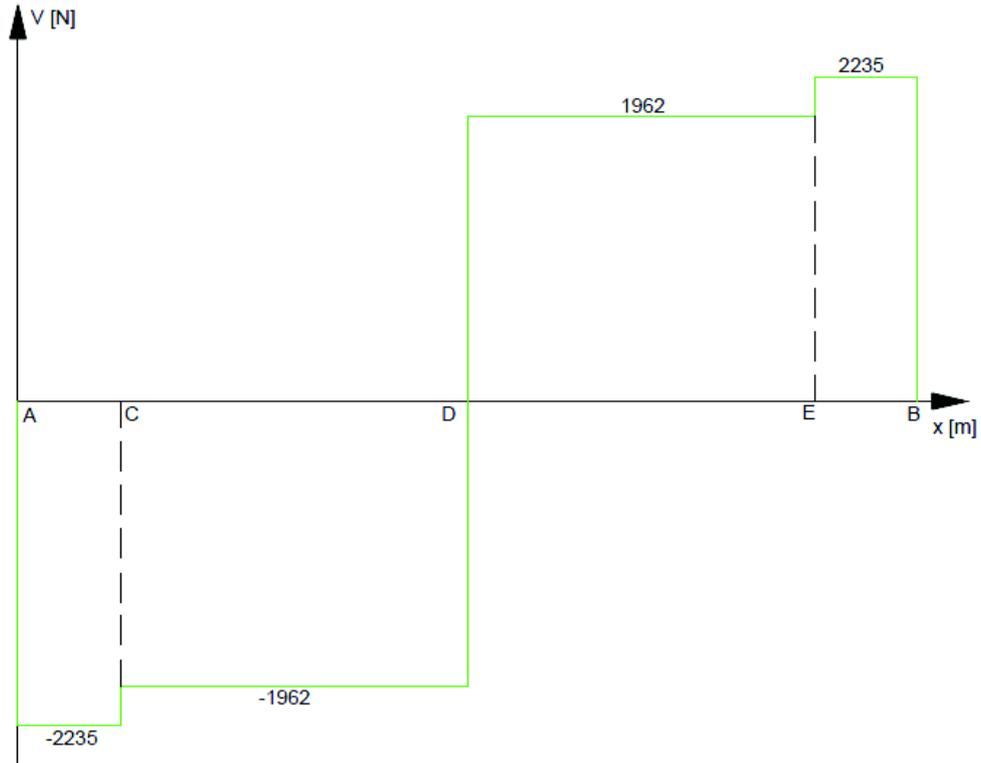
$$\sum M_A = 0$$

$$-M_A + F_{RC} AC + F_C AD + F_{RE} AE - R_B AB + M_B = 0$$

$$M_B = 316.98Nm + 2235N \times 0.615m - 273N \times 0.07m - 3924N \times 0.3075m - 273N \times 0.545m$$

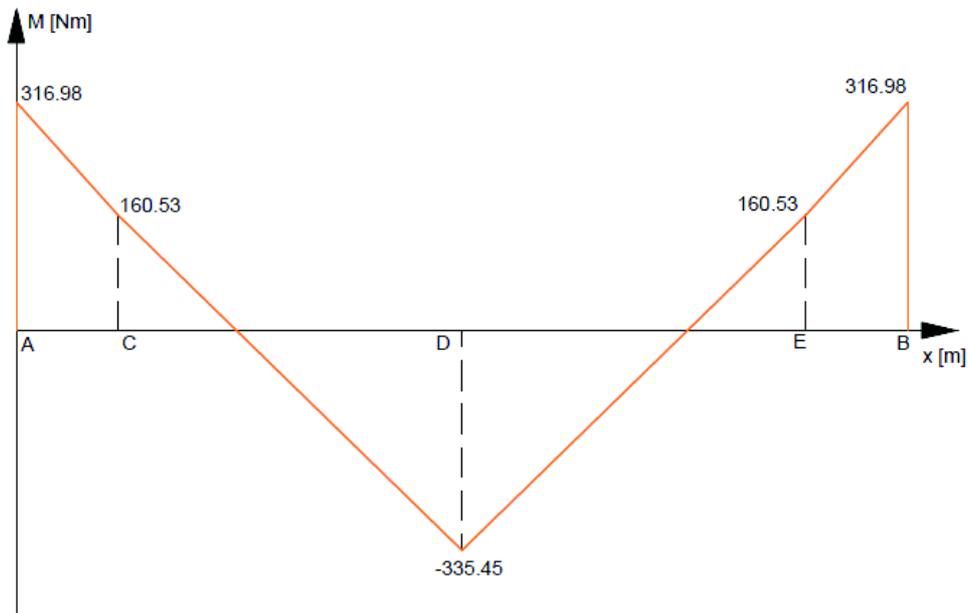
$$M_B = 316.98Nm$$

Para conocer en qué punto de la viga se encuentran los mayores esfuerzos flectores, se realiza el diagrama de cortante y momento flector:



**Figura 5.6 Diagrama de cortante en Viga principal**

Elaborado por: Diego Recalde



**Figura 5.7 Momento reflector en Viga principal**

Elaborado por: Diego Recalde

Para escoger la sección de la viga, se propondrá una sección tentativa y se analizará dicha sección en los puntos A, D o C, que presentan los mayores

valores de momento y cortante. Debido a que uno de los perfiles más comunes dentro del mercado local es el tipo “G”, se empezará analizando una sección G de 80x40x15x2 mm.

De acuerdo al catálogo de Dipac, cuyo extracto de correas G, las propiedades de la viga son:

**Tabla. 5.1. Propiedades de la Viga**

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
<b>Área</b>	$A_G$	3.54	$cm^2$
<b>Inercia respecto al eje X-X</b>	$I_{Gx-x}$	35.30	$cm^4$
<b>Resistencia a la fluencia</b>	$S_{yG}$	250	MPa
<b>Resistencia última</b>	$S_{utG}$	400	MPa

Elaborado por: Diego Recalde

Con los datos previos se obtienen los valores de los esfuerzos normales y cortantes, suponiendo que el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal actúan en el mismo punto de la sección transversal y tienen el máximo valor. Generalmente, el esfuerzo cortante que no se debe a torsión, es cero cuando el esfuerzo normal es máximo, pero en este caso, para añadir un diseño conservador, se supondrá que toman el valor máximo en el mismo punto.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M_{m\acute{a}x}c}{I_{Gx-x}} & \tau_{xy} &= \frac{F_{Rc}}{A_G} \\ \sigma_x &= \frac{335450Nmm \times 40mm}{35.3cm^4} \times \frac{1cm^4}{10^4mm^4} & \tau_{xy} &= \frac{1962N}{3.54cm^2} \times \frac{1cm^2}{10^2mm^2} \\ \sigma_x &= 38.01MPa & \tau_{xy} &= 5.54MPa \end{aligned}$$

Con los valores anteriores se determina el esfuerzo efectivo o de Von Mises (para esfuerzo plano) para utilizar la teoría de falla de la energía de distorsión, como se explica en Budynas y Nisbett (2008).

$$\sigma' = \left( \sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy} \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = \left( (38.01MPa)^2 + 3(5.54MPa)^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = 39.2MPa$$

Y con la ecuación de diseño, se obtiene el factor de seguridad:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$n = \frac{250MPa}{39.2MPa}$$

$$n = 6.38$$

Con el cual se verifica que la sección de la viga resistirá las cargas impuestas, e incluso se podría reducir. Sin embargo, debido a que es un perfil comercial y de bajo costo, se mantiene.

### 5.5.2. Diseño de los apoyos de la viga principal

Se propone la utilización de 2 pernos por cada apoyo de la viga. Dichos pernos estarán sometidos a una fuerza cortante y a un momento torsor, los cuales producirán esfuerzos cortantes y de aplastamiento. Para el esfuerzo de aplastamiento se supone que el perno va a conectar 40 mm, que se obtienen del ancho de la viga, debido a que el eje longitudinal de los pernos será paralelo al eje x-x de la viga. Las ecuaciones de esfuerzo con las reacciones en el punto A de la viga, son las siguientes:

Esfuerzo cortante (suponiendo que el cortante se efectúa en un plano de rosca y que debido a ello el área se reduce en un 40%):

$$\tau_{xye} = \frac{R_A}{0.6A_P}$$

$$\tau_{xye} = \frac{R_A}{\frac{0.6\pi d_P^2}{4}}$$

$$\tau_{xye} = \frac{4R_A}{0.6\pi d_P^2}$$

Esfuerzo por aplastamiento (suponiendo que influye todo el ancho de la viga):

$$\sigma_x = \frac{R_A}{a_G d_P}$$

Esfuerzo cortante por torsión:

$$\tau_{xyt} = \frac{M_A d_P}{2J_P}$$

$$\tau_{xyt} = \frac{M_A d_P}{2 \frac{d_P^4}{32}}$$

$$\tau_{xyt} = \frac{16M_A}{d_P^3}$$

Entonces, el esfuerzo cortante total es:

$$\tau_{xy} = \sqrt{\frac{16M_A d_P}{d_P^3} + \frac{4R_A}{0.4\pi d_P^2}}$$

Y el esfuerzo de Von Mises es el siguiente:

$$\sigma' = \left( \sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = \left( \frac{R_A^2}{a_G d_P} + 3 \left( \frac{16M_A}{d_P^3} + \frac{4R_A}{0.6\pi d_P^2} \right) \right)^{1/2}$$

Aplicando dicho esfuerzo en la teoría de la energía de distorsión, con un factor de seguridad de 2, y una resistencia a la fluencia de 660 MPa (los pernos locales generalmente son de acero de medio carbono tratados térmicamente), se puede encontrar el diámetro necesario en el perno:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\left( \frac{R_A}{a_G d_p} \right)^2 + 3 \left( \frac{16M_A}{d_p^3} + \frac{4R_A}{0.4\pi d_p^2} \right) \Bigg)^{\frac{1}{2}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\left( \frac{2235^2}{40d_p} + 3 \left( \frac{16 \times 316980}{d_p^3} + \frac{4 \times 2235}{0.6\pi d_p^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{660}{2}$$

La incógnita se despeja en el programa Mathcad 14 y se obtiene:

$$d_p = 5.2mm$$

Por lo tanto, se escoge un diámetro comercial de  $d_p = 6.35mm$  para los pernos en los apoyos.

### 5.5.3. Placa de Presión.

Se realizará la compactación de la botella en forma horizontal. Debido a que el cilindro hidráulico tiene un diámetro de 1 pulgada, no es suficiente para cubrir el área de un envase de 3 litros compactado (11 cm de diámetro y 35,5 cm de altura), que es el de mayor volumen, y se debe agregar una placa de mayores dimensiones.

Para ello, se utilizan las medidas de dicha botella, y se supone que el envase compactado tendrá un espesor de 10 mm en el cuerpo y su forma final se asemejará a un prisma. Después, se calcula el ancho de la botella igualando los perímetros inicial y final:

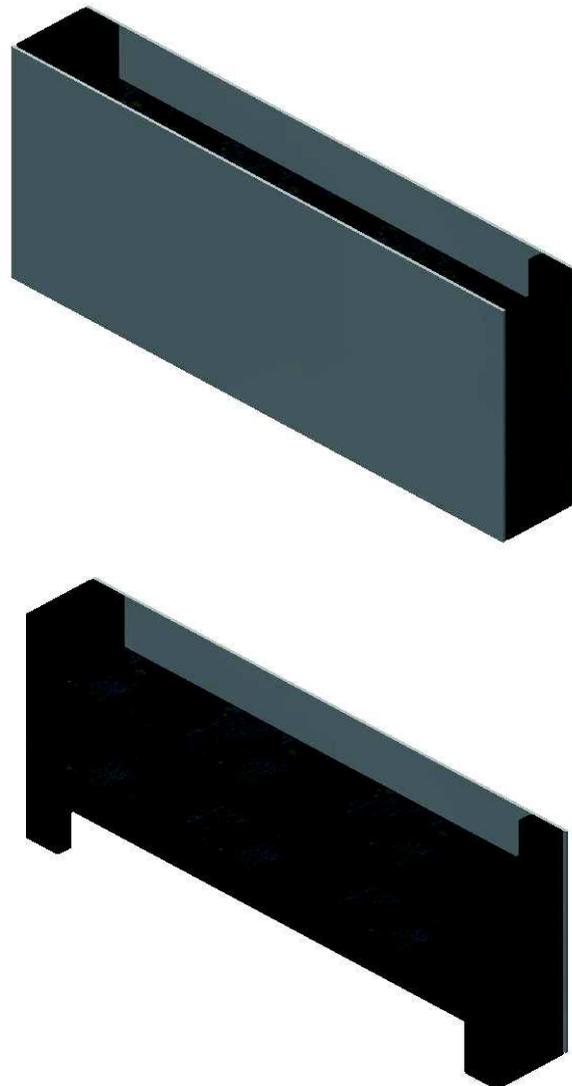
$$P_{BNC} = P_{BC}$$

$$\pi d_B = 2e_B + 2h_B$$

$$h_B = \frac{\pi \times 110 - 2 \times 10}{2}$$

$$h_B = 163mm$$

Para tener holgura tanto transversal como longitudinalmente, se impone las medidas de una placa de 240x550x3mm, que cubre suficientemente el área proyectada de un envase de 3 litros compactado. Para rigidizar este elemento, se hace una estructura tipo sánduche, es decir, se pone una placa en cada extremo y perfiles G de acero ASTM A-36 de 80x40x15x2 internamente, como se muestra en las figuras siguientes:

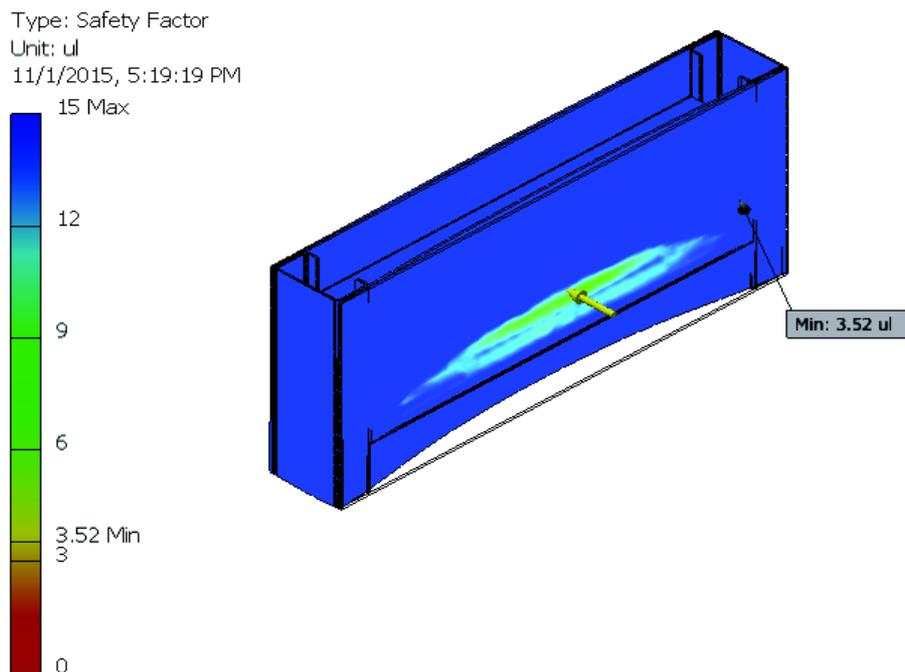


**Figura 5.8 Estructura del conjunto compactador**

Elaborado por: Diego Recalde

Nota: Se propusieron correas G debido a que son elementos comunes en el mercado local. Las medidas del conjunto se muestran en el anexo.

La placa en cuestión se simula con el software de diseño tridimensional Autodesk Inventor 2016, asignándole inicialmente el material estructural ASTM A36 que es uno de los más comunes en el mercado local, como se indica en la figura:



**Figura 5.9 Factor de seguridad para el conjunto compactador.**

Elaborado por: Diego Recalde

El factor de seguridad obtenido en la simulación fue de 2.38, por lo tanto, se conserva el diseño propuesto.

#### **5.5.4. Recipiente de recepción de botella**

Como se propuso en el esquema de la alternativa seleccionada, esta debe tener un espacio para recibir la botella y enviarla hasta el lugar en el cual será compactada. Se propone un semi-cilindro hueco de 94 mm de radio, suficiente para alojar una botella de 3 litros. Los planos del recipiente receptor se muestran en anexos.

Para poder girar el recipiente receptor se utiliza una palanca. La fuerza que se debe aplicar al inicio de la palanca es proporcional al torque que se ejerce en el eje, y éste debe ser suficiente para vencer el peso propio del recipiente. Los valores se calculan como se indica a continuación:

$$W_{recip} = (\hat{l}_{recip} e_{recip} L_{recip} + A_{recip} e_{recip}) \delta_{ac}$$

$$W_{recip} = ((295.3mm)(3mm)(543mm) + (13007.76mm^2)(3mm)) \left( 7850 \frac{kg}{m^3} \right) \times \frac{1m^3}{1000^3 mm^3} \times \frac{9.81N}{1kg}$$

$$W_{recip} = 40.01N$$

$$T_{Pal} = W_{recip} r_{recip}$$

$$T_{Pal} = (40.01N)(0.094mm)$$

$$T_{Pal} = 3.76Nm$$

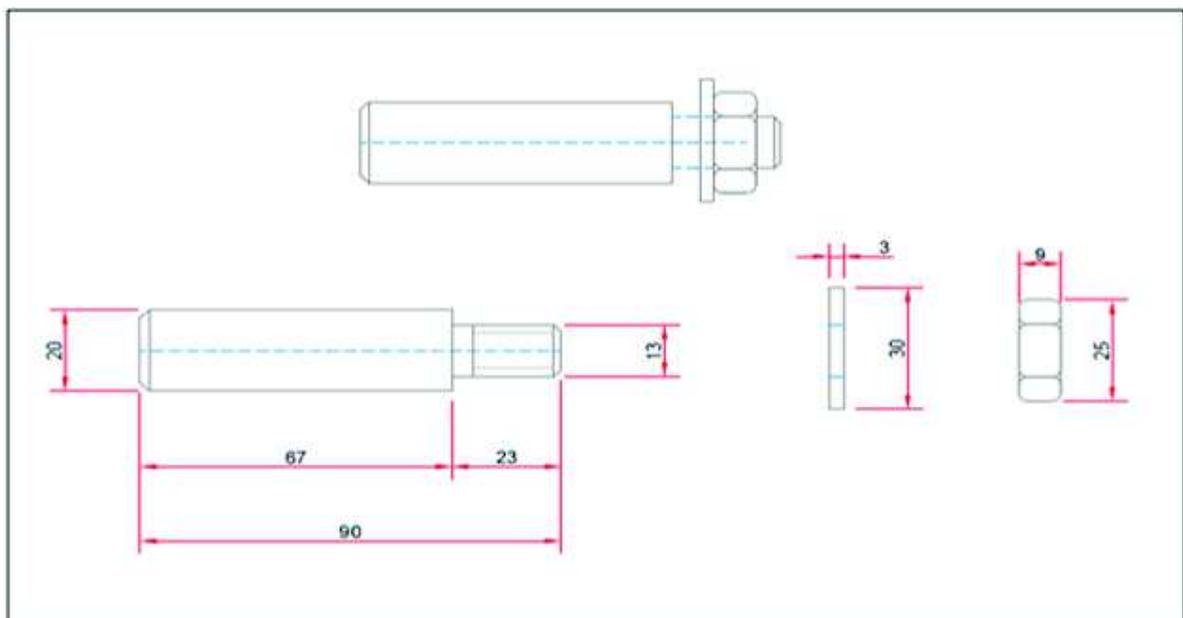
$$F_{Pal} = \frac{T_{Pal}}{d_{Pal}}$$

$$F_{Pal} = \frac{3.76Nm}{0.104m}$$

$$F_{Pal} = 36.16N$$

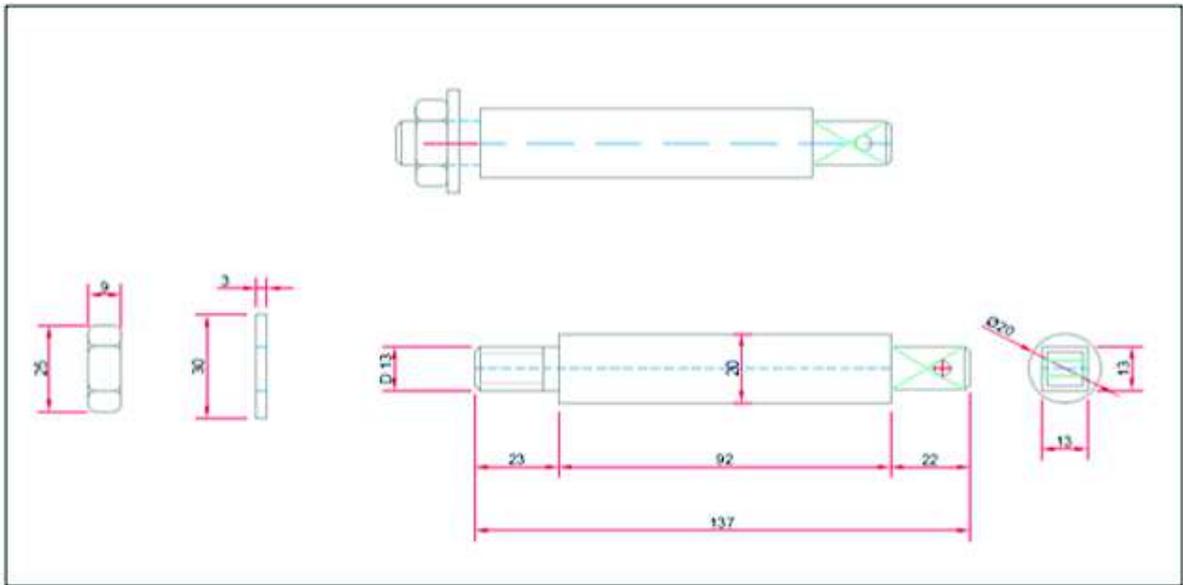
$$F_{Pal} = 3.7kg$$

Se concluye que el operador debe aplicar una fuerza de aproximadamente 4 kg en la palanca para poder girar el recipiente, valor que si puede ser aplicado fácilmente por un ser humano promedio.



**Figura 5.10 Perno lateral 1**

Elaborado por: Diego Recalde

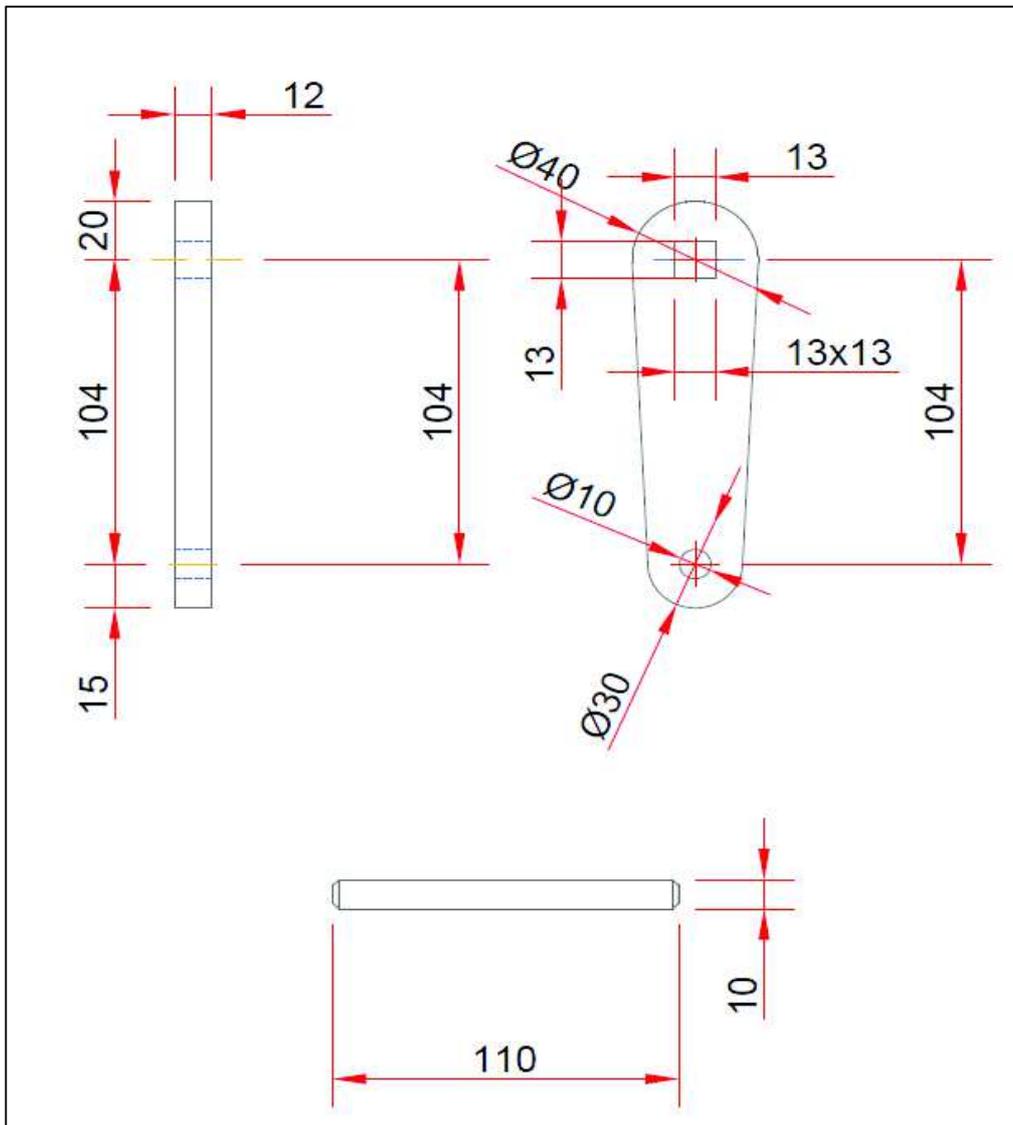


**Figura 5.11 Perno lateral 2.**

Elaborado por: Diego Recalde

## Palanca lateral

La palanca lateral es el elemento que permite girar de la bandeja (batea) de acero encargada de recibir las botellas que caerán dentro de la compactadora. En la figura siguiente se muestra las características de la misma,



**Figura 5.12 Diseño de la palanca lateral**

Elaborado por: Diego Recalde

### Base de placas de polea

La base es el sitio donde se colocará la polea, que a su vez arroja la botella de plástico PET al compactador. A continuación el diagrama previo la fabricación de la base.

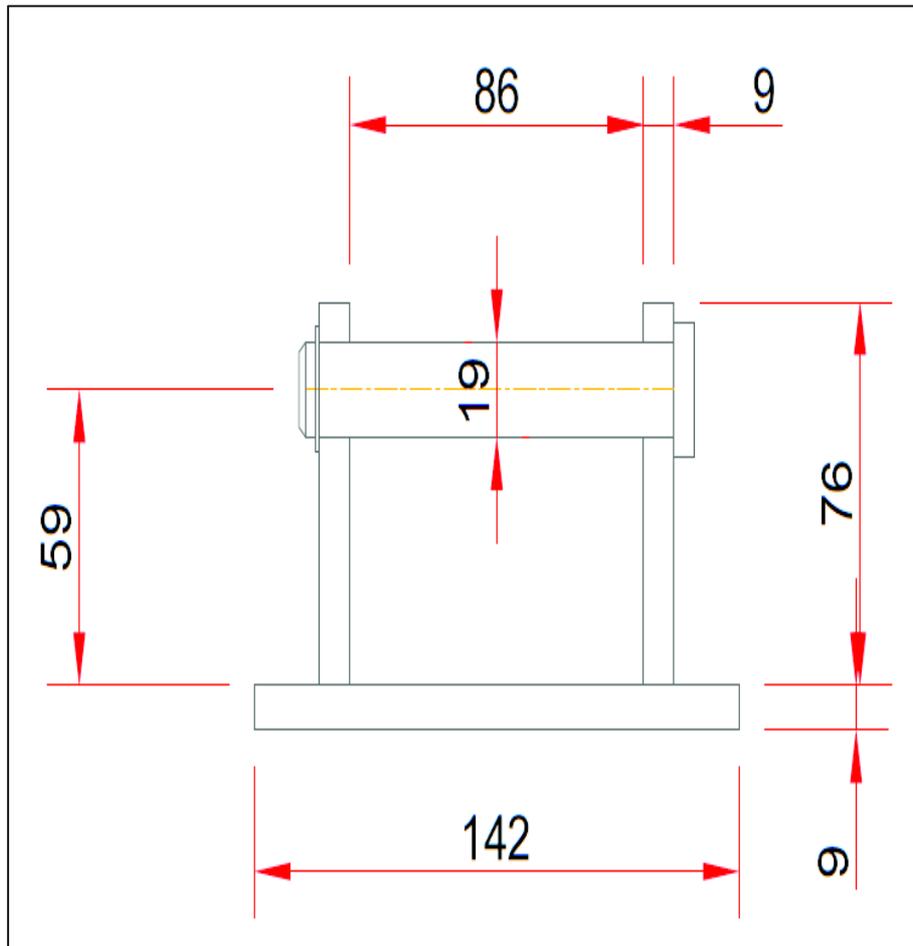


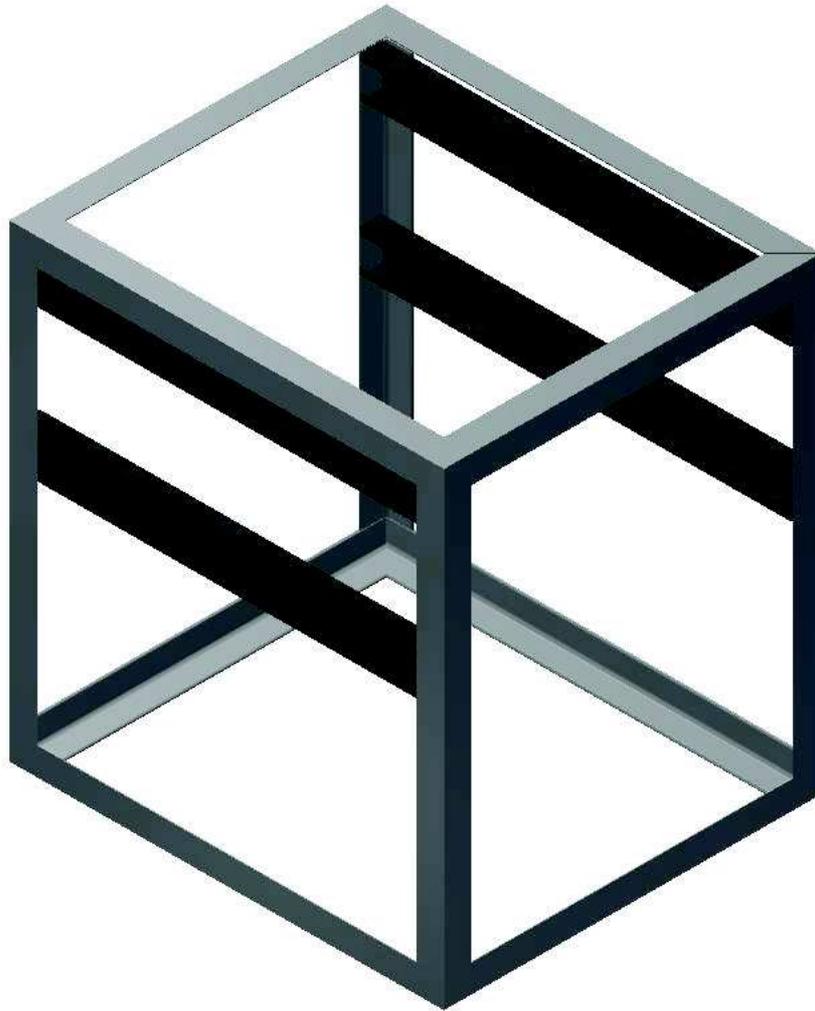
Figura 5.13 Diagrama de fabricación de la base de la palanca lateral

Elaborado por: Diego Recalde

### 5.5.5. Estructura del Equipo

Para sostener al conjunto compactador, motor, cilindro hidráulico y viga principal, se propone una estructura robusta formada de correas G de 80x40x15x2 mm y ángulos de 50x50x4mm, que son perfiles muy comunes en el mercado local.

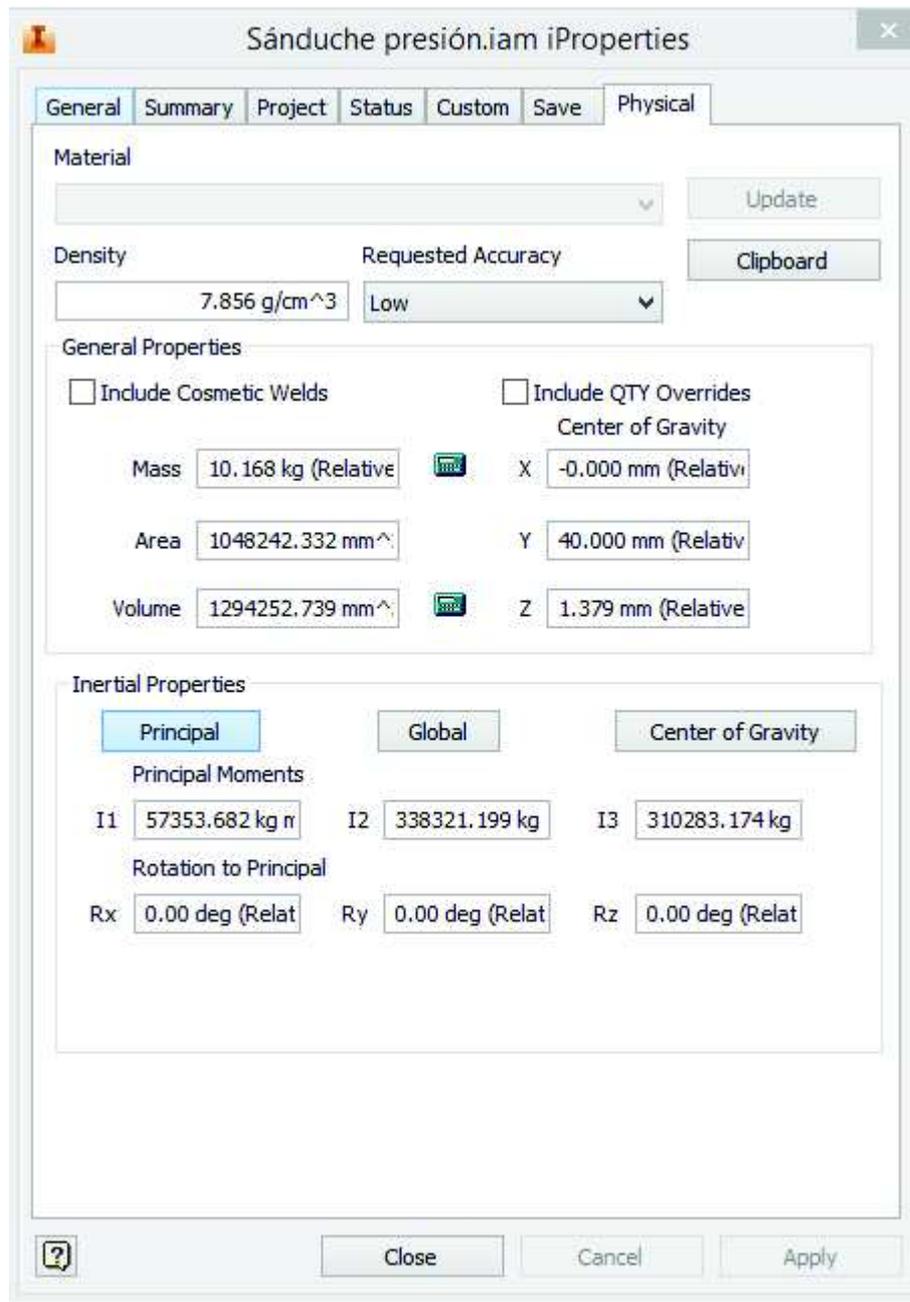
El esquema se presenta en la figura siguiente:



**Figura 5.14 Estructura del equipo**

Elaborado por: Diego Recalde

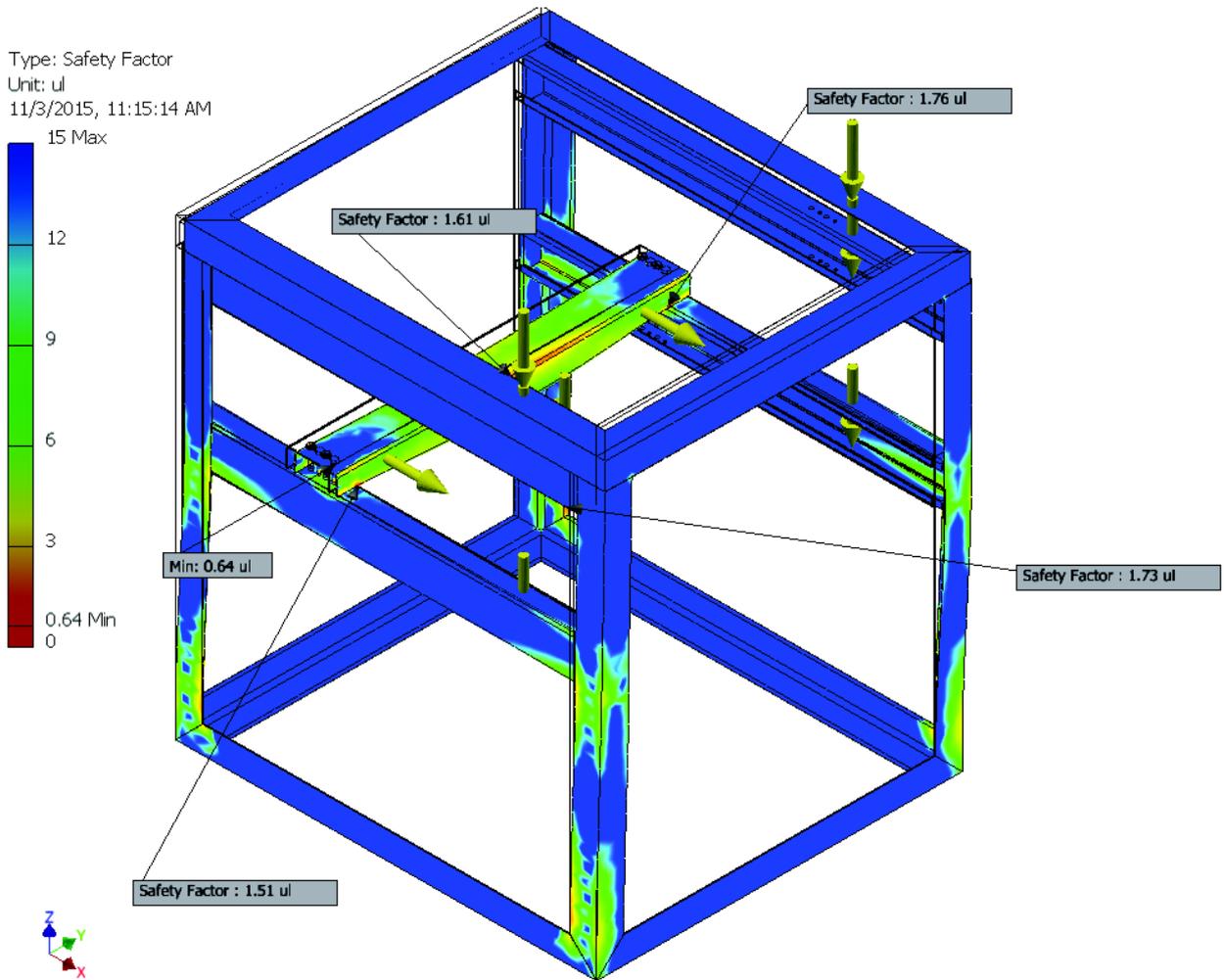
Adicional a las reacciones producidas por el cilindro hidráulico, la estructura también soportará el peso del conjunto compactador y el recipiente de recepción de botella. El peso del conjunto compactador se puede obtener del programa Autodesk Inventor 2016, como muestra la figura:



**Figura 5.15** Propiedades del conjunto compactador.

Elaborado por: Diego Recalde

Se supone que se reparte el peso simétricamente hacia cada uno de los lados de la estructura, y los resultados de la simulación de este conjunto se presentan en la figura:



**Figura 5.16 Factor de seguridad para la estructura del equipo**

Nota: Se incluyó a la viga principal para la simulación de la estructura.

Elaborado por: Diego Recalde

Se observa que el factor de seguridad mínimo es de 0.64, pero este ocurre en el perno, cuya resistencia a la fluencia, que es de 250 MPa en el programa, no puede ser modificada por el usuario.

Por lo tanto, para obtener el verdadero factor de seguridad en el perno, con la resistencia a la fluencia propuesta, que es de 660 MPa, se realiza el siguiente cálculo:

$$n_1 = \frac{S_{y1}}{\sigma'} \qquad n_2 = \frac{S_{y2}}{\sigma'}$$

$$\sigma' = \frac{S_{y1}}{n_1} \qquad \sigma' = \frac{S_{y2}}{n_2}$$

$$\frac{S_{y1}}{n_1} = \frac{S_{y2}}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{S_{y2}}{S_{y1}} n_1$$

$$n_2 = \frac{660}{250} \times 0.64$$

$$n_2 = 1.69$$

Lo cual verifica que la estructura propuesta resistirá las cargas generadas por la compactación y peso propio de la misma, y consecuentemente, se conserva el diseño.

### 5.6. Diseño de sistema eléctrico fotovoltaico

Básicamente un sistema fotovoltaico está compuesto de un sistema de captación y conversión de energía, un regulador y un acumulador además de accesorios complementarios.

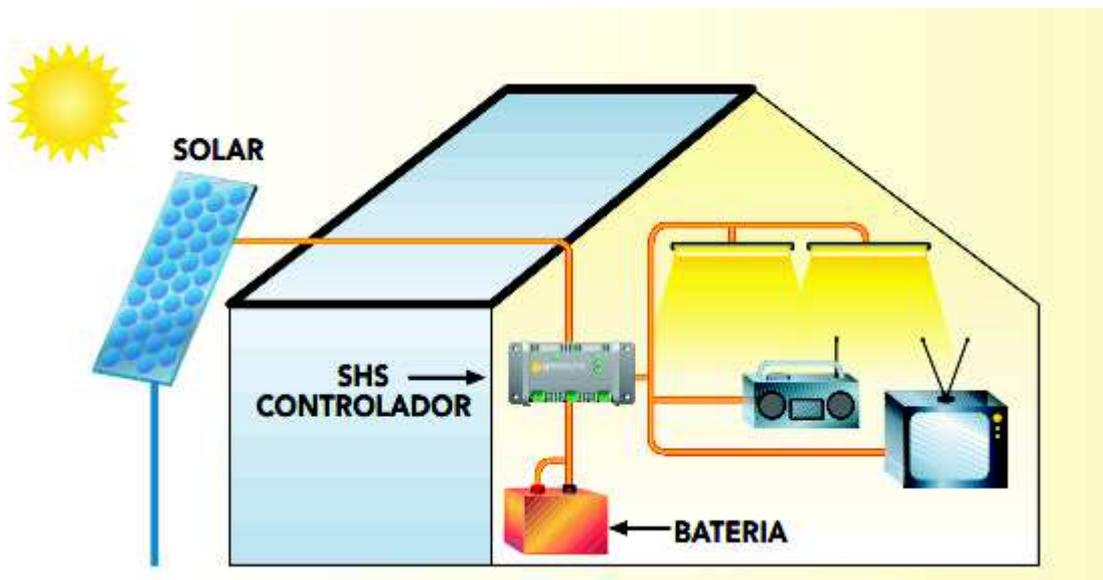


Figura 5.17 Típico Sistema eléctrico fotovoltaico

Elaborado por: Diego Recalde

Para este proyecto se ha considerado disponer de un abastecimiento de sistema híbrido, proveniente de energía fotovoltaica y energía de la red eléctrica y bajo ese criterio se han seguido los siguientes pasos:

### 5.6.1. Consideraciones para dimensionar el sistema fotovoltaico

Los pasos a seguir para dimensionar el sistema fotovoltaico son:

**Tabla. 5.2. Pasos para dimensionar el sistema fotovoltaico**

<b>Pasos</b>	<b>Descripción</b>
<b>1. Estimar el consumo</b>	Los datos aportados por el consumidor son fundamentales y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento.
<b>2. Determinar las pérdidas presentes en un sistema fotovoltaico</b>	Para determinar el potencial de generación fotovoltaico primero se debe calcular las pérdidas en el lugar de instalación. Existen varios tipos de pérdidas involucradas en los sistemas fotovoltaicos, pero las de principal interés son las pérdidas por inclinación y las pérdidas globales del sistema.
<b>3. Dimensionar el generador fotovoltaico</b>	En esta sección se debe determinar la potencia pico que debe generar el arreglo de paneles fotovoltaicos en las condiciones más desfavorable (pocas horas de sol, carga máxima, temperatura ambiente elevada, etc), así definiendo el número de paneles que conformarán el arreglo fotovoltaico.
<b>4. Dimensionar del sistema de acumulación (número de baterías):</b>	Es importante tener en cuenta los días de autonomía que se van a otorgar a la instalación,
<b>5. Dimensionar el regulador</b>	El regulador de carga debe ser dimensionado tomando en consideración principalmente la corriente de cortocircuito que genera el arreglo de módulos fotovoltaicos,

**Fuente:** (Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, 1996)

Elaborado por: Diego Recalde

### 5.6.2. Estimación del consumo

Para este proyecto se emplean dos motores considerando que no están trabajando todo el tiempo, ya que se estima un régimen de trabajo de 6 horas diarias para el motor que mueve la gata hidráulica y 2 horas diarias para el motor de giro de la válvula de aceite de la gata hidráulica, por lo que se tiene:

Tabla. 5.3. Estimado de consumo eléctrico.

Tipo de equipos	Potencia W	Horas de trabajo estimadas/día	Consumo (W/hora/día)
Motor Manivela	30	6	180
Motor Válvula	48	2	96
<b>Total de Consumo</b>			<b>276</b>

Elaborado por: Diego Recalde

Entonces se tiene una carga o consumo:

$$\text{Consumo diario} = 276[\text{Wh/día}]$$

### 5.6.3. Pérdidas en el sistema fotovoltaico

Para determinar el potencial de generación de un sistema fotovoltaico es necesario determinar los tipos de pérdidas existentes, siendo las de principal interés: las pérdidas por inclinación del panel FV y las generadas acorde a la eficiencia global del sistema (Ramírez P. , 2011).

### 5.6.3.1. Pérdidas por inclinación por medio del Factor K

Es necesario evaluar las pérdidas que se generan por la inclinación que se les dará a los paneles fotovoltaicos (PFV), “estas pérdidas también dependen de la latitud del lugar, pues no todos los sitios presentan las mismas características de incidencia de la radiación solar” (Perales, 2010, p. 35), y se puede calcular empleando un criterio matemático que puede ser utilizado al tener la información adecuado del lugar que se está evaluando. Ese criterio es llamado Factor K, que es la relación que existe entre la Irradiación Inclinada y la Irradiación Horizontal obtenida en una misma superficie.

Mediante el uso del factor K o factor de inclinación, se puede calcular (compensar) las pérdidas (horas sol) que existen en un panel fotovoltaico inclinado y orientada hacia el Sur. Hay que tener presente que los valores mensuales del factor K deben estar acorde a la latitud del lugar donde se instalara y la inclinación del panel fotovoltaico. En la siguiente tabla se muestran los valores de K para Latitud 0° (Quito) y ángulos de inclinación desde 0 a 90 grados con variaciones de 5 grados (Alonso, 2012). Lo recomendable es realizar dicho análisis para todos los meses del año, así se logra mostrar las pérdidas que se obtienen a lo largo del año y también mostrar la ganancia de energía que se obtiene en el año al inclinar los módulos fotovoltaicos un cierto ángulo (Cleanergysolar, 2011).

Tabla. 5.4 Factor K para una Latitud 0°

Latitud = 0°												
Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,02	1,01	1	0,98	0,97	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02
10	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,92	0,93	0,95	0,99	1,02	1,04	1,04
15	1,04	1,01	0,97	0,92	0,88	0,87	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,05
20	1,04	1	0,95	0,88	0,83	0,81	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06
25	1,03	0,99	0,92	0,84	0,77	0,75	0,77	0,83	0,92	0,99	1,04	1,06
30	1,02	0,97	0,88	0,79	0,71	0,68	0,70	0,78	0,88	0,97	1,03	1,05
35	1,00	0,94	0,84	0,74	0,64	0,61	0,64	0,72	0,84	0,94	1,02	1,03
40	0,98	0,90	0,80	0,68	0,57	0,53	0,56	0,66	0,79	0,91	0,99	1,01
45	0,95	0,87	0,75	0,61	0,50	0,45	0,49	0,59	0,73	0,87	0,96	0,98
50	0,91	0,82	0,69	0,54	0,42	0,37	0,41	0,52	0,68	0,82	0,92	0,95
55	0,87	0,77	0,63	0,47	0,34	0,28	0,33	0,45	0,61	0,77	0,88	0,91
60	0,82	0,72	0,57	0,40	0,26	0,20	0,24	0,37	0,55	0,71	0,83	0,86
65	0,77	0,66	0,50	0,32	0,18	0,13	0,16	0,30	0,48	0,65	0,77	0,81
70	0,71	0,60	0,43	0,25	0,13	0,12	0,11	0,22	0,40	0,59	0,72	0,75
75	0,65	0,53	0,36	0,17	0,12	0,11	0,11	0,13	0,33	0,52	0,65	0,69
80	0,58	0,47	0,29	0,13	0,12	0,10	0,10	0,10	0,25	0,45	0,58	0,63
85	0,52	0,40	0,21	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,17	0,37	0,51	0,56
90	0,45	0,32	0,14	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,29	0,44	0,49

Fuente: (Cleanergysolar, 2011)

Para calcular la media mensual de horas sol pico diario sobre la superficie inclinada del módulo fotovoltaico se debe emplear la ecuación mostrada a continuación:

$$\overline{HSP}_T = k * \overline{HSP}[\text{horas día}]$$

Donde  $\overline{HSP}$  es la media mensual diaria de las HSP sobre una superficie horizontal analizada en un periodo de 10 años y k representa el cociente entre la energía incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el sur e inclinada un determinado ángulo. Se puede asumir que en un día claro sin nubes el valor de la radiación es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. El número de  $\overline{HSP}_T$  diarias a 1 000[W/m<sup>2</sup>] determina el número de horas de irradiación solar/día.

$$H = \overline{HSP}_T * 1\,000[\text{Wh}/\text{m}^2 \text{ día}]$$

### **Cálculo de las HSP sobre la superficie inclinada (15°) del módulo fotovoltaico.**

Se calculan las horas promedio de sol pico diario sobre la superficie inclinada del panel para cada mes, puesto que, los rayos del sol no tendrán la misma inclinación durante todo el año, provocando que se incremente o disminuya las HSP en los diferentes meses del año (Guandiola, 2011).

Los siguientes datos para los cálculos son:

- Latitud geográfica de la ciudad de Quito: 0°15'S
- Inclinación del panel fotovoltaico según la latitud: 15 grados, durante todo el año.

- Valores de K (Tabla 4.3) para una inclinación de 15 grados.

Aplicando la fórmula para obtener  $\overline{HSP}_T$ , los resultados por mes se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla. 5.5 Cálculo de las HSP sobre un módulo fotovoltaico inclinado 15°**

MES	$\overline{HPS}$	K	$\overline{HPS}_T$
<b>Enero</b>	5,1	1,04	5,304
<b>Febrero</b>	4,9	1,01	4,949
<b>Marzo</b>	4,1	0,97	3,977
<b>Abril</b>	4,4	0,92	4,048
<b>Mayo</b>	5,3	0,88	4,664
<b>Junio</b>	5,8	0,87	5,046
<b>Julio</b>	6,6	0,88	5,808
<b>Agosto</b>	6,9	0,92	6,348
<b>Septiembre</b>	6,6	0,97	6,402
<b>Octubre</b>	5,0	1,02	5,100
<b>Noviembre</b>	5,0	1,05	5,250
<b>Diciembre</b>	4,0	1,05	4,200
<b>TOTAL</b>	63,7		61,096

Fuente: Guandiola (2011, pág. 98)

Ejemplo: para calcular la media mensual de horas sol pico/diario sobre una superficie inclinada a 15% Sur del módulo fotovoltaico en el mes de marzo, aplicando la ecuación para calcular, se tiene que con un factor de corrección  $K=0,97$ ,  $\overline{HSP}=4,1$  corresponde a  $\overline{HPS}_T = 3,977$ .

### 5.6.3.2. Pérdidas según la estimación del rendimiento global del sistema (PR)

A más de las pérdidas por inclinación, también se deben considerar las pérdidas del rendimiento global del sistema, las mismas que se generan debido a la eficiencia de cada elemento que conforma el sistema fotovoltaico autónomo, la misma se calcula mediante la ecuación:

$$PR = n_{temp} \cdot n_{suc} \cdot n_{rec} \cdot n_{cab} \cdot n_{bat} \cdot n_{aut} \cdot n_{inv}$$

Dónde:

$n_{tem}$  = *rendimiento por temperatura del módulo fotovoltaico*

$n_{suc}$  = *rendimiento por efectos de suciedad (no debe ser menor a 2%)*

$n_{rec}$  = *rendimiento del regulador (hoja tecnica)*

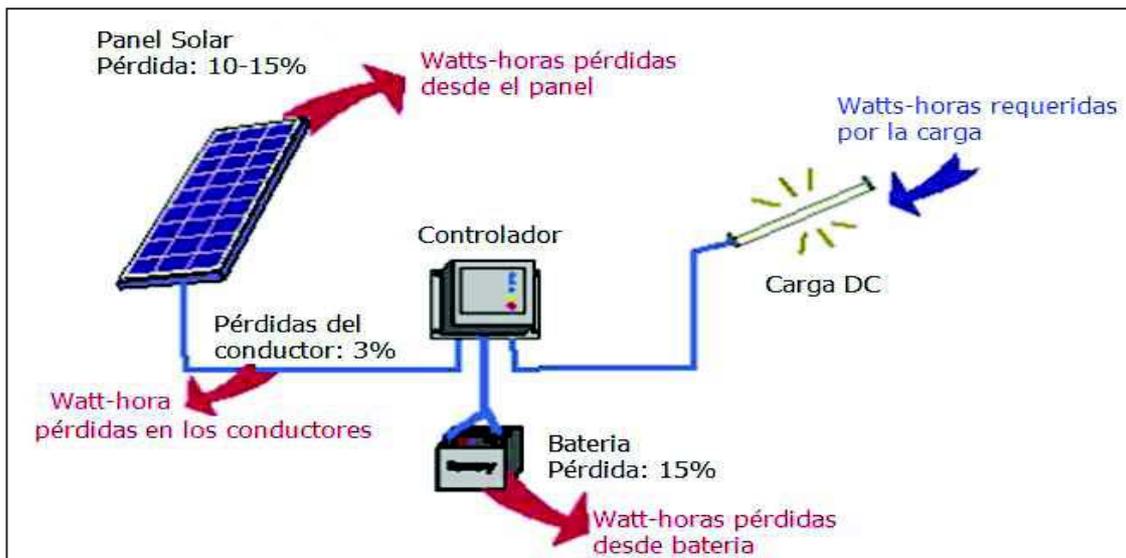
$n_{cab}$  = *rendimiento por pérdida en los cables*

$n_{bat}$  = *rendimiento del banco de baterías (hoja tecnica)*

$n_{auto}$  = *perdidas por auto descarga de labatería (no inferiora 1%)*

$n_{inv}$  = *rendimiento del inversor (hoja tecnica)*

La generación de energía eléctrica siempre presenta pérdidas en todo el sistema, (Ver figura 5.18) por tal motivo nunca se generan los valores nominales, sino algo menos. Tomando en cuenta dicho aspecto, todos los elementos han sido seleccionados tomando un factor de eficiencia que asegura que la producción de electricidad será la suficiente para abastecer la carga durante el tiempo establecido (Moya, 2010).



**Figura 5.18 Pérdidas en sistemas fotovoltaicos**

Fuente: (Cenicacol, 2005)

**a. Eficiencia en el panel fotovoltaico por efecto de la temperatura ambiente.**

En un día de radiación ideal, se pensaría que un panel de 100 Wp produciría 100 W de potencia, pero en la realidad esto no sucede, ya que para que un panel solar produzca los vatios nominales se debe considerar las siguientes condiciones:

- Sol pico perpendicular a la superficie
- Temperatura máxima de 25 °C en la superficie del panel.

Para evaluar o estimar cuantos vatios hora produce un panel FV, se debe toma en cuenta las horas de sol pico (HSP) en la ciudad de Quito. Aun cuando parece que hay sol bueno por 6 u 8 horas por día, no se pueden asumir estos valores por no ser reales y se podría pensar que un panel de 100W produciría 600 u 800 vatio-horas en un día, lo cual provocaría que el diseño del sistema

fotovoltaico no sea correcto. Sin embargo, si se emplea las HSP, por ejemplo, estimado que las horas de sol es 3,5 entonces solo se puede asumir que el panel produciría 3,5 HPS x 100W o 350 vatios - horas en un día (Hulshorst, 2012).

En el análisis para el diseño, también se debe considerar la temperatura ambiente, ya que se conoce que un panel produce sus vatios nominales cuando la temperatura de la superficie del panel es menor o igual a 25°C. Entonces, considerando que la temperatura ambiente en ningún lugar del planeta es estable ni constante, es necesario realizar un ajuste para cuando la temperatura del panel es superior a 25°C, ya que este factor también influye en los Vatios-hora generados. Es importante mencionar que en el caso de la ciudad de Quito la temperatura ambiente promedio es de 14,9°C. La siguiente ecuación permite calcular la temperatura a la cual está funcionando la célula fotovoltaica (Hulshorst, 2012).

$$T_c = T_a + 1.25(NOCT - 20)$$

Dónde:

$$T_c = \text{temperatura de la celda a una irradiación de } 1\,000\text{ W/m}^2$$

$$T_a = \text{temperatura ambiente}$$

$$NOCT = \text{temperatura de operación normal de la celda, (hoja tecnica)}$$

Según el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción (1996), en caso de que el proveedor no especifique el valor de NOCT se asumirá el valor de 45°C. En caso de que la temperatura ambiente supere los 25°C se aplicará la siguiente fórmula:

$$n_{tem} = 1 - C_T(T_c - 25)$$

Dónde:

$C_T$  es el coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a temperaturas diferentes a los estándares de prueba. En caso de no disponer de este valor se puede asumir el valor de 0.5%. (Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, 1996).

### b. Cálculo del rendimiento por temperatura y global del sistema fotovoltaico (PR)

Para efectos de optimizar el rendimiento del panel fotovoltaico (PR) se requiere calcular cuando trabaja a temperaturas diferentes a los estándares de prueba, para lo cual se toma en cuenta el promedio mensual de la temperatura ambiente en un periodo de 10 años. Los resultados se observan en la tabla siguiente.

Tabla. 5.6 Cálculo del rendimiento por temperatura ( $n_{tem}$ )

MES	Tamb(°C)	Tc (°C)	
<b>Enero</b>	15,1	46,35	0,951
<b>Febrero</b>	13,8	45,05	0,954
<b>Marzo</b>	14,9	46,15	0,951
<b>Abril</b>	14,8	46,05	0,952
<b>Mayo</b>	15,4	46,65	0,950
<b>Junio</b>	14,9	46,15	0,951
<b>Julio</b>	15,3	46,55	0,950
<b>Agosto</b>	15,8	47,05	0,949
<b>Septiembre</b>	16,0	47,25	0,949
<b>Octubre</b>	15,0	46,25	0,951
<b>Noviembre</b>	14,7	45,95	0,952
<b>Diciembre</b>	14,7	45,95	0,952
<b>MEDIA</b>	<b>15,0</b>	<b>46,28</b>	<b>0,951</b>

Fuente: Guardiola (2011, pág. 122)

Una vez hallado los valores mensuales del rendimiento del panel fotovoltaico debido a la temperatura ambiente en la que trabajara, se procede a calcular el rendimiento global del sistema de igual forma considerando un análisis para todos los meses del año. Los resultados de los cálculos realizados se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla. 5.7 Rendimiento global del sistema fotovoltaico (PR)**

MES	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	PR (%)
Enero	95,0895	98	100	97	90	99	90	72,49
Febrero	95,3885	98	100	97	90	99	90	72,71
Marzo	95,1355	98	100	97	90	99	90	72,52
Abril	95,1585	98	100	97	90	99	90	72,54
Mayo	95,0205	98	100	97	90	99	90	72,43
Junio	95,1355	98	100	97	90	99	90	72,52
Julio	95,0435	98	100	97	90	99	90	72,45
Agosto	94,9285	98	100	97	90	99	90	72,36
Septiembre	94,8825	98	100	97	90	99	90	72,33
Octubre	95,1125	98	100	97	90	99	90	72,50
Noviembre	95,1815	98	100	97	90	99	90	72,56
Diciembre	95,1815	98	100	97	90	99	90	72,56

Fuente: Lorenzo y Martínez (Igor & Cesar, 2011)

#### 5.6.4. Dimensionamiento y selección del generador fotovoltaico

##### Especificaciones para la selección del panel

Según el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción (1996), debe cumplir al menos con las siguientes normas internacionales:

- IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo”.

- IEEE-1262 “Recommended Practice for Qualification of Photovoltaic (PV) Modules” o equivalente.
- Para los módulos de capa delgada se aplicarán al menos los procedimientos de certificación IEC-61646, SERI/TR-213-3624.
- El módulo debe contar con diodos de protección de corriente inversa (bypass).
- Debe poseer un certificado del fabricante, con marca, modelo, potencia pico del módulo [Wp], tiempo de garantía de producción, condiciones técnicas de operación, curva intensidad de corriente vs. voltaje y curva o factor de reducción de capacidad por envejecimiento.
- El marco debe ser de aluminio anodizado, rígido y suficientemente resistente para que soporte tensiones mecánicas durante el transporte, instalación y operación. También debe ofrecer facilidad para fijación de los soportes y conexiones.
- La caja de conexión debe estar firmemente unida al módulo y el índice de protección mínimo debe ser IP54.<sup>3</sup>
- La potencia pico (Wp) del módulo fotovoltaico después de 20 años de operación, no debe ser inferior al 80% de su potencia inicial.

### **Selección del panel fotovoltaico**

El panel fotovoltaico empleado en este proyecto es de marca EXMORK de 100 Wp de Silicio Poli-cristalino, el mismo que fue seleccionado por cumplir las especificaciones descritas anteriormente y por su fácil adquisición en el

---

<sup>3</sup>IP54: El primer número indica que tiene protección completa contra contacto, y sedimentaciones de polvos en el interior y el segundo número indica que es protegido contra agua pulverizada.

mercado ecuatoriano a costos no tan elevados. La hoja técnica se observa en el Anexo 10.

### **Cálculo del número de paneles**

Para establecer el número de paneles requeridos para cubrir la demanda diaria del compactador de botellas plásticas, se requiere realizar la siguiente ecuación, la cual permite calcular la potencia pico del arreglo de paneles fotovoltaicos necesaria para suplir las necesidades energéticas de la carga:

$$Pot_{pico} = \frac{Demanda\ energetica}{HPS_T * PR}$$

Y, el número de paneles fotovoltaicos que se requieren para cubrir la potencia pico se calcula mediante la ecuación:

$$\# \text{ paneles} = \frac{Pot_{pico}}{Pot_{panel}}$$

#### **a. Desarrollo de cálculos**

Como se determinó anteriormente para este proyecto se estima un régimen de trabajo de 6 horas diarias para el motor que mueve la gata hidráulica y 2 horas diarias para el motor de giro de la válvula de aceite de la gata hidráulica, con un consumo diario de 276 Wh/día

El análisis de la potencia pico [Wp] requerido para cubrir la demanda eléctrica del módulo, se debe realizar para cada mes del año, con la finalidad

de reconocer y enfocar el mes más crítico de producción eléctrica fotovoltaica, así lo expresa Moya (2010).

Puesto que, las horas sol pico diarias cambian acorde a los distintos meses del año, al aplicar la ecuación *Pot pico* los resultados referenciales se observan en la tabla siguiente:

**Tabla. 5.8** Calculo de la potencia pico mensual [Wp]

MES	Demanda Energética [Wh/día]	$\overline{HPS_T}$ [Horas promedio] 10 años	PR (Perdidas por eficiencia)	Potencia Pico [Wp]
Enero	12866,67	5,304	0,725	3346,66
Febrero	12866,67	4,949	0,727	3575,48
Marzo	12866,67	3,977	0,725	4461,18
Abril	12866,67	4,048	0,725	4381,87
Mayo	12866,67	4,664	0,724	3808,66
Junio	12866,67	5,046	0,725	3516,08
Julio	12866,67	5,808	0,725	3057,73
Agosto	12866,67	6,348	0,724	2801,01
Septiembre	12866,67	6,402	0,723	2778,73
Octubre	12866,67	5,1	0,725	3479,69
Noviembre	12866,67	5,25	0,726	3377,82
Diciembre	12866,67	4,2	0,726	4222,27

Elaborado por: Diego Recalde

Con una demanda energética de 276 [Wh/día] se tiene que:

Tabla. 5.9 Calculo de la potencia pico [Wp] mes de mazo

MES	Demanda Energética [Wh/día]	$\overline{HPS_T}$ [Horas promedio] 10 años	PR (Perdidas por eficiencia)	Potencia Pico [Wp]
Marzo	276	3,977	0,725	95,72

Elaborado por: Diego Recalde

De acuerdo a los resultados obtenidos de potencia pico mensual (tabla 5.8), se observa que el mes más desfavorable de recurso solar es el mes de marzo. Por lo tanto, con una demanda energética de 276 [Wh/día] la potencia pico que debe generar el arreglo fotovoltaico es de 95,72 [Wp]. Entonces, en base a ello se debe hallar el número de paneles FV necesarios para cubrir dicha demanda, aplicando la ecuación para determinar el número de paneles, sabiendo que la potencia pico del panel fotovoltaico seleccionado es de 140 [Wp].

$$\# \text{ paneles} = \frac{95,72[\text{Wp}]}{100[\text{Wp}]} = 0,96 \text{ paneles}$$

Se concluye que se requiere 1 panel FV de 100 [Wp] para cubrir la demanda eléctrica del módulo compactador de botellas.

### Conexión de los módulos fotovoltaicos

La corriente del arreglo de módulos fotovoltaicos es de:

$$A = \frac{W}{V}$$

$$I_{\text{arreglo-módulos FV}} = \frac{95,70[W]}{12[V]} = 7,97[A]$$

### 5.6.5. Dimensionamiento y selección del sistema de acumulación

Antes de seleccionar el tipo de batería de acumulación que se empleará, se debe tener claros tres conceptos fundamentales, así lo refiere Pareja (2010):

- **Los vatios-horas [Wh]:** Definen la cantidad de energía que puede almacenar una batería.
- **Los amperios-hora [Ah]:** Es la capacidad (C) de una batería para sostener un régimen de descarga, entregando una corriente máxima y constante durante el tiempo que dura la descarga.

El número de Ah de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante para las baterías solares, el procedimiento de prueba ha sido estandarizado por la industria. Una batería, inicialmente cargada al 100%, es descargada, a corriente constante, hasta que la energía en la misma se reduce al 20% de su valor inicial. El valor de esa corriente de descarga, multiplicado por la duración de la prueba (20 horas es un valor típico), es el valor en [Ah] de esa batería. Ejemplo: si una batería solar tiene una capacidad (C) de 200 [Ah] para un tiempo de descarga de 20hrs, el valor de la corriente durante la prueba es de 10 A (Vergara M. , 2013, p. 2).

- **La profundidad de descarga (PdD):** Representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería, sin afectar la vida útil de la misma. Este valor está dado en forma porcentual. Por ejemplo: una batería de 1200 [Wh] que entrega únicamente 600 [Wh] posee una PdD del 50%.

El número de [Wh] puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah, es decir:

$$\text{Wh} = \text{Voltaje nominal} \times \text{Ah}$$

### **Especificaciones para la selección de la batería**

Según el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción (1996), las especificaciones de la selección de baterías son:

- Las baterías para aplicaciones solares deben estar fabricadas de conformidad con la norma IEC 61427 (Secondary cells for solar photovoltaic energy systems) u otra norma internacional aplicable.
- Ser nuevas y libres de daños físicos al momento de instalarse lo cual implica que la caja o contenedor no presente grietas o fisuras, infladas, abolladuras, golpes, sus terminales no deben presentar deformaciones ni desajustes.
- Los terminales deben ser de tuerca y tornillo, construido en bronce o acero inoxidable, lo que permitirá que no se presenten desajustes en las conexiones.
- Tener un régimen de auto descarga no mayor de 5 % por mes.

- Soportar al menos 8 eventos de descarga profunda (al 50 % de la capacidad) por año sin que se reduzca el tiempo especificado de su vida útil.
- Debe disponer de válvula de seguridad o de alivio de acción automática para regular la presión interna que puede incrementarse durante la operación.
- La máxima profundidad de descarga ( $PdD_{m\acute{a}x}$ ), referida a la capacidad nominal de la batería en 20-horas, no debe exceder los valores propuestos en la siguiente tabla:

**Tabla. 5.10 Máxima profundidad de descarga en función del tipo de batería**

Tipo de Batería	Máximo PdD (%) Recomendado	Número de ciclos NOC a 50% PdD
<b>Tubular o estacionaria abierta</b>	80	3600
<b>Estacionaria sellada</b>	60	600 - 1200
<b>Plomo ácido solar abierta</b>	50	900 - 1000
<b>Plomo ácido sellada AGM</b>	60	500 - 800
<b>Plomo ácido sellada GEL</b>	60	600 - 950
<b>Ión Litio</b>	100	Más de 1000
<b>Sodio Azufre (NaS)</b>	80	Más de 4000

Fuente: (Peñañiel, 2010)

- La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, NOC, a una PdD del 50%, dada por la Tabla 5.10.

## Selección de la batería

La batería seleccionada es del tipo Plomo-acido sellada AGM marca *POWER SONIC*, la misma que cumple con las especificaciones sugeridas por La Norma Ecuatoriana de Construcción (1996), se utilizará el modelo *UGC20-12* (12 Volt – 20Ah) para un régimen de descarga de 20 horas, es una batería tipo VRLA con tecnología AGM. Los datos técnicos de la misma se observan en el anexo 11.

## Capacidad del banco de baterías

El tamaño de la batería solar de almacenamiento depende de la confiabilidad del suministro de potencia. Por tal motivo la Norma Ecuatoriana de Construcción (1996) sugiere estimar un almacenamiento de potencia en la batería de 2 a 5 días. Esto significa que la capacidad de la batería debe ser de por lo menos 2 a 5 veces el consumo de carga diario para poder suplir energía durante 2 a 5 días sin brillo solar. En el presente caso se diseña para 2 días de autonomía, debido al comportamiento del clima en la ciudad de Quito.

Tomando en consideración las sugerencias, a continuación se emplea la ecuación, para determinar la capacidad del banco baterías, la misma debe ser usada únicamente para elegir el banco de baterías a un régimen de descarga de 20 horas (C20).

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} * \text{días de autonomia}}{\text{PdD} * \text{Voltaje del sistema}}$$

Donde, el voltaje del sistema debe ser múltiplo de 12 V (12, 24, 36, 48,...) y la capacidad del banco de baterías está dada en amperios hora [Ah].

#### a. Cálculo de la capacidad y conexión del banco de baterías

Empleando la ecuación anterior y de acuerdo a los valores especificados en la tabla 5.10 se ha determinado el valor de PdD conociendo que la batería seleccionada es de Plomo-acido sellada AGM.

$$C_{bat} = \frac{276[Wh/día] * 2días}{0.6 * 12 [V]} = 76,67 [Ah]$$

Con el valor obtenido, es posible determinar el número elementos que conforman el banco de almacenamiento del sistema fotovoltaico que se requiere para cubrir la carga requerida del módulo de compactación de botellas durante 2 días en los que no se cuente con radiación solar.

$$\# baterias = \frac{76,67 [Ah]}{20 [Ah]} = 3,83 \cong 4$$

Entonces el banco de baterías de la capacidad calculada está conformado por 4 baterías conectadas en paralelo.

#### 5.6.6. Dimensionamiento y selección del regulador de carga

El regulador de carga debe ser dimensionado tomando en consideración principalmente la corriente de cortocircuito que genera el arreglo de módulos fotovoltaicos, para lo cual se asume que: “la capacidad del regulador debe ser al menos un 25% mayor de la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico

o de la serie de módulos a los cuales está conectado.” (Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, 1996). Además, para su selección se debe tener presente las especificaciones que recomienda La Norma Ecuatoriana de Construcción, para asegurar un correcto funcionamiento del mismo y evitar complicaciones en el servicio del sistema fotovoltaico.

### **Especificaciones para seleccionar el regulador de carga**

Según el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción (1996), las especificaciones para seleccionar el regulador de carga son:

- El controlador de carga debe ser fabricado bajo la norma internacional UL 1741 u otras normas aplicables. Las especificaciones de la presente norma aplican para reguladores de carga que trabajan con baterías solares de descarga profunda de plomo – ácido, estacionarias tipo tubular y sellado AGM o GEL.
- La operación del regulador de carga debe ser automática.
- La vida útil del regulador de carga debe ser igual o mayor a 10 años.
- Debe proveer protección contra descargas profundas de la batería.
- Debe proveer protección contra sobrecargas de la batería.
- El desempeño de las funciones de desconexión y reconexión de los módulos fotovoltaicos y de la carga, deben ubicarse dentro de los siguientes límites, para un voltaje del banco de baterías de 12 V, y correspondientemente para otros voltajes:
  - Desconexión del arreglo fotovoltaico: entre 13,90 V y 14,60 V

- Reconexión del arreglo fotovoltaico: entre 12,60 V y 13,50 V
- Desconexión de la carga: entre 11,45 V y 11,90 V
- Reconexión de la carga: entre 13,20 y 13,60 V.
- Debe poder operar en ambientes cuya humedad relativa supere el 90% y con temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de calibre al menos # 10 AWG.
- El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de prueba, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas al voltaje nominal de operación.
- El regulador de carga debe estar protegido contra polaridad inversa y sobretensiones tanto en la línea del generador como en la de la batería.
- El autoconsumo del controlador en cualquier condición climática, geográfica y de funcionamiento solicitado no debe exceder el 2/1000 de su capacidad nominal de carga (lado del generador fotovoltaico) en amperios.
- La información mínima proporcionada por el regulador de carga debe ser la siguiente:
  - Estado de carga referencial de la batería.
  - Señal visual o audible por desconexión del consumo.

- La caja del regulador de carga debe poseer, como mínimo, un índice de protección según las normas IEC 529 o DIN 40050:
  - IP32<sup>4</sup> al instalar en regiones andinas.
  - IP44 cuando sean instalados en regiones de trópico y amazonia.

### **Cálculos para el dimensionamiento del regulador de carga**

Las pérdidas en el regulador no se consideran, por ser este un elemento muy eficiente, pero si se debe tener presente las pérdidas que generan el inversor y la batería. La eficiencia de los inversores, usualmente se encuentra entre 85% a 90% lo cual en el presente no se requiere. La mayoría de las baterías tiene una eficiencia del 85%, sin embargo, si la batería es de buena calidad y nueva se puede considerar el 90% de eficiencia. Esto significa que cuando la energía pasa por el inversor y la batería se pierde hasta un 30% de energía (2011). Los valores de rendimiento indicados para la batería y el inversor son los sugeridos por la Norma Ecuatoriana de Construcción (1996).

Para realizar el dimensionamiento del regulador de carga se requiere conocer la corriente de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos seleccionados, el mismo se obtiene de la hoja técnica que se encuentra en Anexo 12, al mismo que se debe incrementar un 25 % (Alonso, 2012).

$$I_{SC} = 6.14[A] \times 1,25\% = 7,67[A]$$

---

<sup>4</sup>IP32: El primer número indica que tiene protección contra cuerpos extraños con diámetro >2.5mm, y el segundo número indica que es protegido contra gotas de agua que caen inclinado (15° respecto a la vertical)

El regulador de carga seleccionado soporta una corriente nominal del panel solar y de carga igual a 7,67 [A]. Puesto que la eficiencia del regulador es del 90% se compensa la pérdida y se requerirá:

$$\text{Intensidad real requerida} = 7,67/0,9 = 8,52 \text{ [A]}$$

Como la carga instalada son 2 motores de corriente directa no es necesaria la selección de un inversor. Consecuentemente el regulador recomendado será el de 10 A. Por lo tanto se decide emplear un regulador de marca Morningstar modelo Solar Home SHS de 12-48 [V] a 10[A], ya que los dispositivos de esta marca cumplen con las especificaciones descritas anteriormente. Los datos técnicos y planos del regulador se observan en los anexos 12 y 13 respectivamente.

#### **5.6.7. Especificaciones para seleccionar el conductor**

Las especificaciones para seleccionar el conductor, a decir de las Normas Ecuatorianas de Construcción (1996) son:

- Las secciones de los conductores externos deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 3% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.
- El cable entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga se debe seleccionar de tal forma que su capacidad sea 1,25 veces la corriente de cortocircuito de todo el campo fotovoltaico. Igual para el cable entre el regulador y la batería.

- Los cables deben cumplir con el código de colores (rojo es positivo, negro es negativo) o por lo menos identificar la polaridad.
- Los cables exteriores de la instalación fotovoltaica deben ser especificados para uso en presencia de humedad, temperatura 90°C, doble aislamiento multifilares y resistentes a los rayos ultravioleta, tipo XHHN, SUPERFLEX, o similar.
- Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánica fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente.
- El calibre o sección del conductor debe tomar en cuenta tanto la corriente del sistema como la caída de tensión.

Para obtener un sistema más eficiente se debe tratar en lo posible de minimizar la caída de tensión en los conductores al 1% o menos, esto es posible ya que el conductor es el elemento más económico dentro del sistema y se puede dimensionar de forma correcta logrando incrementar la eficiencia del sistema. Entonces, para lograr dicho propósito, se debe incluir un factor de pérdida para establecer lo que se pierde en el conductor (Guandiola, 2011).

Si el calibre del alambre es correcto, este factor puede ser 3%. Si se emplean conductores muy delgados o largos, entonces este factor puede ser más del 10%, el mismo que resulta muy elevado. Entonces la eficiencia de los conductores puede alcanzar el 97% (Guandiola, 2011).

### **5.6.8. Estructuras de soporte del SFV**

Según el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción (1996), las especificaciones para construir un soporte para los paneles fotovoltaicos son:

- Las estructuras deben resistir como mínimo 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables.
- Deben estar diseñadas para soportar una velocidad del viento de al menos 100 km/h.
- La inclinación de las estructuras debe estar entre 5° y 10°.
- Ningún elemento componente de la estructura, a ninguna hora del día deben ser causa de sombreado de los módulos fotovoltaicos.
- La tornillería usada para sujetar el módulo a la estructura debe ser de acero inoxidable o bronce (1996).

### **5.7. Sistema de encendido**

Para el diseño electrónico se utilizó el software Proteus 7.7, que sirve para realizar diagramas esquemáticos y placas de circuito impreso. El diagrama en bloques de la figura 4.28 representa las diferentes zonas que tiene el circuito electrónico, se detallan las siguientes:

- Panel solar
- Cargador
- Batería
- Fuente de 5VDC
- Etapa de control

- Etapa de suiche
- Sensor de fin de carrera
- Etapa de potencia motor (manivela)
- Etapa driver
- Etapa de potencia e inversor de giro motor (válvula)
- Etapa leds monitores

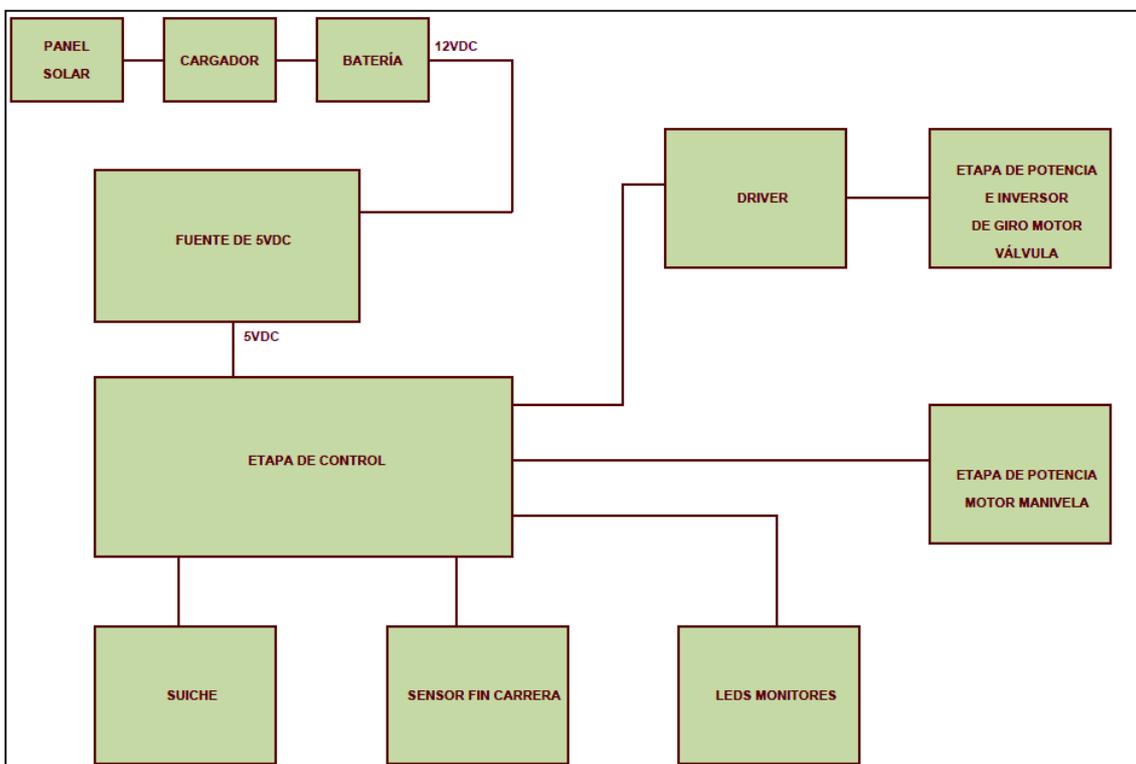


Figura 5.19 Diagrama de bloques

Elaborado por: Diego Recalde

### 5.7.1. Recepción y estabilización de energía

#### A) Panel solar

El panel solar será el encargado de proporcionar un voltaje de 12VDC y corriente adecuada para cargar una batería de 12VDC 9 A.

En el interior de una habitación el voltaje sin carga alguna conectada al panel solar puede llegar a 17 VDC. Cuando se conecta al siguiente bloque que es el cargador, el voltaje tiende a bajar dependiendo el nivel de carga acumulada en la batería.

### **B) Cargador**

el cargador de batería utilizado posee borneras de conexión donde se ubicará el panel solar, batería y la carga. Este último se denomina “carga” a lo que se va a conectar, en este caso son las placas electrónicas y motores. La capacidad máxima de la carga que se puede conectar es de 12VDC 6A, según características específicas del fabricante.

### **C) La batería**

La batería permitirá abastecer y tener una autonomía necesaria para el funcionamiento del sistema electrónico con especificaciones de 12VDC 9A, utilizada en motos.

### **D) Fuente de 5 VDC**

La fuente de 5VDC es la encargada de proporcionar un voltaje de salida de 5VDC 1A para el control electrónico. Conforme se señala en el siguiente gráfico posee una bornera J1 que recibe el voltaje de 12VDC del cargador (carga), una inductancia de entrada L2 que suprime ciertas señales parásitas que pueden ingresar por la fuente y causar funcionamiento errático en la parte de control

electrónico. C1 es un condensador electrolítico y en conjunto con C2 que es un condensador cerámico sirven para conformar el circuito de filtrado en la entrada del regulador de voltaje U1 (VI). Este componente electrónico sirve para regular y estabilizar el voltaje recibido de 12VDC a 5VDC en la salida (VO). El condensador C3, la inductancia L1 y C4 conforman un filtro  $\pi$ . Tiene la función de filtrar el voltaje de salida y eliminar residuos en AC. A continuación se puede observar en la figura 4.29 el diagrama de fuente.

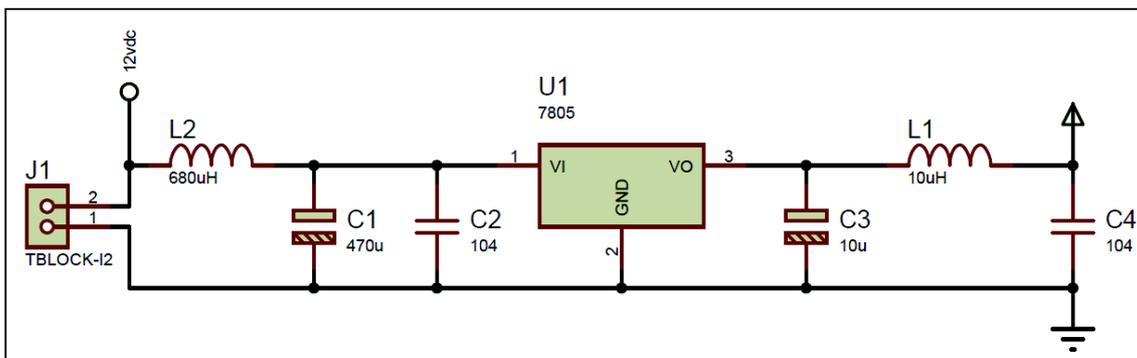


Figura 5.20 Diagrama de fuente

Elaborado por: Diego Recalde

### 5.7.2 Etapa de control

La etapa de control electrónico es la encargada de dar o recibir señales para procesarlas y realizar alguna acción específica.

El elemento que se encarga de este trabajo es el micro controlador ATMEGA48 U2 de la familia de los AVR. Se eligió este micro controlador por que la capacidad en memoria y pines disponibles son los necesarios para efectuar este trabajo. Se utiliza el reloj interno de 8Mhz, el pin de reset posee una resistencia R1 junto con una bornera denominada "Reset". Se puede conectar un suiche externo para resetear el sistema electrónico.

Cada pin del micro controlador está configurado sea como entrada o como salida por medio del software de programación. Un dato muy importante es que la corriente suministrada por cada pin del micro controlador es de 25 mA.

El diagrama del sistema de etapa de control se lo puede observar en la figura 4.30 a continuación.

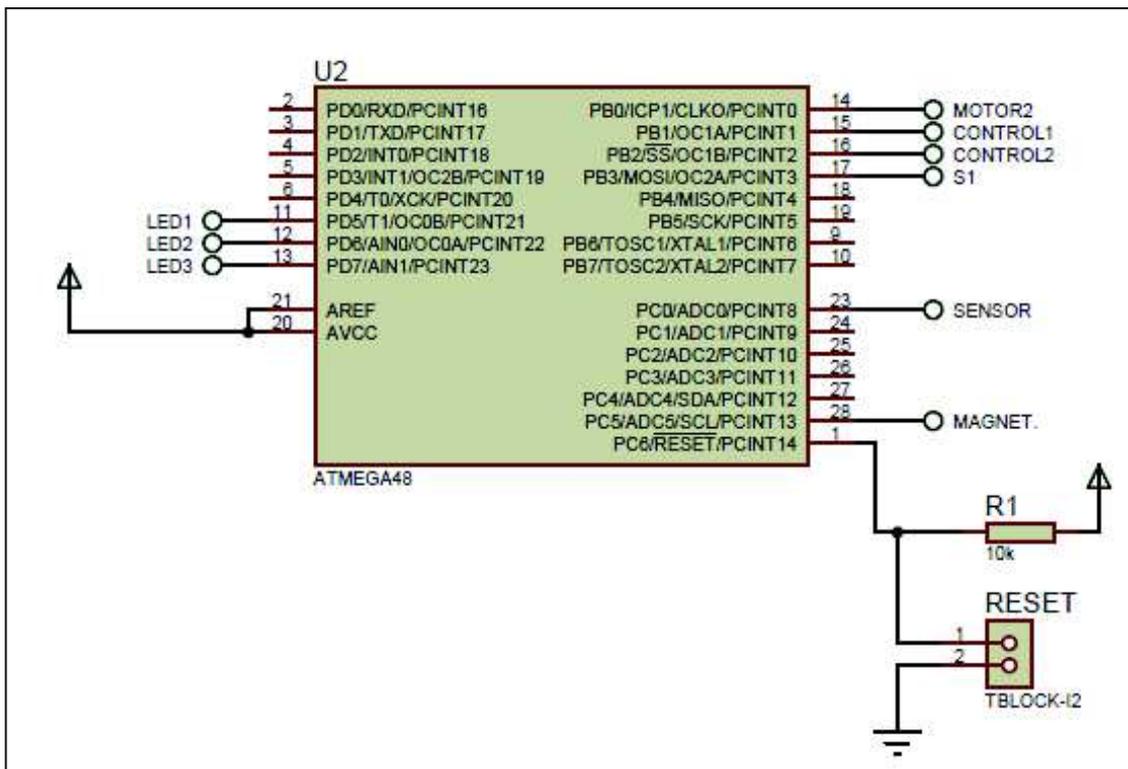


Figura 5.21 Diagrama etapa de control

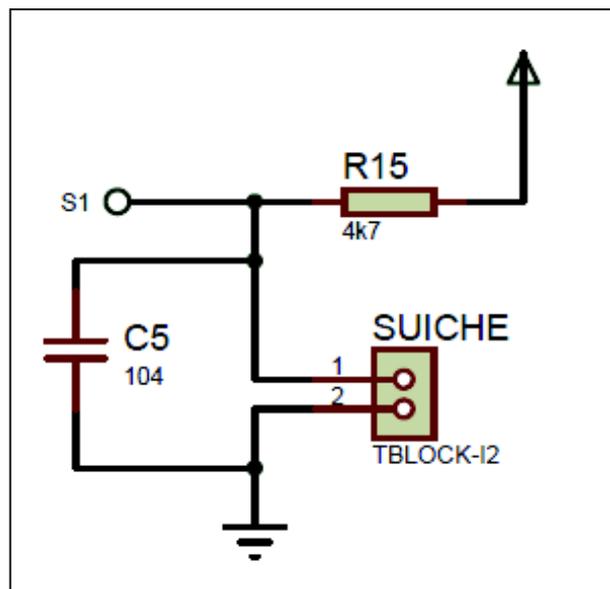
Elaborado por: Diego Recalde

### 5.7.3 Etapa suiche

Esta es la primera configuración de un pin del micro controlador como entrada, en la figura 5.22 se puede observar a la resistencia R15 polarizando la entrada del micro controlador, se toma un pin de la resistencia directo a 5VDC hacia el pin PB3 (S1) del micro controlador. El condensador C5 sirve para eliminar señales espurias que se pueden inducir por el cable de conexión entre el suiche y la placa de circuito impreso. La bornera de nombre “suiche” sirve para

extender el suiche hacia el exterior, está ubicado en la parte frontal del prototipo.

Su función principal es dar la señal de arranque al sistema electro-mecánico. El suiche es de característica normalmente abierto, en ese momento el pin PB3 del micro controlador recibe un nivel de voltaje lógico alto, al momento de pulsar el suiche el voltaje en el pin del micro controlador pasa a bajo. Esta transición de voltaje es leído por el micro controlador y procede a realizar la acción respectiva que es el proceso de dar inicio a la compresión de botellas, según lo grabado en el programa del micro controlador.



**Figura 5.22 Diagrama etapa suiche**

Elaborado por: Diego Recalde

Para determinar el valor de la resistencia R15 es necesario conocer el límite máximo de corriente que permite circular por un pin del micro controlador, para ello se revisa la hoja de datos del fabricante y se obtiene que un valor promedio de 25mA.

Por tanto se tiene el valor de voltaje 5VDC y corriente de 25mA, aplicando la fórmula:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.025A} = 200 \Omega$$

Trabajar en los extremos no es recomendado por lo tanto se debe trabajar con una corriente de 1mA.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.001A} = 5K\Omega$$

Un valor estandarizado y comercial es el valor de 4.7KΩ.

#### **5.7.4 Etapa fin de carrera**

Esta etapa es muy similar a la anterior, R16 polariza la entrada PC5 (MAGNET.) del micro controlador. En lugar del suiche pulsador a utilizarse anteriormente se prefiere un suiche magnético, que debido a sus propiedades se activa cuando se encuentre próximo a un imán. Es muy utilizado en el uso de alarmas cuando se requiere detectar una apertura de puerta. Para el compactador de botellas se requerirá detectar el punto máximo de desplazamiento de la parte compresora para evitar que llegue hasta el final. Es una medida de protección que trabaja enviando un nivel de voltaje bajo hacia el micro controlador para detener el funcionamiento de la gata hidráulica. A continuación el diagrama eléctrico de fin de carrera en la figura siguiente.

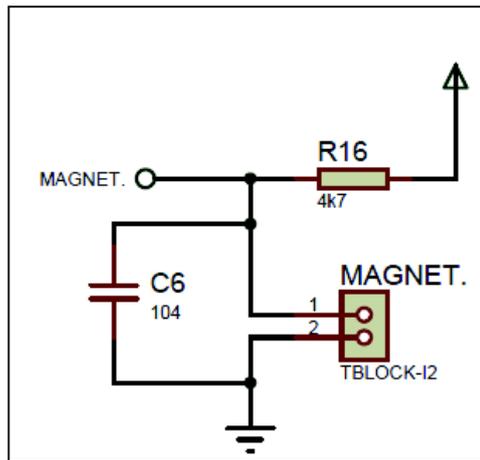


Figura 5.23 Diagrama etapa de fin de carrera

Elaborado por: Diego Recalde

El valor de R16 se obtiene de la siguiente ecuación tal como el ejemplo del cálculo anterior:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.001A} = 5K\Omega$$

Un valor estandarizado y comercial es el valor de 4.7KΩ.

### 5.7.5 Etapa driver

Esta etapa es el controlador driver para la etapa de potencia donde va a controlar un motor que se usa para elevar los vidrios en un automóvil, en este caso servirá para abrir una válvula de desfogue de aire de la gata hidráulica.

De acuerdo al gráfico siguiente son dos bloques que tienen la misma función, entregar un nivel de voltaje alto o bajo a la siguiente etapa por medio de los pines A y B (bornera A/B). El primer bloque determina el pin PB1 (control1) del micro controlador que polariza la base de Q5 a través de R11, la resistencia de carga se encuentra en emisor R10 donde se tiene la salida, punto A. EL

segundo bloque determina pin PB2 (control2) del micro controlador que polariza la base de Q4 a través de R9, la resistencia de carga se encuentra en emisor R8 donde se tiene la salida, punto B (ver figura 4.35).

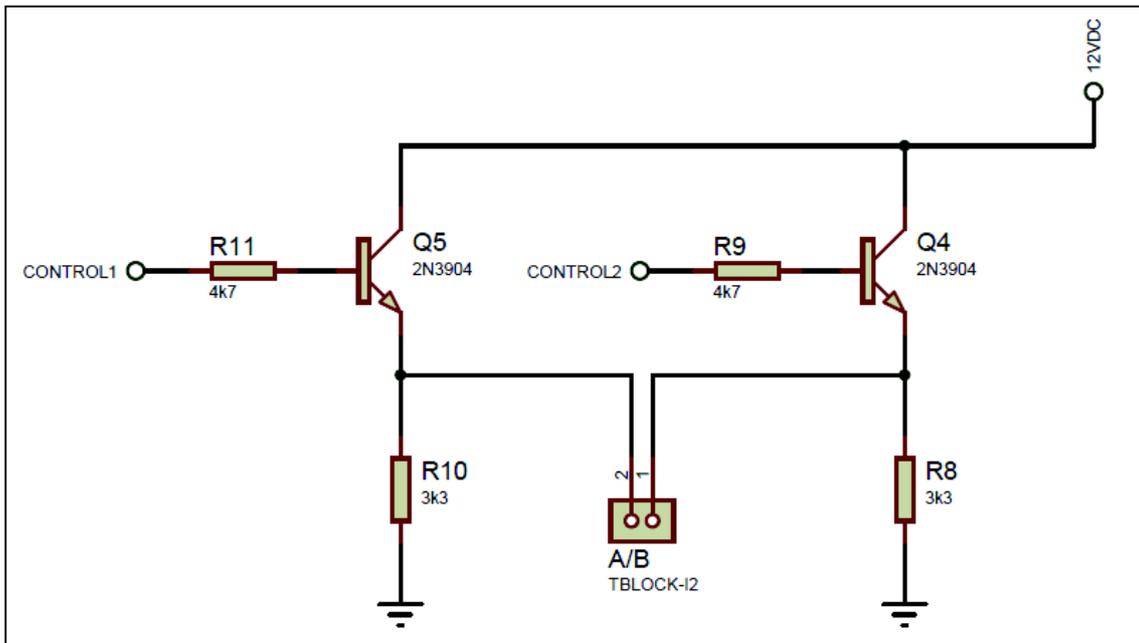


Figura 5.24 Diagrama driver

Elaborado por: Diego Recalde

Para la polarización en conmutación del transistor Q5. Como datos se tiene:

$$R10 = 3.3K\Omega$$

$$VCC = 12V$$

$$VBE = 0.7V$$

$$IB = 2.4mA$$

$$\beta = 1.48$$

$$R11 = RB = ??$$

$$IC = ??$$

$$VCE = ??$$

$$R_B = \frac{V_{CC}-0.7}{I_B} = \frac{12V-0.7}{2.4mA} = \frac{11.3V}{2.4mA} = 4708.33\Omega = 4.7K\Omega$$

$$I_C = \beta \times I_B = 1.48 \times 2.4mA = 3.55 \text{ mA}$$

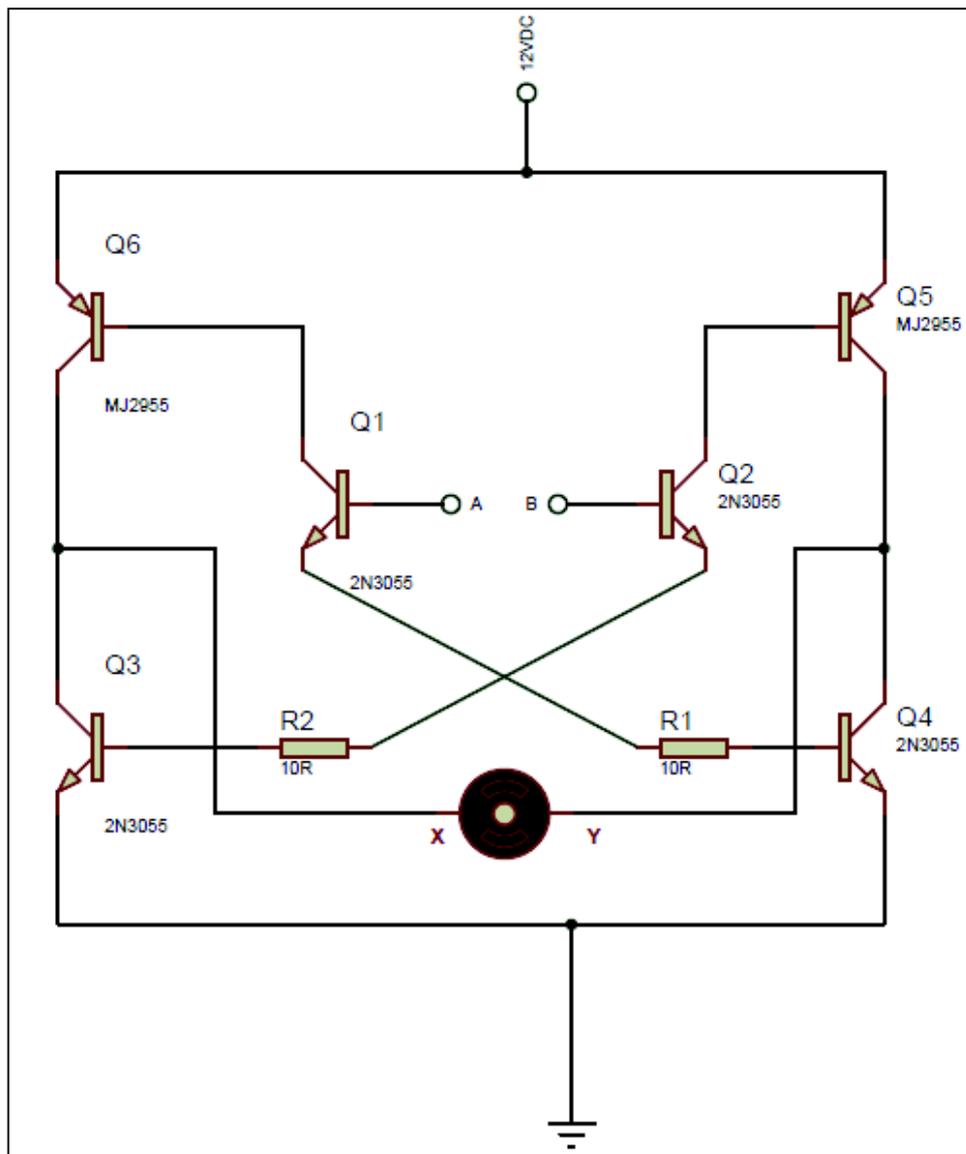
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 12 - (3.55mA)(3.3K) = 0.285V$$

Se hace una réplica de los mismos valores para la polarización de Q4.

### 5.7.6 Etapa de potencia e inversor de giro motor (válvula)

La etapa de potencia para el motor eleva voltajes que se usa en los automóviles debe ser capaz de controlar una corriente elevada respecto a las corrientes bajas que se maneja en la etapa de control electrónico. El motor que se usa es de 12VDC 4A, por lo tanto la etapa de potencia se ha diseñado con transistores tipo sombrero que pueden manejar corrientes de hasta 15A.

Esta etapa posee dos funciones, controlar corrientes altas e invertir el giro del motor DC. Para ello se ha implementado un circuito o configuración en puente "H". La figura 5.25 muestra el diagrama esquemático de la etapa de potencia e inversor de giro.



**Figura 5.25 Diagrama etapa de potencia e inversor de giro**

Elaborado por: Diego Recalde

Conforme el gráfico anterior, si en los pines A y B existen niveles de voltaje altos o bajos el motor no se mueve. Si el pin A está en alto y B en bajo se polariza Q1, en el colector se tiene un voltaje de 11.3 V (aprox.) debido a que los 12 VDC aplicados al emisor de Q6 pasan a través de emisor-base (0.7V) actuando como diodo. Q4 es polarizado a través de R1, por lo tanto el colector de Q4 se pone a un potencial de 0 voltios polarizando con GND al

terminal “Y” del motor. Por otro lado Q6 también es polarizado, debido a que el voltaje base-emisor (11.3 V) es más negativo que el voltaje emisor (12 V), de esta manera se aplica un nivel de 12 VDC (aprox.) al terminal “X” del motor y gira en sentido horario.

Si el pin A está en bajo y B en alto se polariza Q2, en el colector se tiene un voltaje de 11.3V (aprox.) debido a que los 12VDC aplicados al emisor de Q5 pasan a través de emisor-base (0.7V) actuando como diodo. Q3 es polarizado a través de R2, por lo tanto el colector de Q3 se pone a un potencial de 0 voltios polarizando con GND al terminal “X” del motor. Por otro lado Q5 también es polarizado, debido a que el voltaje base-emisor (11.3V) es más negativo que el voltaje emisor (12V), de esta manera se aplica un nivel de 12VDC (aprox.) al terminal “Y” del motor y gira en sentido anti horario.

### **5.7.7 Etapa de potencia motor manivela**

Esta etapa es la encargada de controlar un motor de desplazamiento de plumas para automóvil modificado para que trabaje 360°, funciona a 12VDC, 2.5A de consumo de corriente. Al pin PB0 (motor 2) del micro controlador se ha configurado como salida, de esta manera cuando se pone en un nivel alto se enciende el motor, y con un nivel bajo se apaga. Este nivel de voltaje es aplicado a R2 para polarizar la base de Q1, este transistor está configurado para trabajar en corte o saturación, R3 es la resistencia de carga de colector. Esta etapa es un driver para controlar la siguiente etapa. El nivel de salida de

Q1 se aplica a R4 que es una resistencia de polarización de base de Q2, R5 es la resistencia de carga que va conectada a 12VDC.

Esta etapa también se aprovecha para invertir la señal entregada por el micro controlador. La salida de voltaje de Q2 (colector) es la encargada de polarizar el transistor de potencia Q3 a través de la resistencia de base R6, la carga del colector viene a ser el motor utilizado en las plumas de automóvil que se conectará en la bornera de nombre "Motor2". La figura 4.33 muestra el diagrama esquemático de la etapa de potencia total.

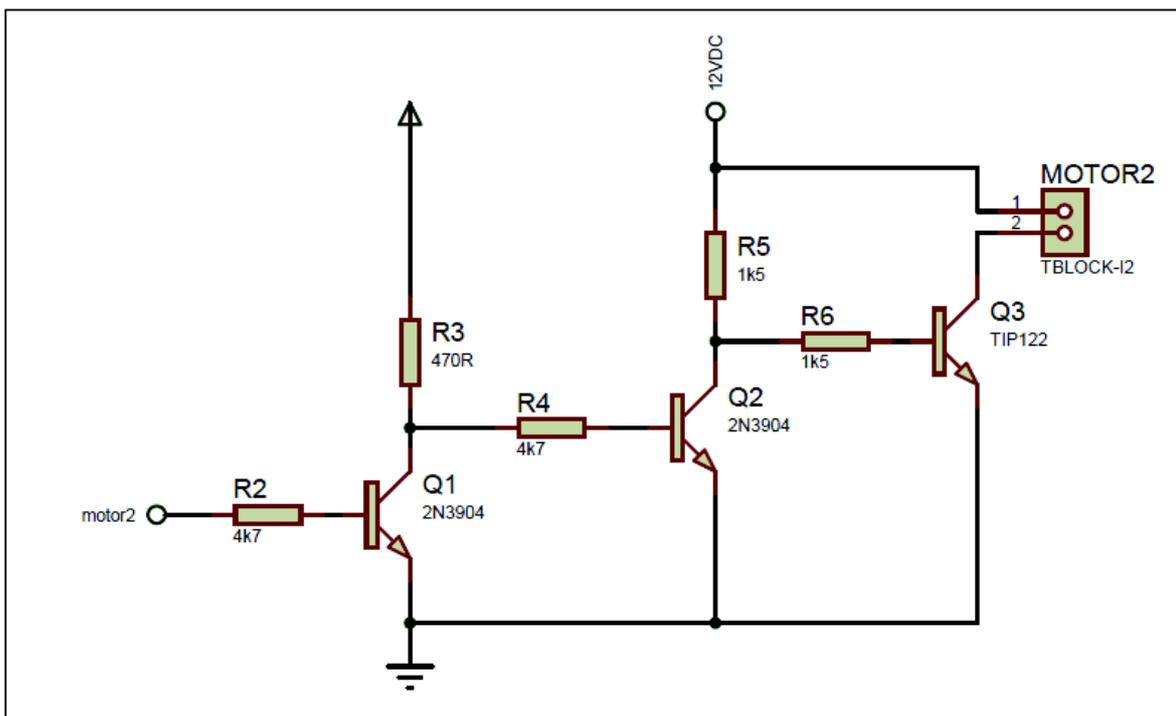


Figura 5.26 Diagrama etapa de control

Elaborado por: Diego Recalde

Para el cálculo se procede a separarlo por partes, primero se realizará la polarización en conmutación del transistor Q1. Como datos se tiene:

$$R3 = 470\Omega$$

$$VCC = 5V$$

$$VBE = 0.7V$$

$$IB = 900\mu A$$

$$\beta = 11$$

$$R2 = RB = ??$$

$$IC = ??$$

$$VCE = ??$$

$$RB = \frac{VCC - 0.7}{IB} = \frac{5V - 0.7}{900\mu A} = \frac{4.3V}{900\mu A} = 4777.77\Omega = 4.7K\Omega$$

$$IC = \beta \times IB = 11 \times 900\mu A = 0.0099A = 10 \text{ mA}$$

$$VCE = VCC - IC \times RC = 5 - (0.01)(470) = 0.3V$$

Para la polarización en conmutación del transistor Q2. Como datos tenemos:

$$R3 = 1.5K\Omega$$

$$VCC = 12V$$

$$VBE = 0.7V$$

$$IB = 2.4mA$$

$$\beta = 3.3$$

$$R4 = RB = ??$$

$$IC = ??$$

$$VCE = ??$$

$$RB = \frac{VCC - 0.7}{IB} = \frac{12V - 0.7}{2.4mA} = \frac{11.3V}{2.4mA} = 4708.33\Omega = 4.7K\Omega$$

$$I_C = \beta \times I_B = 3.3 \times 2.4\text{mA} = 7.92 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 12 - (7.92\text{mA})(1.5\text{K}) = 0.12\text{V}$$

Para la polarización en conmutación del transistor Q3. El primer paso es determinar el consumo de corriente del motor, para ello se toma el motor y se polariza directamente con el voltaje de la batería y se intercala un amperímetro como en la figura 4.34.

Con el valor de 2 – 2.5 A aproximadamente se determina que un transistor que maneje 8 A es suficiente para poner en funcionamiento el motor. El transistor según el manual ECG determina que el TIP122 encapsulado TO-220 es el recomendado para este trabajo.

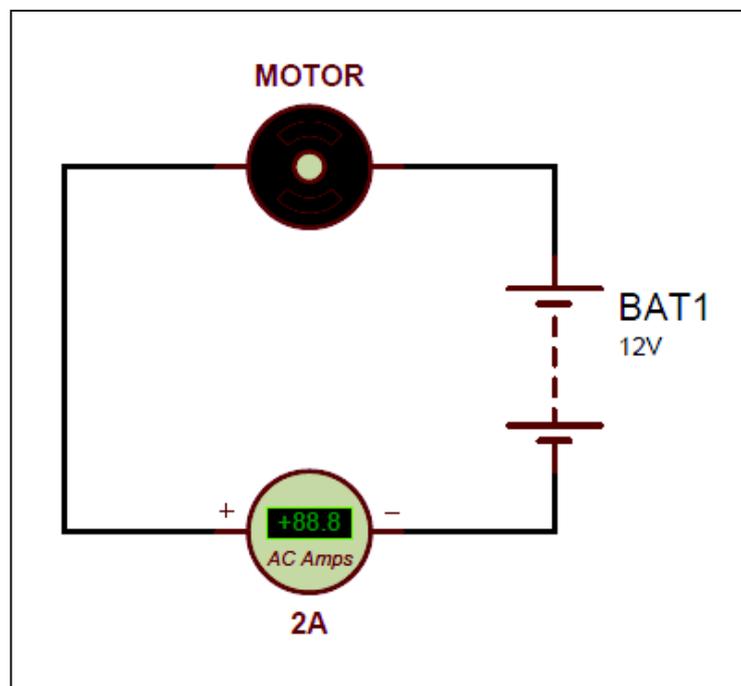


Figura 5.27 Diagrama para determinar corriente del motor

Elaborado por: Diego Recalde

$$I_C = 2A$$

$$V_{CC} = 12V$$

$$V_{BE} = 0.7V$$

$$I_B = 7.50mA$$

$$R_6 = R_B = ??$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{I_B} = \frac{12V - 0.7}{7.5mA} = \frac{11.3V}{7.5mA} = 1506.666\Omega = 1.5K\Omega$$

### 5.7.8 Etapa Leds monitores

Los leds monitores son utilizados cuando se requiere una señal lumínica para dar aviso al usuario de algún proceso que está efectuando el micro controlador. Se tomó como característica relevante el uso del led de color amarillo cuando ocurre el evento de abrir la válvula de paso de aire. El led rojo cuando esté conectado el motor que da movimiento a la manivela. El led verde cuando ocurre el evento de cerrar la válvula de paso de aire. Así se puede apreciar en la figura siguiente.

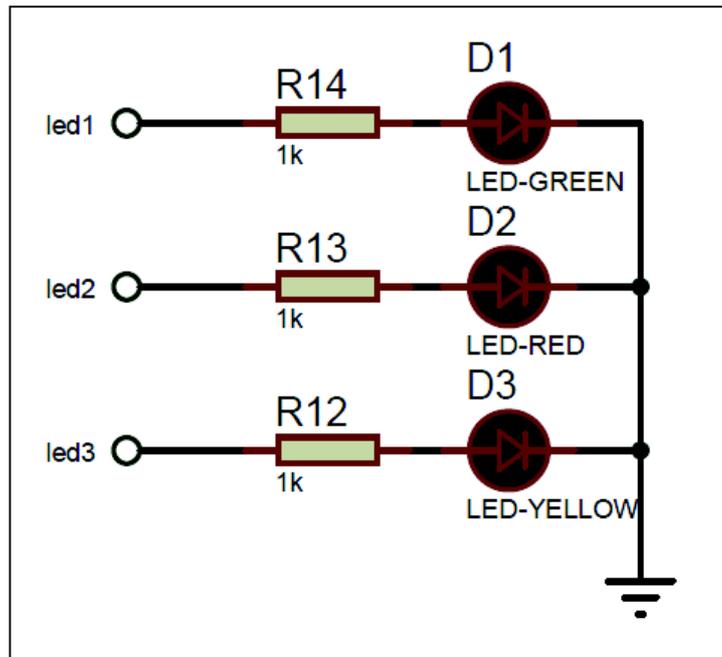


Figura 5.28 Diagrama etapa leds monitores

Elaborado por: Diego Recalde

Los valores de resistencia para los leds de color rojo y amarillo se han determinado con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{2V}{0.002A} = 1K\Omega$$

Para el color verde se ha determinado con:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3V}{0.003A} = 1K\Omega$$

Los diagramas electrónicos se pueden observar en el anexo 14 y el resumen de los resultados de los cálculos del sistema está disponible en el Anexo 15.

## CAPÍTULO VI

### CONSTRUCCION Y MONTAJE DE PROTOTIPO

Una vez establecidas las características técnicas de los componentes y realizado el diseño con los planos de cada parte se procedió a la construcción y montaje de cada una de las partes de manera secuencial



**Figura 6.1 Prototipo armado**

Elaborado por: Diego Recalde

### COMPRESION DE PLASTICO

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN.</li> <li>2. MOTOREDUCTOR: 0,25 HP</li> <li>3. PALANCA BOMBEO</li> <li>4. TOPE DE PRESION: DESACTIVA CARGA, ACTIVA RETORNO.</li> <li>5. VALVULAS AUTOMÁTICAS DE RETORNO DE ACEITE.</li> <li>6. CILINDRO HIDRAULICO: 3", 1700 PSI, CARRERA MAX. 18 CM.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>7. RESORTE RETORNO GATA.</li> <li>8. TAPA CON CAUCHO DE INGRESO</li> <li>9. RECIPIENTE RECEPCION DE BOTELLA.</li> <li>10. ÁREA DE PRESIÓN.</li> <li>11. AREA DE ALMACENAMIENTO BOTELLAS COMPACTAS.</li> <li>12. SOPORTES DE DESPLAZAMIENTO.</li> <li>13. PLACA DE PRESIÓN.</li> </ol> |
|---|--|

**Tabla. 6.1 Sistemas a montar**

<p>Estructura principal</p> <p>Tapa superior del sistema</p> <p>Pernos laterales de sujeción</p> <p>Palanca lateral</p> <p>Base de placas de polea</p> <p>Motor eléctrico 1</p> <p>Motor eléctrico 2</p>	<p>Sistema de compactación</p> <p>Placa de presión</p> <p>Eje base de placa de presión</p> <p>Gata hidráulica</p> <p>Batería</p> <p>Controlador</p> <p>Panel solar</p> <p>Celdas solares</p>
--	--

Elaborado por: Diego Recalde

Dentro de los componentes del sistema se incluyen los siguientes:

**Tabla. 6.2 Elementos y partes**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel solar generador de energía eléctrica</li> <li>2. Acumulador de energía – programador</li> <li>3. Motor reductor</li> <li>4. Palanca de bombeo</li> <li>5. Tope de presión</li> <li>6. Retorno aceite y acción palanca de acero</li> <li>7. Cilindro hidráulico (gata hidráulica)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Polea de retorno de la gata</li> <li>9. Tapa con caucho protector de ingreso de botellas</li> <li>10. Recipiente recibidor de las botellas PET</li> <li>11. Área de presión</li> <li>12. Área de almacenamiento de botellas compactadas</li> <li>13. Palanca de movimiento de 10</li> <li>14. Soporte de desplazamiento</li> <li>15. Placa de presión</li> </ol>
---	--

Elaborado por: Diego Recalde

## **6.1. Partes mecánicas**

La parte mecánica o elementos fabricados en metal se constituyen en el soporte para las demás partes eléctricas y electrónicas que permitirán funcionar al prototipo. A continuación se realiza una descripción detallada de las partes mecánicas.

### **6.1.1. Estructura principal**

La estructura inicial se la realiza con ángulos de acero que sostendrán todo el mecanismo de presión, Se puede apreciar las dimensiones de altura, ancho y largo del sistema, donde se incluirán todos los componentes. Todo irá completamente soldado a precisión para evitar desequilibrios o desgastes sectorizados. Seguidamente se exponen los respaldos fotográficos de la construcción del sistema base.



**Figura 6.2 Armado de la estructura inicial (4)**

Elaborado por: Diego Recalde

En la figura anterior se muestra parte de la secuencia con la que se construyó la estructura, se puede apreciar los cortes realizados a las tiras de acero para conformar la base, hasta llegar al esqueleto mismo.

### **6.1.2. Instalación de correas**

Las correas son las que sostendrán el sistema de presión de las botellas PET hasta llegar a su compactación. Lo conforman dos unidades de 80x40x15x2mm e irán soldadas a la estructura, la construcción paso a paso se la observa en la figura siguiente (compuesta por 4 fotos).



**Figura 6.3 Procesos de armado de las correas (4)**

Elaborado por: Diego Recalde

En el anexo 6 expone la cara en planta del sistema de compactado de botellas con las diferentes medidas con las que se realizarán los cortes de los metales, debe tomarse muy en cuenta que los metales escogidos y que constan en la tabla del listado de materiales son resistentes a las presiones que existirán por parte de la gata hidráulica. Igualmente se presenta el plano de armado de las correas pero con el sistema de instalación contra presión de pared.

### **6.1.3. Tapa superior del sistema**

La tapa superior del sistema es de caucho flexible, tiene la dimensión necesaria para introducir una botella de hasta 3 litros. Esta entrada de caucho inicialmente se la mantiene completamente cerrada y posteriormente se le dará la forma de una botella. Por seguridad se le ha puesto una cama tipo batea debajo del acceso de caucho, que está hecho de acero, con la finalidad de que el peso impida moverle manualmente, para evitar que ninguna persona, especialmente un niño, pueda ingresar con sus manos y sufrir un accidente. El diseño se observa en el anexo 6.

Como se mencionó anteriormente, la recepción de la botella de plástico se la realiza en una batea de metal, las características se muestran en el anexo 7, parte del proceso de construcción de la misma se observa en la figura siguiente.



**Figura 6.4** Proceso de armado tapa y recipiente de botellas.

Elaborado por: Diego Recalde

#### **6.1.4. Pernos laterales de sujeción**

Para sostener el sistema del receptor de botellas, es decir, el recipiente metálico donde caerá la botella de plástico se diseñó dos pernos con acero de transmisión, los cuales serán fabricados en el torno, de tal manera que mantengan una duración muy alta y soporten el peso del sistema que arrojará la botella al compactador.



**Figura 6.5 Fabricación de los pernos laterales en el torno.**

Elaborado por: Diego Recalde

En la figura anterior se observa en torneado de los pernos, los cuales quedaron listos y milimétricamente preparados para su instalación como se puede observar también en la figura siguiente.



**Figura 6.6 Fabricación de los pernos laterales en el torno (3)**

Elaborado por: Diego Recalde

En el mercado local se pueden encontrar distinta variedad de motores que funcionen a 12V, sin embargo muy pocos entregan una potencia y torque necesario para los propósitos de este prototipo. De los motores que pueden

generar la potencia y revoluciones necesarias se decidió escoger un motor de 200W y que trabaje a 50RPM debido a que es fácil de conseguir y es económico.

#### **6.1.5. Fabricación de la palanca lateral**

La palanca lateral es el elemento que se utiliza para girar de la bandeja (batea) de acero que contiene la botella que caerá dentro de la compactadora. Se la elaboró tomando en cuenta la resistencia de esta por ser un punto crítico del sistema. Se muestra en la figura las fotografías del proceso de fabricación.

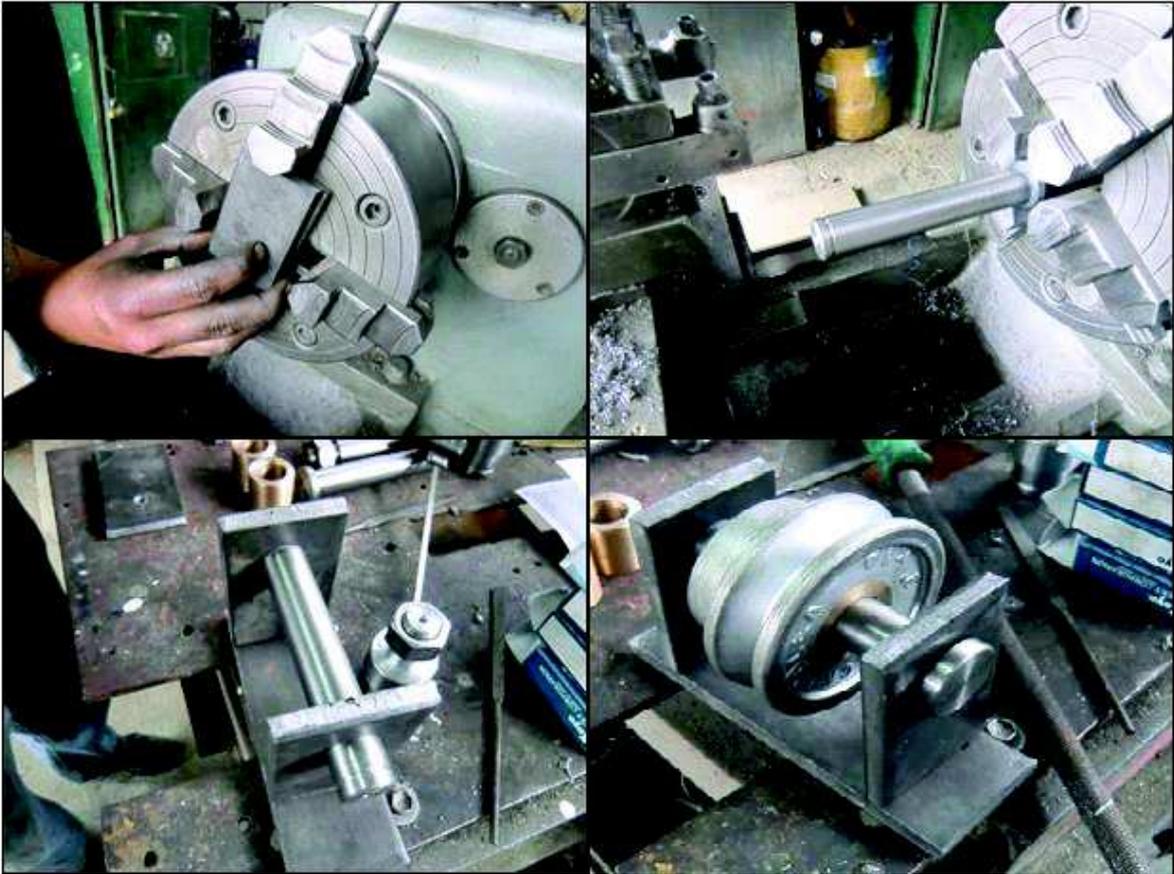


**Figura 6.7 Fabricación de la palanca lateral**

Elaborado por: Diego Recalde

#### **6.1.6. Base de placas de polea**

La base es el sitio donde se colocará la polea, que a su vez arroja la botella de plástico PET al compactador, los pasos que se realizaron para elaborar y acoplar el eje y polea se pueden apreciar a continuación en la figura siguiente.



**Figura 6.8** Fabricación de la base de la palanca lateral

Elaborado por: Diego Recalde

## **6.2. Acoplamiento de Motores eléctricos**

Para la construcción de la propuesta se utilizarán motores de corriente continua, ya que la potencia necesaria para el accionamiento hidráulico es baja y por ende un motor de CC de poca potencia satisface la necesidad, este elemento es ideal basado en el hecho de que la fuente de alimentación es alternativa (panel fotovoltaico)

Para el correcto funcionamiento del dispositivo compactador se requieren dos motores eléctricos, el primero hará la función de bombeo de la gata hidráulica y el segundo realizará la apertura y clausura de la válvula hidráulica de presión, así un motor bombea la palanca de la gata mientras que al mismo tiempo se

cierra la válvula, al finalizar el bombeo, se libera nuevamente el sistema hidráulico.

Para el motor de accionamiento de la palanca hidráulica se seleccionó un motor de accionamiento de plumas de limpieza de vidrios (parabrisas) de 179,4 W y voltaje de 12 V corriente continua, el cual cumple con los requerimientos de fuerza, tamaño y fuente de energía (Ver figura siguiente), dispone de un sistema reductor que transforma la velocidad del motor (unas 2500 a 3000 r.p.m.), a la velocidad necesaria para el accionamiento de la palanca deseado con un desplazamiento de vaivén de unas 50 o 70 oscilaciones por minuto.



**Figura 6.9 Motor de plumas**

Fuente: Archivo personal

El funcionamiento básico de este mecanismo es que contiene unos dispositivos mecánicos situados en la parte delantera la cual recibe el movimiento del motor y constituyen el sistema de transmisión. El motor limpiaparabrisas comienza su

trabajo una vez que recibe la carga eléctrica proveniente de la batería a través de un botón situado a un costado del prototipo que sirve para el encendido integral. El motor realizará la parada una vez que se haya estrujado la botella plástica introducida en el sistema de acceso superior.

El segundo motor seleccionado es el que se utiliza en los elevadores de los vidrios de un vehículo, el cual tiene dos polaridades, una para ir hacia arriba y la otra hacia abajo. Por lo antes dicho, se escogió este motor, aparte que tiene la fuerza suficiente para sellar la válvula de la gata (Ver figura No. 6.10).



**Figura 6.10** Válvula de cerrado y apertura hidráulica de la gata

Fuente: Archivo personal

El motor se puede adaptar a las distintas necesidades de un elevador de vidrios, por las diferentes formas y dimensiones de una puerta de auto, esta característica permite adecuar al mismo de una forma sencilla dentro del

prototipo. En la Figura No. 6.12 se puede apreciar el mecanismo de adaptación.



**Figura 6.11 Motor de elevador de vidrios**

Fuente: Archivo personal

En la figura siguiente se muestra el eje que rota a partir del movimiento del motor eléctrico, este se ajusta a la válvula de la gata a través del estriado múltiple que viene de fábrica en cada motor. El motor eleva vidrios que está ajustado a la válvula de la gata tiene las mismas especificaciones técnicas del motor de limpieza de plumas.



**Figura 6.12 Sistema de adaptación del motor de elevador de vidrios**

Fuente: Archivo personal

### **6.3. Sistema de compactación**

#### **6.3.1. La placa de presión**

Para poder compactar las botellas de plástico PET es necesario que exista una placa de acero que se comprima contra otra, de tal manera que se obtenga el resultado deseado, esto es, la reducción al mínimo, de tal manera que la botella ocupe muy poco espacio en el almacenamiento, logrando así tener un número grande de botellas en un espacio pequeño.

Las características de la placa se lo puedo observar en el anexo 8, parte del proceso de fabricación se muestra en la figura siguiente.

Al observar la figura de fabricación de la placa de compactación, se puede percatar que existen unas puntas filosas y resortes para cada punta, esto es necesario para evitar que exista un accidente en el momento que se coloque para compactación una botella con la tapa cerrada, lo que provocaría una explosión o daños, tanto a las personas como al mecanismo, por ese motivo se puso una serie de dispositivos puntiagudos a lo largo de la plancha, que servirá para todos los tamaños de botellas.

Los dispositivos filosos puntiagudos perforarán la botella y los resortes impedirán que dicha botella se sujete a los dispositivos empujándolos para que caiga en la bodega de artículos compactados.



**Figura 6.13** Fabricación de la placa de compactación

Fuente: Archivo personal

### **6.3.2. Eje base de placa de presión**

Las correas para el desplazamiento de los rodamientos de la base de placa de presión se los trabajaron en acero, de tal manera que no sufra deterioros mientras la placa realiza su trabajo de compactación. Así mismo, todo el sistema de rodamientos están hechos de acuerdo a las necesidades que se presentador durante la fabricación del prototipo, teniendo como material principal el acero de transmisión, con el roscado hecho en el torno.

Por ser un trabajo de presión, fue necesario que se trabaje al milímetro en cada una de las piezas para evitar los problemas de traslado de la plancha de un lugar a otro, es decir, desde el origen desde el que parte la plancha, hasta el destino, que es la confrontación con la otra plancha de acero, las mismas que compactan la botella a través de la gata hidráulica adaptada para el caso.

En el anexo 9 y la figura siguiente se observa el modelo realizado previamente y su proceso de fabricación en un taller mecánico.



**Figura 6.14 Fabricación de los rieles y ejes de base**

Fuente: Archivo personal

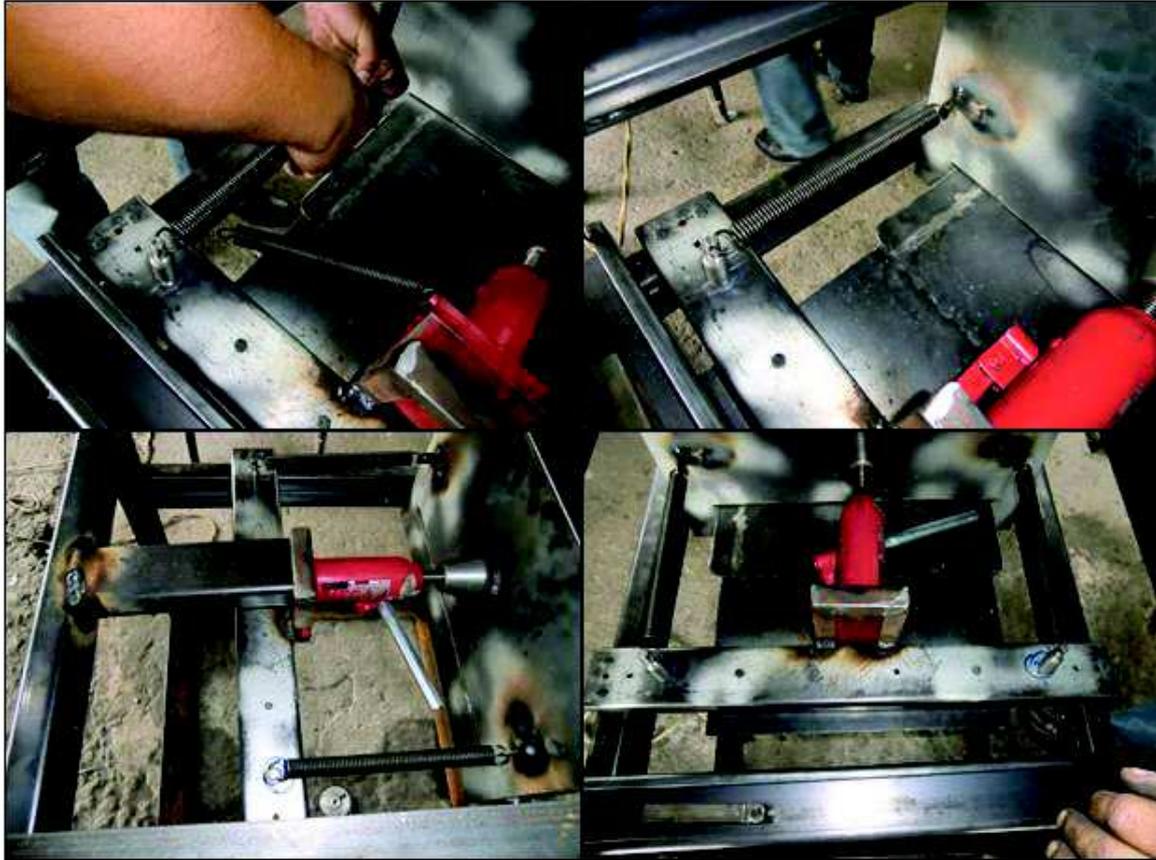
### **6.3.3. Instalación de la gata hidráulica**

Para la compactación de la botella plástica tipo PET, fue necesario utilizar un sistema hidráulico que garantice la fuerza y resistencia para lograr el objetivo. Así es como se utilizó una gata hidráulica que tenía la propiedad de funcionar acostada. Así es como se la adaptó al sistema tomando en consideración se querrán necesarios dos motores eléctricos, el uno para que mueva la palanca de bombeo y el otro para que abra y cierre el sistema de apertura de presión hidráulica. En las siguientes dos figuras se puede observar el proceso de adaptación de la gata hidráulica al sistema de compactación.



**Figura 6.15 Adaptación e instalación de una gata hidráulica**

Fuente: Archivo personal



**Figura 6.16 Adaptación e instalación de una gata hidráulica**

Fuente: Archivo personal

Se aprecia en la figura anterior el proceso de adaptación de la gata, el cual incluye los resultados que se utilizarán para que el sistema regrese a su sitio de origen, estos es, una vez que el sistema ha terminado de compactar la botella de plástico, el motor afloja la válvula del hidráulico, permitiendo que los resortes hagan su trabajo de regresar el pistón extendido a su origen. Aquí terminaría el sistema de compactación para iniciar un nuevo cuando se accione el sistema de encendido. Es de considerar que todo el fluido eléctrico proviene de un panel solar, del cual se tratará más adelante.

## **6.4. Acoplamiento del sistema eléctrico fotovoltaico**

El sistema fotovoltaico está constituido por el panel solar, las baterías y el regulador, cuyas partes de ensamblaron de la siguiente manera:

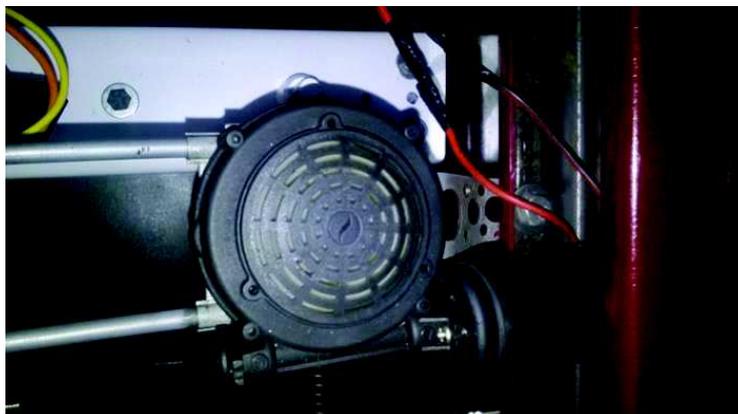
### **6.4.1. Instalación del controlador**

El controlador es de marca Morningstar modelo Solar Home SHS de 12-48 [V] a 10[A], con las características que se muestran en el anexo 12.

#### **Procesos de instalación del controlador**

A continuación se presenta el proceso de instalación del controlador para el sistema de provisión de energía a través del panel solar.

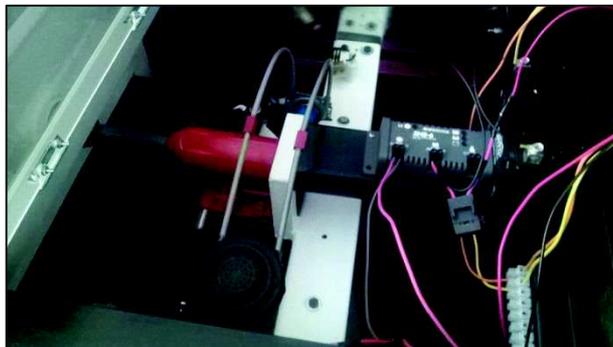
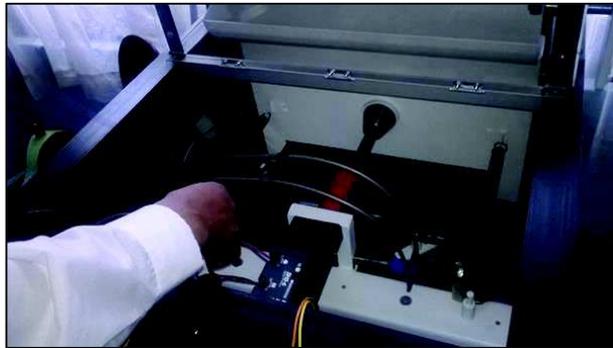
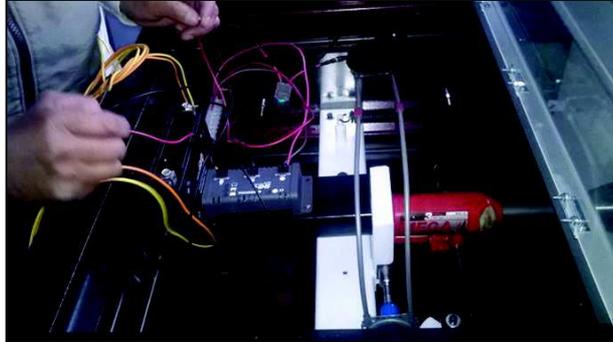
Se realizaron las conexiones a los motores, como se puede ver en la figura No. 6.17 donde se instala el motor que permitirá abrir y cerrar la válvula del hidráulico.



**Figura 6.17 Conexión a motores**

Fuente: Archivo personal

Se conectó el panel solar al controlador y del controlador a los motores como se puede observar en la figura siguiente:



**Figura 6.18 Conexión al controlador**

Fuente: Archivo personal

En la figura 6.19 se puede observar el controlador instalado en el prototipo



**Figura 6.19 Controlador de carga.**

Fuente: Archivo personal

Luego de realizadas las conexiones se efectuaron las primeras pruebas con resultados positivos alentadores y logrando el objetivo esperado, que es la compactación de la botella que cae el recipiente.

#### **6.4.2. Panel solar**

Para el abastecimiento de energía eléctrica que permita el funcionamiento de los motores acoplados, es necesaria una fuente como lo es el panel solar. Éste a su vez requiere de un sistema de almacenamiento de energía, así como de un controlador de voltaje, de tal manera que la electricidad llegue a los motores de acuerdo a su necesidad, sin permitir sobrecargas.

## Ubicación del panel solar

El panel solar se lo ubicó a un costado del prototipo, a manera de colgador temporal, ya que, cuando esté en completo funcionamiento, debe ser instalado en exteriores para la captación del sol. En la Figura siguiente se puede observar la ubicación del panel al lado izquierdo del sistema de compactación.



Figura 6.20 Ubicación del panel solar

Fuente: Archivo personal

## 6.5. Primeras pruebas

Las pruebas se realizaron con botellas de refresco con capacidad para 3 litros, de cuyos ensayos se obtuvieron los resultados que siguen.

### 6.5.1. Ensayos preliminares: Botella tipo PET

- **Peso y fuerza máxima probeta 1:**

$W = 0,06 \text{ kg.}$

$F_{MAX} = 14 \text{ kgf. } (9,81\text{N}/1\text{kgf})(0,2248\text{lbf}/\text{N}) = 30,87 \text{ lbf}$

- Volumen inicial:

$$V = 3,14 r^2 h = 3,14 (0,03\text{m})^2 (0,23\text{m}) = 6,503 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

- Volumen final:

$$V = 3,14 r^2 h = 3,14 (0,04\text{m})^2 (0,09\text{m}) = 4,524 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

- **Peso y fuerza máxima probeta 2:**

$$W = 0,06 \text{ kg.}$$

$$F_{\text{MAX}} = 92 \text{ kgf. } (9,81\text{N}/1\text{kgf})(0,2248\text{lbf}/\text{N}) = 202,89 \text{ lbf}$$

- Volumen inicial:

$$V = 3,14 r^2 h = 3,14 (0,03\text{m})^2 (0,23\text{m}) = 6,503 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

- Volumen final:

$$V = abc = (0,025\text{m})(0,22\text{m})(0,105\text{m}) = 5,775 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

- **Peso y fuerza máxima probeta 3:**

$$W = 0,06 \text{ kg.}$$

$$F_{\text{MAX}} = 84 \text{ kgf. } = 84 \text{ kgf } (9,81\text{N}/1\text{kgf})(0,2248\text{lbf}/\text{N}) = 185,24 \text{ lbf}$$

- Volumen inicial:

$$V = 3,14 r^2 h = 3,14 (0,03\text{m})^2 (0,23\text{m}) = 6,503 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

- Volumen final:

$$V = abc = 3,14 (0,025\text{m})(0,22\text{m})(0,105\text{m}) = 5,775 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

### 6.5.2. Memoria de cálculo

#### - Cilindro de compactación.

Con la fórmula para calcular la presión:

$$P = F/A$$

Donde:

P= presión

F= fuerza = Fmax x f.s.

A= área

Despejando A:

$$A = F/P$$

Fmax = 202,89 lbf.

f.s. = 1,735 (tapa y resorte)

F= 352,01 lbf

P= PRESION DE TRABAJO = 1700 lbf/pg<sup>2</sup>.

**A= 0,207 pg<sup>2</sup>**

Para el diámetro del pistón se usará la siguiente expresión:

$$A = 3,1415 \frac{d^2}{4}$$

d= raíz cuadrada (4 A/3,1415)

d= raíz cuadrada (4 x 0,207 pg<sup>2</sup>/3,1415)

d= 0,5134 pg.

El cilindro (pistón) hidráulico utilizado tiene un diámetro de pistón sea de 0,5134pg, para una gata de hasta 3 toneladas. Para la longitud de carrera se considera el volumen de entrada y el de salida.

Distancia inicial: 168mm.

Distancia final: 63mm.

Recorrido d: 105mm. = 4,1339 pg.

Para el cálculo de la velocidad del pistón suponemos:

t= 28 s.

Por lo que la velocidad del pistón será:

$v = d/t$

$v = 4,1339 \text{ pg}/28 \text{ s} = 0,1476 \text{ pg/s.}$

$v = 4,1339 \text{ pg}/28 \text{ s} * (60 \text{ s}/1 \text{ min}) = 8,8583 \text{ pg/min.}$

$v = 8,8583 \text{ pg/min.}$

Para el cálculo del caudal tenemos a la ecuación de continuidad que está expresado por:

$Q = AV$

$d = 2 \text{ pg.}$

$A = 3,14(2 \text{ pg})^2/4$

$A = 3,14 \text{ pg}^2$

$Q = 3,14 \text{ pg}^2 \times (8,8583 \text{ pg/min}) = 27,8151 \text{ pg}^3/\text{min.}$

$Q = 27,8151 \text{ pg}^3/\text{min.} (1 \text{ gal}/231 \text{ in}^3) = 0,1204 \text{ gal/min.}$

$Q = 0,1204 \text{ gal/min.}$

## Potencia de accionamiento

Potencia en KW = 0,736 \* Potencia en HP

Potencia en HP = 1,36 \* Potencia en KW

La potencia está definida en dos factores: La fuerza en Kg y la velocidad en metros por segundo.

Potencia = F \* V

1 kgm/s= 9,8066 x 10<sup>-3</sup> kw

F= 352,01 lbf

V= 8,8583 pg/min (1 pie/12 pg) = 0,7382 pie/min.

Potencia= 352,01 lbf x 0,7382 pie/min= 259,85 lbf.pie/min.

Potencia= 259,85 lbf.pie/min (0,0000303 hp/(lbf.pie/min))= 0,007874 hp.

Potencia= 0,007874 hp.

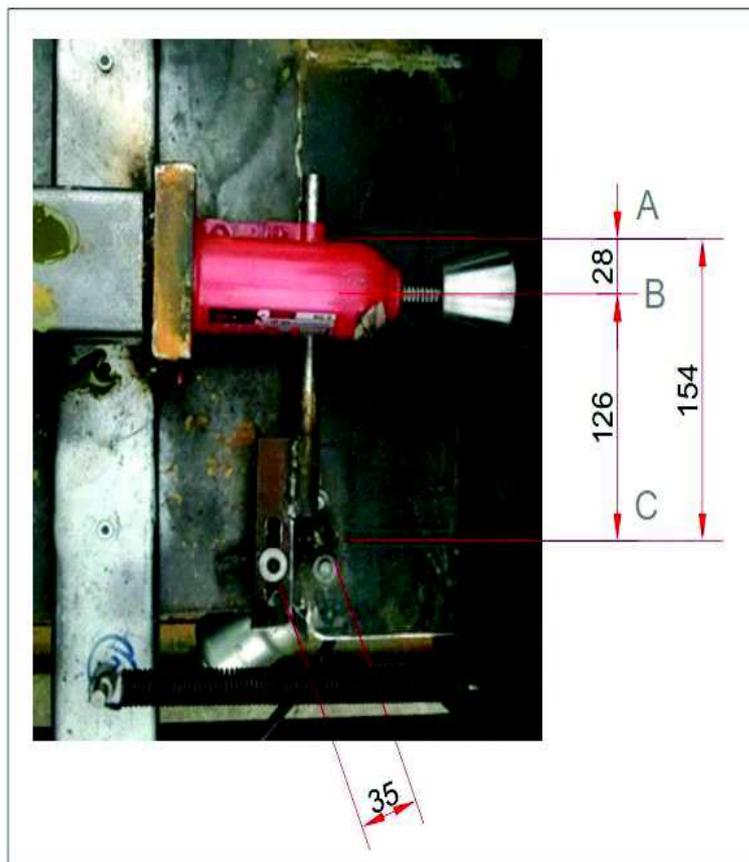


Figura 6.21 Acción gata – palanca – motoreductor

Elaborado por: Diego Recalde

La velocidad del motoreductor se optimizó en base a lo expuesto en el Tabla siguiente.

**Tabla. 6.3 Velocidades de los componentes**

<b>VELOCIDAD DEL MOTOREDUCTOR</b>		
VELOCIDAD DEL PISTON 01: V01	<b>pg/seg</b>	0,1476
DIAMETRO CILINDRO 1: D1	<b>pg</b>	2,00
DIAMETRO CILINDRO 2: D2	<b>pg</b>	0,56
VELOCIDAD DEL PISTON 02: $V01 \times D1 / D2$	<b>pg/seg</b>	1,90
VELOCIDAD PUNTO AB: V02	<b>pg/seg</b>	1,90
LONGITUD PALANCA AB: (GRAFICO)	<b>mm</b>	28
	<b>pg</b>	1,10
LONGITUD PALANCA AC: (GRAFICO)	<b>mm</b>	154
	<b>pg</b>	6,06
VELOCIDAD PUNTO AC: $VAC = AC \times V02 / AB$	<b>pg/seg</b>	10,47
RADIO DE PLACA: RP	<b>mm</b>	35
	<b>pg</b>	1,38
VELOCIDAD ANGULAR EN PLACA: $VAC/RP$	<b>RAD/SEG:</b>	7,60
<b>VELOCIDAD RPM PLACA:</b>	<b>RPM</b>	<b>72,62</b>

Elaborado por: Diego Recalde

Tabla. 6.4 Datos alcanzados en las pruebas

		COMPRESIÓN PLÁSTICO			
		Comparativo x área			
REFERENCIAS	UNID	Área 1		Área 2	
DIAMETRO PISTÓN	pg	2,00		1,50	
AREA DE PISTÓN	pg <sup>2</sup>	3,14		1,77	
CARRERA:	pg	7,00		7,00	
TIEMPO:	seg	28,00		28,00	
VELOCIDAD:	pg/seg	0,25		0,25	
<b>PRESIÓN DE DISEÑO: (PLACA DE GATA)</b>	psi	1700,00		1700,00	
<b>CARGA DISEÑO: (botella sin tapa), fuerza por botella y resorte</b>	KG	160,00		160,00	
<b>CARGA DISEÑO: (botella sin tapa)</b>	lbs	352,00		352,00	
<b>PRESIÓN (Fuerza CARGA/Area) (&lt;presión de diseño.)</b>	PSI	112,05	V	199,20	V
<b>Capacidad levantamiento(&gt;Carga Diseño)</b>	LBS	5340,55	V	3004,06	V
ÍNDICE DE LEVANTAMIENTOS		15,17		8,53	
CAUDAL BOMBAS (ÁREAxVELOC)	PG <sup>3</sup> /MIN	47,12		26,51	
CAUDAL BOMBAS (ÁREAxVELOC)	GPM	0,20		0,11	
VOLUMEN (PG <sup>3</sup> )	PG <sup>3</sup>	21,99		12,37	
FLUJO VOLUMÉTRICO (VOL/TIEMPO)	PG <sup>3</sup> /SEG	0,79		0,44	
FLUJO VOLUMÉTRICO (VOL/TIEMPO)	GPM	0,20		0,11	
<b>POTENCIA (PRESIONxCAUDAL):</b>	HP	0,24	V	0,14	V

Elaborado por: Diego Recalde

La tabla calculada, define límites máximos en velocidades, para lo cual acorde a disponibilidades en proveedores de equipos, se puede fijar revoluciones / minuto, desde 10 hasta máximo 72 rpm.

### **6.5.3. Cálculo de la bomba del cilindro hidráulico**

El cálculo del bombeo del cilindro hidráulico se expone a continuación en el Tabla siguiente.

Evaluar en tres pruebas (tipo de botellas diferentes) y registrar la deformación obtenida según las cargas aplicadas. Así es como la placa de acero fue acertadamente seleccionada en relación a la deformación del plástico.

### **6.5.4. Partes electrónicas**

En las figuras 6.22, 6.23 y 6.24 se puede observar las placas utilizadas de acuerdo a lo antes expuesto y a los cálculos realizados.

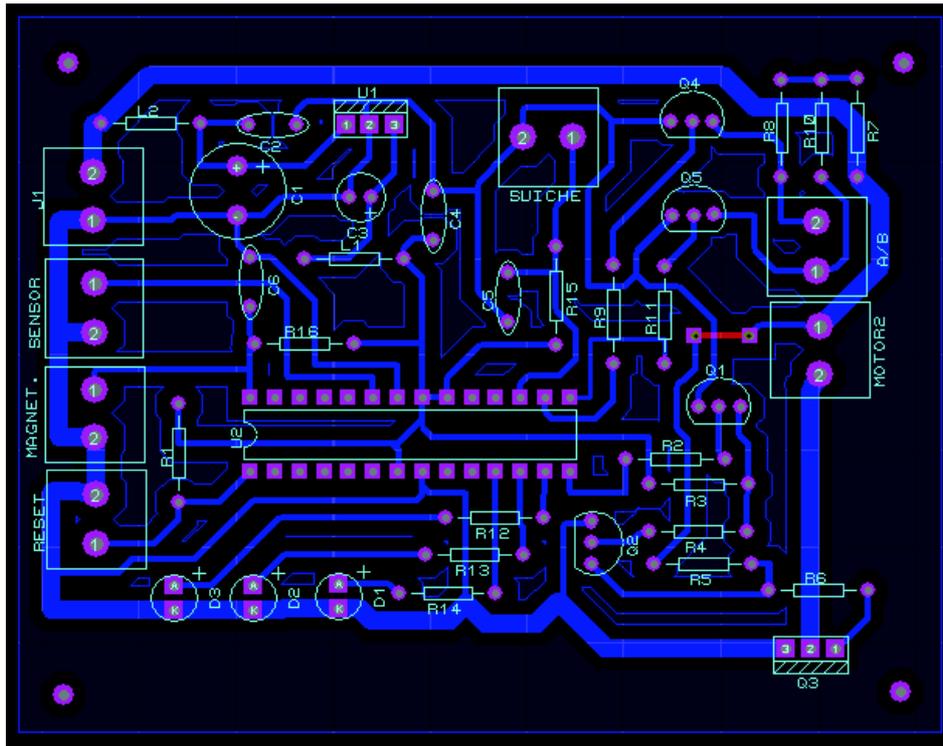


Figura 6.22 Pcb del circuito electrónico

Elaborado por: Diego Recalde

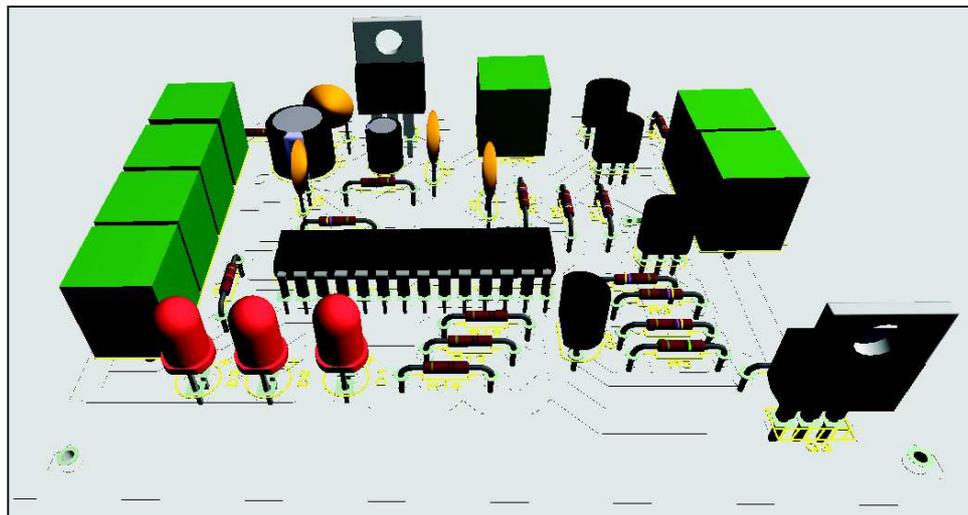
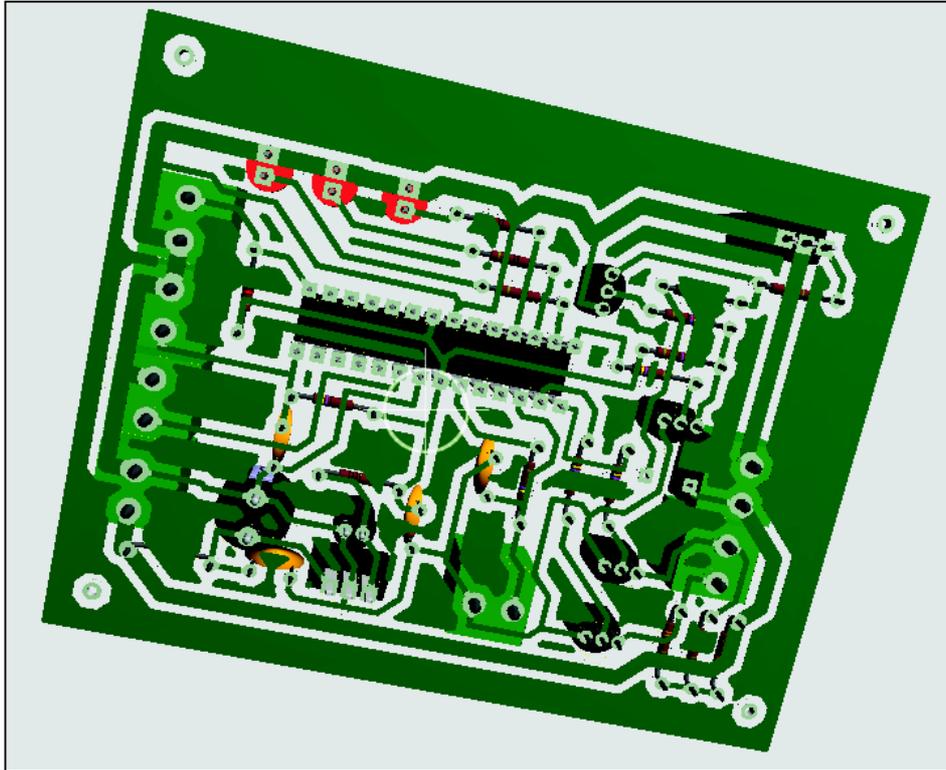


Figura 6.23 Vista superior en 3D de Pcb

Elaborado por: Diego Recalde



**Figura 6.24 Vista inferior en 3D de Pcb**

Elaborado por: Diego Recalde

## **6.6. Análisis de costos del sistema fotovoltaico para el módulo**

Se debe considerar que al tratarse de un diseño básico y de fácil manejo se ha evitado grandes gastos en el sistema hidráulico, ya que un cilindro industrial cuesta por encima de los USD 900 más el sistema de accionamiento que oscila en los USD 400. Las características del mecanismo propuesto se muestran en el anexo 3.

El listado de materiales para la construcción del sistema, costado según los valores del mercado se presenta a continuación

Tabla. 6.5 Listado de materiales

Sec	Área mecánica	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1.	CAJA SUPERIOR				
	PCHA. ACERO NEGRO, ESP. 1/8"	1,22x2,44	0,50	13,50	6,75
	CAUCHO ESPESOR 6MM	0,6x0,3	1,00	5,25	5,25
	ANGULO 1-1/2"X1/8"	M	1,00	4,50	4,50
	PCHA. ACERO NEGRO, ESP. 1/8"	1,22x2,44	0,25	8,00	2,00
	EJE ACERO DE TRANSMISION D=20	10 cm	1,00	10,00	10,00
	ARANDELA D=30MM, ESP 3MM	U	2,00	0,25	0,50
	TUERCA PARA EJE D=13MM	U	2,00	1,10	2,20
	EJE ACERO TRANSMISION D=20	15cm	1,00	15,00	15,00
	BOCIN BRONCE DINT=19MM, DEXT= 30MM	3cm	2,00	5,00	10,00
	PCHA. ACERO NEGRO, ESP. 12MM, 5X14CM	U	1,00	10,00	10,00
	ACERO TRASMISION D=10MM	12cm	1,00	12,00	12,00
	POLEA DE ALUMINIO 3" DE UN CANAL TIPO A	U	2,00	10,50	21,00
	CABLE DE ACETO DIAM 3/16", LONG, 50CM	U	2,00	0,40	0,80
	BOCIN DE BRONCE PARA POLEA	U	2,00	5,00	10,00
	AC. NEGRO ESP ESP. 9MM, 5X8CM	U	4,00	4,50	18,00
	AC. NEGRO ESP ESP. 9MM, 15X5CM	U	2,00	4,50	9,00
	EJE AC. TRANSM D=19, LONG. 12CM	U	2,00	12,00	24,00
	VINCHA PARA EJE DE D=19MM	U	2,00	2,00	4,00
2	ESTRUCUTRA SOPORTE				-
	ANGULO 50X4MM	m	10,00	4,50	45,00
	CORREA 80X40X15X2 SOPORTE ROD	m	3,00	5,00	15,00
3	PLACA DE PRESION				-

Sec	Área mecánica	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
	CORREA 80X40X15X3	m	2,00	5,00	10,00
	PCHA. AC. NEGRO, ESP 3MM, 0,60*0,35M2	U	1,00	8,90	8,90
	PCHA. AC. NEGRO, ESP 3MM, 0,12*0,46 M2	U	1,00	8,90	8,90
	RESORTES D=13, DALAMBRE=3MM, PASO 8MM	u	6,00	15,00	90,00
	EJE AC. TRANS, D=6MM, LONG 40MM.	U	6,00	28,00	168,00
	TUERCA PARA EJE DE 6 MM	U	6,00	5,00	30,00
4	EJES BASE DE RODAMIENTOS				
	AC. TRANSM. D=35MM, LONG. 70MM	U	4,00	9,00	36,00
	TUERCA PARA ROSCA DE 16MM	U	4,00	2,30	9,20
	RODAMIENTOS DI=28MM, DE=52MM, ANCHO=12MM	U	4,00	22,00	88,00
	VINCHA PARA EJE D=28MM	U	4,00	4,00	16,00
5	SISTEMA DE TRANSMISION				-
	GATA 2", 1700PSI, 0,5TON, MIN 7 PG RECORRIDO.	U	1,00	200,00	200,00
	MOTOREDUCTOR 0,24 HP, 12 RPM.	U	1,00	50,00	50,00
	LÁMINA DE POLICARBONATO (TAPA)	U	1,00	70,00	60,00
		<b>SUMAN (Dólares)</b>			<b>1.000,00</b>

Elaborado por: Diego Recalde

Realizados los cálculos de diseño del presente sistema el fotovoltaico para uso del módulo compactador de botellas se requiere el uso de: 1 panel fotovoltaico, 4 baterías y 1 reguladores de carga.

En la tabla siguiente se observa el análisis de costos de adquisición de los elementos fundamentales que conforman el sistema fotovoltaico y eléctrico. Dando una inversión inicial de 550,00 dólares americanos, para compra de equipos.

**Tabla. 6.6 Análisis de costos de un sistema fotovoltaico**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor total</b>
MÓDULO FV	1,00	150,00	150,00
BATERÍA	4,00	30,00	120,00
REGULADOR DE CARGA	1,00	60,00	60,00
TABLERO DE CONTROL:	1,00	100,00	100,00
Amperímetro	1,00		
Voltímetro	1,00		
Botón de encendido	1,00		
Juego de leds para señales	1,00		
MOTORES	2,00	50,00	100,00
CABLES ELECTRICOS	1,00	15,00	15,00
CONECTORES DE CABLES	1,00	5,00	5,00
<b>TOTAL (Dolares)</b>			<b>550,00</b>

Elaborado por: Diego Recalde

En cuanto a la mano de obra y gastos de gestión logística, este valor es de 150 dólares aproximadamente, con lo que el valor total del proyecto es de 1.700 dólares.

En el mercado, las máquinas compactadoras de plástico tienen un valor de entre 4.500 y 25.000 dólares, dependiendo su capacidad y potencia de

compactado (Meyers & Stephens, 2015, pág. 83), por lo que la compactadora diseñada y construida con el desarrollo de este proyecto tiene un valor inferior al 40% del valor referencial inferior, lo que implica que existe un ahorro de 60% sobre el valor de mercado, justificando desde la perspectiva financiera la ejecución de este proyecto.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- El PET es un tipo de plástico muy utilizado en la fabricación de envases para bebidas y textiles, que luego de su uso produce contaminación, pudiendo ser reutilizado. Una de las maneras es utilizando un equipo compactador de botellas a base de energía solar (disponible sin costo), para luego ser reindustrializado.
- La metodología empleada en este proyecto consiste en determinar las fases adaptadas al tema, tomando en consideración las opciones disponibles, los diseños de detalle, la ejecución de la construcción, la verificación final y su impacto en el entorno.
- De entre tres alternativas disponibles se escoge la alternativa N°1 ya que cuenta con todas las características requeridas como: Facilidad de fabricación, bajo costo, facilidad de mantenimiento y alta seguridad del operador.
- El diseño y selección de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos empleados para construir el prototipo, se encuentran disponibles en el mercado nacional a precios convenientes.

- El colector y compactador impulsado por energía solar fue construido en un taller de la ciudad de Quito sin mayores dificultades, a un precio de 1.700 USD, valor que se encuentra por debajo de precios de equipos similares disponibles en el mercado (> 4.500 USD), pasando todas las pruebas de verificación.

## **7.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que El Estado y la Municipalidad de Quito promuevan o continúen con la promoción del reciclaje y el almacenamiento de botellas tipo PET, para su posterior reciclaje.
- Se recomienda tomar como referencia la metodología de trabajo empleada en este proyecto, dado que esta planificación previa facilitó el trabajo de ejecución.
- Se recomienda que cuando se planteen alternativas referentes de diseño se consideren los mismos factores utilizados para este proyecto: facilidad de fabricación, bajo costo, facilidad de mantenimiento y alta seguridad del operador.
- Se recomienda que para futuros proyectos se considere la ventaja de encontrar diferentes componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos disponibles en el mercado nacional

- Se sugiere que la compactadora diseñada y construida con el desarrollo de este proyecto sea puesta a disposición de otros investigadores, estudiantes y público en general para que sea utilizada como referente inicial para otros proyectos.

## Bibliografía

- Aduanas del Ecuador. (22 de junio de 2013). *Estadísticas de recaudaciones*.  
Obtenido de [http://www.aduana.gob.ec/news/dwh\\_statistics.action](http://www.aduana.gob.ec/news/dwh_statistics.action)
- Aficionados a la mecánica. (2 de agosto de 2014). *Equipo limpiaparabrisas*.  
Obtenido de <http://aficionadosalamecanica.com/limpiaparabrisas-motor.htm>
- Agencia Metropolitana de Desarrollo Económico. (2014). *Informe Quito Ecológico*. Quito: CONQUITO.
- Agencia Metropolitana de Promoción Económica, C. (2013). *Coyuntura social y económica del sector PYME en el Ecuador*. Quito: CONQUITO.
- Alonso, M. d. (2012). *El Generador Fotovoltaico*. Sevilla: El Mundo.
- Alteco Consultores. (20 de 10 de 2015). *Alteco Consultores*. Recuperado el 28 de 05 de 2016, de Matriz de priorización: <http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/>
- Bridgewater, A., & Bridgewater, G. (2009). *Energías alternativas*. España: Paraninfo.
- Castillo, M. (2012). *Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: EMASEO.
- Cenicasol. (2005). *Sistemas Fotovoltaicos*. Cajamarca : Green Empowerment.
- Chuquin, V., Nelson, S., Marquez, S., & fernando, R. (2011). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA*. QUITO: ESPOCH.
- Cleanergysolar. (15 de Septiembre de 2011). *Factor de Corrección de K*.  
Recuperado el 16 de Marzo de 2013, de Cleanergysolar:  
<http://www.cleanergysolar.com/2011/09/15/tutorial-tablas-factor-de-correccion-de-k/>
- Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción. (1996). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: CICP.
- Dewey, A. (2010). *Evaluación de los impactos potenciales de los proyectos*. San José de Costa Rica: IICA.
- Diario Hoy. (mayo de 17 de 2013). *Actualidad*. Obtenido de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/ecuador-83-de-los-hogares-no-recicla-sus-desechos-581405.html>

- Elias, X., & Jurado, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Madrid España: Ediciones Díaz de Santos.
- EMASEO. (2013). *Campaña de reciclaje de basura*. Quito: EMASEO.
- EMASEO. (30 de junio de 2013). *Gestión de operaciones*. Obtenido de [http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2013/indices\\_gestion\\_junio2013.htm](http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2013/indices_gestion_junio2013.htm)
- Fraume, N. (2010). *Diccionario ambiental*. Bogotá: Downtown Book Center;.
- Fuentes, E., González, M., & López, R. G. (2012). *Mecanismos de degradación térmica y catódica de poliestireno bajo condiciones de hidrocraqueo*. México: UNAM.
- Fuentes, V. (2007). *Geometría solar*. México: UNAM.
- Glynn, H., & Heinke, G. (2004). *Ingeniería ambiental*. México: Pearson educación.
- Gómez, O. D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental, Prevención Ambiental*. Madrid: Mundi Prensa Editores.
- Guandiola, R. (2011). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica*. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili.
- Hulshorst, W. (2012). *Manual Práctico Energía Fotovoltaica*. Madrid: Energy.
- Igor, L., & Cesar, M. (2011). *Retrato de la conexión fotovoltaica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- INEC. (22 de julio de 2013). *Resultados censo de población*. Obtenido de <http://www.inec.gob.ec/cpv/>
- Instituto de la Ciudad. (2014). *Quito en Cifras, marzo 2014*. Quito: CONQUITO.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI. (2009). *Programa de diseño, fases para el desarrollo de productos*. Buenos Aires: Pro Diseño-INTI.
- Laboratorios Rocnarf. (2011). La degradación en el ambiente. *Info Rocnarf*, 6.
- Magnusson, M. (2010). *Understanding social interaction*. Amsterdam: Riva .
- MEER . (2010). *Manual de uso y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico comunitario*. Quito: Programa Euro-Solar, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- Moya, A. (2010). *Especialista en Fuentes de Energía e Impacto Ambiental*. Andalucía: AENA.

- Ortuño, M. (2005). *La cara oculta de los alimentos y los cosméticos*. Editorial Aiyana.
- Pareja, M. (2010). *Energía fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada*. Colombia: Marcombo.
- Peñañiel, E. (2010). *Tecnología de las baterías*. Barcelona: Toyo Solar.
- Perales, T. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Copyright Creaciones.
- Perpiñán, O. (2012). *Energía solar fotovoltaica*. España: Creative Commons.
- Ramírez, P. (2011). *Sistema Fotovoltaico en una Vivienda*. Veracruz: Xalapa.
- Razeto M., L. (2010). *Los caminos de la economía de la solidaridad, 3ra. Edición*. Santiago de Chile: Ediciones Vivarium.
- Rodríguez, R. (2013). *Aprovechamiento de la energía solar*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sapiain, R. (2012). *Manual de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. Chile.
- Saravia, M., & Mejía, J. (2012). *Validación del Método de Análisis Ergoecológico 3a. Ed.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeria.
- Seoáñez, M. (2005). *Tratado de gestión del medio ambiente urbano*. Bogotá: Editorial Velasco.
- Szokolay, S. (2004 ). *Introduction to architectural science the basis of sustainab* . Londres: Elsevier.
- UNJAEN. (2010). *Célula fotovoltaica*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2013, de [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_04.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm)
- Valtueña, J. (2004). *Enciclopedia de la ecología y la salud*. España: Safeliz.
- Vergara, M. (2013). *Tecnología de Baterías*. Chile: Océano.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1 Ordenanza Municipal**

El Ilustre Municipio de Quito, considerando:

Que la Constitución de la República del Ecuador, en su artículo 10 reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos;

Que el artículo 14 de la Constitución de la República reconoce a la población el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Además declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados;

Que el artículo 15 de la Constitución de la República señala que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto;

Que el artículo 66, numeral 27 de la Constitución de la República garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano,

ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza;

Que el artículo 83, numeral 6 de la Constitución de la República establece que son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, entre otros, el respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible;

Que el artículo 276, numeral 4 de la Constitución de la República señala que el régimen de desarrollo tendrá entre otros los siguientes objetivos, recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural;

Que el artículo 313 de la Constitución de la República señala que el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar, y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia, y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Que el artículo 240 de la Constitución de la República determina que los gobiernos autónomos descentralizados tendrán facultades legislativas en el ámbito de sus competencias y jurisdicciones y que ejercerán las facultades ejecutivas en el ámbito de sus competencias y jurisdicciones territoriales.

Que el artículo 264, numeral cuarto de la Constitución de la República establece que los gobiernos municipales tienen, entre otras competencias exclusivas, el prestar el servicio público de manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental;

Que el artículo 415 de la Constitución de la República establece que los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos;

Que la Ley Orgánica de Régimen Municipal en su artículo 14 establece que son funciones primordiales del municipio, sin perjuicio de las demás que le atribuye esta Ley, las siguientes, numeral 16, prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente en coordinación con las entidades afines;

Que la Ley de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito, en su artículo 8, numeral 1, establece que le corresponde especialmente, al Concejo Metropolitano, decidir, mediante Ordenanza, sobre los asuntos

de interés general, relativos al desarrollo integral y a la ordenación urbanística del Distrito, a la prestación de servicios públicos y a la promoción cultural de la comunidad, así como las cuestiones referentes a otras materias que según la Ley sean de competencia municipal;

Que la Ley de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito, en su artículo 8, numeral 2, establece que le corresponde especialmente, al Concejo Metropolitano, aprobar el plan de desarrollo metropolitano y establecer, mediante Ordenanza y con competencia exclusiva y privativa dentro del Distrito, normas generales para la regulación del uso y aprovechamiento del suelo, así como para la prevención y el control de la contaminación ambiental;

Que el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, libro VI, título II, artículo 30 que habla sobre las Políticas Nacionales de Residuos Sólidos señala que el Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional la gestión integral de los residuos sólidos en el país, como una responsabilidad compartida por toda la sociedad, que contribuya al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales que se determinan en el mismo cuerpo normativo;

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el Art. 63 de la Ley Orgánica de Régimen Municipal.

Expide:

## **LA ORDENANZA DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

### **Sección I**

#### **DISPOSICIONES GENERALES**

**Art. 1.- Ámbito de aplicación.-** La presente ordenanza regula lo relativo a la gestión integral de los residuos sólidos viales, domésticos no peligrosos, comerciales, hospitalarios, institucionales, industriales no peligrosos, escombros, y peligrosos (sistema de aseo urbano) dentro del Distrito Metropolitano de Quito, por lo que se constituye en norma de obligatorio cumplimiento para sus habitantes así como para quienes lo visitan.

**Art. 2.- Del objeto.-** Toda persona domiciliada y/ o de tránsito en el Distrito Metropolitano de Quito, tiene la responsabilidad y obligación de conservar limpios los espacios y vías públicas. Así mismo, debe realizar la separación en la fuente de los residuos sólidos biodegradables de los no biodegradables, siempre y cuando la Municipalidad directamente o a través de terceros, pueda asegurar su recolección diferenciada.

Corresponde a la Municipalidad el Barrido y limpieza de vías y áreas públicas, Recolección, Transferencia, Reducción, Aprovechamiento,

Tratamiento, y Disposición final de Residuos Sólidos generados dentro de su jurisdicción. Se fija como objetivo principal el contar con un sistema de recolección diferenciada de residuos sólidos, el cual se implementará por etapas hasta alcanzar la total cobertura dentro de todo el Distrito Metropolitano de Quito.

También es responsabilidad municipal la limpieza de calles, plazas, aceras, caminos, parques, jardines, puentes, túneles, pasos peatonales, quebradas, ríos, zonas verdes, y demás espacios públicos de la circunscripción territorial del Distrito Metropolitano de Quito, los ciudadanos colaborarán con la Administración Municipal en el cumplimiento de este objetivo, en todo momento.

**Art. 3.- De la aplicación y control de las normas de aseo.-** La Municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito, a través de la Secretaría de Ambiente y las empresas encargadas de los servicios que componen la gestión integral de residuos sólidos, son responsables de la aplicación de las normas de esta ordenanza y de su observancia.

Los Comisarios Metropolitanos de Salud y Ambiente, la Policía Metropolitana, las Administraciones Zonales y demás autoridades competentes, así como los veedores cívicos *ad honorem* según el reglamento que se expida para el efecto, también se encargarán del cabal cumplimiento de esta normativa.

Las Comisariías Metropolitanas de Salud y Ambiente y demás organismos que se creen para el efecto, aplicarán las multas y sanciones a quienes infrinjan las disposiciones de esta ordenanza, conforme al procedimiento correspondiente.

**Art. 4.- De las facultades para cumplir los fines del Sistema Integral.-** Con el fin de cumplir los fines y objetivos previstos en esta ordenanza, la Municipalidad tiene las siguientes facultades:

1. La Municipalidad o las empresas públicas municipales y sus modalidades que se creen para el efecto, al tenor de la Ley Orgánica de Empresas Públicas y demás leyes de la República, están facultadas para concesionar, delegar o contratar observando los requisitos de ley, las actividades de barrido, recolección, transporte, transferencia, reducción, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, sin perjuicio del régimen especial de recolección que se detalla en esta ordenanza.

2. Adicionalmente, la Municipalidad podrá celebrar convenios de mancomunidad como se detalla en esta ordenanza, por lo que las mancomunidades podrán a su vez concesionar, delegar o contratar, observando los requisitos de ley, las actividades previstas en el párrafo precedente.

**Art. 5.- De la propiedad y aprovechamiento de los residuos sólidos.-**

Los residuos sólidos que sean depositados en la vía pública o en los sitios de recolección designados por las autoridades respectivas serán de propiedad de la Municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito. En el caso de concesión, se estará a lo que disponga el contrato respecto del aprovechamiento, reciclaje y reutilización. En caso de no prever nada el contrato, el Municipio junto con el contratista podrán negociar considerando las políticas ambientales, respecto del aprovechamiento, reciclaje y reutilización de los residuos sólidos.

**Art. 6.- Principios básicos para la prestación del servicio de aseo.-**

En la prestación del servicio de aseo, se observarán como principios básicos los siguientes:

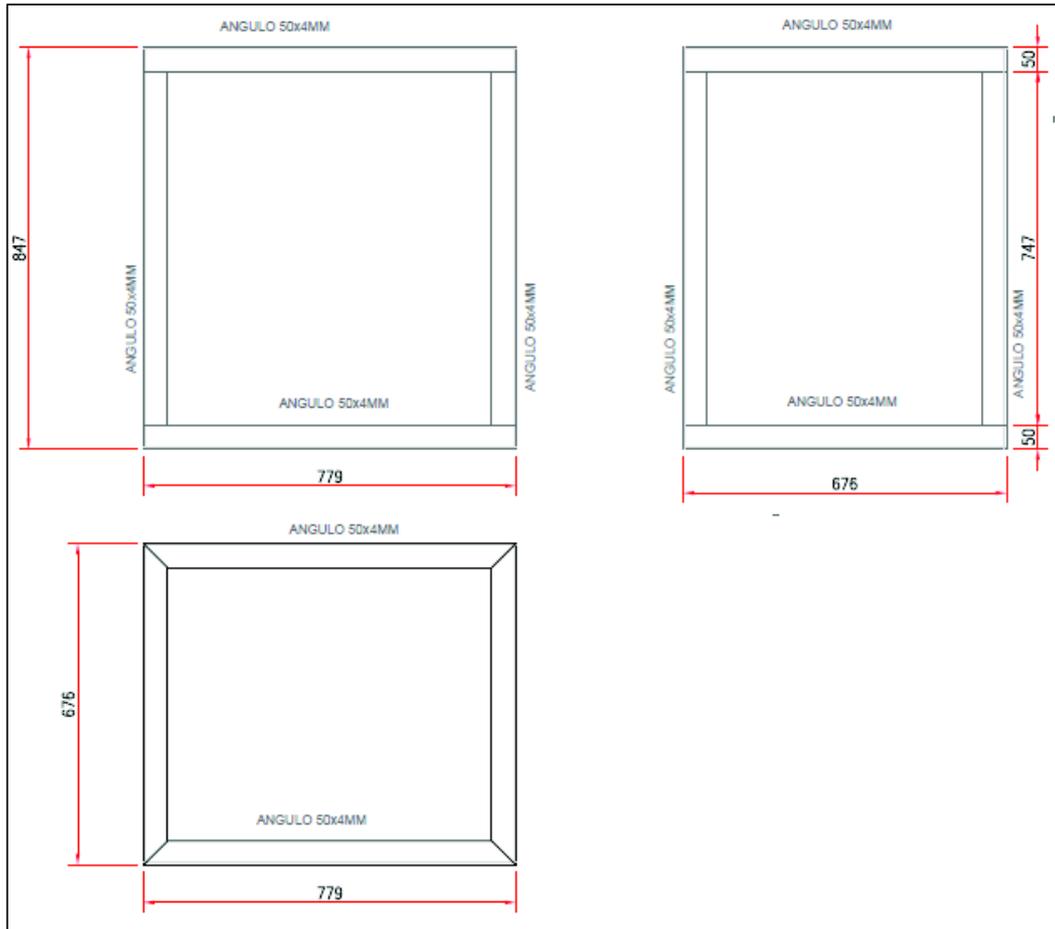
1. Procurar la cobertura total de la población del Distrito Metropolitano de Quito,
2. Garantizar la calidad del servicio a toda la población,
3. Prestar eficaz y eficientemente el servicio en forma continua e ininterrumpida,
4. Obtener economías de escala comprobables,
5. Establecer mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso al servicio y su participación en la gestión y fiscalización de la prestación del servicio,
6. Desarrollar una cultura de no residuos,

7. Incidir positivamente en la población a nuevos hábitos de consumo que deriven en una disminución de la generación de residuos sólidos, especialmente los no reciclables,
8. Fomentar el aprovechamiento de los residuos sólidos, minimizar y mitigar el impacto en la salud y en el medio ambiente, ocasionado desde la generación hasta la eliminación de los residuos sólidos, es decir en todos los componentes del servicio.

**Art. 7.- Componentes del sistema de manejo integral de residuos sólidos.-** Para efectos de esta ordenanza, se consideran como componentes del sistema de manejo integral de residuos sólidos, los siguientes:

1. Barrido y limpieza de vías y áreas públicas.
2. Recolección y Transporte de Residuos Sólidos
3. Transferencia de Residuos Sólidos.
4. Reducción, Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos.
5. Disposición final de Residuos Sólidos.

## Anexo 2 Plano del diseño del dispositivo compactador.



Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

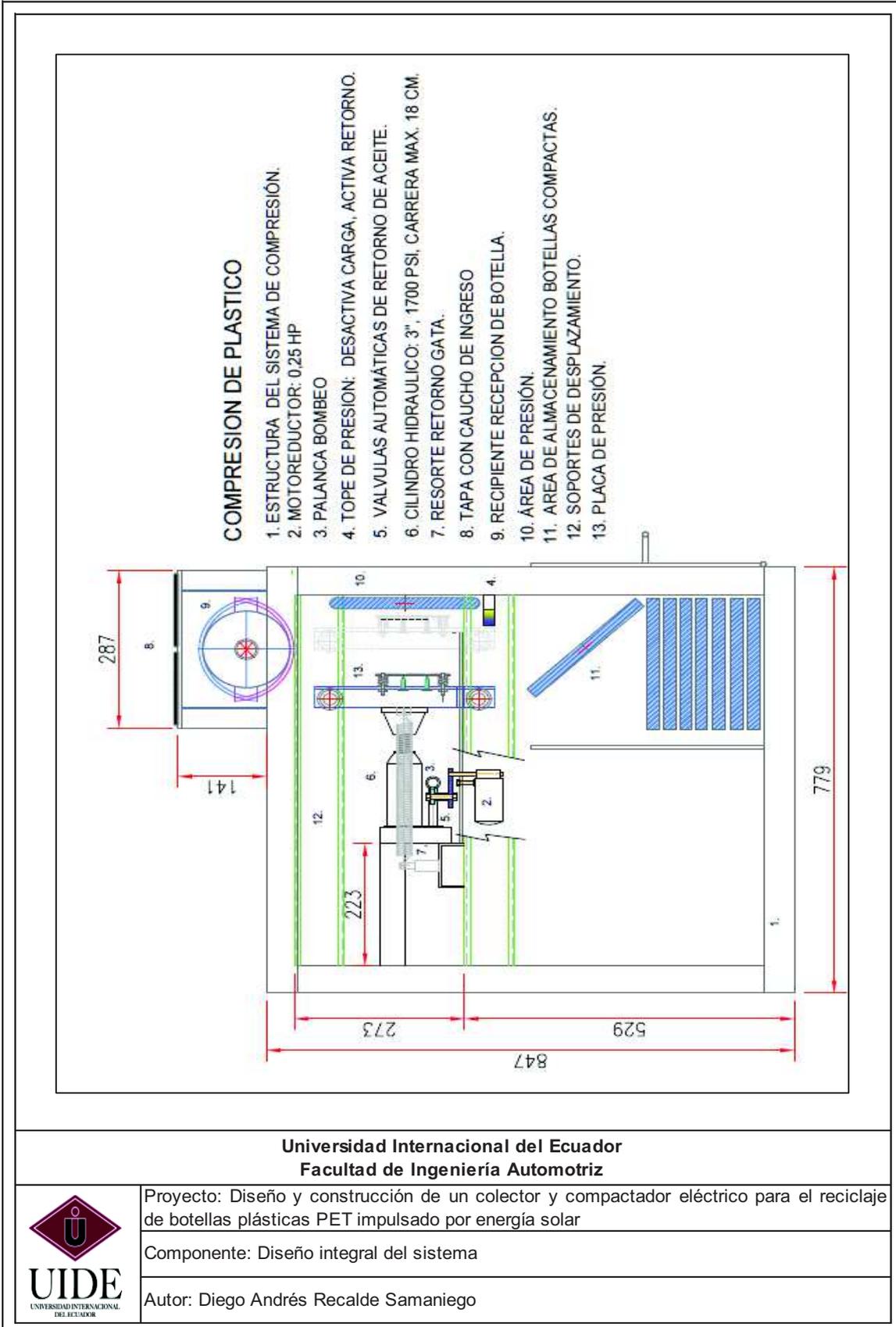


Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

Componente: Plano del dispositivo compactador

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

### Anexo 3 Diseño integral del sistema.



Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

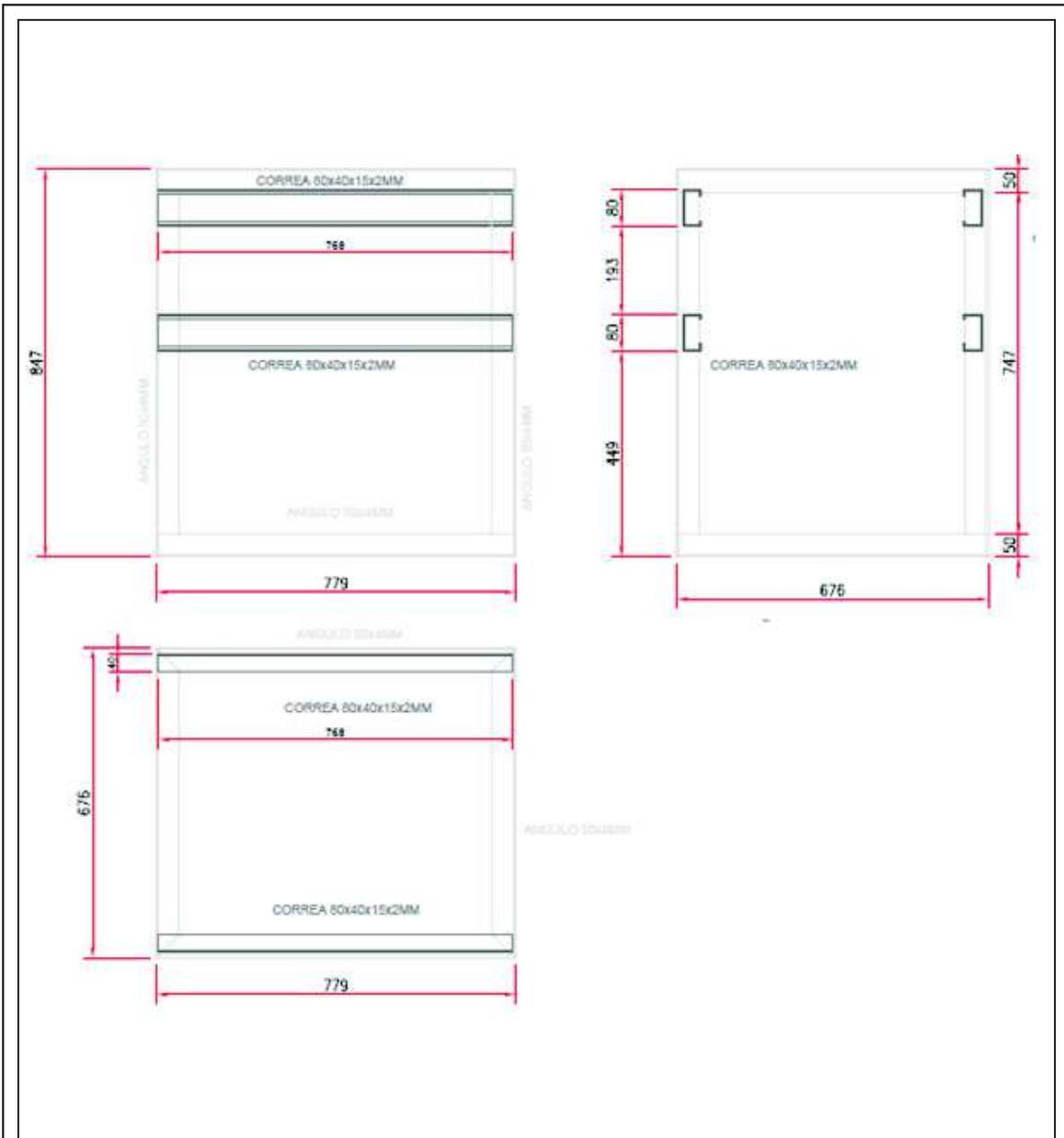


Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

Componente: Diseño integral del sistema

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

## Anexo 4 Plano armado de las correas.



Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

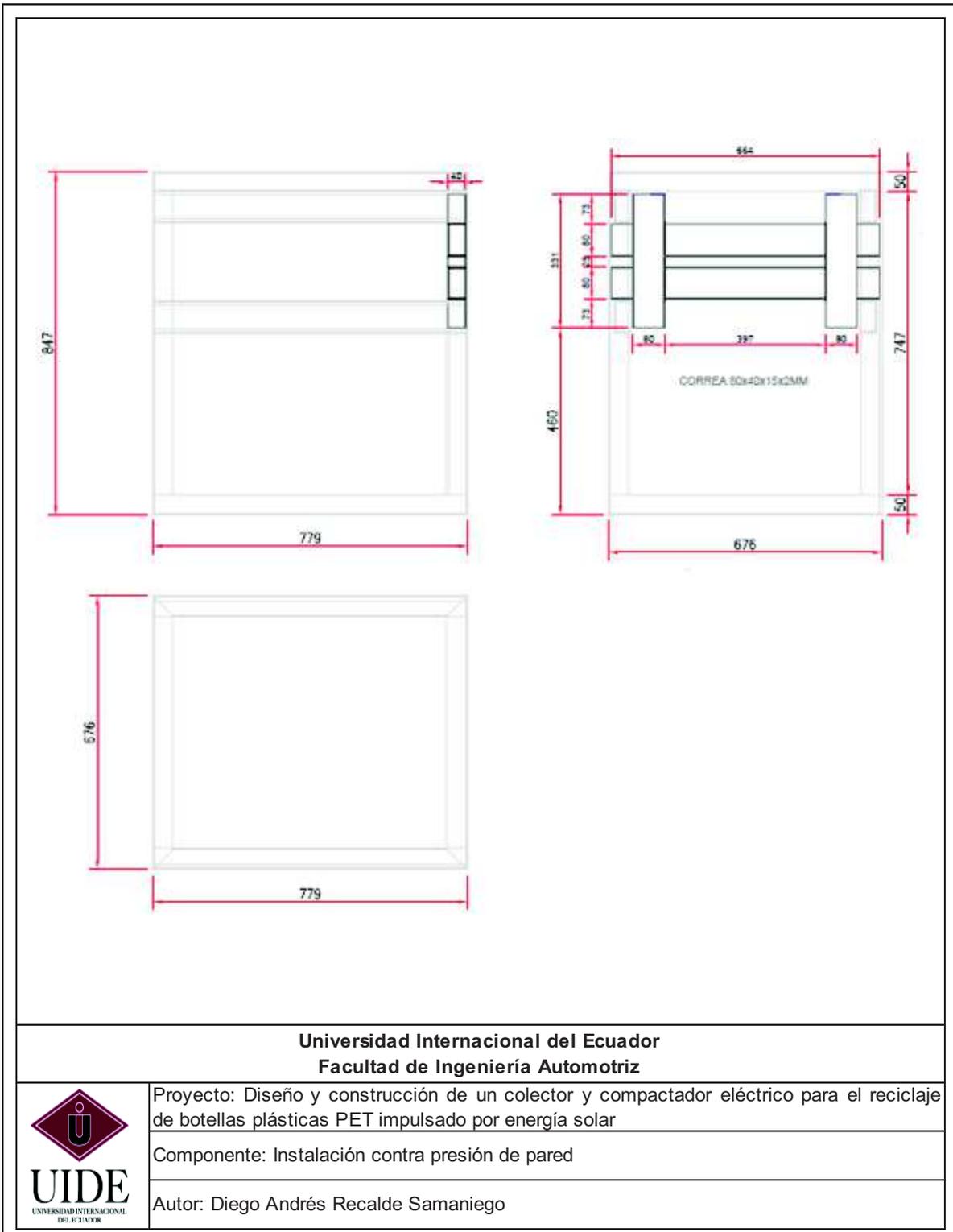


Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

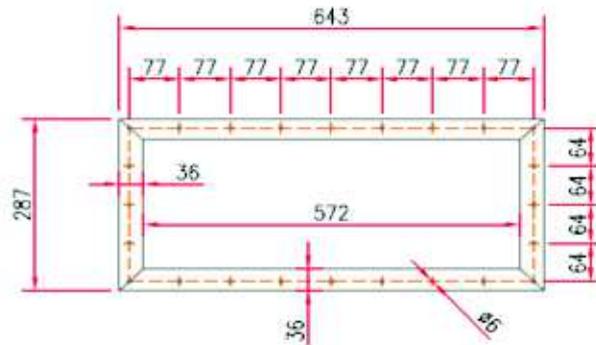
Componente: Plano armado de correas

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

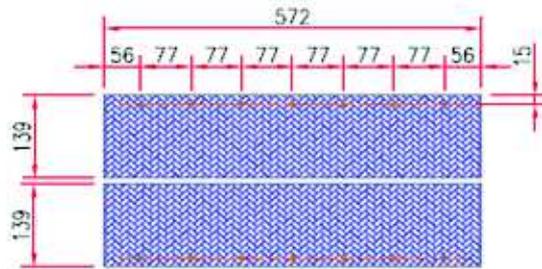
## Anexo 5 Instalación contra presión de pared.



## Anexo 6 Tapa con caucho de ingreso.



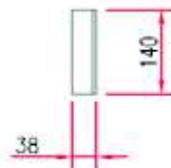
Pcha. espesor 1/8"  
Cant. 1



Caucho espesor 6mm  
Cant. 2.



Pcha. espesor 1/8"  
Cant. 1



Angulo 1-1/2" x 1/8"  
Cant. 4

Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

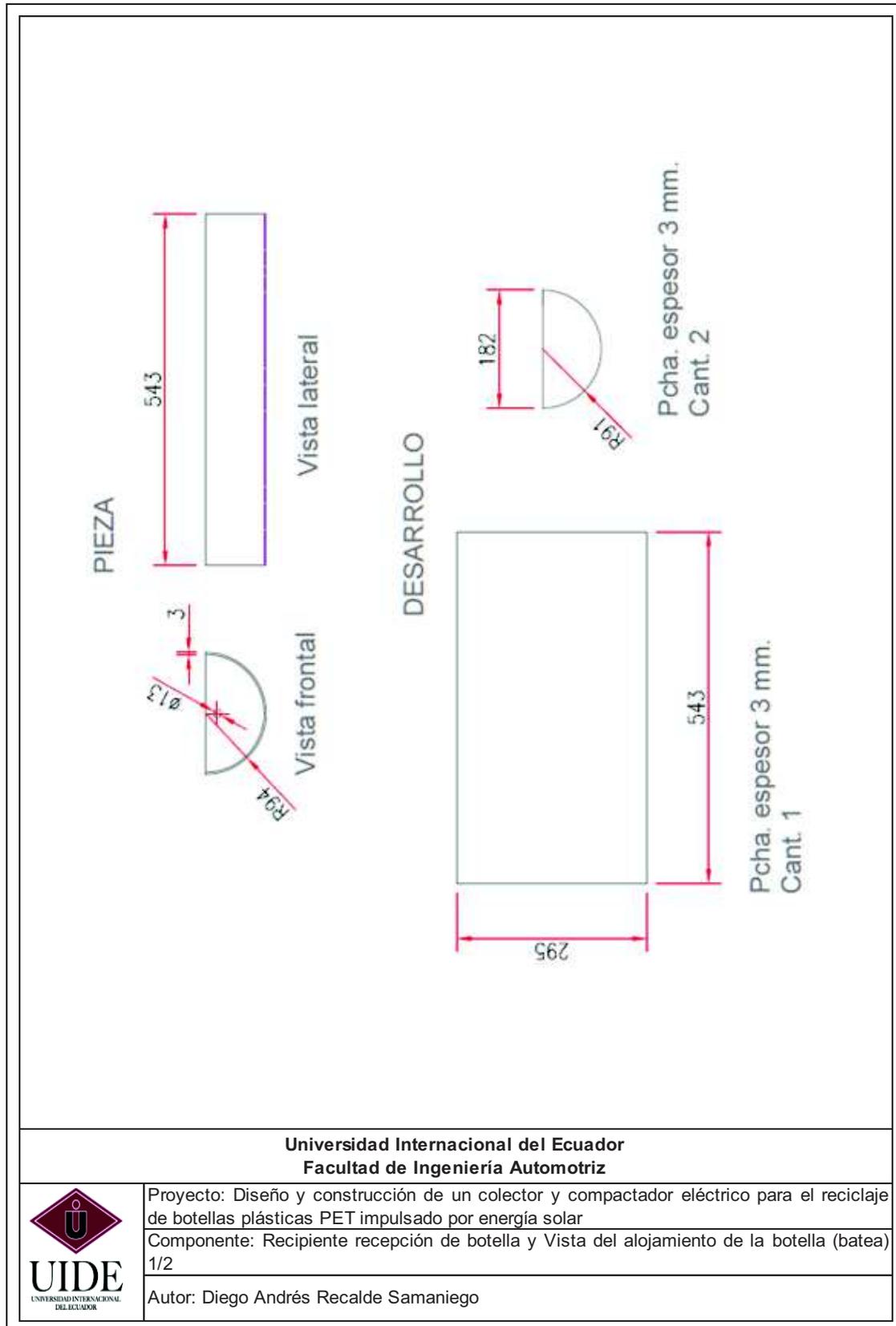


Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

Componente: Tapa con caucho de ingreso

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

**Anexo 7 Recipiente recepción de botella y Vista del alojamiento de la botella (batea).**



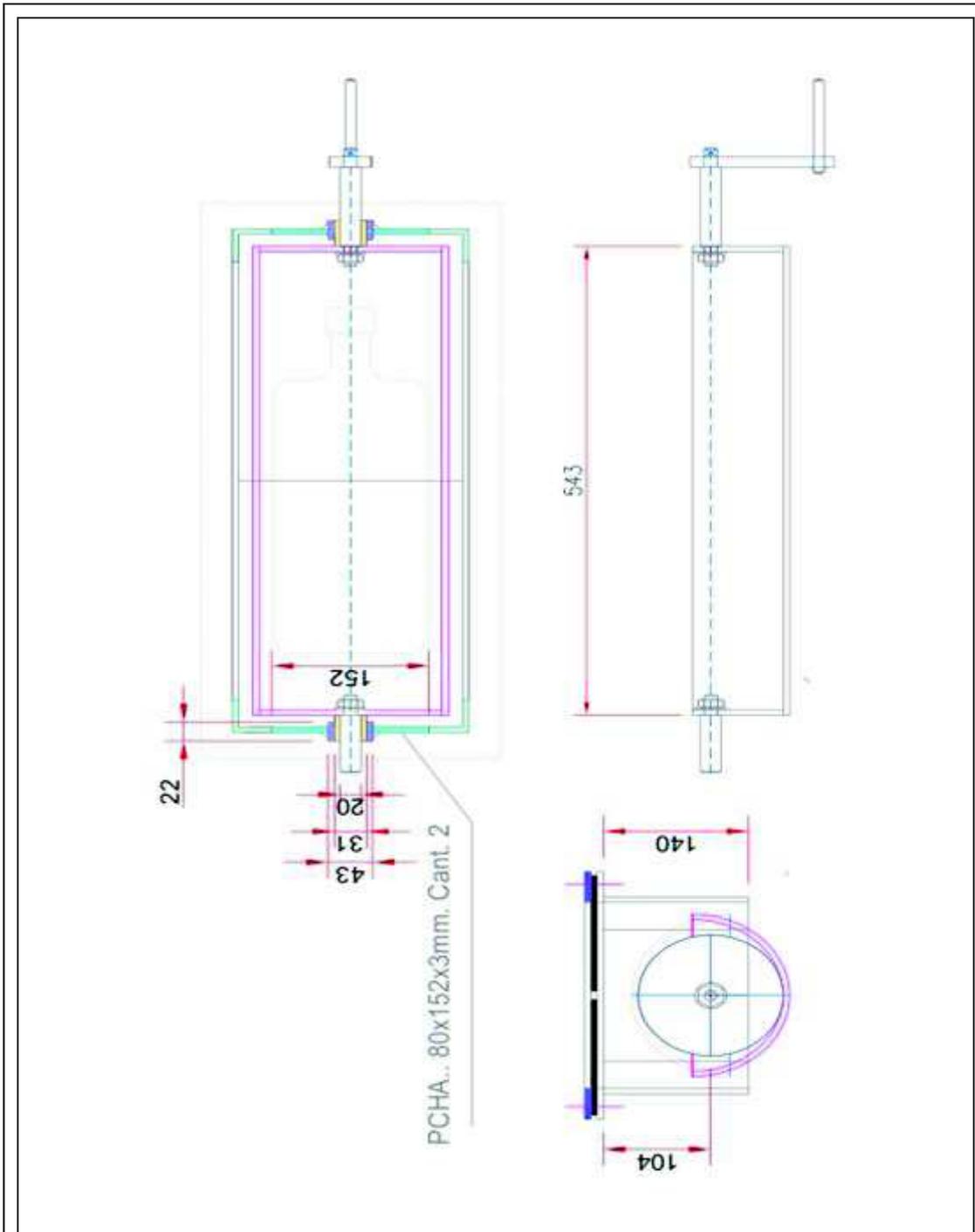
Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz



Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

Componente: Recipiente recepción de botella y Vista del alojamiento de la botella (batea)  
1/2

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego



Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

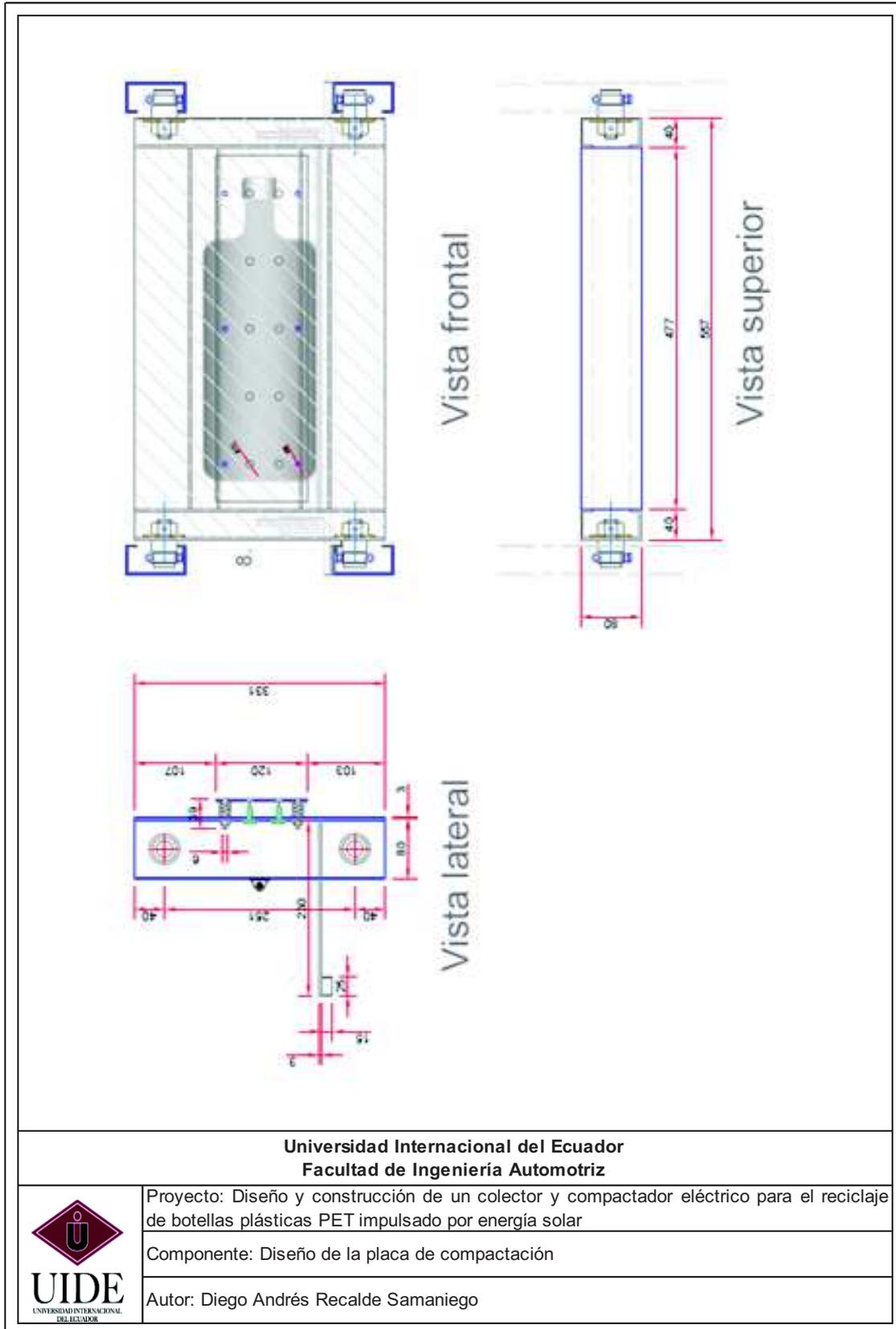


Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

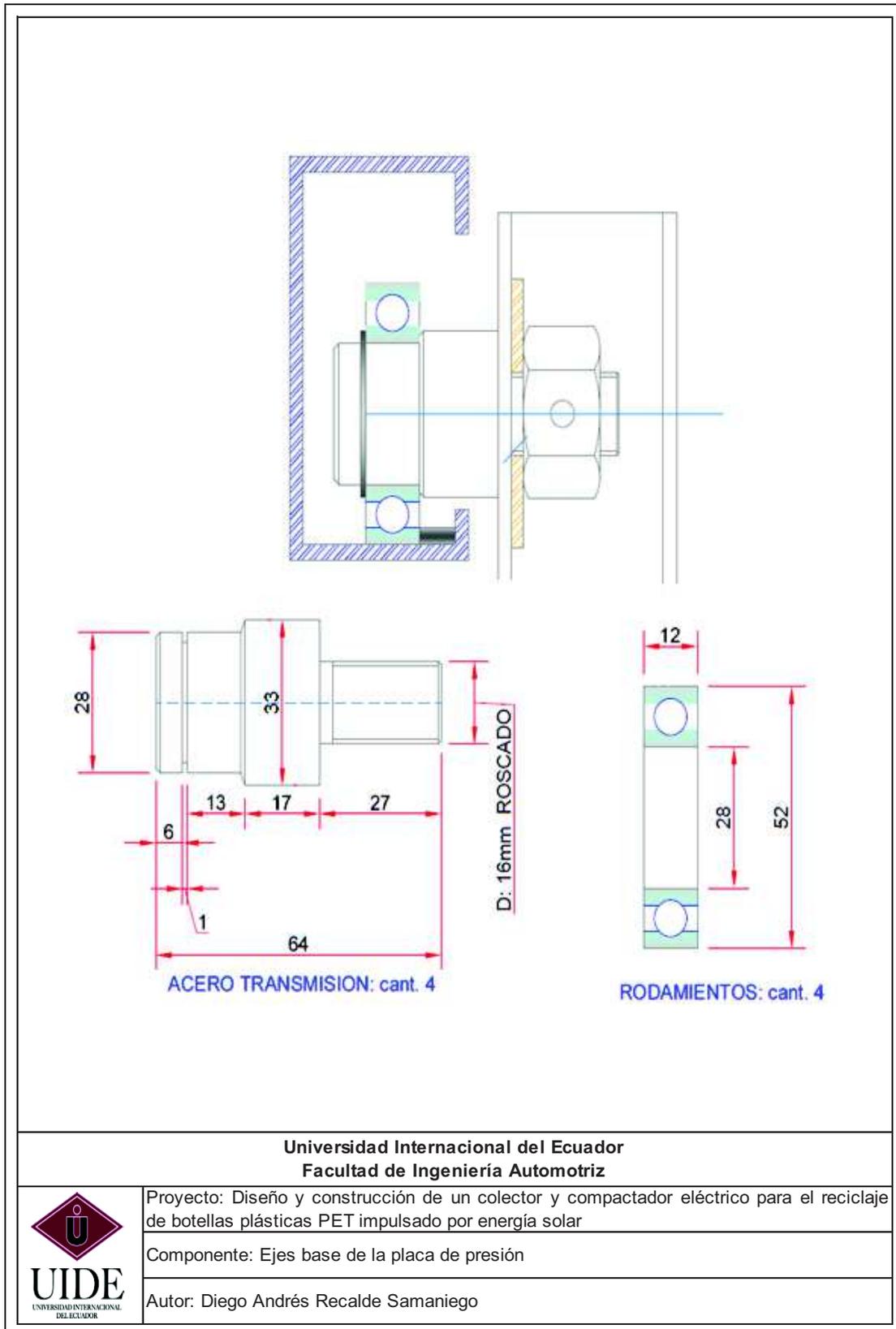
Componente: Recipiente recepción de botella y Vista del alojamiento de la botella (batea) 2/2

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

## Anexo 8 Diseño de la placa de compactación.



## Anexo 9 Ejes base de la placa de presión.

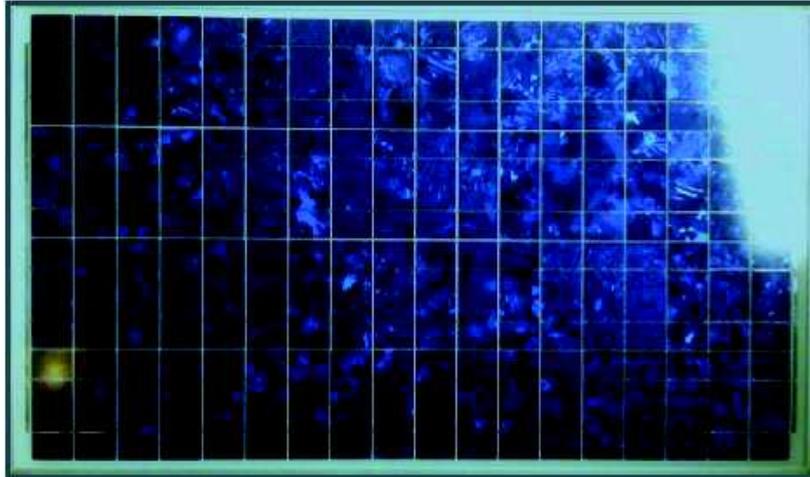


## Anexo 10 Panel solar

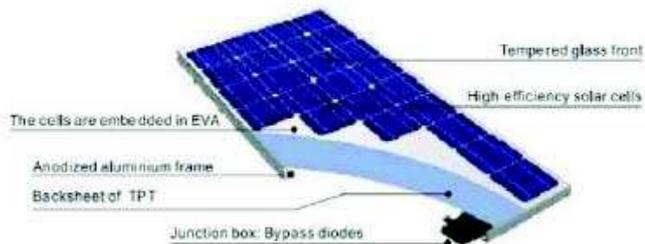
**EXMORK**

艾莫克新能源

### PANELES SOLARES 100P



- ✓ Por mas de 10 años Exmork esta especializado en productos de energia renovable. Nos sentimos responsables de los productos que vendemos ofreciendo un excelente servicio post venta.
- ✓ Para nuestros paneles fotovoltaicos estamos utilizando células de alto rendimiento de Sun Tech: Excelente calidad a un precio muy económico: Energía Renovable no tiene que costar el mundo!
- ✓ Los células se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo etilénico con fluoruro de polivinilo con una cubierta de vidrio templado, para brindarles la máxima protección en las condiciones ambientales severas.
- ✓ En conjunto con el excelente terminado de los módulos esta avanzada tecnología permite que los módulos solares poli cristalinos llegan a un rendimiento energético mayor a 14%.
- ✓ El panel se complementa con una caja de conexión que contiene 2 diodos 'Bypass' y viene con certificación TÜV para minimizar problemas eléctricos.



**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

Parámetros	Tipo	100P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	100
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	5.71A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	6.14A
Dimensiones		1130x670x35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Diodos Bypass		2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 KV/m2, masa de aire: 1.5 y células 25°C.

**GARANTIAS:**

**Garantía Técnica por defectos de fabricación: 2 años**  
**Garantía de Rendimiento por degradación de potencia: 10 años a 90%,**  
**25 años a 85%**



For over 10 years we have been specializing in wind and water power products. We service everything we sell. Scores of companies come and go, but we have consistently been in the market to take care of our customers.

## Anexo 11 Bateria

### UCG 20-12

12V 20AH

Deep Cycle Gel

**Ultracell®**  
Quality in Every Language®

#### UCG20-12



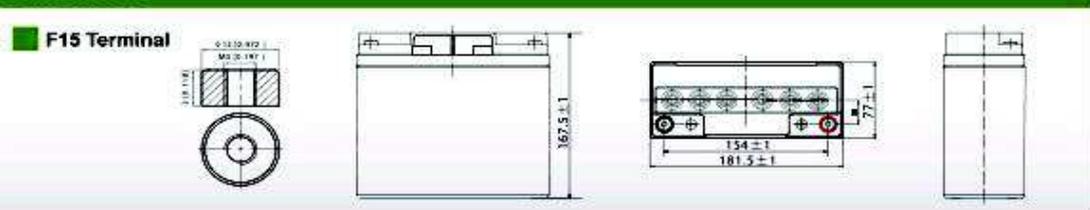
#### Physical Specification

Part Number:	<b>UCG20-12</b>
Length:	<b>181.5 ± 2 mm (7.15 inches)</b>
Width:	<b>77 ± 2 mm (3.03 inches)</b>
Container Height:	<b>167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</b>
Total Height (with terminal):	<b>167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</b>
Approx Weight:	<b>Approx 5.8 kg (12.8lbs)</b>

#### Specifications

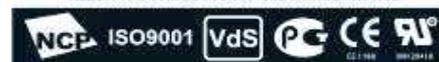
	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (20HR)	10AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F15	
	Optional Terminal	-	
Container Material	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94 V0)	
Rated Capacity	20.0 AH/0.85A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	15.5 AH/1.55A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	13.6 AH/2.72A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	11.8 AH/3.94A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	9.35 AH/9.35A	(1hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	204A (5s)		
Internal Resistance	Approx 18mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 4.25A Voltage	
		14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage		
	13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C		
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%	
	25°C (77°F)	100%	
	0°C (32°F)	86%	
Design Floating Life at 20°C	12 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

#### Dimensions



Ultracell (UK) Ltd | Vestey Business Park | Vestey Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom  
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0655 Email: info@ultracell.co.uk  
[www.ultracell.co.uk](http://www.ultracell.co.uk)

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



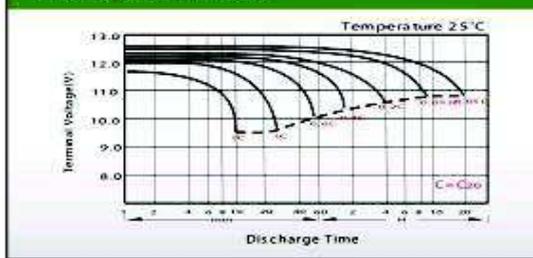
### Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	14.4	11.3	8.61	7.21	4.57	3.49	2.89	2.49	2.15	1.90	1.72	1.57	1.48	0.82
1.80V/cell	16.5	12.6	9.50	7.96	4.95	3.73	3.06	2.62	2.26	1.99	1.80	1.65	1.55	0.85
1.75V/cell	18.5	13.9	10.3	8.52	5.24	3.94	3.20	2.72	2.34	2.06	1.86	1.70	1.58	0.87
1.70V/cell	19.9	14.9	10.9	9.01	5.56	4.11	3.31	2.81	2.42	2.13	1.91	1.75	1.62	0.88
1.67V/cell	20.8	15.4	11.3	9.35	5.70	4.24	3.39	2.96	2.46	2.16	1.94	1.77	1.64	0.89
1.60V/cell	22.5	16.5	12.1	9.93	5.93	4.41	3.52	2.95	2.52	2.21	1.98	1.81	1.67	0.90

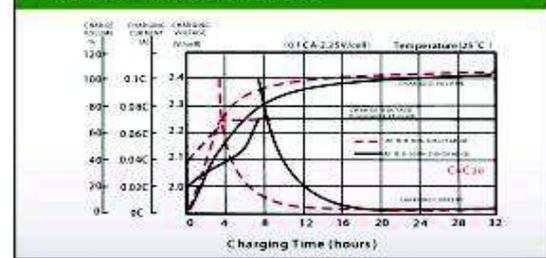
### Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	27.5	21.8	16.7	14.0	8.94	6.83	5.68	4.92	4.26	3.78	3.42	3.13	2.96	1.63
1.80V/cell	31.1	24.1	18.3	15.4	9.63	7.29	5.99	5.15	4.46	3.95	3.57	3.28	3.09	1.69
1.75V/cell	34.6	26.2	19.6	16.4	10.2	7.68	6.26	5.33	4.60	4.07	3.68	3.37	3.14	1.73
1.70V/cell	36.9	27.9	20.7	17.3	10.7	7.98	6.45	5.48	4.75	4.20	3.78	3.46	3.21	1.75
1.67V/cell	37.9	28.6	21.3	17.8	11.0	8.20	6.59	5.58	4.82	4.25	3.83	3.50	3.25	1.76
1.60V/cell	40.6	30.4	22.7	18.8	11.3	8.49	6.81	5.74	4.92	4.33	3.89	3.57	3.31	1.78

#### Discharge Characteristics



#### Float Charging Characteristics



#### Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



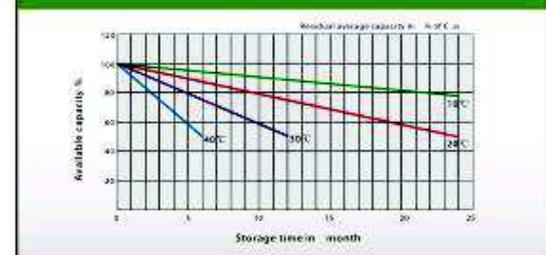
#### Effect of Temperature on Long Term Float Life



#### Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



#### General Relation of Capacity VS. Storage Time



Ultracell (UK) Ltd | Vestey Business Park | Vestey Road | Liverpool | L33 1NY | United Kingdom  
 Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk  
[www.ultracell.co.uk](http://www.ultracell.co.uk)

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



## Anexo 12 Regulador



# SHS™

**PARA SISTEMAS HOGAREÑOS DE ENERGÍA SOLAR DE HASTA 170 VATIOS**

La reconocida alta calidad y confiabilidad de los equipos Morningstar ahora están disponibles en un controlador solar de bajo costo. **El Controlador SHS** es ideal para sistemas de electrificación rural con uno a tres paneles solares. Este controlador cumple con las especificaciones del Banco Mundial y proporciona muchas prestaciones y beneficios.



### Beneficios de un Controlador Solar

Es importante incluir un controlador en un sistema de energía solar.

#### ■ Reduce el costo de reemplazo de baterías

**La desconexión por bajo voltaje prolongará la vida útil de la batería.** Las cargas son desconectadas automáticamente cuando la batería está baja y son reconectadas después de recargada la batería. **La carga completa incrementará la vida útil de la batería y la capacidad de almacenamiento.** El controlador maximizará la cantidad de energía solar hacia la batería y evitará que la misma se seque.

#### ■ Proporciona información de utilidad

Los LED muestran en pantalla información sobre el estado y el nivel de la batería, lo cual ayuda al usuario a operar mejor el sistema de energía solar.

### Ventajas del controlador SHS

El controlador SHS de Morningstar tiene múltiples ventajas en comparación con otros controladores:

#### ■ Bajo Costo

El SHS fue específicamente diseñado para satisfacer las necesidades del mercado de electrificación rural. El bajo costo es resultado del uso de la última tecnología y de un alto volumen de fabricación.

#### ■ Alta confiabilidad

Morningstar es un líder mundial en la provisión de controladores de carga solar. Todos nuestros controladores son diseñados para una alta calidad y una alta confiabilidad. El controlador SHS tiene un bajo régimen de fallas y prestará servicio por mucho tiempo.

#### ■ Protecciones electrónicas

El SHS tiene fusibles electrónicos incluidos que no necesitan reemplazo. Ninguna conexión errónea durante la instalación dañará el controlador.

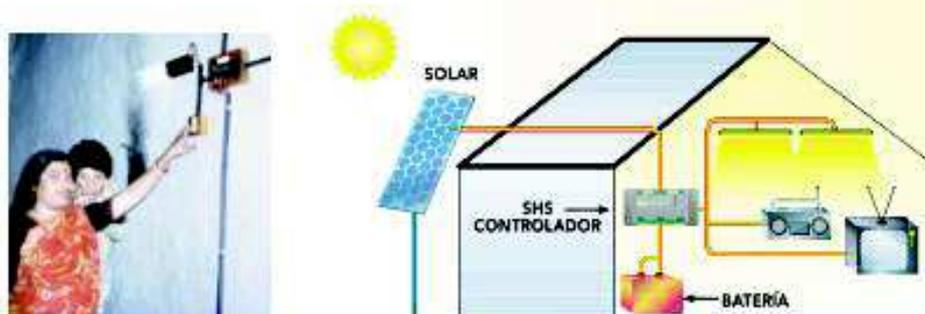
#### ■ Tropicalización

La electrónica del SHS está protegida con una cubierta a prueba de humedad que minimiza el daño que podrían causar la humedad y los insectos que eventualmente pudieran anidar en el sistema.

#### ■ Facilidad de uso

El controlador SHS es completamente automático y no necesita ajustes ni selecciones por parte del usuario.

# SHS™ CONTROLADOR SOLAR



## INFORMACIÓN TÉCNICA

CAPACIDADES NOMINALES: (TODOS A 12 VOLTIOS)

SHS-6	100 W ó 6 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA
SHS-10	170 W ó 10 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

• Punto de regulación	14.3 V	• Indicaciones de los LED	Verde: en carga Niveles de batería: verde, amarillo y rojo Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión Los 3 LED destellando — indicación de errores
• Desconexión por bajo voltaje	11.5 V	• Terminales	Para tamaños de cable de hasta 4 mm <sup>2</sup>
• Reconexión por bajo voltaje	12.6 V	• Dimensiones	15.1 x 6.6 x 3.6 cm
• Tipo de carga	PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas. En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante Carga compensada en temperatura	• Peso	113 g
• Protecciones electrónicas	Cortocircuito y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga Polaridad inversa — en sistema de carga solar, en la carga y en la batería Corriente inversa por la noche Alto voltaje — en la carga Rayos — en sistema solar, en la carga y en la batería	• Consumo propio	8 mA máximo
• Tropicalización	Placa de circuito — recubrimiento según norma Terminales — protegidos contra corrosión	• Temperatura	-25°C a +50°C
		• Humedad	100% sin condensación
		• Encapsulado	IP 22
		• Cumple con normas de	CE, Banco Mundial

**GARANTÍA** : Periodo de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

DISTRIBUIDOR MORNINGSTAR AUTORIZADO:

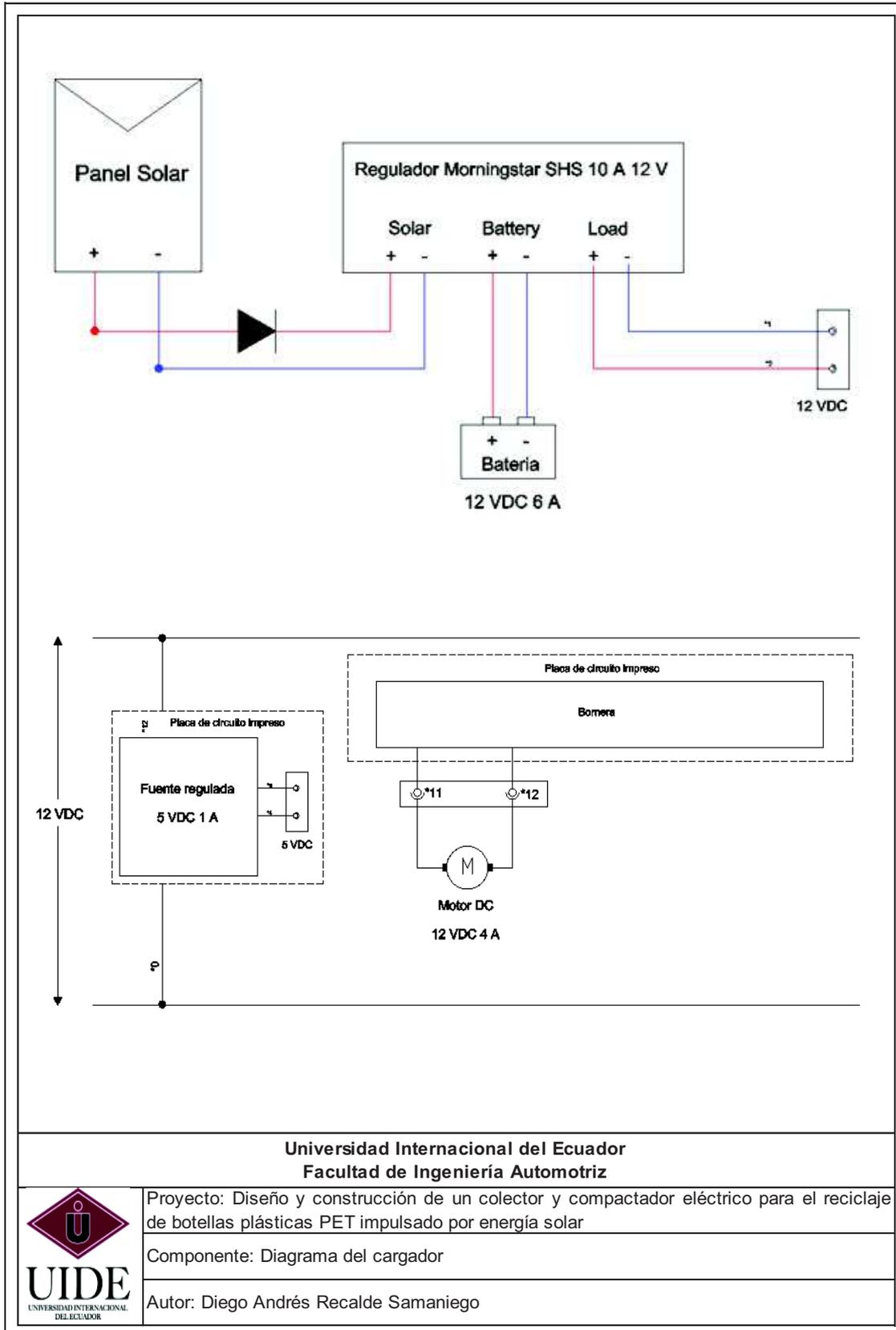
**MORNINGSTAR**  
corporation

1098 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 18977 EUA  
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com



MP0010 AN-001 (02/2007) UNDOE 2/05-01-012

### Anexo 13 Diagrama del cargador



Universidad Internacional del Ecuador  
Facultad de Ingeniería Automotriz

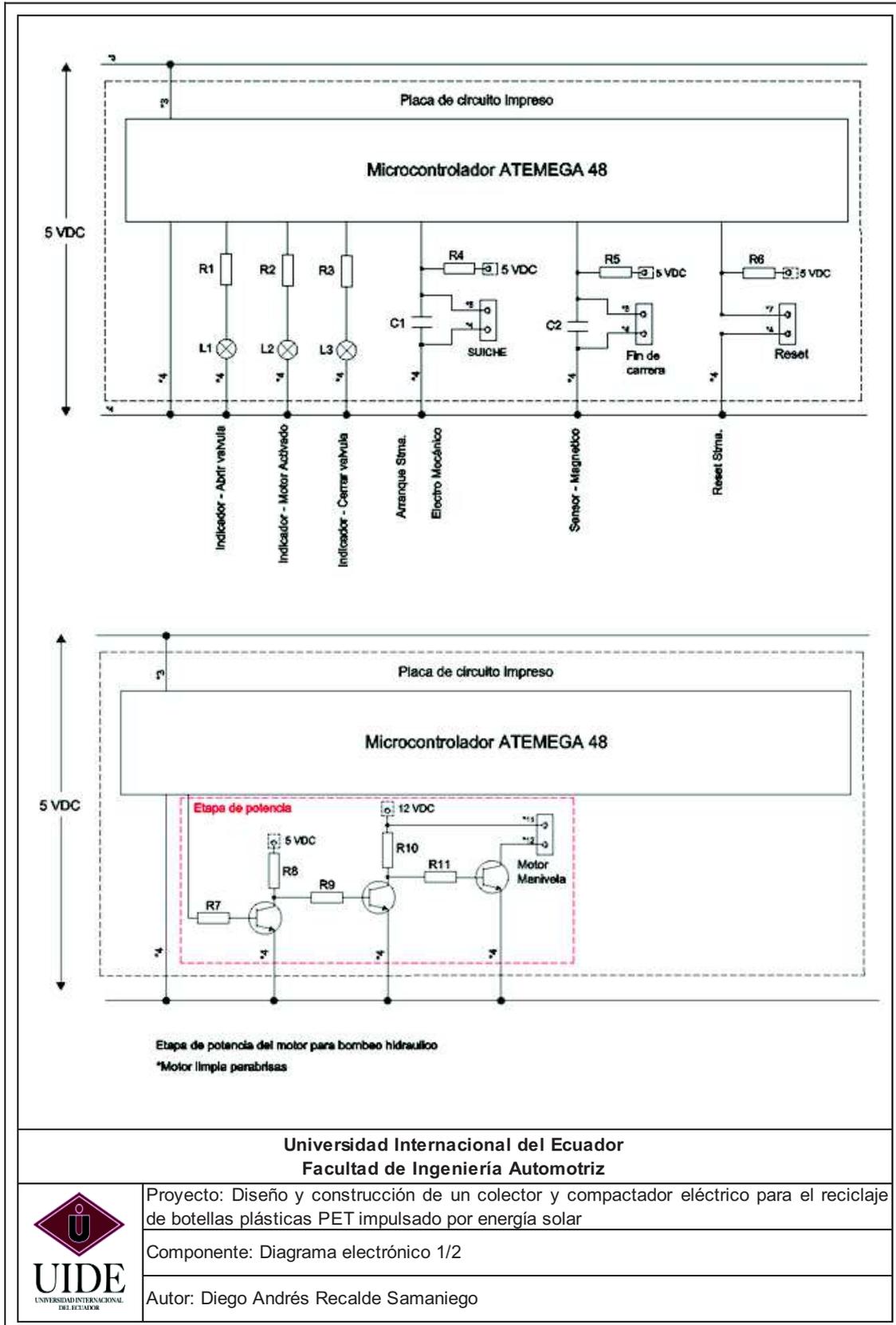


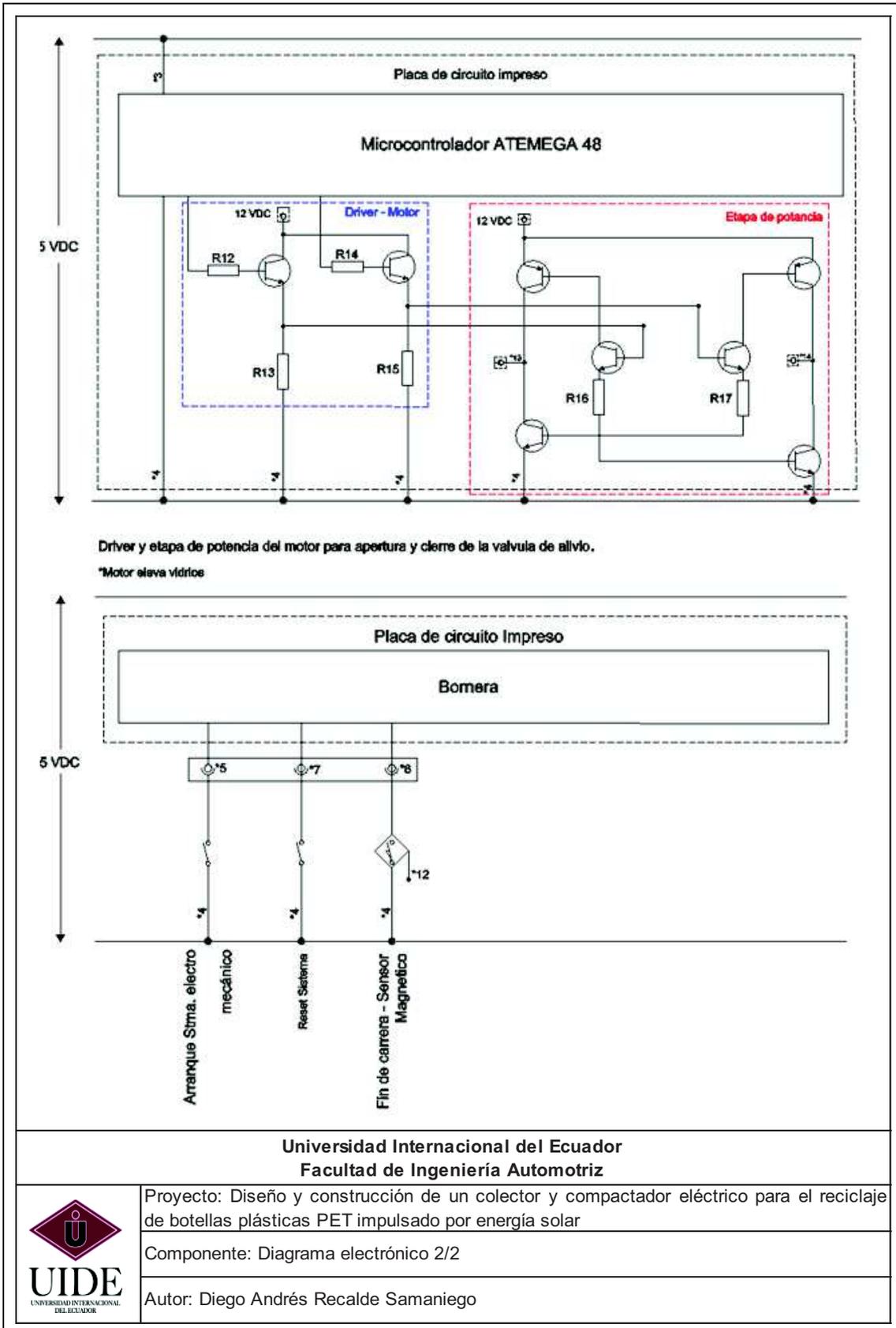
Proyecto: Diseño y construcción de un colector y compactador eléctrico para el reciclaje de botellas plásticas PET impulsado por energía solar

Componente: Diagrama del cargador

Autor: Diego Andrés Recalde Samaniego

## Anexo 14 Diagramas electrónicos





### Anexo 15 Cálculos del sistema

Pasos	Latitud 0°, 15',S	Valor
1. Estimar el consumo		276 Wh/día
2. Determinar las pérdidas presentes en el sistema fotovoltaico	Pérdidas por inclinación por medio del Factor K	3.977
	Pérdidas según la estimación del rendimiento global del sistema (PR)	0
	Eficiencia por temperatura ambiente	0.725
3. Dimensionar el generador fotovoltaico	Potencia pico [Wp]	95.72
4. Dimensionar del sistema de acumulación	Numero de paneles	1
	Numero de baterías Plomo ácido sellada AGM, POWER SONIC	4
	Autonomía	2 días
5. Dimensionar el regulador	Morningstar modelo Solar Home SHS de 12-48 [V] a 10[A]	1
	Corriente nominal a soportar (del panel solar)	8,52 A