



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
Y MONITORIZACIÓN INALÁMBRICA DE UN CALEFÓN  
SOLAR DE TUBOS AL VACÍO PARA ZONAS RURALES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Tipo: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Para optar al Grado Académico de:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: JOSÉ ANDRÉS RECALDE ARECHÚA**

**TUTOR: ING. FRANKLIN GEOVANNI MORENO MONTENEGRO**

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, José Andrés Recalde Arechúa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación Propuesta Tecnológica: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN INALÁMBRICA DE UN CALEFÓN SOLAR DE TUBOS AL VACÍO PARA ZONAS RURALES”, de responsabilidad del Señor José Andrés Recalde Arechúa, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Julio Santillán <b>VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Franklin Moreno <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES</b>	_____	_____
Ing. Franklin Moreno <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Wilson Zúñiga <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

“Yo **JOSÉ ANDRÉS RECALDE ARECHÚA**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

**José Andrés Recalde Arechúa**

## **DEDICATORIA**

Es mi mayor orgullo dedicar el presente trabajo de titulación a mi madre que está en el cielo, a mi padre que siempre me apoyo, a mis abuelos que siempre estuvieron junto a mí apoyándome toda mi vida. A mi querida hermana Mónica por todos los momentos bellos que hemos pasado juntos, a mi hermano David por ser un ejemplo de perseverancia y valentía. A mi tía Lorena quien la considero como mi segunda madre. A mis amigos Luis Allauca y Nelly Coba por siempre estar ahí para ayudarme en cualquier problema. Gracias a todos por todos los momentos compartidos a lo largo de mi vida; este logro es para ustedes.

José Recalde

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dar las gracias a Dios por permitirme alcanzar una meta más y haber puesto en mi camino a personas que me blindaron apoyo incondicional, a mi padre y abuelos quienes son la razón de este logro ya que me apoyaron en toda mi vida universitaria.

Agradezco al Ing. Franklin Moreno y al Ing. Wilson Zúñiga, Director y miembro del trabajo de titulación respectivamente por permitirme recurrir a su capacidad y experiencia para encaminar con éxito el presente trabajo.

JOSÉ

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Colector solar.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Tipos de colector solar .....</b>	<b>5</b>
<i>1.2.1 Colector tipo tanque .....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2 Coleccionista de piscinas .....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.3 Colector de placa plana.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.4 Colector de tubo evacuado .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.4.1 Características del colector solar de tubos al vacío.....</i>	<i>7</i>
<b>1.3 Transferencia de calor .....</b>	<b>8</b>
<i>1.3.1 Formas de transmisión del calor .....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.1 Conducción .....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.2 Convección.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.3 Radiación .....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.2 Esquema de captación de calor .....</i>	<i>10</i>
<b>1.4 Reflexión solar y movimiento solar .....</b>	<b>10</b>
<i>1.4.1 Longitud de onda solar .....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.2 Reflexión en superficies planas .....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.3 Leyes de la reflexión.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.4 Movimiento angular del sol diariamente.....</i>	<i>12</i>
<b>1.5 Seguidor solar .....</b>	<b>13</b>
<i>1.5.1 Caracterización de los seguidores solares .....</i>	<i>13</i>

<b>1.5.2</b>	<b><i>Tipos de seguidores</i></b> .....	<b>14</b>
1.5.2.1	<i>Según su tipo de movimiento</i> .....	14
1.5.2.2	<i>Según su algoritmo de seguimiento</i> .....	14
<b>1.6</b>	<b>Comunicación inalámbrica</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6.1</b>	<b><i>Tipos</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.7</b>	<b>Módulos de comunicación inalámbrica</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7.1</b>	<b><i>Módulo Bluetooth</i></b> .....	<b>16</b>
1.7.1.1	<i>Características</i> .....	16
1.7.1.2	<i>Ventajas y desventajas de bluetooth</i> .....	17
<b>1.7.2</b>	<b><i>Módulos de tecnología Zigbee</i></b> .....	<b>17</b>
1.7.2.1	<i>Características</i> .....	18
1.7.2.2	<i>Ventajas y desventajas</i> .....	18
<b>1.7.3</b>	<b><i>NRF24L01</i></b> .....	<b>19</b>
1.7.3.1	<i>Características</i> .....	19
1.7.3.2	<i>Ventajas y desventajas</i> .....	20
<b>1.8</b>	<b>Tarjetas de adquisición de datos</b> .....	<b>20</b>
<b>1.8.1</b>	<b><i>Placa Arduino</i></b> .....	<b>20</b>
1.8.1.1	<i>Características Arduino UNO</i> .....	21
1.8.1.2	<i>Ventajas y desventajas de Arduino</i> .....	21
<b>1.8.2</b>	<b><i>Tarjeta Galileo</i></b> .....	<b>22</b>
1.8.2.1	<i>Características Intel Galileo</i> .....	22
1.8.2.2	<i>Ventajas y desventajas Intel Galileo</i> .....	23
<b>1.8.3</b>	<b><i>Tarjeta Waspote</i></b> .....	<b>24</b>
1.8.3.1	<i>Características de Waspote</i> .....	24
1.8.3.2	<i>Ventajas y Desventajas Waspote</i> .....	25
<b>1.9</b>	<b>Elementos electrónicos y softwares</b> .....	<b>25</b>
<b>1.9.1</b>	<b><i>Módulo regulador de voltaje</i></b> .....	<b>25</b>
<b>1.9.2</b>	<b><i>Reloj Tiny RTC</i></b> .....	<b>26</b>
<b>1.9.3</b>	<b><i>Espectroradiómetro</i></b> .....	<b>26</b>
<b>1.9.4</b>	<b><i>Puente H Monster Moto Shield</i></b> .....	<b>27</b>
<b>1.9.5</b>	<b><i>RS<sup>3</sup> software</i></b> .....	<b>28</b>
<b>1.9.6</b>	<b><i>Solidworks</i></b> .....	<b>28</b>
<b>1.9.7</b>	<b><i>Proteus</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.9.8</b>	<b><i>Eagle</i></b> .....	<b>29</b>

## CAPITULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>30</b>
-----------	---------------------------------	-----------

<b>2.1</b>	<b>Diseño e implementación mecánica .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Calculo del movimiento del seguidor solar con respecto al ángulo del sol.....</b>	<b>31</b>
2.1.1.1	Estados del 1-5.....	32
2.1.1.2	Estados 6-8.....	37
2.1.1.3	Estados 9-14.....	37
<b>2.1.2</b>	<b>Movimiento del seguidor solar con respecto al ángulo del sol.....</b>	<b>41</b>
2.1.2.1	Estado 1.....	41
2.1.2.2	Estado 2.....	41
2.1.2.3	Estado 3.....	42
<b>2.1.3</b>	<b>Etapas para la construcción del seguidor solar .....</b>	<b>42</b>
2.1.3.1	Material y forma del seguidor solar .....	42
2.1.3.2	Partes del seguidor solar .....	44
2.1.3.3	Motores .....	47
2.1.3.3	Estructura final del seguidor solar .....	50
<b>2.1.4</b>	<b>Elección del material reflectante .....</b>	<b>51</b>
2.1.4.1	Elección del material reflectante .....	52
<b>2.2</b>	<b>Sistema electrónico.....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Selección de la tarjeta de adquisición de datos .....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Selección de la tecnología inalámbrica .....</b>	<b>53</b>
2.2.2.1	Módulos Xbee S2C.....	53
<b>2.2.3</b>	<b>Dispositivos electrónicos en el transmisor.....</b>	<b>55</b>
2.2.3.1	Conexión Mosfet .....	55
2.2.3.2	Conexión puente H Monster .....	55
2.2.3.3	Módulo Relay de 8 canales .....	56
2.2.3.4	Fin de carrera .....	57
2.2.3.5	Reloj RTC Tiny.....	58
2.2.3.6	LM35.....	58
2.2.3.7	DHT11.....	59
2.2.3.8	Anemómetro .....	60
2.2.3.9	Sensor de nivel del agua .....	61
<b>2.2.4</b>	<b>Dispositivos electrónicos en el receptor.....</b>	<b>62</b>
2.2.4.1	LCD 16x2.....	62
2.2.4.2	Bus I2C.....	63
2.2.4.3	Switch.....	64
<b>2.3</b>	<b>Diseño e implementación módulo transmisor.....</b>	<b>64</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Diseño de la PCB .....</b>	<b>66</b>
2.3.1.1	Implementación de la PCB.....	66

<b>2.4</b>	<b>Diseño e implementación módulo receptor .....</b>	<b>67</b>
2.4.1.1	<i>Diseño de la PCB.....</i>	68
2.4.1.2	<i>Implementación.....</i>	69
<b>CAPITULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados del nivel de reflectancia utilizando el espectroradiómetro .....</b>	<b>70</b>
<b>3.2</b>	<b>Pruebas de funcionamiento .....</b>	<b>75</b>
3.2.1	<i>Comunicación inalámbrica .....</i>	75
3.2.2	<i>Consumo de corriente del sistema electrónico .....</i>	76
3.2.3	<i>Resultados de monitorización .....</i>	77
3.2.3.1	<i>Temperatura ambiente DHT11 .....</i>	77
3.2.3.2	<i>Humedad relativa.....</i>	78
3.2.3.3	<i>Nivel de agua .....</i>	79
3.2.3.4	<i>Sensor LM35 .....</i>	80
3.2.4	<i>Análisis y comparación de los resultados obtenidos del prototipo .....</i>	81
3.2.5	<i>Análisis de costos del prototipo.....</i>	84
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>86</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	<b>Rango de espectros .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2-1:</b>	<b>Estados del prototipo del seguidor solar.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas Bluetooth.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas de módulos Zigbee .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 5-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas NRF24L01 .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 6-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas de la plataforma Arduino.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 7-1:</b>	<b>Características de Galileo .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 8-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas Intel Galileo .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 9-1:</b>	<b>Características de Wasmote .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 10-1:</b>	<b>Ventajas y desventajas Waspnote .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 1-2:</b>	<b>Estados del seguidor solar vs hora .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2-2:</b>	<b>Calculo de la cobertura óptima mínima .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 3-2:</b>	<b>Calculo de la cobertura óptima máxima .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 4-2:</b>	<b>Cobertura mínima del seguidor solar en la tarde.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 5-2:</b>	<b>Cobertura máxima del seguidor solar en la tarde .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 6-2:</b>	<b>Movimiento angular del panel durante la mañana .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 7-2:</b>	<b>Movimientos de los Motores Durante el Mediodía.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 8-2:</b>	<b>Movimientos del panel en la tarde .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 9-2:</b>	<b>Posibles Materiales a Utilizar en la estructura del prototipo .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 10-2:</b>	<b>Motores implementados .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 11-2:</b>	<b>Movimiento de los motores en la mañana .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 12-2:</b>	<b>Movimiento de los motores al medio día .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 13-2:</b>	<b>Movimiento de los motores en la tarde .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 14-2:</b>	<b>Materiales reflectantes .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 15-2:</b>	<b>Parámetros de configuración.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 16-2:</b>	<b>Conexión del Arduino al módulo relay .....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 17-2:</b>	<b>Utilidad Fin de Carrera .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 18-2:</b>	<b>Funcionamiento del sensor DHT11 en el prototipo .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 19-2:</b>	<b>Funcionamiento del sensor de nivel de agua .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 20-2:</b>	<b>Equivalencia de los switches en el Receptor.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 21-2:</b>	<b>Pines del Arduino Mega en el prototipo .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 1-3:</b>	<b>Cobertura del XBee S2c .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 2-3:</b>	<b>Potencia absorbida por el prototipo.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 3-3:</b>	<b>Resultados de monitorización de la temperatura ambiente .....</b>	<b>77</b>

<b>Tabla 4-3:</b>	<b>Resultados de monitorización de la humedad relativa.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 5-3:</b>	<b>Resultado de monitorización del sensor del nivel de agua.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 6-3:</b>	<b>Resultados monitoreo LM35 .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 7-3:</b>	<b>Distribución de temperaturas finales.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 8-3:</b>	<b>Costos del prototipo.....</b>	<b>84</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	<b>Colector para piscina.....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2-1:</b>	<b>Colector de placa plana .....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 3-1:</b>	<b>Colector solar de tubos al vacío .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 4-1:</b>	<b>Parte interior de un tubo al vacío.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 5-1:</b>	<b>Componentes de un tubo al vacío.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 6-1:</b>	<b>Transferencia de calor .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 7-1:</b>	<b>Esquema de captación de calor.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 8-1:</b>	<b>Reflexión solar.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 9-1:</b>	<b>Reflexión en superficies planas .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 10-1:</b>	<b>Leyes de la reflexión.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 11-1:</b>	<b>Movimiento Solar.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 12-1:</b>	<b>Módulo Bluetooth.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 13-1:</b>	<b>Módulo Xbee.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 14-1:</b>	<b>Módulo NRF24L01 .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 15-1:</b>	<b>Arduino UNO .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 16-1:</b>	<b>Intel Galileo .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 17-1:</b>	<b>Tarjeta waspmote.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 18-1:</b>	<b>Regulador de voltaje.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 19-1:</b>	<b>Reloj Tiny RTC .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 20-1:</b>	<b>Espectroradiómetro FieldSpec 4.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 21-1:</b>	<b>Empuñadura de pistola .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 22-1:</b>	<b>Puente H monster.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 23-1:</b>	<b>RS3 Software .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 24-1:</b>	<b>Solidworks .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 25-1:</b>	<b>Proteus .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 26-1:</b>	<b>EAGLE .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 1-2:</b>	<b>Tabla triplex de 4 líneas .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 2-2:</b>	<b>Parte superior en solidworks .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3-2:</b>	<b>Panel del prototipo implementado.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 4-2:</b>	<b>Parte superior del prototipo implementada .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 5-2:</b>	<b>Parte inferior en solidworks.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 6-2:</b>	<b>Parte inferior implementada.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 7-2:</b>	<b>Seguidor solar en solidworks .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 8-2:</b>	<b>Seguidor solar fabricado manualmente .....</b>	<b>51</b>

<b>Figura 9-2:</b>	<b>Papel oro .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 10-2:</b>	<b>Xbee S2C.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 11-2:</b>	<b>Xbee explorer usb adapter .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 12-2:</b>	<b>Configuración coordinador XBee.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 13-2:</b>	<b>Configuración router Xbee .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 14-2:</b>	<b>Conexión Mosfet.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 15-2:</b>	<b>Conexión Puente H Monster .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 16-2:</b>	<b>Conexión Puente H Monster .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 17-2:</b>	<b>Diseño en Eagle Fin-Carrera .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 18-2:</b>	<b>Diseño en Eagle Reloj-Tiny .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 19-2:</b>	<b>LM35 para el agua .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 20-2:</b>	<b>Conexión LM35 .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 21-2:</b>	<b>Sensor DHT11 .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 22-2:</b>	<b>Conexión sensor DHT11.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 23-2:</b>	<b>Conexión del sensor-viento.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 24-2:</b>	<b>Diseño electrónico del sensor de nivel de agua .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 25-2:</b>	<b>Implementación del sensor de nivel de agua .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 26-2:</b>	<b>LCD 16x2 .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 27-2:</b>	<b>Conexión Bus I2C con LCD 16x2.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 28-2:</b>	<b>Esquema del módulo transmisor .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 29-2:</b>	<b>PCB en Eagle transmisor .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 30-2:</b>	<b>Implementación modulo transmisor .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 31-2:</b>	<b>Esquema de conexión módulo receptor .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 32-2:</b>	<b>Modulo receptor.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 33-2:</b>	<b>Modulo receptor implementado .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 34-2:</b>	<b>Modulo receptor implementado .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 1-3:</b>	<b>Simulación del seguidor solar utilizando la Workstation.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 2-3:</b>	<b>Variación de temperaturas en tanque reservorio del colector.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	<b>Diagrama de bloques del prototipo.....</b>	<b>30</b>
<b>Gráfico 2-2:</b>	<b>Movimiento del panel del seguidor solar en la mañana .....</b>	<b>32</b>
<b>Gráfico 3-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura mínima inicial en la mañana.....</b>	<b>35</b>
<b>Gráfico 4-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura máxima inicial en la mañana .....</b>	<b>35</b>
<b>Gráfico 5-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura mínima final en la mañana .....</b>	<b>36</b>
<b>Gráfico 6-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura máxima final en la mañana.....</b>	<b>36</b>
<b>Gráfico 7-2:</b>	<b>Movimiento del panel del seguidor solar en la tarde.....</b>	<b>37</b>
<b>Gráfico 8-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura inicial mínima en la tarde .....</b>	<b>39</b>
<b>Gráfico 9-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura inicial máxima en la tarde.....</b>	<b>39</b>
<b>Gráfico 10-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura final mínima en la tarde .....</b>	<b>40</b>
<b>Gráfico 11-2:</b>	<b>Triangulo de cobertura final máxima en la tarde .....</b>	<b>40</b>
<b>Gráfico 1-3:</b>	<b>Nivel de absorción solar de un tubo al vacío completo .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico 2-3:</b>	<b>Absorción solar parte interna del tubo al vacío Posición 2.....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico 3-3:</b>	<b>Absorción solar parte interna tubo al vacío Posición 1 prueba 2 .....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico 4-3:</b>	<b>Absorción solar parte interna tubo al vacío Posición 1 prueba 3 .....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico 5-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del papel aluminio de cocina.....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfico 6-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del aluminio antioxidante.....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfico 7-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del papel de regalo dorado.....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico 8-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del papel de regalo plateado .....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico 9-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del papel oro.....</b>	<b>74</b>
<b>Gráfico 10-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del espejo de 3 mm de grosor.....</b>	<b>74</b>
<b>Gráfico 11-3:</b>	<b>Nivel de reflectancia especular del espejo de 2 mm de grosor.....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfico 12-3:</b>	<b>Temperatura ambiente DHT11.....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico 13-3:</b>	<b>Sensor de Humedad DHT11.....</b>	<b>79</b>
<b>Gráfico 14-3:</b>	<b>Sensor de nivel .....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico 15-3:</b>	<b>Diferencia de temperatura.....</b>	<b>82</b>
<b>Gráfico 16-3:</b>	<b>Temperatura vs diámetro vertical .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b>	<b>Ecuación para calcular el ángulo óptimo del seguidor solar .....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 2-2:</b>	<b>Ecuación para calcular la cobertura total del seguidor solar .....</b>	<b>34</b>
<b>Ecuación 3-2:</b>	<b>Ecuación para calcular la cobertura máxima y mínima .....</b>	<b>34</b>
<b>Ecuación 4-2:</b>	<b>Ecuación cobertura total del seguidor solar.....</b>	<b>38</b>
<b>Ecuación 5-2:</b>	<b>Ecuación para calcular la temperatura en el LM35 .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Parte lateral del seguidor solar
<b>Anexo B:</b>	Parte superior del Seguidor Solar
<b>Anexo C:</b>	Datasheet motor
<b>Anexo D:</b>	Seguidor solar Completo
<b>Anexo E:</b>	Pruebas y utilización del material reflectante
<b>Anexo F:</b>	Sensores
<b>Anexo G:</b>	Módulo Transmisor
<b>Anexo H:</b>	Módulo Receptor
<b>Anexo I:</b>	Pruebas del funcionamiento del prototipo

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ALN:</b>	Nitruro de Aluminio
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>GND</b>	Ground
<b>IoT</b>	Internet de las cosas
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board (Plaqueta de circuito impreso)
<b>PAN:</b>	Personal Area Network
<b>PROFIBUS:</b>	Process Field Bus
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>SCDs:</b>	Sistemas de Control Directo
<b>Vcc</b>	Voltaje corriente continúa
<b>LR-WPAN</b>	Redes de área personal inalámbrica de baja velocidad
<b>SIG</b>	Grupo de interés especial

## **RESUMEN**

Se diseñó e implementó un prototipo de un sistema de control y monitorización inalámbrica de un calefón solar de tubos al vacío para zonas rurales. El prototipo consta de dos partes: Transmisor y Receptor. El transmisor está formado por una parte inalámbrica y una parte mecánica. En cuanto a la parte mecánica, esta fue implementada con un seguidor solar el cual permite reflejar los rayos solares sobre los tubos del colector siguiendo el trayecto de los rayos solares desde que el sol sale hasta que se oculta, en cuanto a la comunicación, se implementó una red punto a punto para la comunicación de los datos transmitidos desde el emisor al receptor, para lo cual fue programada una tarjeta Arduino Mega la cual se encarga de transmitir mediante un módulo inalámbrico XBEE S2C los datos de los sensores, el estado del seguidor solar, así como del control del movimiento de los motores del seguidor solar de tal manera que refleje los rayos solares sobre los tubos del colector cada hora mientras exista presencia de luz solar. El receptor conformado por una tarjeta Arduino Uno recibe los datos en tiempo real enviados por el transmisor mediante la transmisión inalámbrica efectuada por los módulos XBEE S2C. Esto permitió una mayor eficiencia del calentamiento del agua en el colector solar. A partir de la implementación del prototipo del sistema, se obtuvo como resultado un incremento de 2 a 5 grados centígrados en la temperatura del agua del colector solar. Se concluye que la implementación del prototipo mejora la eficiencia del calentamiento de agua en un 10%. Se recomienda realizar un estudio de reflectancia de los materiales existente en el mercado para mejorar la eficiencia del dispositivo.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <REDES DE COMPUTADORES>, <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA>, <TRANSMISIÓN DE DATOS>, <ENERGÍA SOLAR>, <COLECTOR SOLAR>, <REFLECTANCIA SOLAR>

## **ABSTRACT**

A prototype of wireless control and monitoring system for a solar heater of vacuum tubes for rural zones was designed and implemented. The prototype has two parts: Transmitter and Receiver. The transmitter consists of a wireless part and a mechanical part. Regarding the mechanical part, this was implemented with a solar tracker which is able to reflect the solar rays on the collector tubes following the path of the sun's rays since the sun raises until it is hidden, for communication, a point-to-point net was implemented for the communication of the data transmitted from the sender to the receiver, for which an Arduino Mega Card was programmed, which is responsible for transmitting the sensor data through the wireless XBEE S2C module, the state of the solar tracker, as well as the control of the motors' movement of the solar tracker in such a way that it reflects the solar rays on the collector tubes every hour while there is sunlight. The receiver formed by an Arduino Uno card receives the real-time data sent by the transmitter through the wireless transmission made by the XBEE S2C modules. This allowed a greater efficiency of water heating in the solar collector. From the implementation of the prototype of the system, an increase of 2 to 5 degrees Celsius was obtained in the water temperature of the solar collector. It is concluded that the implementation of the prototype improves the efficiency of water heating by 10%. It is recommended to conduct a reflectance study of existing materials in the market to improve the efficiency of the device.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >, <NETWORKS COMPUTERS>, <WIRELESS COMMUNICATION>, < DATA TRANSMISSION >, <SOLAR ENERGY>, <SOLAR COLLECTOR>, <SOLAR REFLECTANCE>.

## **INTRODUCCIÓN**

### **ANTECEDENTES**

En la actualidad las personas ecuatorianas han comenzado a usar una fuente de energía alternativa para uso personal los cuales son los colectores solares. Una de las características más importantes de un colector solar son sus condiciones tanto internas (temperatura, volumen de agua) como externas condiciones atmosféricas que se encuentra el calefón solar el cual carece de sistemas automatizados que permitan llevar un mejor control del monitoreo del entorno a su uso personal. (ROLDÁN ESPINOSA, 2013)

Existen variedades de colectores solares en el Ecuador, de distintos precios, de distintas marcas pero sin un factor importante que es el mejoramiento de su eficiencia y monitorización inalámbrica. Porque cualquier persona tiene la necesidad de saber el estado de su colector ya sea para bañarse, darle mantenimiento, ubicarlo en otro lugar que lleguen más rayos solares, ponerle en una posición donde si caliente de una manera más eficiente el agua. Todos estos problemas se evitaran si el calentador solar contara con un sistema de control inalámbrico y más aún si es en una localidad rural donde tienen problemas, como las grandes distancias para la compra de gas y donde menudamente hay apagones de luz. (Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca, 2010)

En el transcurso de las últimas décadas las comunicaciones inalámbricas han ido creciendo ofreciendo muchas ventajas, entre ellas está la compatibilidad con las redes cableadas ya existentes, la facilidad de instalación, la reducción en los costes, la sencillez de administración, su escalabilidad, la capacidad de atravesar barreras físicas, etc. (ROLDÁN MARTÍNEZ, 2005)

Una manera de poder lograr el control inalámbrico sería mediante sensores que trabajen inalámbricamente. Un sensor es capaz de procesar una limitada cantidad de datos, pero cuando se coordina la información con un nodo, éstos tienen la habilidad de medir un medio físico dado, con gran detalle. (Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial, 2006)

En trabajos anteriores realizados se enfocaron en un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y la instalación de un sistema de calentamiento solar de agua pero ambos se enfocan en un sistema mecánico pero en este caso el enfoque es en la comunicación inalámbrica y un seguidor solar que permita la eficacia del uso del colector solar.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente en Ecuador las personas han comenzado a utilizar una nueva fuente de agua caliente la cual es el colector solar que permite a las personas ahorrarse dinero en calefones a gas, duchas eléctricas etc. En las zonas rurales donde la electricidad es irregular y el gas está muy distante para su compra una alternativa sería el uso de colectores solares, pero siempre ha sido un problema el saber a qué temperatura se encuentra el colector que nivel de agua se encuentra en el recipiente, que presión de agua tiene dicho colector y más que nada qué condiciones atmosféricas se encuentra en ese momento recibiendo el colector que pueden ser tanto como temperatura, viento, humedad.

Para lo cual se ha pensado en implementar un sistema de control inalámbrico en un colector solar de tubos al vacío de una vivienda con un seguidor solar para una mayor eficacia en su uso de tal manera poder tener una mejor manera disfrutar de esta fuente de energía alternativa. Y no solo podría utilizarse en una vivienda sino también en hoteles, hostales, departamentos, en el cual se utilice agua caliente, esto permitirá el ahorro de electricidad o gas.

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

Con el avance tecnológico durante los últimos años con la evolución de las tecnologías móviles e inalámbricas, surge la necesidad de utilizar dichas tecnologías en nuestra vida cotidiana y más aún si se trata de nuestro aseo personal, por eso la implementación de un sistema de control inalámbrico podrá permitir el monitoreo y control de la fuente de energía que es el colector solar referente a sus condiciones internas y las condiciones atmosféricas a que está expuesto además de un seguidor solar que permitirá la eficacia de su uso. Esto permitirá un mejor y satisfactorio uso de esta fuente de energía alternativa.

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

En la actualidad el uso de colectores solares es reducido y alternativo en el ámbito de evitar el consumo eléctrico o de gas, en sectores rurales donde las personas no tienen el suficiente dinero para tener calefones a gas o duchas eléctricas podría ser una gran alternativa el uso de estos colectores alimentados por la luz solar ya que se evitaría gastos en electricidad, gastos en gas. Y más aún si se puede controlar y monitorear las condiciones en las que se encuentra el colector, porque nos permitiría bañarnos con tranquilidad sin el miedo que te quedes sin agua o que el agua este muy fría o saber si el colector necesita mantenimiento o tiene fugas de agua por ejemplo mediante el monitoreo del nivel del agua.

Por este motivo el presente proyecto, mediante la implementación del sistema de control inalámbrico, busca realizar el desarrollo de un dispositivo capaz de controlar y monitorear en tiempo real las condiciones meteorológicas e internas de un colector solar de tubos al vacío para el consumo humano como también el uso de un seguidor solar que aumentara la eficiencia del uso del mismo. Ya que esto mejorara de una manera muy satisfactoria el uso de dicha fuente de energía renovable, porque el usuario podrá saber el nivel exacto de las condiciones de su colector solar, como que nivel de agua, temperatura, temperatura ambiental, en el que se encuentra en ese momento el colector solar y de esta manera lograr un uso más eficiente del mismo.

### **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación del sistema de control inalámbrico aplicado en un colector solar de tubos al vacío con un seguidor solar el cual permitirá una mayor eficiencia en el calentamiento del agua. En el ámbito electrónico se lo realizará en base a un estándar inalámbrico lo cual permitirá el monitoreo y control de sus características tanto internas como externas en zonas rurales de la ciudad. Dando como resultado un mejor uso y control de los usuarios.

Por lo tanto se hace necesario hacer un estudio de las tecnologías inalámbricas y tarjetas de adquisición de datos basado en sus ventajas y desventajas que puedan tener para el uso en nuestro sistema inalámbrico, en lo cual se dará a conocer características tales como: Características, construcción y leyes que permitan la implementación y uso de los mismos.

Como también el estudio respectivo sobre colectores solares y materiales que permitan una mayor reflexión del seguidor solar.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de control y monitorización inalámbrica de un calefón solar de tubos al vacío para zonas rurales.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar el funcionamiento y estructura de un calefón solar.
- Analizar los estándares inalámbricos para este diseño.
- Analizar tipos de tarjeta de adquisición de datos y desarrollo.
- Diseñar un sistema inalámbrico adaptado para un calefón solar de tubos al vacío.
- Implementar un sistema inalámbrico en un calefón solar de tubos al vacío.
- Diseñar un sistema de seguimiento solar.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo aborda la parte teórica, donde se describe los tipos de colectores solares, seguidores solares así como también las tecnologías inalámbricas, tarjetas de adquisición de datos que se podrían utilizar en el prototipo y finalmente una rápida descripción de los softwares y componentes que se utilizarán en el prototipo.

#### 1.1 Colector solar

Un colector solar es un dispositivo llamado también captador solar, en algunos casos calefón solar o panel solar térmico, estos dispositivos tiene como objetivo captar la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. (ROMERO TOUS, 2009)

#### 1.2 Tipos de colector solar

Hay una gran variedad de colectores solares entre los más relevantes tenemos.

##### 1.2.1 *Colector tipo tanque*

En una unidad de almacenamiento de recogida integral, el tanque de recolección de agua caliente es el captador solar. El tanque o tanques están ubicados en una caja de aislamiento con acristalamiento en un lado y se encuentran pintados de negro o recubiertos con una superficie selectiva. Los rayos solares brillan a través del vidrio y llega hasta el tanque negro, calentando el agua que se encuentra dentro del tanque. Los tubos están hechos de cobre mientras que los tanques individuales usualmente son de acero. La temperatura máxima de alcance con dichos colectores es un poco bajo que en los colectores de placa plana. (Classification of solar collectors, 2008)

##### 1.2.2 *Coleccionista de piscinas*

El uso más grande de sistemas de calefacción solar activa es en piscinas de calefacción como se puede observar en la Figura 1-1. Se han diseñado diferentes colectores especiales para calentar piscinas de temporada: están sin esmaltar y están formados por un plástico de copolímero especial. Tales colectores no pueden aguantar condiciones de congelación.

La temperatura máxima de trabajo aproximada de este tipo de colector solar es de 10 - 20 °C por encima del ambiente (Classification of solar collectors, 2008)



**Figura 1-1:** Colector para piscina

Fuente: [goo.gl/aiDuJg](https://goo.gl/aiDuJg)

### ***1.2.3 Colector de placa plana***

Los colectores de placa plana son más utilizados en el mundo para el empleo de calentamiento de agua solar doméstica y de calefacción solar. Los colectores de placa plana se usan generalmente para temperaturas de hasta 75 °C aunque se pueden obtener temperaturas más altas de colectores de alta eficiencia (el agua debe cambiarse a otro líquido de transferencia de calor debido a su temperatura de ebullición de 100° grados centígrados. (Classification of solar collectors, 2008)

Se puede apreciar en la Figura 2-1 un colector de placas planas.



**Figura 2-1:** Colector de placa plana

Fuente: <https://www.esol.cl/fotos/fpi.jpg>

### ***1.2.4 Colector de tubo evacuado***

Debido a su gran coeficiente de pérdida de calor, los colectores planos habituales no son adecuados para temperaturas muy altas, por ejemplo por encima de 80 °C. Cuando se requiere temperaturas mucho más elevadas, es necesario la disminución del coeficiente de pérdida de calor. Se puede llegar a ello mediante dos métodos: Evacuación y concentración, ya sea individualmente

o en combinación. Se ha intentado varias veces construir placas planas evacuadas pero no tiene ninguna promesa de éxito comercial.

La configuración natural para un colector evacuado es el tubo de vidrio. Hay varios diseños posibles, y un cierto número de fabricantes están vendiendo colectores tubulares vacíos. Todos ellos usan recubrimientos selectivos como absorbentes porque con un absorbente no selectivo, las disminuciones de radiación dominarían a altas temperaturas y no sería muy efectiva la eliminación de la convección por sí sola. (RABL, 1985)

En la Figura 3-1 se puede apreciar un colector solar de tubos al vacío.



**Figura 3-1:** Colector solar de tubos al vacío

Fuente: [goo.gl/T8Rtgs](http://goo.gl/T8Rtgs)

Para el prototipo se utilizará este colector en específico.

#### *1.2.4.1 Características del colector solar de tubos al vacío*

Características principales:

- La doble pared que tienen los tubos que permiten producir el vacío y lograr altas temperaturas con pérdidas de calor muy depreciables. El vacío proporciona al tubo poder conservar el calor en un tipo de “thermo”. La Figura 4-1 muestra la parte interna de un tubo al vacío. (ENERWORK, 2013)



**Figura 4-1:** Parte interior de un tubo al vacío

Fuente: [goo.gl/iLXttu](http://goo.gl/iLXttu)

- Las capas de superficie de absorción selectiva. Son 3 capas. El grupo de capas permite captar y transformar en calor el espectro visible como también las ondas infrarrojas logrando que el tubo sea un colector muy eficiente. La primera capa es de Cobre (Cu) tiene una buena transferencia de calor hacia el tubo de vidrio interno. La segunda capa generalmente es de Nitruro de Aluminio (ALN) que optimiza la estabilidad del cobre a grandes temperaturas. La tercera capa la mayoría de las veces su material es de Acero Inoxidable, que ayuda a capturar una mayor amplitud del espectro electromagnético. La geometría de los tubos es cilíndrica por lo tanto siempre tienen una cara perpendicular al sol  $90^\circ$ . Este es el ángulo de máxima eficiencia. (ENERWORK, 2013)

En la Figura 5-1 se puede observar los componentes de un tubo al vacío.



**Figura 5-1:** Componentes de un tubo al vacío

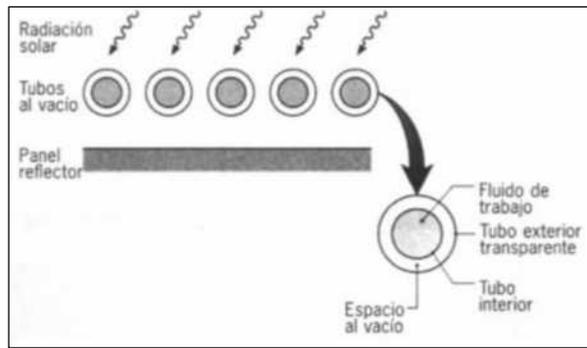
Fuente: [http://tubosdevacio.eu/images/tubo\\_de\\_vacio\\_fujisol\\_400px.jpg](http://tubosdevacio.eu/images/tubo_de_vacio_fujisol_400px.jpg)

### 1.3 Transferencia de calor

La transferencia de calor en colector de tubos al vacío es la siguiente:

El agua caliente que se produce como consecuencia de la radiación solar sobre los tubos, asciende por diferencia de densidades, guardándose en el tanque superior aislado térmicamente. (INCROPERA, y otros, 1999)

Los calefones de tubos al vacío nos brindan un mejor rendimiento con referencia a los calefones planos. El diseño se basa en un tubo interior encapsulado en un tubo externo que es transparente a la radiación solar. El espacio anular entre los tubos está vacío. La superficie opaca exterior del tubo interior absorbe la radiación solar, y un flujo de trabajo pasa por el tubo para coleccionar la energía solar. (INCROPERA, y otros, 1999)



**Figura 6-1:** Transferencia de calor  
Fuente: Incropera y Dewitt, 2015, p.41

### 1.3.1 Formas de transmisión del calor

En un colector solar de tubos al vacío existen 3 formas de transmisión de calor.

#### 1.3.1.1 Conducción

Es la transmisión de calor que resulta entre dos cuerpos a diferentes temperaturas que se encuentran en contacto físico directo como también entre dos áreas que pertenecen a un mismo cuerpo pero a distintas temperaturas. La corriente de transmisión del calor dependerá de lo extensa que sea la superficie de contacto entre las dos áreas de diferente temperatura y del desequilibrio térmico que hay entre ellas. La transmisión de conducción la verificamos empíricamente al palpar un cuerpo caliente o al sujetar un elemento metálico expuesto al fuego (Termasolar, 2011)

#### 1.3.1.2 Convección

Esta transmisión sólo se produce entre fluidos y no entre sólidos. Llega a producirse debido al aumento de temperatura de un fluido, este tiene una pérdida de densidad y tiene una ascendencia sobre el medio más frío y denso, enviando a este último su calor. En la convección se verifica empíricamente poniendo una mano sobre un radiador o una estufa. Se sentirá una blanda corriente de aire caliente ascendente (Termasolar, 2011)

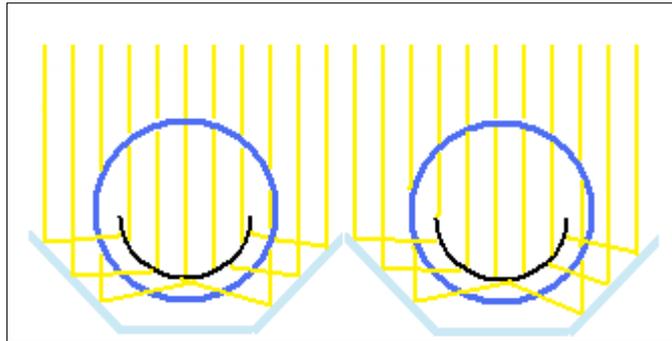
#### 1.3.1.3 Radiación

Es este tipo de transmisión no es necesario que los cuerpos se encuentren en contacto para enviarse calor pudiendo encontrarse inclusive en vacío entre ellos. Todo cuerpo que se encuentre expuesto a temperaturas superior al cero absoluto (-273 grados centígrados) difunde una radiación

electromagnética. La radiación que emite será mayor cuando su temperatura sea mayor en forma ascendente (Termasolar, 2011)

### 1.3.2 Esquema de captación de calor

En la Figura 7-1 se puede observar el esquema de captación de un tubo al vacío, donde los rayos solares son absorbidos por las dos capas del tubo al vacío generando así calor al líquido que este adentro del mismo en este caso agua.

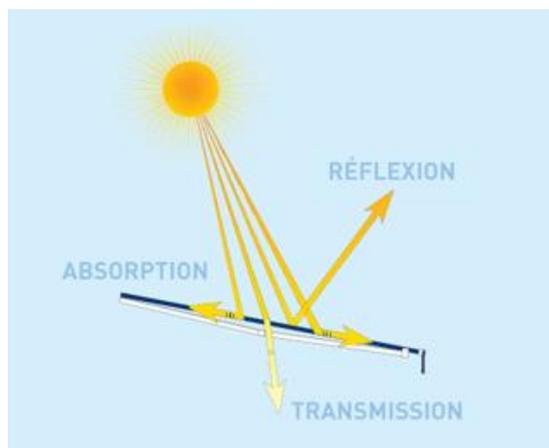


**Figura 7-1:** Esquema de captación de calor

Fuente: [goo.gl/vxKCxA](http://goo.gl/vxKCxA)

### 1.4 Reflexión solar y movimiento solar

La reflexión solar es un parámetro de gran importancia, para tomar la decisión del material reflejante a utilizar en el prototipo de seguidor del trayecto solar, ya que de eso dependerá su eficiencia al calentar el agua. En la figura 8-1 se muestra cómo actúan los rayos solares en un cuerpo.



**Figura 8-1:** Reflexión solar

Fuente: [goo.gl/7s2Ett](http://goo.gl/7s2Ett)

### 1.4.1 Longitud de onda solar

El sol es una fuente importante de radiación ultravioleta. El Sol radia en un rango espectral de 150 nm hasta 4  $\mu\text{m}$ . La luz visible se expande desde 380 nm a 830 nm. En la Tabla 1-1 se muestra el valor de las longitudes de onda y su respectiva radiación (Unicrom, 2015)

**Tabla 1-1:** Rango de espectros

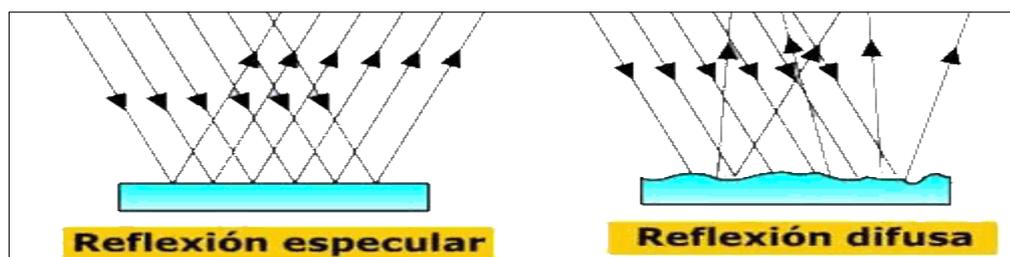
Radiación		Longitud de onda $\lambda$
Ultravioleta 100 - 400 nm	Ultravioleta C	100 nm - 280 nm
	Ultravioleta B	280 nm - 315 nm
	Ultravioleta A	315 nm - 400 nm
Visible 400 - 780 nm	Violeta	400 nm - 455 nm
	Azul	455 nm - 490 nm
	Verde	490 nm - 570 nm
	Amarillo	570 nm - 590 nm
	Anaranjado	590 nm - 620 nm
	Rojo	620 nm - 780 nm
Infrarroja 780nm - 1mm	Infrarroja A	780 nm - 1400 nm
	Infrarroja B	1400 nm - 3000 nm
	Infrarroja C	3000 nm - 1 mm

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/radiacion-infrarroja-en-el-espectro-de-ondas-2>

### 1.4.2 Reflexión en superficies planas

En el momento que un rayo luminoso se encuentra sobre la superficie de separación de dos medios diferentes, se producen dos rayos, uno reflejado y otro refractado. Generalmente una parte de la energía luminosa incidente viaja hacia otro medio. Como se muestra en la Figura 9-1 si la superficie es lisa o irregular, la reflexión será especular, o difusa

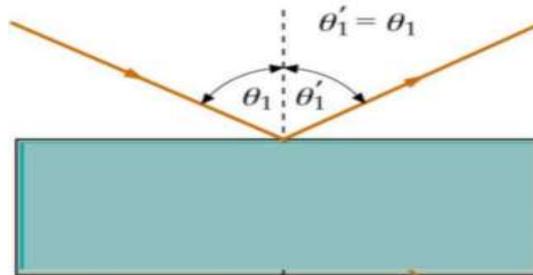


**Figura 9-1:** Reflexión en superficies planas

Fuente: [goo.gl/5yN4VT](http://goo.gl/5yN4VT)

### 1.4.3 Leyes de la reflexión

- El rayo incidente, el reflejado y la recta normal en el punto de incidencia se encuentran contenidos en el mismo plano.
- El ángulo que se localiza entre el rayo reflejado y la normal es equivalente al ángulo que se ubica entre el rayo incidente y la normal (RABL, 1985)



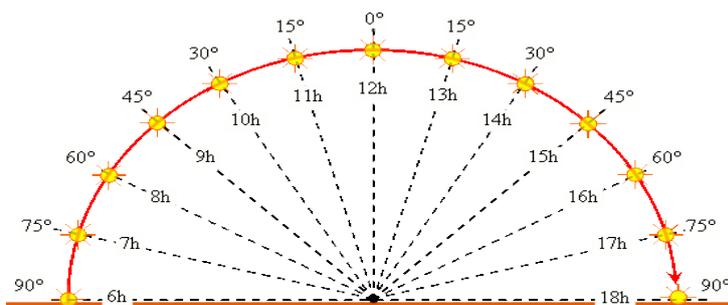
**Figura 10-1:** Leyes de la reflexión

Fuente: [goo.gl/bW1uwg](http://goo.gl/bW1uwg)

### 1.4.4 Movimiento angular del sol diariamente

Al amanecer, a las 06:00 horas, el sol se localiza por el horizonte directamente hacia el este de forma que su ángulo zenital es de 90 grados. En el transcurso del tiempo, el sol alcanza cada vez más elevación, su ángulo zenital se reduce a razón de 15 grados por cada hora de aumento en el tiempo hasta que, precisamente a las 12:00 horas del mediodía, se encuentra exactamente sobre el zenit. Y desde ese momento, empieza la caída hacia el poniente, creciendo nuevamente el ángulo zenital de igual ritmo de 15 grados por hora hasta que, al llegar la puesta del sol a las 18.00 horas, el ángulo zenital llega otra vez los noventa grados como se puede apreciar en la Figura 11-1.

A este cambio paulatino del ángulo zenital en sentido oriente - poniente en función de la hora del día, debido al recorrido diario aparente del sol en la bóveda celeste, también suele nombrarse ángulo horario. (Ingeniería Anahuar, 2010)



**Figura 11-1:** Movimiento Solar

Fuente: [goo.gl/P24f44](http://goo.gl/P24f44)

En la Tabla 2-1 se puede observar que el prototipo tendrá 13 estados, los cuales serán desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la noche, cada estado será una hora después del anterior estado.

**Tabla 2-1:** Estados del prototipo del seguidor solar

Estados del prototipo de seguidor solar	Hora	Ángulo de sol referente al plano X
1	6 am	0°
2	7 am	15°
3	8 am	30°
4	9 am	45°
5	10 am	60°
6	11 am	75°
7	12 pm	90°
8	1 pm	105°
9	2 pm	120°
10	3 pm	135°
11	4 pm	150°
12	5 pm	165°
13	6 pm	180°

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** <http://ingenieria.anahuac.mx/boletin/boletin.201004.html>

## 1.5 Seguidor solar

Seguidor solar es un dispositivo el cual está conformado por una parte electrónica y una parte mecánica que tiene como objetivo principal buscar la ubicación del sol en el día.

### 1.5.1 Caracterización de los seguidores solares

Está compuesto fundamentalmente por una parte móvil y una parte fija, la que cuenta con una superficie de reflexión que se encuentra perpendicular a los rayos del Sol en la duración del día y entre su rango de movimiento, cuya meta es el aumento de la recepción de radiación solar (Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico, 2010)

El movimiento del seguidor solar tiene relación con el recorrido que ejecutan los girasoles se deben controlar dos movimientos en especial, el de la trayectoria del sol durante el día y el cambio de esta trayectoria durante el año (Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico, 2010).

Los seguidores solares adaptados a los sistemas captadores (sistema de seguimiento solar) se usan para ubicar los sistemas captadores de radiación, de manera que éstos se mantengan cercanos a la perpendicular paralela de los rayos solares, para cambiar la energía recibida en calor o energía eléctrica y ser usada en viviendas, complejos urbanísticos o en la industria (Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico, 2010)

### ***1.5.2 Tipos de seguidores***

Los seguidores solares pueden ser divididos por el tipo de movimiento que ejecuten y por el algoritmo de seguimiento que utilicen.

#### *1.5.2.1 Según su tipo de movimiento*

- Seguidores a un eje: Tiene un grado de libertad al moverse. El giro de la superficie de recepción se lo realiza sobre un solo eje, puede ser horizontal, vertical u oblicuo (Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008).
- Seguidores a dos ejes: Trabaja con dos grados de libertad, aptos para realizar un seguimiento solar más exacto. El seguidor solar de dos ejes tiene la capacidad de hacer un seguimiento total al sol, tanto como su ángulo azimut como su altura (Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008).

#### *1.5.2.2 Según su algoritmo de seguimiento*

- Seguidores por punto luminoso: Tienen un sensor que les muestra cual es el sector del cielo más claro y al que deben dirigirse. El algoritmo se fundamenta por su trabajo en la señal integrada por uno o varios sensores, la señal transmite un comando de control a uno o varios motores, con la finalidad que se posicionen en el punto donde haya más luminosidad (Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008).
- Seguidores con programación astronómica: Son los cuales por medio de un programa comprenden en qué punto tendría que estar el sol a cada hora y dirigirse a dicha posición. Tienen una total independencia en relación al clima, porque su algoritmo no necesita de sensores que muestren cual es el punto de más luminosidad. El seguimiento dependerá solamente de una serie de cálculos que predicen la localización del sol en cualquier

instante (Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008).

El seguidor solar a utilizar, será el de programación astronómica, porque en este caso el seguidor seguirá el trayecto solar, pero su enfoque de reflejo ira hacia los tubos de vacíos del colector solar para generar un mayor aprovechamiento de los rayos solares, en el ámbito del calentamiento del agua. Una de las ventajas que presenta este tipo de seguidor solar es que tiene una mayor fiabilidad y control (Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008).

## **1.6 Comunicación inalámbrica**

La comunicación inalámbrica se encarga de establecer una clase de arquitectura de red en las cuales cada canal de datos se utiliza para comunicar solamente dos nodos, en contraste a las redes multipunto, en donde cada canal de datos se utiliza para comunicarse con varios nodos. (Teleprocesos, 2016)

### **1.6.1 Tipos**

La comunicación inalámbrica de acuerdo a la forma de transmisión se divide en:

- Simplex: la transacción sólo se ejecuta en un solo sentido. (Teleprocesos, 2016)
- Half-dúplex: la transacción se ejecuta en ambos sentidos, pero de manera alternativa, esto quiere decir que solo uno transmite en un momento dado, no logrando transmitir los dos al mismo tiempo (Teleprocesos, 2016)
- Full-Dúplex: la transacción se puede realizar en los dos sentidos simultáneamente. Si la velocidad de los enlaces Semi-dúplex y Dúplex es igual en los dos sentidos, es un enlace simétrico, caso contrario es un enlace asimétrico. (Teleprocesos, 2016)

## **1.7 Módulos de comunicación inalámbrica**

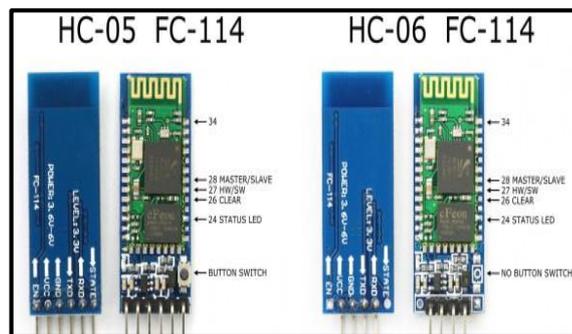
La conexión punto a punto se lo realiza a través de Módulos de Comunicación Inalámbrica cuya distancia varía entre 50-200 metros para ello se tomó en consideración tres tipos de comunicación inalámbrica:

- Módulo Bluetooth
- Módulo de radio frecuencia

- Módulos de tecnología Zigbee

### 1.7.1 Módulo Bluetooth

El módulo Bluetooth se basa en el IEEE 802.15.1 el cual se fundamenta como un sistema de radio inalámbrico diseñado y creado para equipos de cortos alcances y de precios accesibles al mercado, de tal manera que sustituye los cables de los periféricos de computadora, como ratones, teclados, joysticks e impresoras. Este grupo de aplicaciones se las conoce como red de área personal inalámbrica (WPAN).



**Figura 12-1:** Módulo Bluetooth

Fuente: [goo.gl/qAuM4P](http://goo.gl/qAuM4P)

HC-05 este módulo cumple la función de maestro/esclavo mientras el módulo HC-06 solo puede realizar la función de esclavo. Estos módulos son de pequeños tamaños y fáciles de encontrar en el mercado, poseen un chip con una placa que tiene los pines necesarios para una comunicación serial.

#### 1.7.1.1 Características

El estándar Bluetooth no sobresale mucho en el caso de aplicaciones que tengan una larga duración, debido a su gasto de energía, Bluetooth es regido por ciertas normas y dispositivos: Bluetooth SIG (Special Interest Group). Sus actualizaciones han sido bajo la versión 2.0, 2.1, 3.0, 4.0, etc. Bluetooth trabaja en los 2.4 GHz, su canal usa anchos de banda de 1 MHz, La comunicación en la que se rige Bluetooth es utilizada para una amplia PAN (WPAN). (diymakers, 2014)

Las redes inalámbricas que usan Bluetooth podrían llegar hasta 10 m, en la red se puede instaurar en un punto a otro método maestro-esclavo, el maestro y también las redes piconet 7 esclavos y red de dispersión. Las redes fundamentadas en Bluetooth usan una transferencia de datos con una

aproximación a 1 Mbps, además es conocido principalmente por el intercambio de vario tipos de datos como: texto, multimedia. El módulo opera con la técnica de espectro en salto de frecuencia. (diymakers, 2014)

### 1.7.1.2 Ventajas y desventajas de bluetooth

En la Tabla 3-1 se puede observar las diferentes ventajas y desventajas de Bluetooth.

**Tabla 3-1:** Ventajas y desventajas Bluetooth

Ventajas	Desventajas
Bluetooth es realmente barato	Cobertura muy pequeña
Bluetooth es automático	Velocidad de transmisión muy lenta
El protocolo estandarizado	Limitado radio de acción entre los periféricos.
Interferencia Baja	Limitación entre la cantidad de periféricos que podemos usar
Consumo de poca energía	

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** [goo.gl/C4vheB](http://goo.gl/C4vheB)

### 1.7.2 Módulos de tecnología Zigbee

ZigBee es un grupo de protocolos de un gran nivel de comunicación, el cual se usa para la radiodifusión digital de datos, ahorrando posible energía. Una tecnología orientada en el estándar de la IEEE 802.15.4. La tecnología ZigBee usa la banda ISM y frecuentemente, acoge la banda 2.4GHz para poder relacionarse con dispositivos que tienen acogida en todo el mundo. ZigBee precisa las características para el PAN de menor capacidad (LR-WPAN) para sustentar dispositivos simples que consumen una potencia mínima y trabajan usualmente en el lugar de operación personal de 10m. ZigBee brinda redes de malla auto-organizadas, multi-hop y confiables, con una buena duración de la batería. (zigbee, 2018)

En la Figura 13-1 se puede apreciar un módulo XBee que trabaja con tecnología ZigBee.



**Figura 13-1:** Módulo Xbee

**Realizado por:** Recalde, José; 2017

### 1.7.2.1 Características

Zigbee se define en el estándar IEEE 802.15.4, es dirigido por ZigBee Alliance, que demuestra y autentifica los dispositivos fundamentados en Zigbee. Los protocolos basados en Zigbee alcanzan estandarizado de la IEEE. En la actualidad existen dos tipos de Zigbee: ZigBee y ZigBee Pro, que son distintos en términos de algoritmos de direccionamiento. (sx-de-tx, 2012)

Las redes Zigbee usan anchos de banda de 0.3MHz, 0,6 MHz y 2 MHz, los cuales dependen de la frecuencia en que las redes que se encuentran comunicando, el estándar Zigbee se diseñó para comunicarse en Red de área, los dispositivos Zigbee logran conectarse en red en estrella, malla y algunas otras topologías genéricas. Algunas topologías de red orientadas en Zigbee pueden ser enlazadas entre sí, de forma de un clúster. (sx-de-tx, 2012)

Toda red Zigbee puede usar tres tipos de nodos: Coordinador Zigbee, ZigBee Router y Zigbee de punto final. El límite de su transferencia de tasa es de 250Kbps, también usa la técnica de espectro ensanchado directa. En salto de frecuencia, se crea la señal portadora para modificar en términos de frecuencias, mientras el espectro de dispersión directa; la señal original se combina y se separa de un código pseudo aleatorio en el transmisor y el receptor. (sx-de-tx, 2012)

### 1.7.2.2 Ventajas y desventajas

La tecnología Zigbee presenta ciertas ventajas y desventajas que se muestra en Tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Ventajas y desventajas de módulos Zigbee

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Trabaja en banda ISM</li><li>• Hasta 65 535 nodos en la red</li><li>• Costos accesibles</li><li>• Consumo eléctrico bajo</li><li>• Diseño de red escalable</li><li>• Soporta cifrado 28-bit AES</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa de transferencia baja</li><li>• Menor cobertura a diferencia de tecnologías inalámbricas como WiFi ó WiMAX</li></ul>

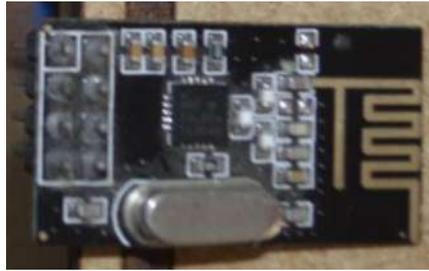
Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: <https://www.ecured.cu/ZigBee>

Zigbee es un estándar orientado a redes de sensores, debido a sus costos accesibles, y cobertura la cual depende del dispositivo a utilizar.

### 1.7.3 NRF24L01

El módulo NRF24L01 es un transceptor el cual puede transmitir y recibir datos a la vez, trabaja en la banda de frecuencia de 2,4 GHz con una velocidad de datos en el aire de 1 Mbps y 2 Mbps, se fundamentan en el chip de Nordic Semiconductor NRF24L01, se basa en el soporte de interfaz SPI para una mejor comunicación con el micro controlador, En la Figura 14-1 muestra el módulo NRF24L01 con sus respectivos pines. (OpenHardware, 2016).



**Figura 14-1:** Módulo NRF24L01

**Realizado por:** Recalde, José; 2017

#### 1.7.3.1 Características

- Los dispositivos de radio frecuencia pueden receptor casi cualquier señal digital, si se los utilizara en un microcontrolador se puede utilizarlos con comunicación UART. La mayoría de los componentes externos al módulo de RF son estándares y se los encuentra con gran facilidad. (Sparfun, 2016)
- Los módulos de radiofrecuencia son suficientemente versátiles, porque que además de admitir la entrada de circuitos codificadores, se admiten cualquier tipo de señal digital en su entrada, por lo cual información se transmite con una baja tasa de bits. (Sparfun, 2016)
- Estos módulos son de costos muy económicos, en relación a las comunicaciones inalámbricas con microcontroladores, su tamaño es muy pequeño y su fuente de alimentación es de 3.3V es decir posee un consumo bajo. La mayoría de estos módulos son TRANCEPTORES, es decir que mediante programación puede emisores, receptores o se los puede configurar para que realicen ambas cosas. Puede llegar a enviar datos a 2 Mbps, en distancias pequeñas que los 40 metros en espacio libre y a 1Mbps a 8 metros de distancia. (Sparfun, 2016)

### 1.7.3.2 Ventajas y desventajas

El módulo NRF24L01 tiene ventajas y desventajas para su uso que se muestran en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Ventajas y desventajas NRF24L01

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Reciben casi cualquier señal digital</li><li>▪ Tienen muy bajo consumo de energía</li><li>▪ Precios Bajos</li><li>▪ Facilidad en el mercado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Baja tasa de bits</li><li>▪ Baja cobertura</li><li>▪ Comunicación Half duplex</li></ul>

Realizado por: Recalde, José; 2017

Fuente: [goo.gl/yWYJYr](http://goo.gl/yWYJYr)

## 1.8 Tarjetas de adquisición de datos

Para el control del prototipo es necesario el uso de una tarjeta de adquisición de datos, para eso se debe tener en cuenta las características, costos, ventajas de cada tarjeta de adquisición para elegir la más conveniente para el prototipo.

### 1.8.1 Placa Arduino

Arduino comenzó su desarrollo en el Instituto IVREA, Italia en 2006, por estudiantes que investigaban plataformas de desarrollo que fueran de valor accesible y no de costoso elevados, como los microcontroladores que usaban en esa época. El objetivo del proyecto fue crear una plataforma de un precio menor a los 30 euros, transportable de código y hardware abierto (Torrente, 2013, p.64).



**Figura 15-1:** Arduino UNO

Realizado por: Recalde, José; 2017

El dispositivo de Arduino de mayor acogida por su precio accesible y por ser un dispositivo de reducido tamaño es el Arduino UNO, presentado en la Figura 15-1. Satisface con los requerimientos necesarios para desarrollar una aplicación de un nivel medio de complejidad, teniendo consigo incorporado un microcontrolador, con entradas y salidas analógicas y digitales. (arduinodhtics, 2015).

#### *1.8.1.1 Características Arduino UNO*

En el mercado es probable encontrar plataformas parecidas a Arduino para desarrollo de proyectos vinculados con microcontroladores que pueden cambiar en ciertas funcionalidades.

Arduino sobresale de otras plataformas por las siguientes características: (arduinodhtics, 2015)

- **Multiplataforma:** Como el entorno de desarrollo Arduino IDE, las variantes de Arduino trabaja bajo los distintos sistemas operativos Windows, OSX y Linux.
- **Software y Hardware abierto:** Arduino fue desarrollado desde sus inicios, con el fin que sea una plataforma abierta, es así que los diagramas de los dispositivos y código fuente se hallan disponibles en su página oficial para las personas que deseen colaborar en el desarrollo del proyecto.
- **Económico:** El costo es un factor considerable al momento de elegir una plataforma de desarrollo y con el amplio catálogo que tiene Arduino cubre distintas necesidades, todos ellos asequibles a diferentes precios cómodos.
- **Entorno de Desarrollo Sencillo:** El funcionamiento radica en la facilidad de su programación, permitiendo a cualquier persona aunque no tengan ningún tipo de conocimiento realizar un proyecto, debido a que su programación es muy intuitiva.
- **Interoperable:** Muestra la capacidad de trabajar con varios lenguajes de programación y aplicaciones conocidas debido a que usa comunicación serial para transmisión de datos soportada y usada por la mayoría de aplicaciones.

#### *1.8.1.2 Ventajas y desventajas de Arduino*

La tarjeta de adquisición Arduino presenta distintas ventajas y desventajas que se detallan en la Tabla 6-1.

**Tabla 6-1:** Ventajas y desventajas de la plataforma Arduino

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>✚ Precios económicos.</li><li>✚ Tamaño reducido.</li><li>✚ Voltaje de operación con un amplio rango.</li><li>✚ Facilidad de uso.</li><li>✚ Sencillez en su Programación.</li><li>✚ Variedad de shields y accesorios.</li><li>✚ Variedad de modelos con varios pines digitales y analógicos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✚ Procesamiento limitado.</li><li>✚ Dispositivos de almacenamiento no incorporado.</li><li>✚ No tiene sensor integrado.</li></ul>

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

### 1.8.2 Tarjeta Galileo



**Figura 16-1:** Intel Galileo

**Fuente:** Intel, 2017

La compañía Intel ingresó al mundo del Internet de las cosas con su primera placa de desarrollo, Mostrando en el mercado mundial una nueva plataforma, la cual será otra alternativa a las ya conocidas en el mercado para el desarrollo de proyectos orientados en domótica. (intel, 2014)

#### 1.8.2.1 Características Intel Galileo

Los diferentes tipos de tarjetas Intel Galileo puede aparentar ser muy similares, los cambios a nivel de hardware pueden ser inadvertidos, la Tabla 7-1 muestra las principales características que poseen las versiones del Intel Galileo.

**Tabla 7-1:** Características de Galileo

Característica	Intel Galileo Gen 1	Intel Galileo Gen 2
Dimensiones	100 mm x 70 mm	123.8 mm x 72.0 mm
Microcontrolador	SoC Quark X1000	
Velocidad de Reloj	400 Mhz	
RAM	256 MB	
I/O Digitales	14	
Voltaje de operación	3.3 V / 5 V	
Almacenamiento	Flash 8 MB	
Entradas Analógicas	6	
Alimentación	5 V	7 – 15 V
EEPROM	11 KB	8 KB
Puertos	10 / 100 Ethernet RJ45 MicroSD slot USB 2.0 x2 (micro-USB) Express mini-card slot JTAG header	10 / 100 Ethernet RJ45 (PoE) MicroSD slot USB 2.0 (standard) USB 2.0 (micro-USB) Express mini-card slot JTAG header

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** <http://arduino.cl/intel-galileo/>

### 1.8.2.2 Ventajas y desventajas Intel Galileo

Intel Galileo tiene la siguiente ventajas y desventajas mostradas en la Tabla 8-1.

**Tabla 8-1:** Ventajas y desventajas Intel Galileo

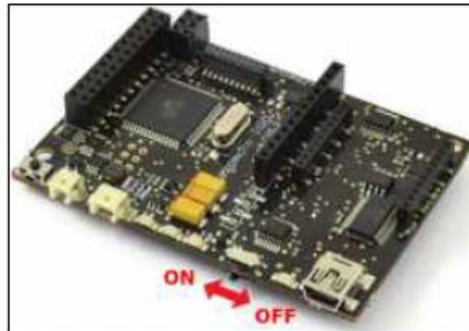
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatible con software y hardware de Arduino</li> <li>• Procesamiento superior</li> <li>• Puerto Ethernet incorporado</li> <li>• Capacidad de correr Linux ligero</li> <li>• Mayor rango de detección del ADC</li> <li>• Puerto USB para periféricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo</li> <li>• MicroSD necesaria para almacenar programa</li> <li>• Tamaño</li> <li>• Pierde programa al reinicio</li> </ul>

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** <http://arduino.cl/intel-galileo/>

### 1.8.3 Tarjeta Wasmote

Wasmote fue creada con la meta de llegar ser una plataforma básica que permite controlar diferentes tipos de sensores, con un máximo de 70 en lugar de crear dispositivos basados en un mercado en particular. En la Figura 17-1 se puede una tarjeta waspmote. (libelium, 2015)



**Figura 17-1:** Tarjeta waspmote

Fuente: Libelium, 2017

#### 1.8.3.1 Características de Wasmote

Wasmote es un dispositivo creado por la empresa Libelium orientada a las redes de sensores. Los dispositivos waspmote permiten relacionar placas que contengan sensores y actuadores. Además el producto proporciona entornos de programación. En la Tabla 9-1 se muestra las características más importantes de esta plataforma. (libelium, 2015)

**Tabla 9-1:** Características de Wasmote

Característica	Wasmote
Dimensiones	73.5 mm x 51 mm
EEPROM	4 KB
Microcontrolador	ATmega1281
Almacenamiento Flash	128 KB
Voltaje de Operación	3.3 V – 4.2 V
Entradas Analógicas	7
I/O Digitales	8
Puertos	Mini-USB slot-microSD 2 UART
Sensores Integrados	Temperatura Acelerómetro
Velocidad de Reloj	16 MHz

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Libelium, 2017

### 1.8.3.2 Ventajas y Desventajas Waspote

En la tabla 10-1 se puede observar las ventajas y desventajas existente en una tarjeta waspote.

**Tabla 10-1:** Ventajas y desventajas Waspote

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Compatibilidad con sketches de Arduino</li><li>• Sensores incorporados</li><li>• Diseñado para desarrollo del IoT</li><li>• Extra almacenamiento con microSD</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo</li><li>• Mínima acogida en el mercado</li><li>• Pocos medios para su adquisición</li></ul>

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: [goo.gl/6ALumM](https://goo.gl/6ALumM)

## 1.9 Elementos electrónicos y softwares

Los elementos electrónicos y softwares que se utilizarán en el desarrollo del prototipo se detallaran en los siguientes subcapítulos.

### 1.9.1 Módulo regulador de voltaje

LM2596 es un componente electrónico de suma importancia, debido a su regulador de voltaje interno, el cual permite convertir los voltios que recibimos de la fuente externa, que en este caso será 12 voltios a 5 voltios. Estos 5 voltios recibirá la tarjeta Arduino para su alimentación.

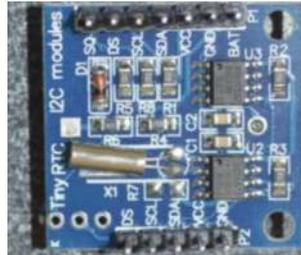


**Figura 18-1:** Regulador de voltaje

Fuente: Recalde, José; 2018

### 1.9.2 *Reloj Tiny RTC*

Reloj Tiny es un módulo que opera con la comunicación I2C, este módulo permite saber la hora y fecha actual, siempre y cuando este configurado todos sus parámetros. Este componente será de mucha importancia, debido a que se utilizara en el prototipo, para el control del movimiento del seguidor solar a la hora exacta en que se necesite cambiar de estado. La Figura 19-1 se muestra los pines que conforman el reloj tiny RTC.



**Figura 19-1:** Reloj Tiny RTC

**Realizado por:** Recalde, José; 2017

### 1.9.3 *Espectroradiómetro*

El instrumento FieldSpec 4 es un espectroradiómetro de uso general que es útil para muchas aplicaciones que requieren la medición de la reflectancia, transmitancia, radiancia o irradiancia. El espectroradiómetro es un tipo especial de espectrómetro que puede medir la energía radiante (ASD, 2011, p.2).

El instrumento está específicamente diseñado para la detección remota de campo para adquirir espectros de infrarrojos cercanos e infrarrojos (VNIR) e infrarrojos de onda corta (SWIR). El equipo es un instrumento compacto, portátil y de precisión, con un rango espectral de 350-2500 nm y un rápido tiempo de recolección de datos de 0,2 segundos por espectro (ASD, 2011, p.2). En la Figura 20-1 se puede apreciar el espectroradiómetro FieldSpec 4.



**Figura 20-1:** Espectroradiómetro FieldSpec 4

**Fuente:** ASD, 2011

Tiene algunos componentes que son necesarios para las mediciones: (ASD, 2010)

- *Caja de madera:* Esta caja se utilizó para realizar las mediciones del espectroradiómetro simulando un espacio cerrado, para evitar pérdidas de energía en las mediciones.
- *Fuente luminosa:* Es un accesorio del FieldSpec 4 que simula la radiación del sol, evita la necesidad de utilizar el sol para las mediciones. Lámpara de filamento de tungsteno de cuarzo y halógeno de 200 a 500 vatios (~ 3400 ° K de temperatura de calor) en carcasas con reflectores de aluminio a un metro de la superficie que se mide.
- *Paneles de referencia blanca:* Permite calibrar el equipo, su índice de reflectancia siempre tiene que ser 1, caso contrario los datos del equipo serán inexactos, al realizar las mediciones.
- *Empuñadura de pistola:* Es una manera conveniente de sostener y apuntar el cable de fibra óptica. La empuñadura de pistola viene de serie con el instrumento y no afecta al campo de visión de 25 ° del cable de fibra óptica. La Figura 21-1 muestra la empuñadura de pistola que utiliza el espectroradiómetro para realizar las mediciones.



**Figura 21-1:** Empuñadura de pistola

Fuente: ASD, 2011

#### **1.9.4 Puente H Monster Moto Shield**

Es un componente electrónico que puede controlar hasta dos motores DC, admite corrientes de hasta 30 Amperios de uso para los motores. En la Figura 22-1 se observa el puente H el cual permite el control de su velocidad y giro de tal manera que será de gran importancia en la realización del prototipo.



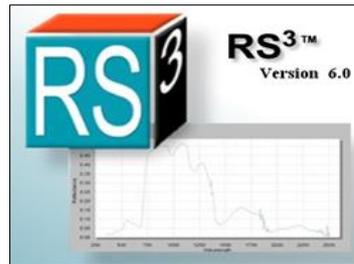
**Figura 22-1:** Puente H monster

Realizado por: Recalde, José; 2017

### 1.9.5 RS<sup>3</sup> software

FieldSpec 4 utiliza un software llamado RS3 software, el cual se utiliza para configurar los parámetros de medición del equipo como también su calibración. (ASD, 2010)

En la Figura 23-1 se observa el logo y la versión que se utilizara para las pruebas en el espectrorradiómetro.



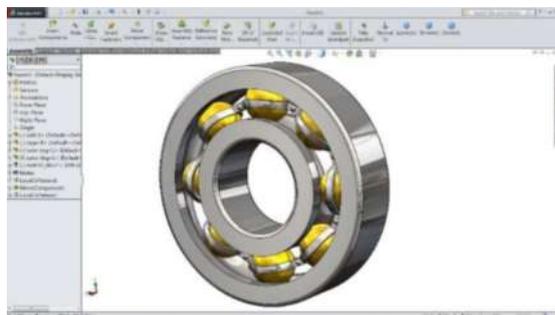
**Figura 23-1:** RS<sup>3</sup> Software

Fuente: ASD, 2011

### 1.9.6 Solidworks

Solidworks es un programa para el diseño mecánico en 3D que se puede crear geometría 3D usando solidos paramétricos. (3dcadporta, 2014)

En el prototipo este software será de gran importancia porque permite realizar el diseño y simulación de la parte mecánica del prototipo, el movimiento solar en el día permitirá obtener resultados aproximados a la realidad sobre la eficiencia del prototipo.

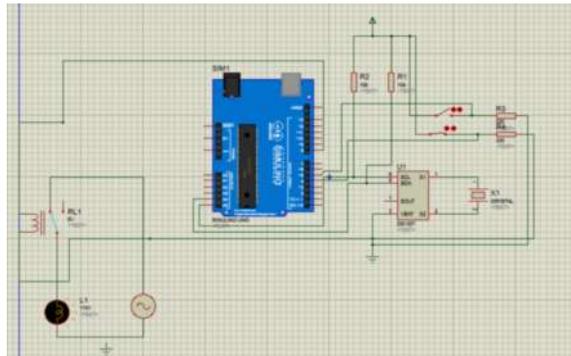


**Figura 24-1:** Solidworks

Fuente: 3dcadportal, 2018, <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>.

### 1.9.7 Proteus

Proteus es un programa muy utilizado para la simulación de componentes electrónicos, servos motores, microcontroladores, placas Arduino. No solo permite la simulación de los circuitos electrónicos sino también se puede realizar el diseño del circuito impreso. Para nuestro prototipo será de mucha utilidad debido a que la parte electrónica se lo simulara mediante este software. En la Figura 25-1 se puede apreciar un ejemplo de diseño en proteus.



**Figura 25-1:** Proteus

**Realizado por:** Recalde, José; 2017

### 1.9.8 Eagle

EAGLE es un programa muy famoso en el ámbito electrónico, se utiliza para el diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador. Tiene mucha más variedad de bibliotecas en relación de proteus adicional este programa permite la creación de nuevos componentes. El programa EAGLE será utilizado en el prototipo para el diseño de la PCBs tanto del emisor como el receptor.



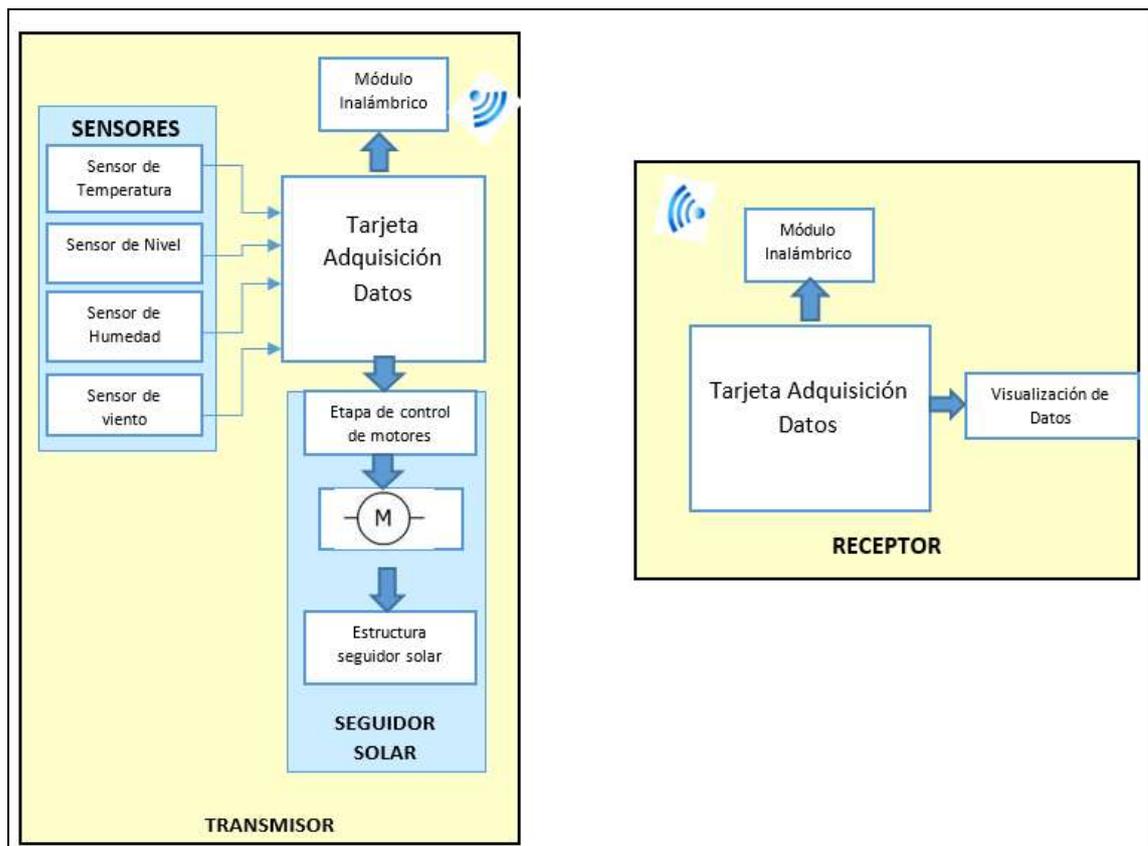
**Figura 26-1:** EAGLE

**Realizado por:** Recalde, José; 2017

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se muestra la descripción del sistema de control y la monitorización de un colector solar de tubos al vacío que está formado por un transmisor y un receptor. El transmisor está constituido de un seguidor solar que mediante el uso de motores permite realizar el movimiento del mismo, con la finalidad de reflejar los rayos solares hacia los tubos del colector desde que sale el sol hasta que se oculta con el objetivo de generar una mayor eficiencia en el calentamiento del agua; además el sistema está formado por sensores que permiten determinar datos como: la humedad, velocidad del viento, temperatura y nivel del agua los cuales son enviados por medio de tecnología inalámbrica al receptor para que el usuario pueda visualizar dichos datos.



**Gráfico 1-2:** Diagrama de bloques del prototipo

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

Para la realización del prototipo se consideraron dos aspectos, la parte mecánica correspondiente a la estructura del seguidor solar y la parte electrónica que se encarga del control del seguidor solar y del monitoreo de los sensores.

## 2.1 Diseño e implementación mecánica

En el diseño del prototipo se utilizó el software solidworks, se realizaron diferentes cálculos para determinar el movimiento del panel para obtener un ángulo óptimo como también su cobertura máxima y mínima. Se eligió el material principal del prototipo como también la descripción e implementación de las partes del seguidor solar, los motores utilizados y el material reflectante que se eligió para su uso en el prototipo.

### 2.1.1 *Calculo del movimiento del seguidor solar con respecto al ángulo del sol*

Se calculó el movimiento angular que debe tener el prototipo con respecto al sol. Dividiendo en 8 estados los cuales están comprendidas, por las horas que hay luz solar. En la Tabla 1-2 se puede observar los estados del seguidor solar.

**Tabla 1-2:** Estados del seguidor solar vs hora

Estados	Hora
1	6:00
2	7:00
3	8:00
4	9:00
5	10:00
6	11:00
7	12:00
8	13:00
9	14:00
10	15:00
11	16:00
12	17:00
13	18:00
14	19:00

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

Teniendo en consideración los siguientes valores del colector solar:

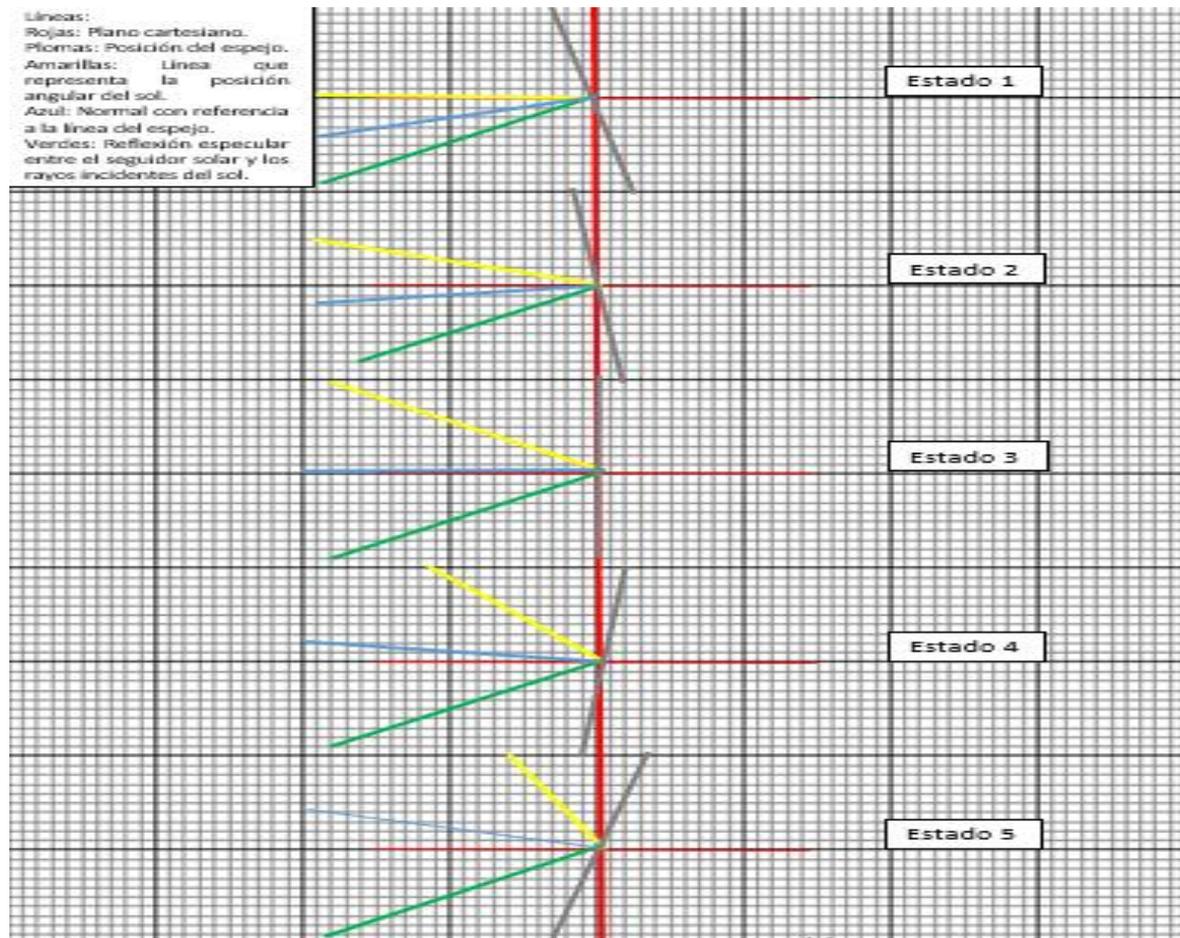
*Altura = 20 cm sobre los tubos al vacío*

*Altura máxima = 92 cm sobre los tubos*

*Distancia entre los tubos y el seguidor: 10 cm*

*Ancho = 145 cm*

### 2.1.1.1 Estados del 1-5



**Gráfico 2-2:** Movimiento del panel del seguidor solar en la mañana

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

En el Gráfico 2-2 se puede apreciar los movimientos del seguidor solar en la mañana. En todos los estados el vector de reflexión forma un ángulo de 60 grados, con el plano Y, se eligió el ángulo de 60 grados, para calcular la distancia que llega el vector del ángulo incidente, tomando en cuenta la altura máxima del seguidor, no sobrepasa los 160 cm y su mínimo es de 34,5cm con referencia a su altura de 20 cm. Se realizó el siguiente cálculo para determinar el mejor ángulo a utilizar como referencia para el movimiento del prototipo.

**Ecuación 1-2:** Ecuación para calcular el ángulo óptimo del seguidor solar

$$A_{opt} = \tan(x) \times 20$$

La Ecuación 1-2 se utiliza para calcular la cobertura óptima del seguidor solar donde x es el ángulo que se forma entre el eje Y ángulo de reflexión ocular a utilizar, sabiendo que h es la altura que

se encuentra el seguidor solar, tomando en cuenta el valor inicial de la altura de 20 cm, que es la altura de separación entre los tubos al vacío con el seguidor solar y su altura máxima es de 92 cm. En la Tabla 2-2 se puede apreciar el cálculo de la cobertura más óptima del seguidor solar referente a la longitud del colector solar.

**Tabla 2-2:** Calculo de la cobertura óptima mínima

<b>X</b>	<b><math>F(X) = \tan(x) \times 20</math></b>
0°	0 cm
5°	1,75 cm
10°	3,52 cm
15°	5,36 cm
20°	7,28 cm
25°	9,33 cm
30°	11,55 cm
35°	14 cm
40°	16,78 cm
45°	20 cm
50°	23,84 cm
55°	28,56 cm
60°	34,64 cm
65°	42,89 cm
70°	54,95 cm
75°	74,64 cm
80°	113,42 cm
85°	228,6 cm

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

Los ángulos que se eligieron fueron en relación a la altura máxima, los ángulos que presentan una cobertura aceptable son desde los 45° hasta 70°. En la Tabla 3-2 se aprecia el cálculo de la cobertura máxima.

**Tabla 3-2:** Calculo de la cobertura óptima máxima

<b>X</b>	<b><math>F(X) = \tan(x) \times 92</math></b>
0°	0
5°	8,05
10°	16,22
15°	24,65
20°	33,46
25°	42,9
30°	53,12
35°	64,42
40°	77,197
45°	92
50°	109,64
55°	131,38
60°	159,34
65°	197,29

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

Los ángulos a utilizar con relación a la distancia máxima de los tubos son desde los 45° a 60° debido a la distancia máxima de los tubos la cual es de 160 cm. Se utiliza la Ecuación 2-2 para calcular la cobertura total que tiene el seguidor solar variando su cobertura final e inicial.

**Ecuación 2-2:** Ecuación para calcular la cobertura total del seguidor solar

$$coberturatotal = cobertura\ final - cobertura\ inicial$$

**A 45°**

$$Coberturatotal45^\circ = 92 - 20$$

$$Coberturatotal45^\circ = 72\ cm$$

**A 50°**

$$Coberturatotal50^\circ = 109,64 - 23,84$$

$$Coberturatotal50^\circ = 85,8\ cm$$

**A 55°**

$$Coberturatotal55^\circ = 131,38 - 28,56$$

$$Coberturatotal55^\circ = 102,82\ cm$$

**A 60°**

$$Coberturatotal60^\circ = 159,34 - 34,64$$

$$Coberturatotal60^\circ = 124,7\ cm$$

Al utilizar 60 grados, se obtiene la cobertura más óptima. Como el prototipo se mueve por hora y el sol se mueve 15 grados por hora. Por lo tanto el movimiento del sol en mañana, llegara a un ángulo crítico de 45 grados. En forma gráfica la figura que se utiliza para calcular la cobertura mínima y máxima, con los ángulos de 60 y 45 grados es la siguiente:

Donde:

$R =$  Rayo de reflexión especular

$C =$  Cobertura

$Hm =$  Altura mínima

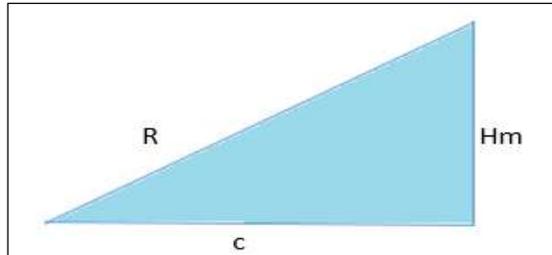
$HM =$  Altura máxima

**Ecuación 3-2:** Ecuación para calcular la cobertura máxima y mínima

$$c = \tan(x) \times H$$

- **Cobertura mínima inicial en la mañana**

Para calcular la cobertura mínima inicial se utiliza el ángulo de 60° el cual es el más óptimo al utilizar como también la altura mínima de 20 cm.



**Gráfico 3-2:** Triangulo de cobertura mínima inicial en la mañana

Realizado por: Recalde, José; 2018

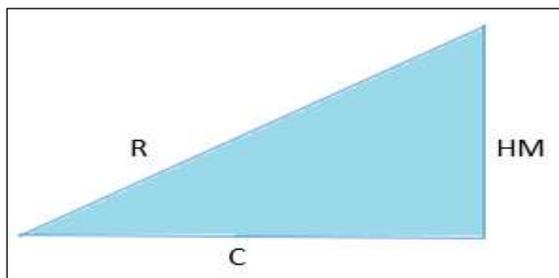
$$\tan(60) = \frac{c}{Hm}$$

$$c = \tan(60) \times 20cm$$

$$c = 34,64cm$$

- **Cobertura máxima inicial en la mañana**

Para calcular la cobertura máxima inicial se utilizó un ángulo de 60°, altura máxima de 92 cm ya que es el más óptimo.



**Gráfico 4-2:** Triangulo de cobertura máxima inicial en la mañana

Realizado por: Recalde, José; 2018

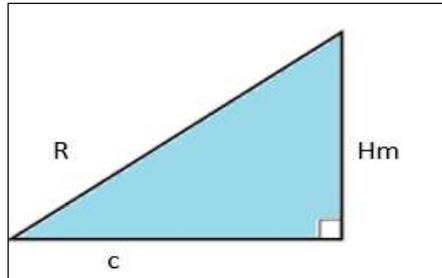
$$\tan(60) = \frac{c}{HM}$$

$$c = \tan(60) \times 92cm$$

$$c = 159,35cm$$

- **Cobertura mínima final en la mañana**

Para calcular la cobertura mínima final se utilizó el ángulo de  $45^\circ$  con una altura mínima de 20 cm que es el más óptimo al utilizar.



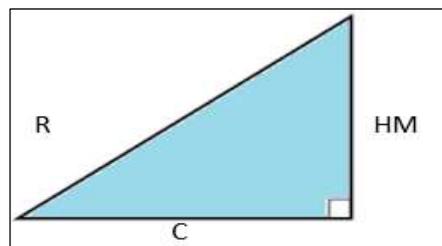
**Gráfico 5-2:** Triangulo de cobertura mínima final en la mañana

Realizado por: Recalde, José; 2018

$$\tan(45) = \frac{c}{Hm}$$
$$c = \tan(45) \times 20 \text{ cm}$$
$$c = 20 \text{ cm}$$

**Cobertura máxima final en la mañana**

Para calculó de la cobertura máxima final se utilizó el ángulo de  $45^\circ$  con una la altura máxima de 92 cm.



**Gráfico 6-2:** Triangulo de cobertura máxima final en la mañana

Realizado por: Recalde, José; 2018

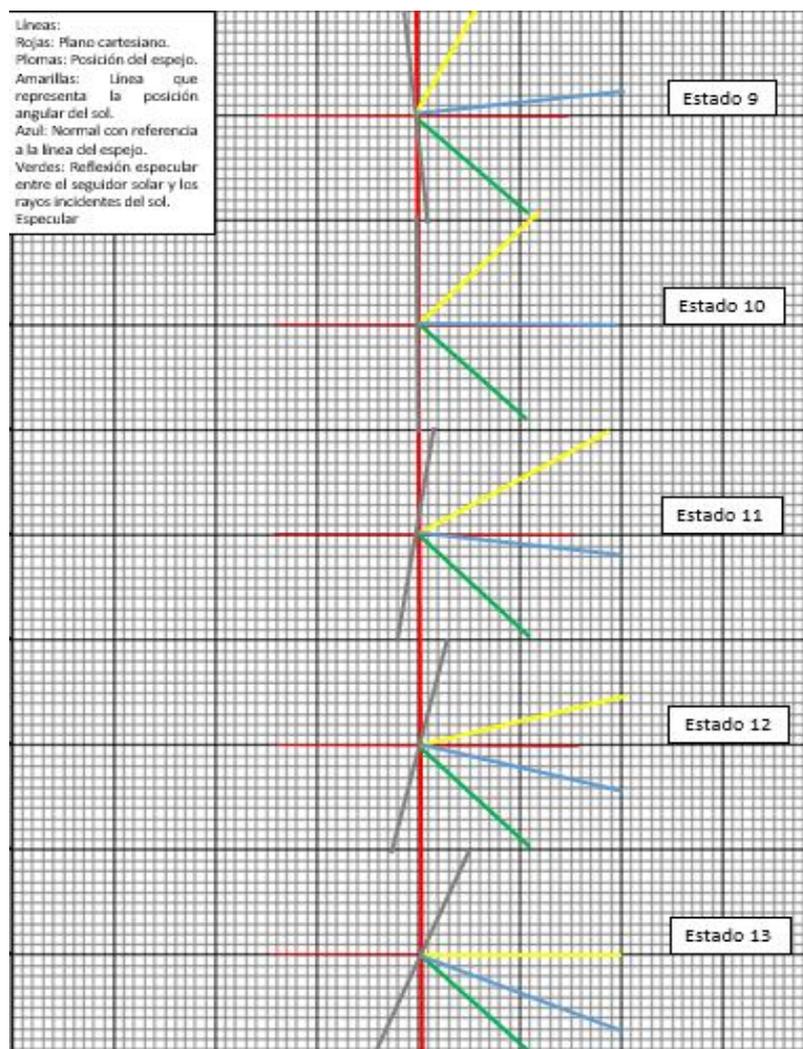
$$\tan(45) = \frac{c}{HM}$$
$$c = \tan(45) \times 92 \text{ cm}$$
$$c = 92 \text{ cm}$$

### 2.1.1.2 Estados 6-8

El sol emana rayos incidentes a un ángulo cercano a cero a las 11 y 13 horas, a las 12 horas el ángulo se encuentra totalmente en cero con referencia al eje Y. Por este motivo la posición del prototipo en el transcurso de las tres horas, estará debajo de los tubos al vacío.

### 2.1.1.3 Estados 9-14

Cabe recalcar que el estado 14 tiene un movimiento de guardado por lo tanto su movimiento es de retroceso. En todos los estados el vector de reflexión forma un ángulo de 45 grados, con el plano Y, se eligió el ángulo de 45 grados y no el de 60 grados debido a que su ángulo crítico cambia de forma ascendente a descendente con respecto a la mañana, en otras palabras en ángulo del sol a partir de las 12 de la tarde comienza a descender, en este caso el ángulo crítico es de 60 grados.



**Gráfico 7-2:** Movimiento del panel del seguidor solar en la tarde

Realizado por: Recalde, José; 2018

**Tabla 4-2:** Cobertura mínima del seguidor solar en la tarde

	<b>X</b>	<b><math>F(X) = \tan(x) \times 20</math></b>
Angulo Inicial	45°	20 cm
Angulo Final	60°	34,64 cm

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

**Tabla 5-2:** Cobertura máxima del seguidor solar en la tarde

	<b>X</b>	<b><math>F(X) = \tan(x) \times 92</math></b>
Angulo Inicial	45°	92 cm
Angulo Final	60°	159,35 cm

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

La cobertura total por el movimiento del sol en el transcurso de la tarde va ser descendente, por lo cual la cobertura va comenzar en un mínimo para llegar a un máximo, la Ecuación 4-2 fue utilizada para dicho cálculo:

**Ecuación 4-2:** Ecuación cobertura total del seguidor solar.

$$coberturatotal = cobertura\ final - cobertura\ inicial$$

#### **Angulo Inicial**

$$Coberturatotal_{45^\circ} = 92 - 20$$

$$Coberturatotal_{45^\circ} = 72\ cm$$

#### **Angulo final**

$$Coberturatotal_{60^\circ} = 159,35 - 34,64$$

$$Coberturatotal_{60^\circ} = 124,71\ cm$$

Para calcular la cobertura inicial mínima a utilizar se emplea un ángulo de 45 grados, en el caso de la tarde el sol desciende en 15 grados en el transcurso de una hora. Por lo tanto el movimiento del sol en tarde, llegara a un ángulo crítico de 60 grados.

En forma gráfica para calcular la cobertura mínima y máxima, con los ángulos de 60 grado y 45 grados es la siguiente:

Donde:

$R =$  Rayo de reflexión especular

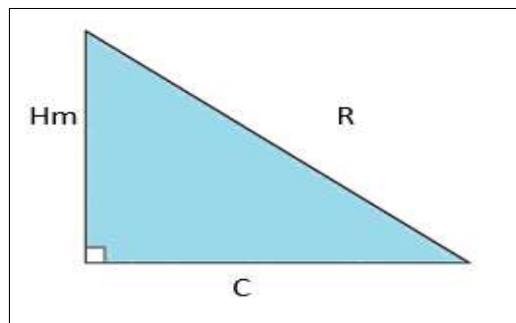
$C =$  Cobertura

$Hm =$  Altura mínima

$HM =$  Altura máxima

- **Cobertura inicial mínima en la tarde**

Para calcular la cobertura inicial mínima se utiliza el ángulo de  $45^\circ$  el cual es el más óptimo al utilizar como también la altura mínima de 20 cm.



**Gráfico 8-2:** Triangulo de cobertura inicial mínima en la tarde

Realizado por: Recalde, José; 2018

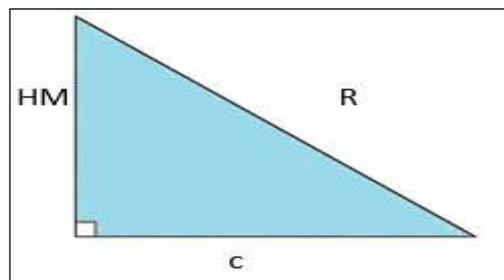
$$\tan(45) = \frac{c}{Hm}$$

$$c = \tan(45) \times 20 \text{ cm}$$

$$c = 20 \text{ cm}$$

- **Cobertura inicial máxima en la tarde**

Para calcular la cobertura inicial máxima se utiliza el ángulo de  $45^\circ$  el cual es el más óptimo con una altura máxima de 92 cm.



**Gráfico 9-2:** Triangulo de cobertura inicial máxima en la tarde

Realizado por: Recalde, José; 2018

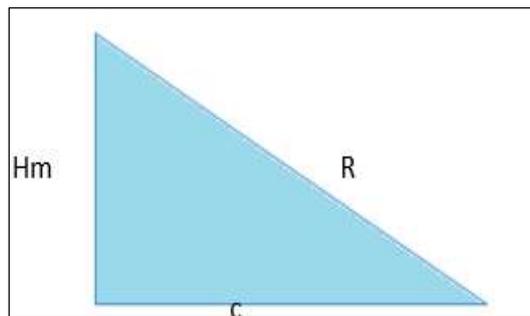
$$\tan(45) = \frac{c}{HM}$$

$$c = \tan(45) \times 92 \text{ cm}$$

$$c = 92 \text{ cm}$$

***Cobertura final mínima en la tarde***

Para calcular la cobertura final mínima se utilizó el ángulo de 60° el cual es el más óptimo con una altura mínima de 20 cm.



**Gráfico 10-2:** Triángulo de cobertura final mínima en la tarde

Realizado por: Recalde, José; 2018

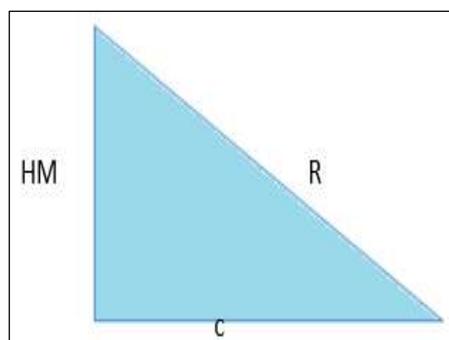
$$\tan(60) = \frac{c}{Hm}$$

$$c = \tan(60) \times 20 \text{ cm}$$

$$c = 34,64 \text{ cm}$$

- ***Cobertura final máxima en la tarde***

Para calcular la cobertura final máxima se utiliza el ángulo de 60° el cual es el más óptimo al utilizar con una altura máxima de 92 cm.



**Gráfico 11-2:** Triángulo de cobertura final máxima en la tarde

Realizado por: Recalde, José; 2018

$$\tan(60) = \frac{c}{HM}$$

$$c = \tan(60) \times 92cm$$

$$c = 159,35cm$$

### 2.1.2 *Movimiento del seguidor solar con respecto al ángulo del sol*

El movimiento angular del panel lo realizara un motoreductor el cual está conformado por tres estados.

#### 2.1.2.1 *Estado 1*

Estado 1: De 6 de la mañana hasta 11 de la mañana

El prototipo se encontrara en forma vertical, al oeste del calefón solar, a 20 cm de altura sobre los tubos del calefón, a 10 cm de distancia del calefón en la parte de longitud. Los movimientos según el ángulo del sol son de 7,5 grados por hora para lograr formar inicialmente un ángulo de 60 grados entre el vector de reflexión especular y el eje Y. En la Tabla 6-2 se muestra los movimientos respectivos del panel durante la mañana.

**Tabla 6-2:** Movimiento angular del panel durante la mañana

Hora	Movimiento
6:00 a.m.	-15°
7:00 a.m.	-7,5°
8:00 a.m.	0°
9:00 a.m.	7,5°
10:00 a.m.	15°

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

#### 2.1.2.2 *Estado 2*

Estado 2: De 11 de la mañana hasta 1 de la tarde

El prototipo se encuentra en forma horizontal, debajo de los tubos al vacío del colector: En la tabla 7-2 se muestra el estado del panel.

**Tabla 7-2:** Movimientos de los Motores Durante el Mediodía

Hora	Estado
11:00 a.m.	Horizontal (debajo de los tubos al vacío)
12:00 a.m.	Horizontal (debajo de los tubos al vacío)
13:00 a.m.	Horizontal (debajo de los tubos al vacío)

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### 2.1.2.3 Estado 3

Estado 3: De 2 de la tarde hasta 6 de la tarde

El prototipo se encontrara en forma vertical, al este del calefón solar a 20 cm de altura sobre los tubos del calefón, a 10 cm de distancia del calefón en la parte de longitud. Los movimientos según el ángulo del sol son de 7,5 grados por hora para lograr formar inicialmente un ángulo de 45 grados entre el vector de reflexión especular y el eje Y. En la tabla 8-2 se muestra los movimientos angulares del panel solar.

**Tabla 8-2:** Movimientos del panel en la tarde

Hora	Movimiento
2:00 p.m.	-7,5°
3:00 p.m.	0°
4:00 p.m.	7,5°
5:00 p.m.	15°
6:00 p.m.	22,5°

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### 2.1.3 Etapas para la construcción del seguidor solar

Para el diseño y construcción del seguidor solar se consideró la estructura que consta de partes mecánicas, el material del cual está hecho, motores utilizados para el funcionamiento electrónico, para ello se utilizó Solidworks para la simulación y diseño de la estructura del seguidor solar.

#### 2.1.3.1 Material y forma del seguidor solar

##### Forma

La forma del panel del seguidor solar es plana debido a ciertos factores:

- Costos elevados de materiales en formas diferentes a planas

- Si se lo hace en forma de media esfera o elíptica los rayos de la luz solar, se enfocan en una sola área, por lo que no sería factible, en este caso, debido a que se necesita enfocar a la mayoría de los tubos al vacío.
- Se perderían algunos rayos especulares, debido que la superficie tiene diferentes ángulos, por lo tanto será diferente al lugar, donde se encuentran los tubos al vacío

## Material

Se decidió utilizar tabla triplex de 4 líneas como materia prima para el prototipo. Debido a su peso, accesibilidad en el mercado y precio económico. En la Tabla 9-2 se puede apreciar los diferentes materiales que se tomaron en cuenta para la elección del material del prototipo.



**Figura 1-2:** Tabla triplex de 4 líneas

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Tabla 9-2:** Posibles Materiales a Utilizar en la estructura del prototipo

Material	Dimensión	Peso	Costo
Tabla Triplex cuatro líneas	145 cm x 80 cm	4 kg	10 \$
Acrílico de 2 mm de espesor	1,20 x 1.80m	3kg	45,03\$
Acrílico en forma de domo	1,45 x 80 cm	2,5kg	95 \$

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

El costo de la tabla triplex es la más económica de las opciones, un poco más pesada que el acrílico, pero debido a su costo, el acrílico quedo descartado como opción a usar en el prototipo.

### 2.1.3.2 Partes del seguidor solar

El seguidor solar está constituido por dos partes: Una parte lateral la cual contiene la base del seguidor solar, las piezas que permiten su movimiento y una parte inferior la cual permitió el cambio de dirección de posición de 180° .

- **Parte superior**

La dimensión del calefón solar depende de la distancia entre tanques del calefón solar y de la longitud de los tubos al vacío, los cuales son:

Distancia entre tanques del calefón solar = 1,50 cm

Longitud de un tubo al vacío = 1,60 cm

Teniendo en cuenta estos datos se puede deducir que la longitud del panel reflector debe ser mínimamente menor en comparación a la distancia entre tanques y la altura máxima de 72 cm ya que con esta medida se alcanzaría un máximo de reflexión de 155 cm aproximadamente, su altura se podría incrementar pero debido a la deformación y al viento se debió dejarlo en esta medida.

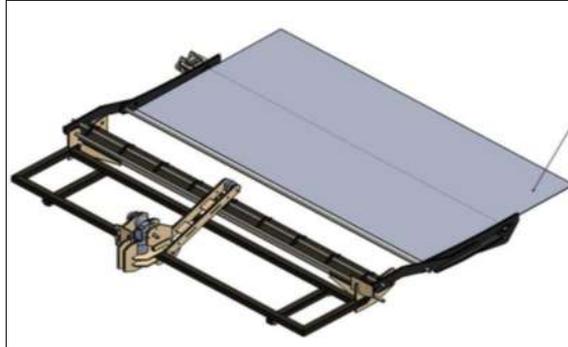
Longitud del seguidor solar = 145 cm

Altura del seguidor solar = 72 cm

Las demás piezas que componen esta parte del prototipo son de 2 tipos de material:

- Piezas de triplex: Esta compuestas de una triplex de 4 líneas de grosor las cuales fueron usadas para la fabricación de las piezas necesarias en la estructura del prototipo:  
Se utiliza la triplex como soporte permitiendo que el panel tenga un movimiento horizontal lo que admite que se guarde debajo de los tubos al vacío o salga a la superficie. Se realizó la construcción de un brazo conformada de triplex que permita el levantamiento del panel, con la triplex se fabricó una estructura para la adaptación de una polea que permitió aumentar la fuerza del motor que levanta el panel.
- Piezas de metal: Compuesta por pernos, tubos de metal, rodamientos de bola y metal antioxidante. Todos estos elementos mecánicos sirvieron para fortalecer la triplex, evitando rompimiento o desfiguraciones de las piezas.

En el Anexo A se muestra las piezas utilizadas para creación de la parte lateral del prototipo. En la Figura 2-2 se puede observar la parte superior del prototipo simulado en solidworks como también en las Figuras 3-2 y 4-2 la parte superior fabricada.



**Figura 2-2:** Parte superior en solidworks

Realizado por: Recalde, José; 2018



**Figura 3-2:** Panel del prototipo implementado

Realizado por: Recalde, José; 2018



**Figura 4-2:** Parte superior del prototipo implementada

Realizado por: Recalde, José; 2018

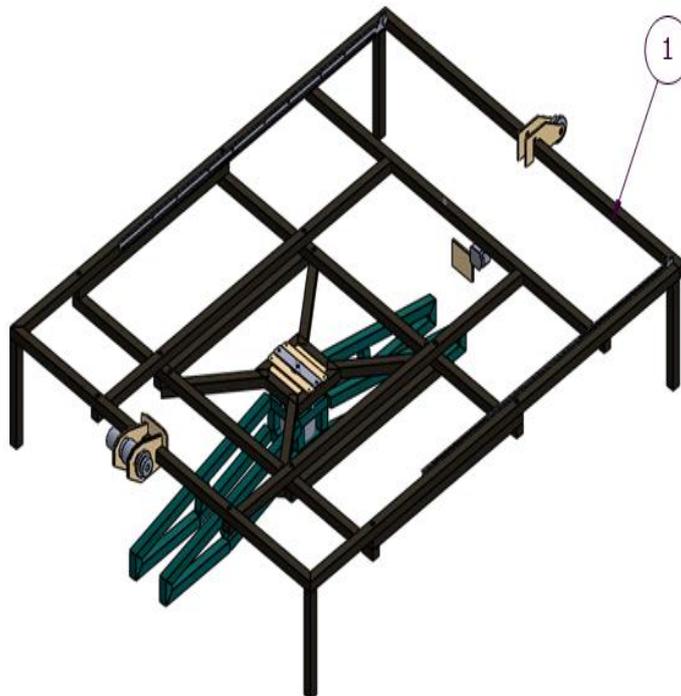
- **Parte inferior**

La parte inferior del prototipo sirve tanto como soporte, cuando la base del seguidor este bajo el calefón solar y produzca el movimiento de 180° necesario cuando necesita un cambio de posición en la tarde.

Está compuesto por los siguientes materiales:

- Piezas de madera: Piezas de madera compuestas de tiras de 2,5cm x 2,5cm de grosor, utilizando eucalipto ya que es una madera muy dura y resistente. Estas piezas son usadas como base de la estructura del prototipo la cual permite el equilibrio de la estructura,
- Rieles de cajón: Permite el movimiento de la base del prototipo, evitando así la fuerza de rozamiento que produciría la base al cambiar su posición de vertical a horizontal.
- Garruchas: Se utiliza 5 garruchas que proporcionan equilibrio a la estructura, también permite que la estructura gire 180 ° para poder reflejar en la tarde.

En la Figura 5-2 y Figura 6-2 se puede observar la parte inferior del prototipo en solidworks y su fabricación para ser implementado respectivamente. En el anexo B se puede observar las piezas de la parte inferior del seguidor solar.



**Figura 5-2:** Parte inferior en solidworks.

Realizado por: Recalde, José; 2018



**Figura 6-2:** Parte inferior implementada

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

### 2.1.3.3 Motores

El prototipo está constituido por 4 motores DC, el funcionamiento de cada motor depende de la hora del día, en la noche se mantendrán en estado de guardado y reposo. La Tabla 10-2 muestra alguna de las características de cada motor que se utilizara en el prototipo. Ver Anexo C.

**Tabla 10-2:** Motores implementados

Motor	Tipo	Fuerza	Alimentación	Uso
1	DC	1150 rpm	12 v	Realiza el movimiento horizontal del tablero en el riel de cajón.
2	DC (Motor limpia parabrisas)	1 hp	12 v	Eleva el tablero del prototipo de una posición horizontal a una vertical
3	Moto reductor	0,5 hp	12 v	Genera los movimientos angulares del tablero a 7,5 grados
4	DC (Motor limpia parabrisas)	1,5 hp	12V	Mueve toda la estructura en un ángulo de 180° y viceversa.

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### Movimiento de los motores en la mañana

Sabiendo la fuerza y alimentación de cada motor, se especifica el movimiento en el transcurso de las 5:30 a.m. hasta las 10 a.m. en la Tabla 11-2 se puede observar el trabajo de cada motor en la mañana.

**Tabla 11-2:** Movimiento de los motores en la mañana

	<b>Motor 1</b>	<b>Motor 2</b>	<b>Motor 3</b>	<b>Motor 4</b>
Tipo de movimiento	Horizontal	Enrollamiento de hilo	Angular	Circular
5:50 am	1,81m hacia el oeste	-----	-----	-----
5:51 am	-----	Enrollamiento del hilo que levanta el panel hasta que se encuentre en una forma vertical	-----	-----
5:55 am	-----	-----	-15°	-----
7:00 am	-----	-----	-7,5°	-----
8:00 am	-----	-----	0°	-----
9:00 am	-----	-----	7,5°	-----
10:00 am	-----	-----	15°	-----

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

En el Anexo C se puede apreciar los motores con cubiertas que permiten que se mantengan fijos en la estructura.

### **Movimiento de los motores en el medio día y tarde**

Los motores en el transcurso de las 11 a.m. tienen un comportamiento de guardado debido a que el sol cerca de las 12 p.m. forma un ángulo de 90° con el eje x. Por lo tanto el tablero se encuentra debajo de los tubos del vacío generando así una reflexión perpendicular. En la Tabla 12-2 se puede ver los movimientos respectivos de cada motor al medio día.

**Tabla 12-2:** Movimiento de los motores al medio día

	<b>Motor 1</b>	<b>Motor 2</b>	<b>Motor 3</b>	<b>Motor 4</b>
Tipo de movimiento	Horizontal	Enrollamiento de hilo	Movimiento de polea	Circular
11:00 am	-----	-----	-15°	-----
11:01 am	-----	Des enrollamiento del hilo hasta posición horizontal	-----	-----

11:02 am	1,81m hacia el este	-----	-----	-----
11:05 am	-----	-----	-----	Movimiento de 180°

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### Movimiento de los motores en tarde y noche

El trabajo de los motores en el transcurso de la tarde es simétrico al trabajo que realiza en la mañana, el panel en este caso refleja en la ubicación opuesta a la que se encuentra en la mañana. Los motores operan en la tarde desde las 2:00 p.m. hasta las 6.50 p.m. donde el seguidor solar es guardado y dejan de trabajar los motores hasta el nuevo día, en la Tabla 13-2 se puede apreciar el trabajo de cada motor en la tarde.

**Tabla 13-2:** Movimiento de los motores en la tarde

	<b>Motor 1</b>	<b>Motor 2</b>	<b>Motor 3</b>	<b>Motor 4</b>
Tipo de movimiento	Horizontal	Enrollamiento de hilo	Angular	Circular
2:00 pm	1,01m hacia el este	-----	-----	-----
2:01 pm	-----	Enrollamiento del hilo que levanta el panel hasta que se encuentre en una forma vertical	-----	-----
2:04 pm	-----	-----	-7,5°	-----
3:00 pm	-----	-----	0°	-----
4:00 pm	-----	-----	7,5°	-----
5:00 pm	-----	-----	15°	-----
6:00 pm	-----	-----	22,5°	-----
6:50 pm	-----	-----	-22,5°	-----
6:51 pm	-----	Des enrollamiento del hilo hasta posición horizontal	-----	-----
6:52 pm		Des enrollamiento		

	-----	del hilo hasta posición horizontal		
6:53 pm	1,81 m hacia el oeste	-----	-----	-----
6:54 pm	-----	-----	-----	Movimiento de 180°

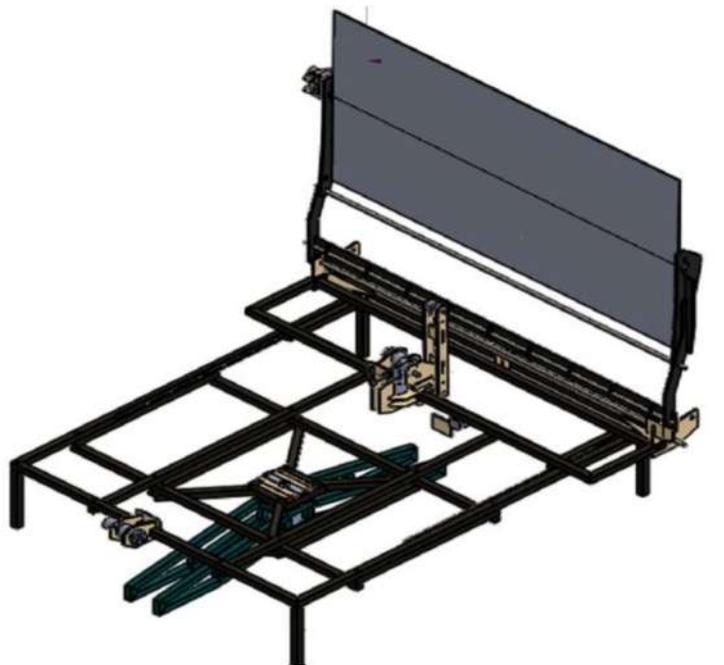
**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### 2.1.3.3 Estructura final del seguidor solar

La fase final de la construcción del seguidor solar da como resultado una estructura equilibrada gracias a las garruchas, piezas fundamentales del seguidor porque gracias a ella se logra mover todo el sistema en 180° permitiendo que el seguidor solar tenga un comportamiento simétrico en la mañana como en la tarde.

La estructura total del seguidor solar se lo puede apreciar tanto en solidworks como la fabricada manualmente en la Figuras 7-2 y 8-2.



**Figura 7-2:** Seguidor solar en solidworks

**Realizado por:** Recalde, José; 2018



**Figura 8-2:** Seguidor solar fabricado manualmente

Realizado por: Recalde, José; 2018

En el Anexo D se observa el seguidor solar en su etapa final

#### 2.1.4 Elección del material reflectante

En la Tabla 14-2 se puede apreciar los diferentes materiales en base a sus costos y peso:

**Tabla 14-2:** Materiales reflectantes

Material	Costo	Dimensión
Papel Oro	1 \$	1 m x 50 cm
Papel de regalo	50 ctvs.	1 m x 60 cm
Espejo de 2mm de espesor	30 \$	50 cm x 25 cm
Aluminio antioxidante	5 \$	1 m x 50 cm
Aluminio de cocina	2 \$	7,62 m x 304 mm
Espejo de 2mm de espesor	20 \$	50 cm x 50cm
Espejo de 3mm de espesor	35 \$	50 cm x 50cm

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

En el capítulo 3 muestran los resultados de las pruebas del índice de reflexión de los materiales, se determinó que por factores importantes como su peso, nivel de reflexión especular alto, y su bajo costo se eligió el papel oro. Debido al peso y costo elevado los espejos quedaron descartados, el papel aluminio de cocina quedo descartado porque es un material demasiado frágil (se deforma fácilmente). En la Figura 9-2 se aprecia el material que se utiliza en el prototipo para la reflexión solar sobre los tubos al vacío.



**Figura 9-2:** Papel oro

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

#### *2.1.4.1 Elección del material reflectante*

El Índice de Reflectancia Solar es una medida de la capacidad que un elemento o cuerpo tiene para expulsar el calor radiado por el sol, que se muestra al encontrarse un pequeño incremento de temperatura. Es importante tener claro que el índice de reflexión o de absorción de un material porque es necesario para saber que material es el más óptimo, para ser utilizado en el prototipo también dependerá de otros parámetros como el costo y el peso de cada material. Para determinar este factor de los materiales se utilizó el espectroradiómetro. En el anexo E se puede ver las pruebas realizadas y la utilización del material reflectante.

## **2.2 Sistema electrónico**

En la parte electrónica del prototipo en el Transmisor se utilizó la tarjeta de adquisición Arduino Mega para el control de los motores DC .mediante un módulo Relay de 8 canales que permitió el control de tres motores y uno de ellos está conectado a un circuito que utiliza un mosfet el cual controla la velocidad del motor, además se utilizó un puente H monster que controla el motor principal del sistema para que realice los respectivos movimientos del seguidor solar. Además el Arduino Mega obtiene los datos de cada uno de los sensores para posteriormente enviarlos de manera inalámbrica hacia la etapa receptora. El receptor está constituido de una tarjeta Arduino Uno que se encarga de recibir los datos de los sensores mediante el módulo inalámbrico, además se colocaron 6 switches para la selección del sensor a visualizar en un LCD 16X2.

### *2.2.1 Selección de la tarjeta de adquisición de datos*

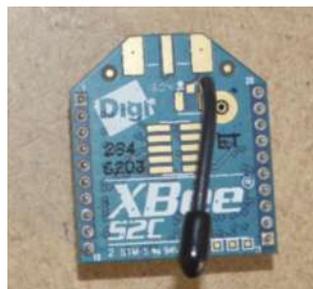
La tarjeta de adquisición de datos que se utilizó fue Arduino debido a sus costos bajos, su gran acogida en el mercado, su tamaño reducido, su compatibilidad con varios sistemas operativos y lenguajes de programación. Se decidió utilizar la tarjeta Arduino Mega en el trasmisor , debido a que dicha tarjeta tiene 55 pines digitales los cuales fueron necesarios en su mayoría para el control del seguidor solar y el monitoreo de los sensores del prototipo, Mientras en el receptor se utilizó Arduino Uno para la visualización de datos.

### 2.2.2 Selección de la tecnología inalámbrica

El Módulo de comunicación a utilizar en el sistema inalámbrico dependió de ciertos factores en particular como su costo, cobertura, consumo de energía, facilidad en el mercado, tasa de datos descritos en capítulo 1. Tomando en cuenta todos estos factores el estándar más apto para la comunicación inalámbrica fue el XBee del estándar Zigbee debido principalmente a su tasa de datos y a su cobertura. El modulo inalámbrico se encarga de la transmisión y recepción de datos de los sensores que contiene el sistema.

#### 2.2.2.1 Módulos Xbee S2C

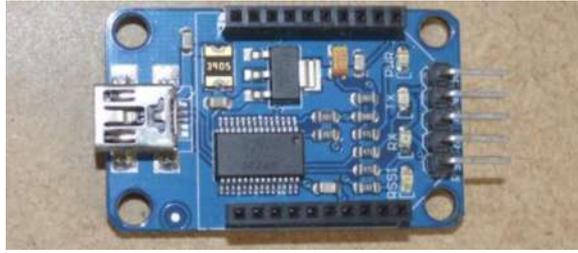
Los módulos Xbee S2 tienen una cobertura de entre 200 a 1200 metros a la redonda dependiendo su modelo. Este parámetro es fundamental porque permite una comunicación óptima entre el transmisor y el receptor de prototipo. Tomando en cuenta las necesidades de la comunicación del prototipo y los factores como sus costos, accesibilidad en el mercado, distancia de cobertura, los módulos de comunicación elegidos son los Xbee Serie 2C, los cuales tienen una cobertura de 1200 metros y una tasa de transmisión de datos de 250 kbps. Además prestan una correcta comunicación entre el emisor y receptor. De igual manera para poder maximizar su cobertura los módulos de cada serie pueden agregar un tipo de antena según los requerimientos, en la Figura 10-2 se puede apreciar un XBee S2c que viene con una antena incorporada.



**Figura 10-2:** Xbee S2C.

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

La configuración del módulo Xbee S2c es mediante el módulo Xbee explorer usb adapter el cual permite interactuar con la interfaz XCTU. En la interfaz XCTU se debe cambiar y agregar algunos parámetros del módulo inalámbrico dependiendo si es un transmisor o receptor. En la Figura 11-2 se muestra el módulo Xbee explorer usb adapter.



**Figura 11-2:** Xbee explorer usb adapter

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

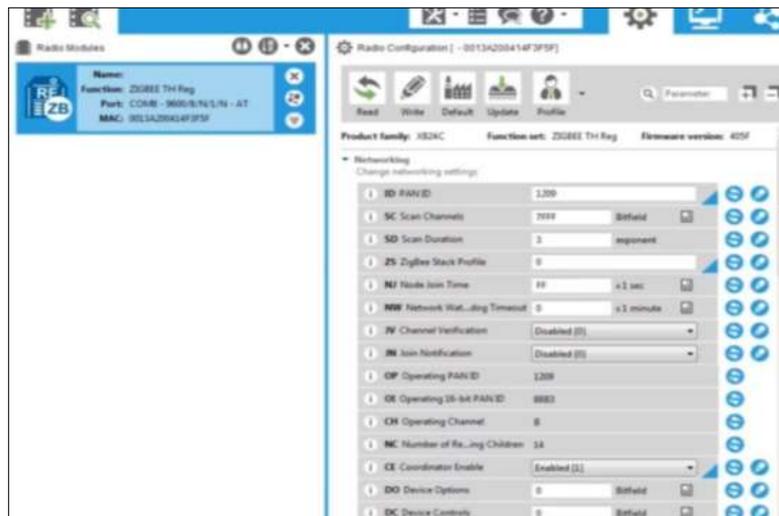
**Tabla 15-2:** Parámetros de configuración

Parámetros	Módulo Emisor	Módulo Receptor
ID	1209	1209
Scan channels	7FFF	7FFF
Coordinador Enable	Disable	Enable
JV channel verification	Enable	Disable
Dh	13A200	13A200
DI	40acfab	40acfab

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

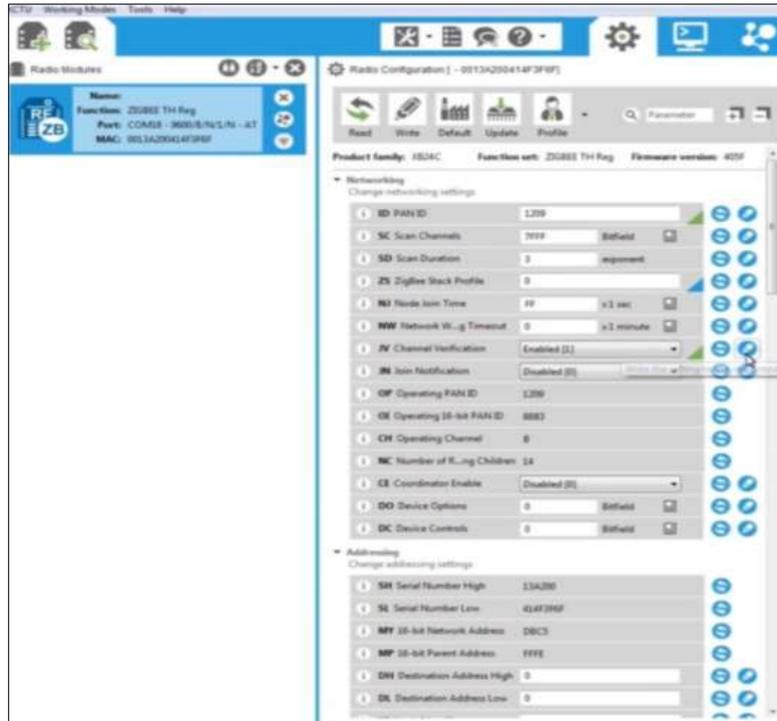
**Fuente:** Recalde, José; 2018

Es necesario configurar respectivamente los módulos XBee para poder transmitir y recibir los datos pero se debe configurar el XBee transmisor como coordinador y el XBee receptor como router. En la Tabla 15-2, en las Figuras 12-2 y 13-2 se aprecia los parámetros fundamentales que se debe configurar en los módulos Xbee.



**Figura 12-2:** Configuración coordinador XBee

**Realizado por:** Recalde, José; 2018



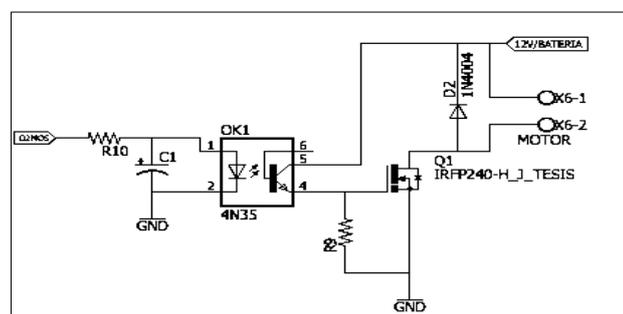
**Figura 13-2:** Configuración router Xbee

Realizado por: Recalde, José; 2018

### 2.2.3 Dispositivos electrónicos en el transmisor

#### 2.2.3.1 Conexión Mosfet

El Mosfet se encarga de la velocidad del motor para el levantamiento del panel ya que este necesita una velocidad continua baja, utiliza el pin digital pwm del Arduino Mega. En la Figura 14-2 se aprecia el Mosfet simulado en Eagle.

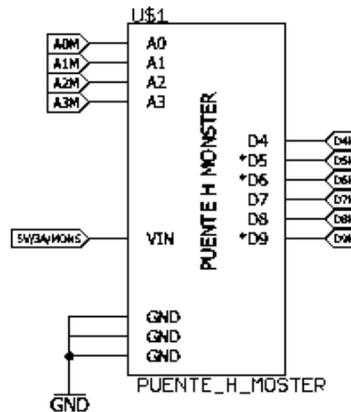


**Figura 14-2:** Conexión Mosfet

Realizado por: Recalde, José; 2018

#### 2.2.3.2 Conexión puente H Monster

Debido a que el puente H Monster es una shield de Arduino Uno se realizó algunos cambios en su conexión para poder acoplarse con Arduino Mega. En la Figura 15-2 se puede apreciar la respectiva conexión del puente H.

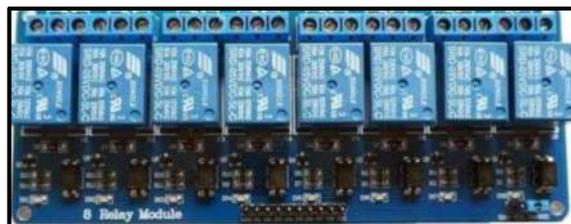


**Figura 15-2:** Conexión Puente H Monster

Realizado por: Recalde, José; 2018

### 2.2.3.3 Módulo Relay de 8 canales

El módulo relay mediante el Arduino se encarga del encendido y cambio de giro de los motores de alta potencia. En la Tabla 16-2 se puede apreciar la conexión y utilidad del Relay en el prototipo.



**Figura 16-2:** Conexión Puente H Monster

Realizado por: Recalde, José; 2018

**Tabla 16-2:** Conexión del Arduino al módulo relay

Pines Arduino Mega	Pines entrada módulo Relay	Utilización
Pin 10 digital	Pin 1	Control y giro del Motor 1
Pin 11 digital	Pin 2	
Pin 12 digital	Pin 3	
Pin 13 digital	Pin 4	Control y giro del Motor 4
Pin 14 digital	Pin 5	

Pin 15 digital	Pin 5	
Pin 16 digital	Pin 7	Giro del Motor 2
Pin 17 digital	Pin 8	

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### 2.2.3.4 Fin de carrera

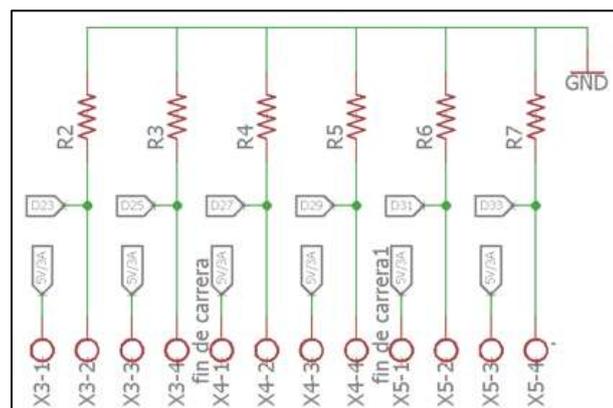
Su funcionamiento es como un switch que al sentir el contacto permite el cambio de los motores es decir de estado de reposo a estado activo o viceversa. Para el prototipo se utilizaron 6 fines de carrera. En la Tabla 17-2 se muestra la utilización de los Fines de Carrera, en la Figura 17-2 se puede apreciar el diseño en el software Eagle.

**Tabla 17-2:** Utilidad Fin de Carrera

# Fin de carrera	Estado Inicial	Utilidad
1	Cerrado	Inicia el movimiento del motor 1
2	Abierto	Detiene al motor 1
3	Cerrado	Inicia el movimiento del motor 2
4	Abierto	Detiene al motor 2 , Inicia el movimiento del motor 3
5	Cerrado	Inicia el movimiento del motor 4
6	Abierto	Detiene al motor 4

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

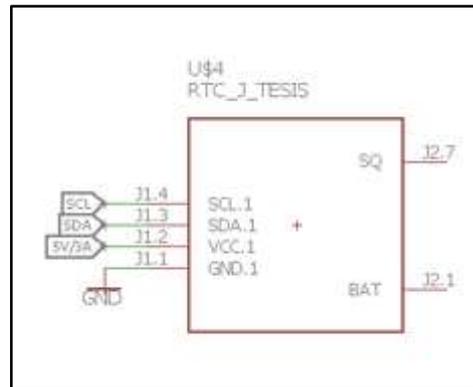


**Figura 17-2:** Diseño en Eagle Fin-Carrera

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

### 2.2.3.5 Reloj RTC Tiny

El reloj Rtc Tiny es de gran importancia en el prototipo ,debido a que el Arduino Mega necesita conocer la hora exacta para realizar los respetivos movimientos de los motores ya que el seguidor solar opera de acuerdo al movimiento horario del sol como se muestran en las Tablas 10-2, 11-2 y 12-2



**Figura 18-2:** Diseño en Eagle Reloj-Tiny  
Realizado por: Recalde, José; 2018

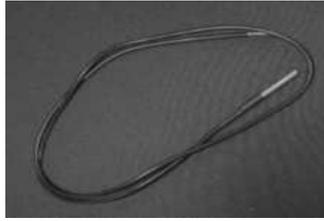
### 2.2.3.6 LM35

El sensor LM35 fue utilizado en la implementación del prototipo principalmente por su bajo costo el cual cuesta por unidad 2 dólares como también su rango de medición de la temperatura el cual es de -55°C hasta 150°C, dicho sensor se utilizó para medir la temperatura de salida del agua en el colector solar. Esta medida sirvió para que el usuario informe si la temperatura del agua es la adecuada como por ejemplo para tomar un baño. En el prototipo se utilizó la versión LM35 para el agua, el cual tiene 3 pines un analógico, VCC y GND los cuales van conectados hacia la tarjeta Arduino Mega. En la programación es necesario utilizar la Ecuación 5-2 que permite convertir el voltaje que recibe de su pin analógico y convertirlo en parámetros de grados centígrados.

**Ecuación 5-2:** Ecuación para calcular la temperatura en el LM35

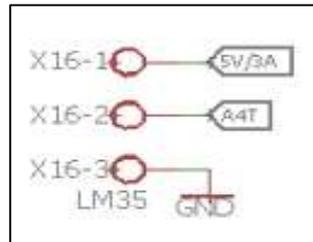
$$\text{TempC} = \frac{(5.0 \times \text{TempC} * 100.0)}{1024.0}$$

En la Figura 19-2 se puede apreciar el modelo de sensor de agua LM35.



**Figura 19-2:** LM35 para el agua

Realizado por: Recalde, José; 2018



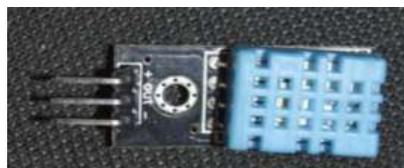
**Figura 20-2:** Conexión LM35

Realizado por: Recalde, José; 2018

En el Anexo F se puede apreciar el datasheet del sensor LM35.

### 2.2.3.7 DHT11

El sensor DHT11 fue implementado en el prototipo debido a que permite medir tanto la humedad como también la temperatura ambiente, además tiene un precio muy cómodo que opera en un rango de medición de temperatura entre los 0 y 50 ° C y el rango de medición de la humedad está entre los 20% y 80%. En el prototipo fue de gran ayuda ya que si la humedad pasa del 50%, el Arduino Mega dará la orden de guardar el seguidor solar para evitar que opere en climas con precipitaciones y si no sobrepasa sigue trabajando normalmente. En la Figura 21-2 muestra el sensor utilizado.



**Figura 21-2:** Sensor DHT11

Realizado por: Recalde, José; 2018

En la Tabla 18-2 se observa el funcionamiento del sensor DHT11 en el prototipo.

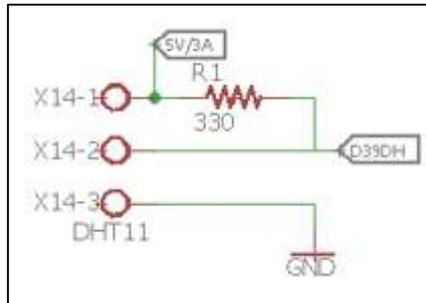
**Tabla 18-2:** Funcionamiento del sensor DHT11 en el prototipo

Variable de Medición	Trabajo
Temperatura	Medición de la temperatura ambiente en el cual se encuentra expuesto el prototipo.

<p>Humedad</p>	<p>Medición la humedad ambiente en la cual se encuentra el prototipo, para así dar una orden de guardado si es mayor o igual 50% de humedad, y seguirá trabajando normalmente si su valor es menor al 50%</p>
----------------	---

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018



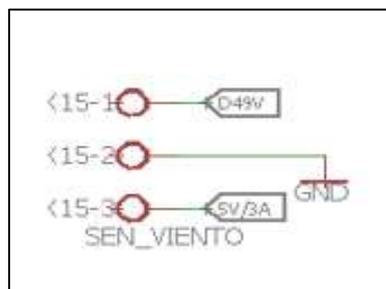
**Figura 22-2:** Conexión sensor DHT11

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

En el Anexo F se puede apreciar el datasheet del sensor DHT11.

### 2.2.3.8 Anemómetro

El anemómetro es un sensor que permite medir la velocidad del viento, debido a que los precios de un anemómetro en el país sobrepasan los 100 dólares se decidió armar un anemómetro digital casero. El cual estará formado por materiales de bajos costos y para su medición digital se utilizó el sensor de efecto Hall M44. El circuito electrónico del Anemómetro se lo puede observar en la Figura 23-2.



**Figura 23-2:** Conexión del sensor-viento

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

El anemómetro en el prototipo permite obtener una estimación de la velocidad del viento mediante un imán de neodimio, dicho sensor sirvió para guardar el seguidor solar automáticamente para

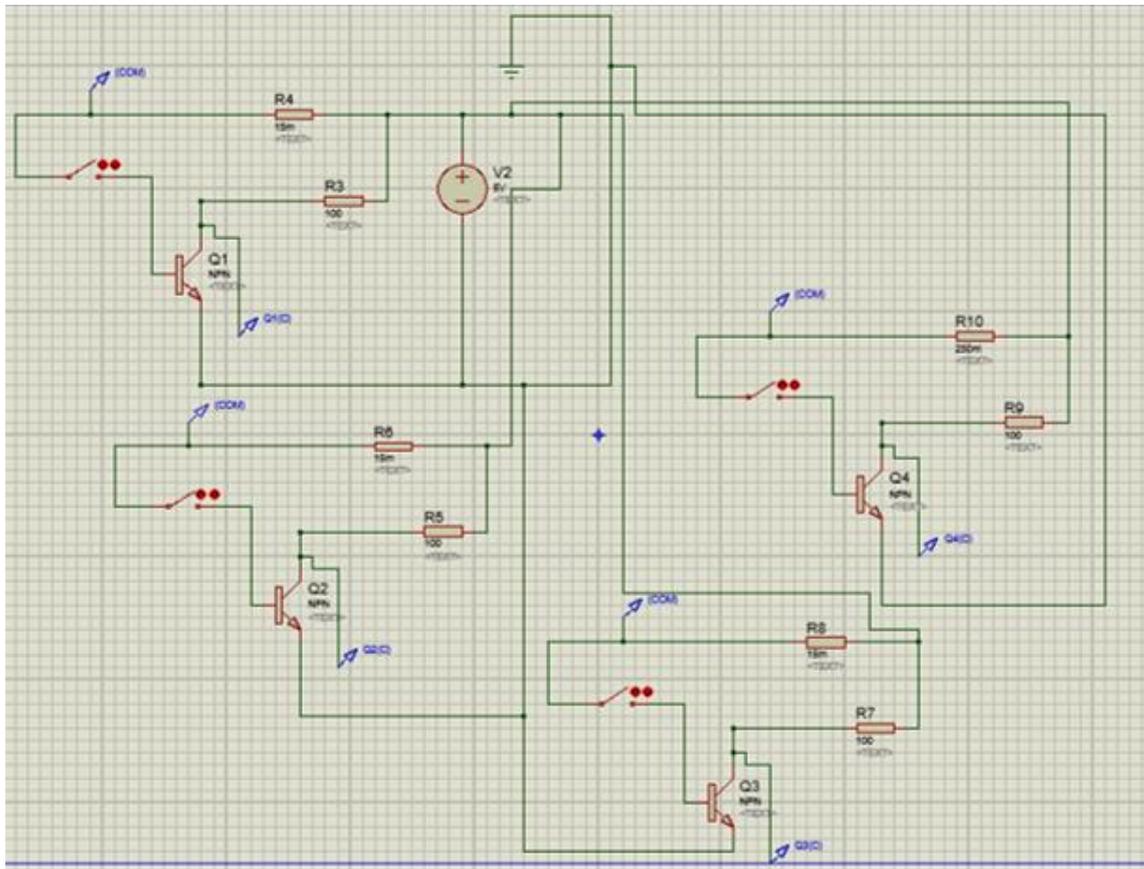
evitar daños en el mismo, está orden se la realiza por medio de la tarjeta Arduino Mega siempre y cuando la velocidad del viento sobrepasa los 15 Km/hr.

En el Anexo F se puede apreciar el datasheet del sensor Efecto Hall.

### 2.2.3.9 Sensor de nivel del agua

Los módulos de sensores de nivel de agua disponibles para placas microcontroladoras miden distancias pequeñas, por esta razón se diseñó un sensor adecuado para la necesidad del proyecto. Este sensor se lo utilizó dentro del tanque de almacenamiento del colector solar, permitiendo saber si el nivel del agua es bajo, medio o lleno.

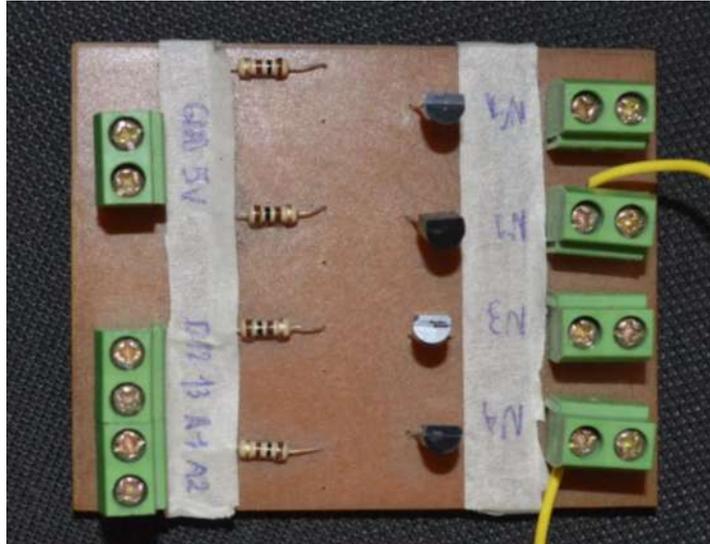
En la Figura 24-2 se muestra el diseño electrónico del sensor de nivel de agua mediante el simulador Proteus 8.



**Figura 24-2:** Diseño electrónico del sensor de nivel de agua

Fuente: Recalde, José; 2018

El sensor de nivel de agua está conformado por 4 switches mecánicos, 4 transistores NPN, el sensor se lo colocó dentro de una varilla de plástico para así aislar el agua de las conexiones del circuito. La implementación del circuito se puede observar en la Figura 25-2.



**Figura 25-2:** Implementación del sensor de nivel de agua

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

El sensor consta de 4 pines digitales del Arduino que sirvieron como entrada, los cuales nos muestran los 5 estados del sensor: En la tabla 19-2 se puede observar el funcionamiento del sensor de nivel de agua.

**Tabla 19-2:** Funcionamiento del sensor de nivel de agua

Pin D41	Pin D43	Pin D45	Pin D47	Nivel del agua (Porcentaje)
HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	0%
LOW	HIGH	HIGH	HIGH	25%
LOW	LOW	HIGH	HIGH	50%
LOW	LOW	LOW	HIGH	75%
LOW	LOW	LOW	LOW	100%

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

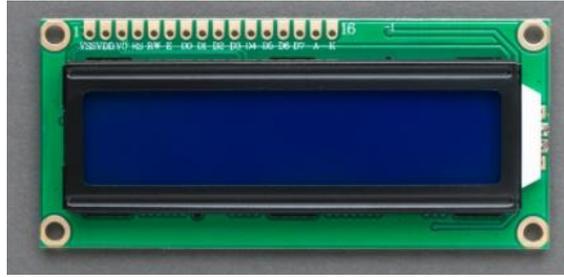
En el Anexo F se puede apreciar su coraza de protección.

#### 2.2.4 Dispositivos electrónicos en el receptor

El prototipo cuenta con un módulo de recepción que recibe los datos transmitidos por el módulo de transmisión y lo visualiza mediante un LCD 16x2. Esta etapa opera con el modulo inalámbrico Xbee S2c conjuntamente con el Arduino Uno para recepción de cada uno de los sensores a través de un switch, dichos resultado son visualizados en el LCD 16X2.

##### 2.2.4.1 LCD 16x2

El LCD 16x2 es necesario en modulo receptor debido a que es utilizado para la visualización de los datos de los sensores que llegan por medio del módulo transmisor.

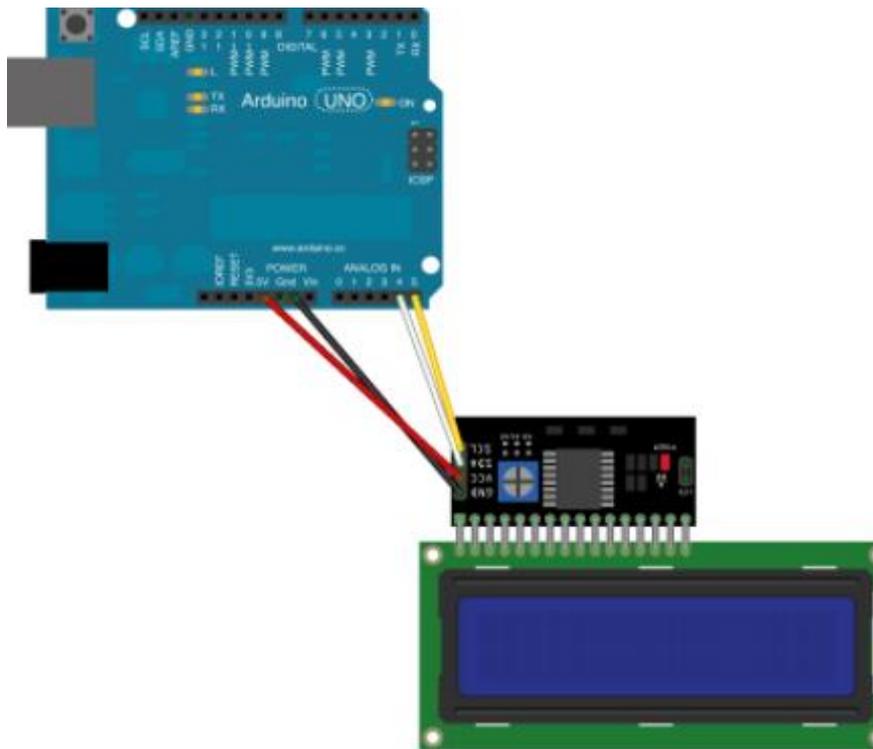


**Figura 26-2:** LCD 16x2

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

#### 2.2.4.2 Bus I2C

El bus I2C es utilizado para poder comunicar el LCD con el Arduino Uno, mediante la utilización de los pines SDA y SCL de la tarjeta de adquisición, evitando así el uso de pines digitales de la misma. En la Figura 27-2 se puede apreciar la conexión del Bus I2C con el Arduino Uno y el LCD 16x2.



**Figura 27-2:** Conexión Bus I2C con LCD 16x2

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

### 2.2.4.3 Switch

El módulo receptor contiene 5 switches los cuales dan la orden al Arduino Uno de poder visualizar específicamente el valor de un sensor dependiendo que switch se aplaste. En la Tabla 20-2 se puede apreciar la equivalencia y utilidad de los switches en el receptor.

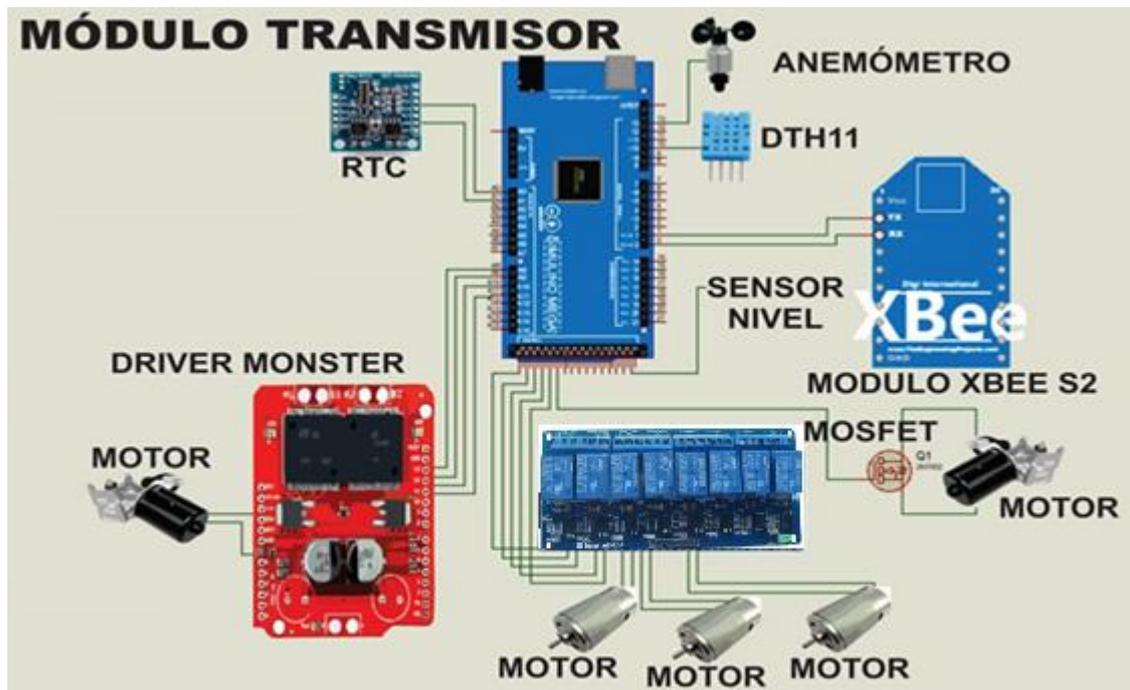
**Tabla 20-2:** Equivalencia de los switches en el Receptor

Switches	Pines Equivalentes	Utilidad
1	D2	Sensor de temperatura ambiente
2	D4	Sensor de Humedad ambiente
3	D5	Sensor de temperatura del agua
4	D6	Sensor de nivel del agua
5	D7	Sensor de velocidad del viento

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

### 2.3 Diseño e implementación módulo transmisor



**Figura 28-2:** Esquema del módulo transmisor

Realizado por: Recalde, José; 2018

En la Tabla 21-2 muestra todos los pines utilizados en el Arduino Mega los cuales fueron utilizados en el control de los motores, sensores y transmisión inalámbrica.

**Tabla 21-2:** Pines del Arduino Mega en el prototipo

<b>Pin</b>	<b>Función</b>
A0	Pin que utiliza el puente H monster
A1	Pin que utiliza el puente H monster
A2	Pin que utiliza el puente H monster
A3	Pin que utiliza el puente H monster
A4	Pin que utiliza el sensor LM35
D0	Pin que se usa para la recepción de datos del Xbee.
D1	Pin que se usa para la Transmisión de datos del Xbee.
D2	Pin que se usa para generar PWM.
D4	Pin que utiliza el puente H monster
D5	Pin que utiliza el puente H monster
D6	Pin que utiliza el puente H monster
D7	Pin que utiliza el puente H monster
D8	Pin que utiliza el puente H monster
D9	Pin que utiliza el puente H monster
D10	Pin que utiliza el relay
D11	Pin que utiliza el relay
D12	Pin que utiliza el relay
D13	Pin que utiliza el relay
D14	Pin que utiliza el relay
D15	Pin que utiliza el relay
D16	Pin que utiliza el relay
D17	Pin que utiliza el relay
D20	Pin que utiliza el reloj Tiny
D21	Pin que utiliza el reloj Tiny
D23	Pin que utiliza el fin de carrera
D25	Pin que utiliza el fin de carrera
D27	Pin que utiliza el fin de carrera
D29	Pin que utiliza el fin de carrera
D31	Pin que utiliza el fin de carrera
D33	Pin que utiliza el fin de carrera
D39	Pin que utiliza el sensor DHT11
D41	Pin que utiliza el sensor de nivel
D43	Pin que utiliza el sensor de nivel
D45	Pin que utiliza el sensor de nivel
D47	Pin que utiliza el sensor de nivel
D49	Pin que utiliza el anemómetro

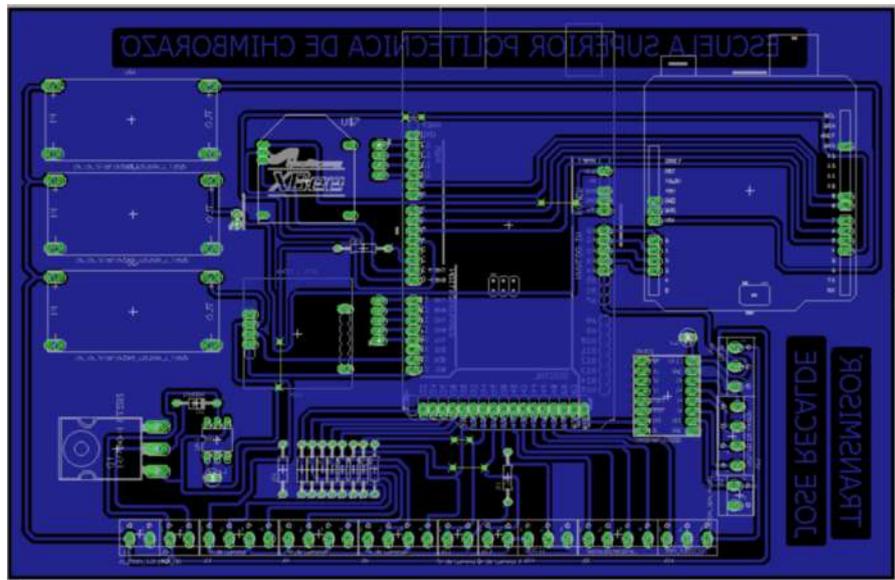
**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

### 2.3.1 Diseño de la PCB

Una vez esquematizada las conexiones del módulo transmisor, se diseña la placa PCB de control. Empleando el software EAGLE se diseñaron las conexiones junto con los demás elementos.

Culminada la etapa de diseño se procedió a la elaboración del PCB haciendo uso de EAGLE BOARD donde se realizó los ruteos (conexiones de los elementos). Además se aplicó una cubierta de GND para disminuir ruido entre los elementos como se muestra en la Figura 29-2.



**Figura 29-2:** PCB en Eagle transmisor

**Fuente:** Recalde, José; 2018

#### 2.3.1.1 Implementación de la PCB

Teniendo el diseño finalizado, este se imprimió en una impresora láser sobre papel couche y empleando la técnica de planchado se transfirió el diseño mediante calor hacia la baquelita. Posteriormente las pistas son corroídas mediante el ataque de ácido férrico quedando lista para ser perforada y para ubicar todos los elementos y ser soldados quedando un resultado como se muestra en la Figura 30-2.



### 2.4.1.1 Diseño de la PCB

Para el diseño de la PCB del módulo receptor primero se realizó el circuito electrónico en EAGLE debido a que Eagle tiene variedad de librerías que permitieron obtener un mejor diseño del circuito. En la Figura 32-2 se muestra el diseño electrónico respectivo del Módulo Receptor.

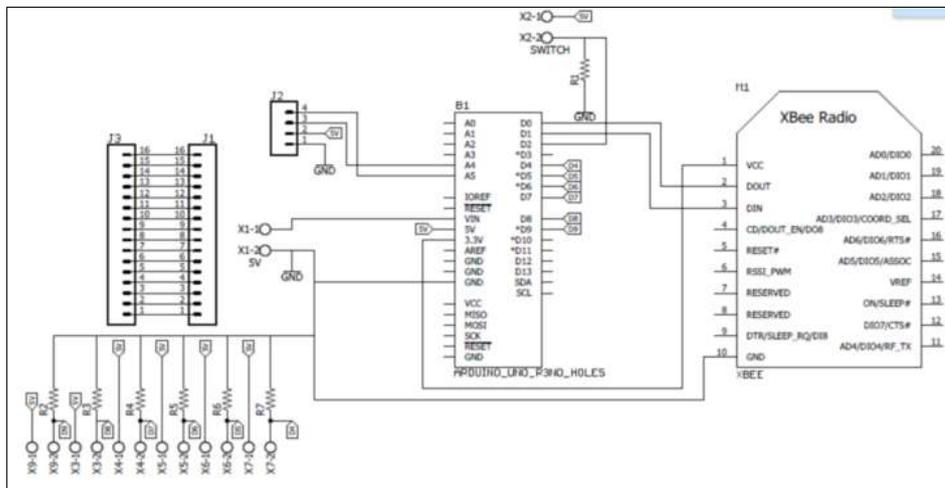


Figura 32-2: Módulo receptor

Realizado por: Recalde, José; 2018

Terminado el diseño del circuito, se realizó su respectiva PCB mediante el uso de EAGLE que se puede apreciar en la Figura 33-2.

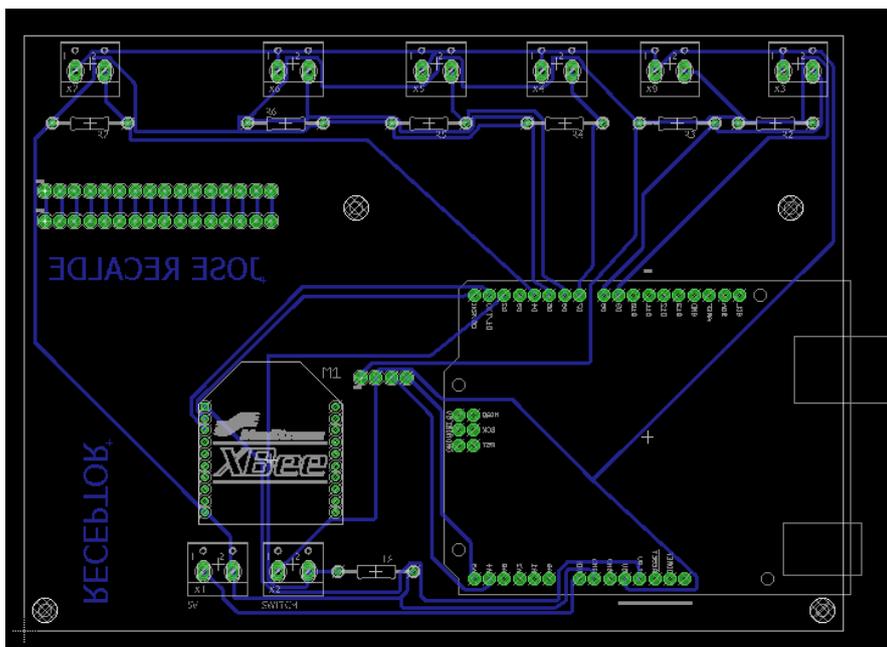


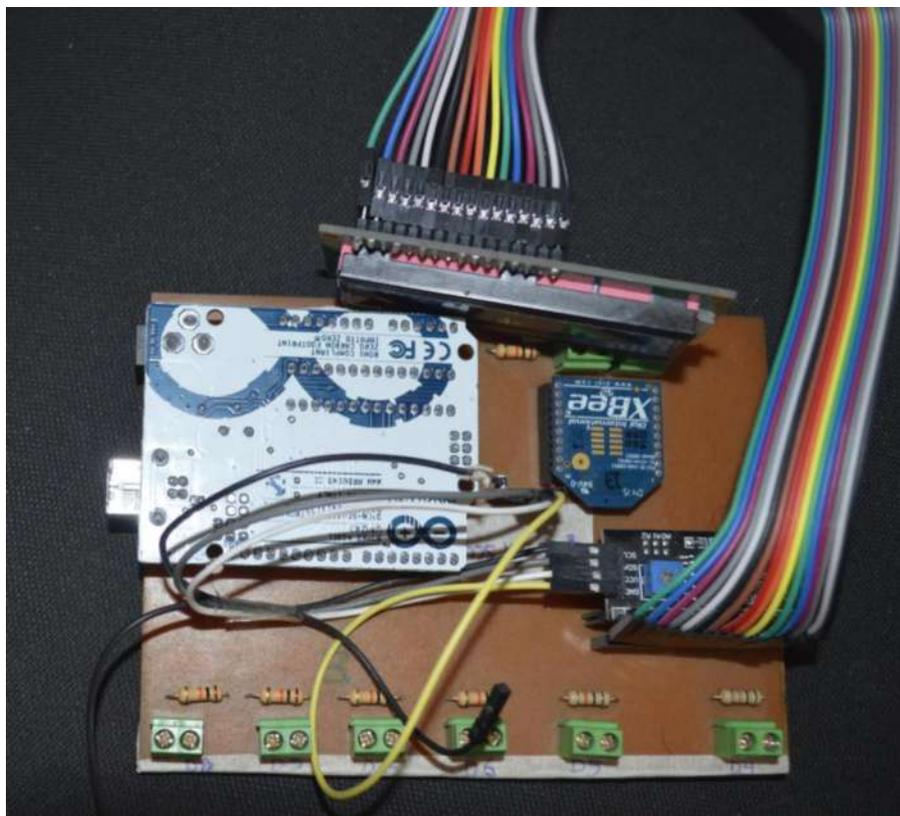
Figura 33-2: Módulo receptor implementado

Realizado por: Recalde, José; 2018

En el Anexo H se puede apreciar la cubierta protectora respectiva del Módulo receptor como también su PCB.

#### 2.4.1.2 Implementación

El Receptor está constituido por una placa Arduino Uno, 6 switches indicadores de la información, un LCD y un bus I2C. La Tabla 19-2 muestra la equivalencia de los pines digitales en el receptor. El Arduino efectúa la comunicación con el Arduino transmisor en forma bidireccional, donde el LCD muestra el valor que mandan los sensores, la posición en que se encuentra el prototipo. En la Figura 34-2 se aprecia el modulo receptor implementado.



**Figura 34-2:** Modulo receptor implementado

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

En el Anexo I se muestra las distintas pruebas de funcionamiento total del prototipo.

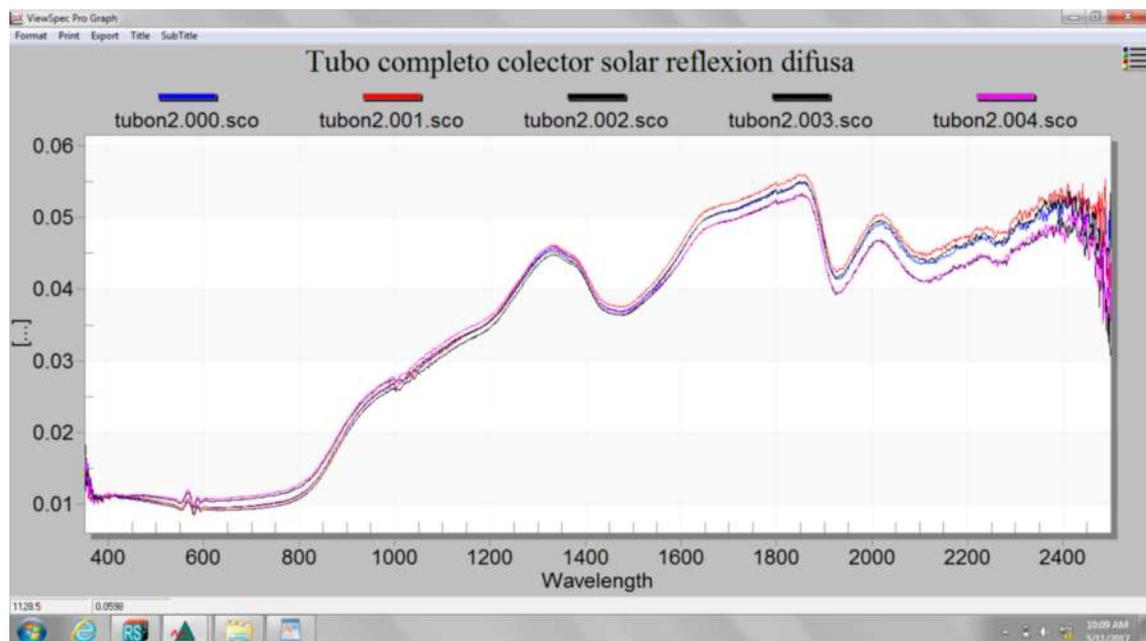
## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se muestran, las distintas pruebas y resultados obtenidos tanto para la elección del material reflectante a utilizar, mediante el espectroradiómetro como también en la implementación del prototipo tanto hardware y software, los cuales cumplen con requerimientos del sistema. También se realiza un análisis del costo de fabricación del prototipo. Se utilizó estadística descriptiva para el análisis de datos.

#### 3.1 Resultados del nivel de reflectancia utilizando el espectroradiómetro

Utilizando el Espectroradiómetro FieldSpec 4 se midió el nivel de reflectancia de algunos materiales de peso liviano como también el de los tubos del vacío del colector solar, con el objetivo de poder elegir el material más adecuado para utilizar en el panel reflector del prototipo.

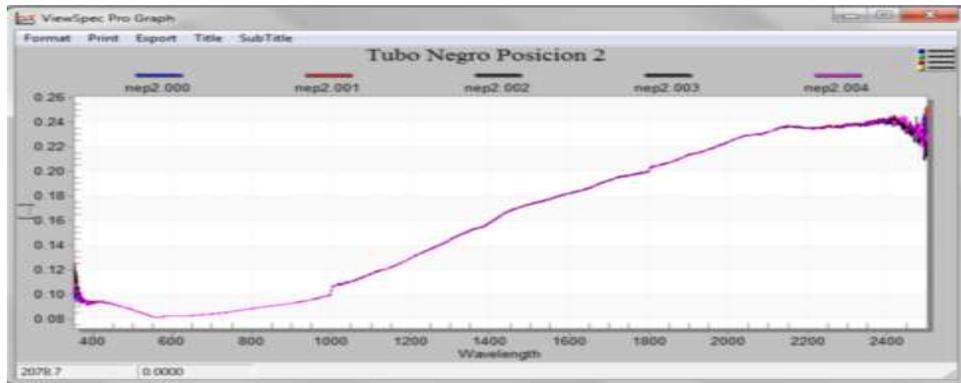


**Gráfico 1-3:** Nivel de absorción solar de un tubo al vacío completo

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

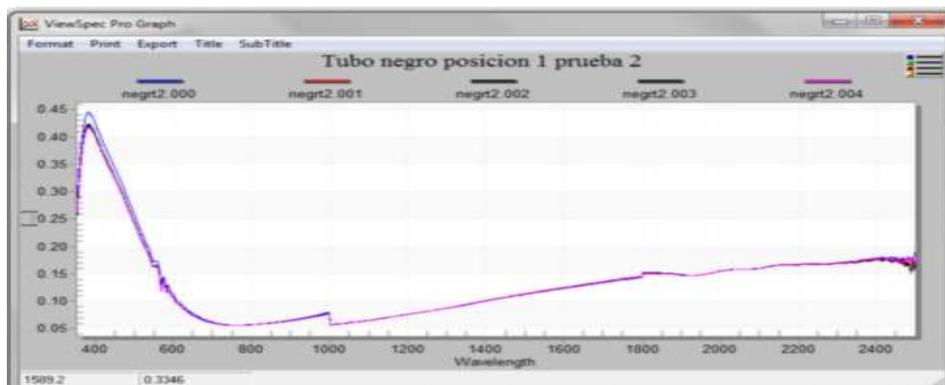
En el Gráfico 1-3 se muestra el nivel de absorción del tubo al vacío del calefón solar, en el cual se puede observar que el porcentaje de reflexión difusa se encuentra entre el 1% y 2% y tiene un comportamiento creciente, que en las longitudes de onda de los infrarrojos se encuentran desde 2% hasta los 5,5%. Concluyendo así que el tubo al vacío del calefón solar es un material muy

absorbente, en relación de las longitudes de onda, porque absorbe más del 98% de la longitud de onda que emana el sol, en el espectro visible y más del 96% en las longitudes de onda del infrarrojo.



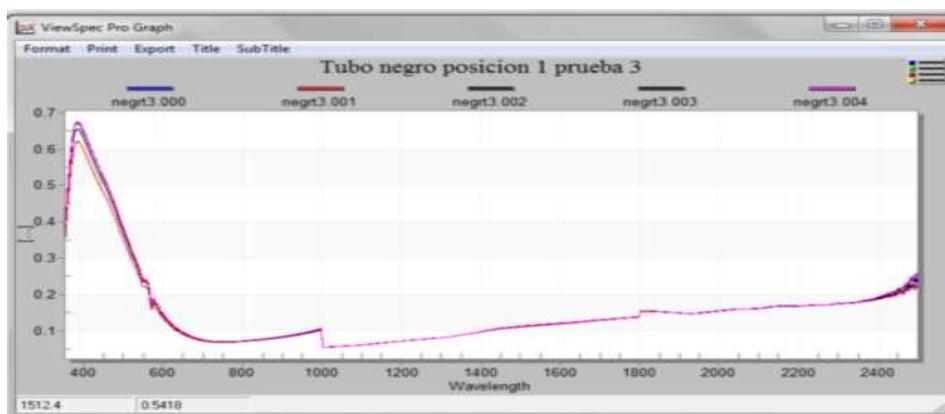
**Gráfico 2-3:** Absorción solar parte interna del tubo al vacío Posición 2

Realizado por: Recalde, José; 2018



**Gráfico 3-3:** Absorción solar parte interna tubo al vacío Posición 1 prueba 2

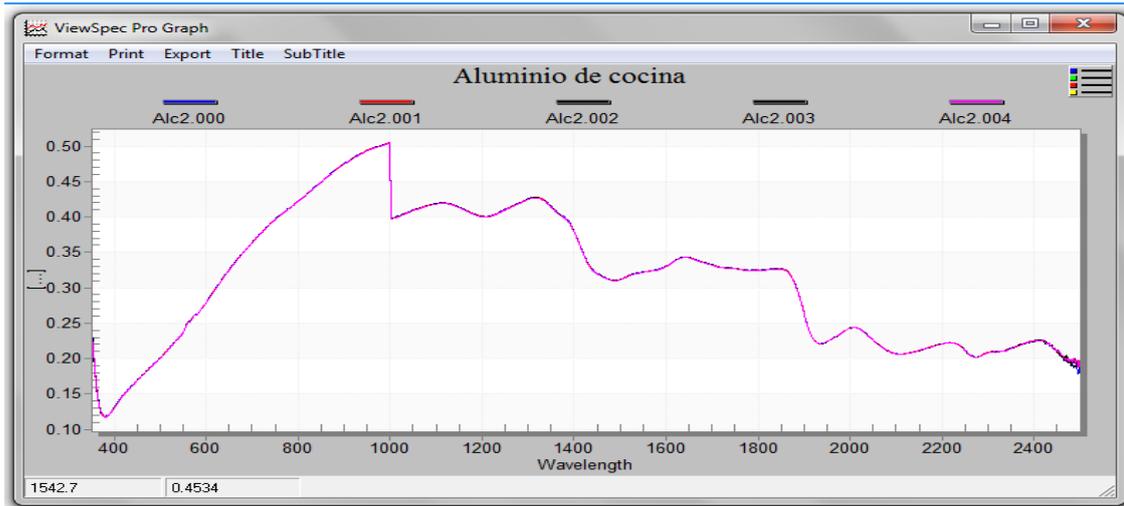
Realizado por: Recalde, José; 2018



**Gráfico 4-3:** Absorción solar parte interna tubo al vacío Posición 1 prueba 3

Realizado por: Recalde, José; 2018

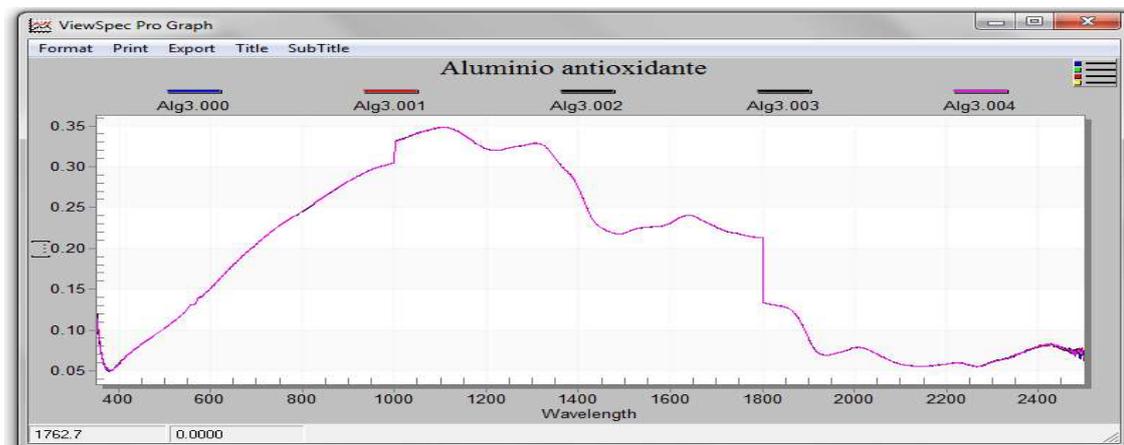
En los Gráficos 2-3, 3-3 y 4-3 se puede apreciar las diferentes pruebas que se realizaron para medir la absorción de la parte interior del tubo al vacío, la parte llamada tubo negro. Donde se observa, que en las tres pruebas de absorción del tubo es mayor en los 400 nm y menor en 2400 nm de la longitud de onda. Con un aproximado de menor a 90% de absorción en los 400 nm y en crecimiento hasta 2400 nm donde tiene un 85% de absorción. Además se observa valores elevados al inicio de las pruebas, simplemente son picos que se producen en la transacción entre la base blanca de referencia y poner el tubo negro, en posición de medición.



**Gráfico 5-3:** Nivel de reflectancia especular del papel aluminio de cocina

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

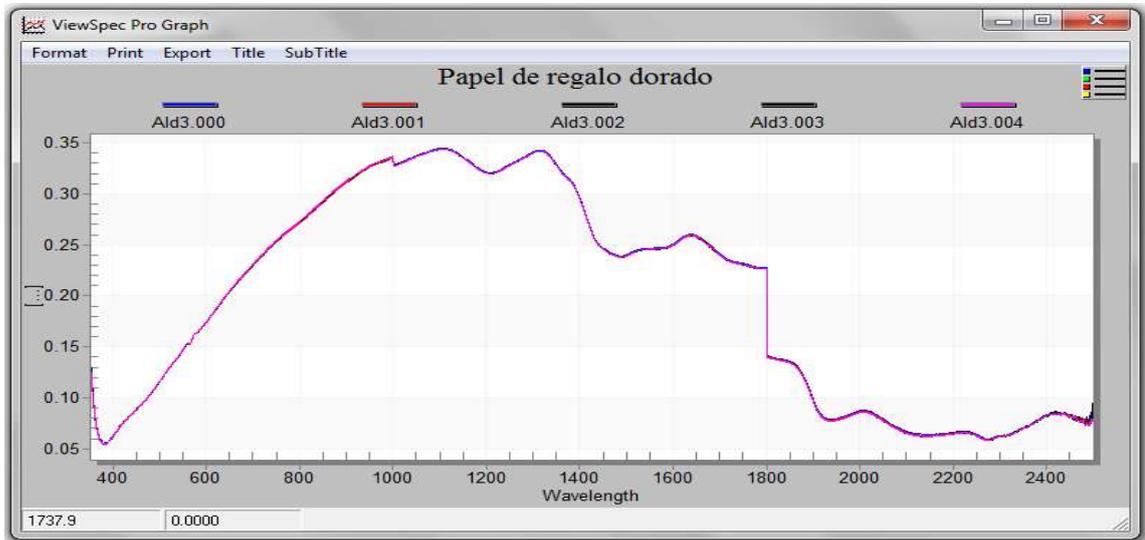
En el gráfico 5-3 se observa, que el papel aluminio de cocina, tiene un máximo de reflexión especular de 50 % por los 900 nm y un mínimo de 20 % en los 2400 nm de longitud de onda.



**Gráfico 6-3:** Nivel de reflectancia especular del aluminio antioxidante

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

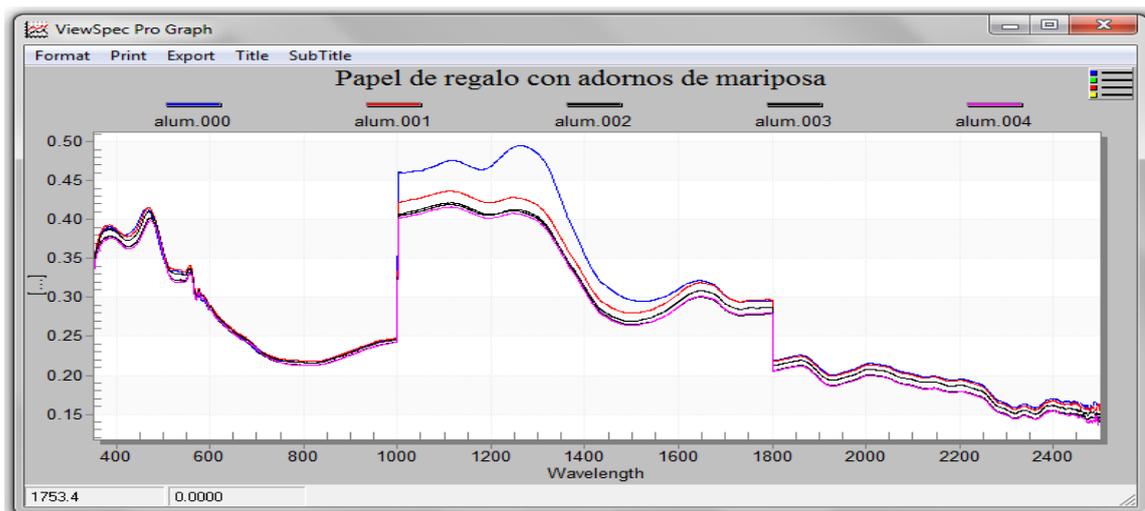
El Gráfico 6-3 muestra el nivel de reflectancia especular del aluminio antioxidante el cual tiene una reflectancia especular máxima de 35 % entre los 1000 nm y un mínimo de 7 % a los 2400 nm.



**Gráfico 7-3:** Nivel de reflectancia especular del papel de regalo dorado

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

La reflectancia especular de papel de regalo dorado se muestra en el Gráfico 7-3, tiene un máximo de 35 % ente los 900 nm y un mínimo de 8 % en los 2400 nm.

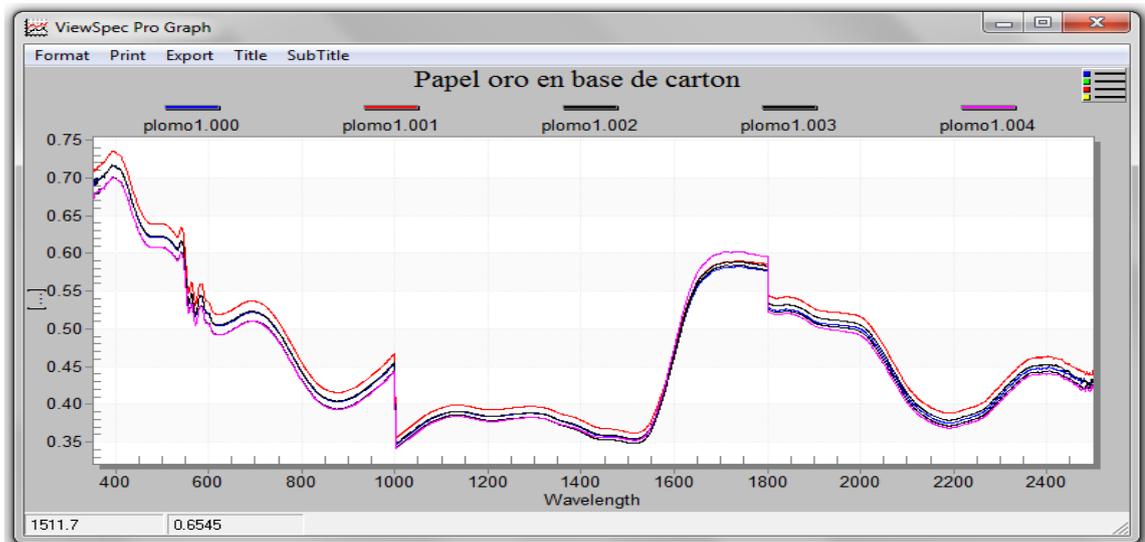


**Gráfico 8-3:** Nivel de reflectancia especular del papel de regalo plateado

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

La reflectancia que tiene este papel translucido varía dependiendo el valor de la longitud de onda. Entre los 400 nm tiene una reflectancia especular de 40 %, entre los 1000 – 1400 nm con un

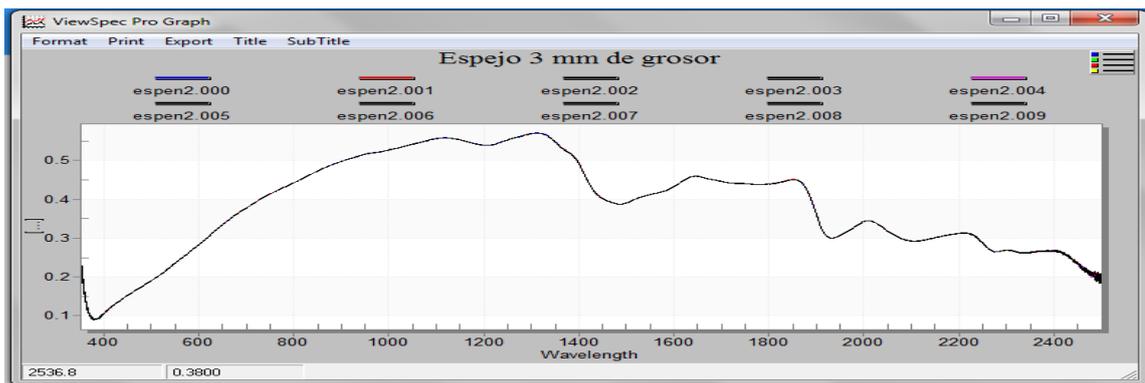
máximo de 48% y finalmente entre los 1800-2400 nm posee un máximo de 20% de reflexión especular.



**Gráfico 9-3: Nivel de reflectancia especular del papel oro.**

Realizado por: Recalde, José; 2018

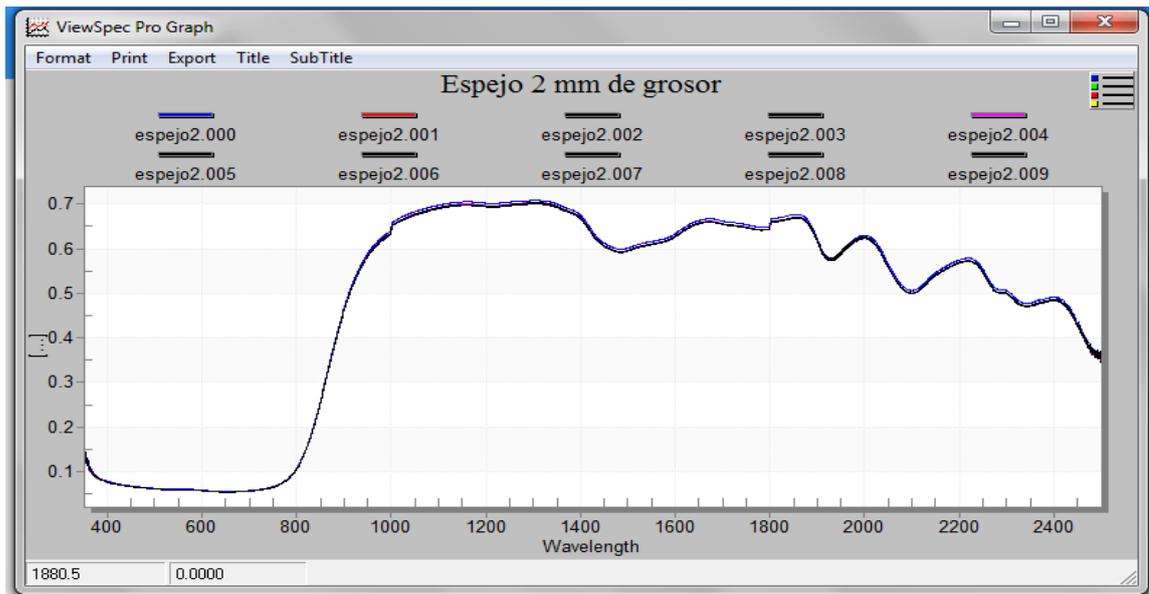
En el Gráfico 9-3 se muestra el nivel de reflexión especular del papel oro, el cual dependerá del valor de la longitud de onda, que a los 400 nm llega hasta 73% de reflexión, a los 600 nm llega hasta los 53 %, decreciendo a los 1200 nm llega a los 40 % de reflexión especular, incrementándose a los 1700 nm llegando hasta los 60 % de reflexión especular, mientras que a los 2400 nm llega a 47 % de reflexión.



**Gráfico 10-3: Nivel de reflectancia especular del espejo de 3 mm de grosor.**

Realizado por: Recalde, José; 2018

El Gráfico 10-3 muestra que a los 1000 nm llega su máxima reflexión de 55% y tiene un comportamiento decreciente que a los 2400 nm tiene una reflexión del 20%.



**Gráfico 11-3: Nivel de reflectancia especular del espejo de 2 mm de grosor.**

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

El Gráfico 11-3 muestra el espejo de 2 mm de grosor, tiene un comportamiento eficiente de reflectancia especular a los 900 nm con 70 % de reflexión decreciendo hasta el 45 % a los 2400 nm de longitud de onda. El Anexo I se indica el uso del FieldSpec 4

### 3.2 Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas del funcionamiento del prototipo se realizaron se consideraron diferentes aspectos como: cobertura del módulo inalámbrico, consumo de corrientes, análisis de la eficiencia del prototipo.

#### 3.2.1 Comunicación inalámbrica

Se realizó las respectivas pruebas de transmisión y recepción, de los datos transmitidos mediante los módulos XBee S2c tomando en cuenta la distancia, retardo. En la Tabla 1-3 se muestra las diferentes pruebas realizadas.

**Tabla 1-3: Cobertura del XBee S2c**

Distancia de Cobertura	Retardos
100 m	Ninguno
200 m	Ninguno
300 m	Ninguno
400 m	Ninguno
500 m	Ninguno

600 m	Ninguno
700 m	Ninguno
800 m	Ninguno
900 m	Ninguno
1000 m	Ninguno
1100 m	5 segundos de retardo
1200 m	Falla en transmisión de datos

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

Los módulos inalámbricos operan correctamente hasta los 1000 m debido a que no tienen ningún retardo, pero pasado los 1000 metros comienzan aparecer retardos y pasado los 1200 metros falla totalmente la transmisión.

### 3.2.2 Consumo de corriente del sistema electrónico

Se realizó la respectiva valorización del consumo de corriente, que utiliza cada dispositivo electrónico tanto en el módulo transmisor como en módulo receptor, se muestra en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Potencia absorbida por el prototipo

Componente	Corriente (Amperios)	Voltaje (Voltios)	Potencia (Wattios)
Placas Arduino	100 mA	5 V	1.2 W
Placa Arduino Mega	750 mA	5 V	3,75W
Relay 8 canales	85 mA	5 V	0.425 W
Motor 1 DC	5 A	12 V	60 W
Motor 2 Limpia Parabrisas	5 A	12 V	60 W
Moto Reductor 3	4 A	12 V	48 W
Motor 4 Limpia Parabrisas	6 A	12 V	72 W

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

La corriente total requerida por modulo receptor es de 100 mA ya que el Arduino Uno se encarga de distribuir corriente al LCD y su voltaje es de 5v por lo tanto es suficiente un cargador que provee de una intensidad de corriente de un amperio.

La corriente total requerida en el caso del transmisor es de 6,83 A de con un voltaje de 12 voltios. Los componentes que más corriente utilizan en el caso del transmisor son los motores debido a la

fuerza que realizan, pero se debe tener claro el funcionamiento de los motores, porque cada motor opera individualmente, esto quiere decir que cada motor tiene un funcionamiento en distintos tiempos, con relación al tiempo de los otros motores, por lo tanto una fuente de 8 amperios es suficiente para poder suministrar de energía a todo el modulo transmisor.

### 3.2.3 Resultados de monitorización

Se realizó el respectivo monitoreo utilizando los sensores del prototipo durante una semana:

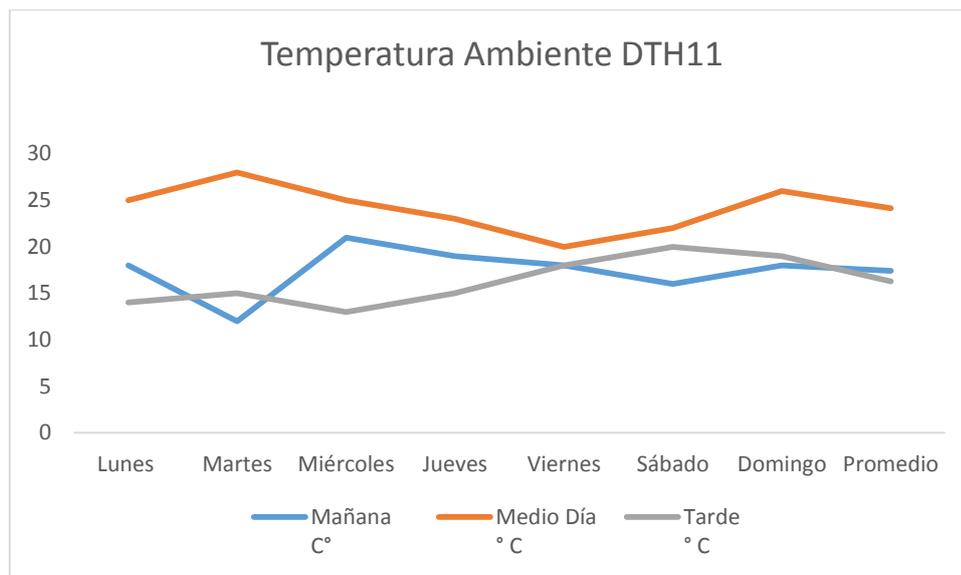
#### 3.2.3.1 Temperatura ambiente DHT11

**Tabla 3-3:** Resultados de monitorización de la temperatura ambiente

	<b>Mañana C°</b>	<b>Medio Día ° C</b>	<b>Tarde ° C</b>
<b>Lunes</b>	18	25	14
<b>Martes</b>	12	28	15
<b>Miércoles</b>	21	25	13
<b>Jueves</b>	19	23	15
<b>Viernes</b>	18	20	18
<b>Sábado</b>	16	22	20
<b>Domingo</b>	18	26	19
<b>Promedio</b>	17.42	24.14	16.28

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018



**Gráfico 12-3:** Temperatura ambiente DHT11

Realizado por: Recalde, José; 2018

Con el sensor DTH11 se realizaron varias tres pruebas diferentes en la mañana, tarde , noche y día como resultados los datos descritos en la Tabla 3-3 dando como un promedio estimado en la mañana de 17.42 ° C; al medio día 24.14° C ; en la tarde 16.28° C . Cabe recalcar que estos datos pueden varían dependiendo del clima ya sea nublado, lluvioso o que este despejado, además los datos fueron tomados en diferentes horarios.

### 3.2.3.2 Humedad relativa

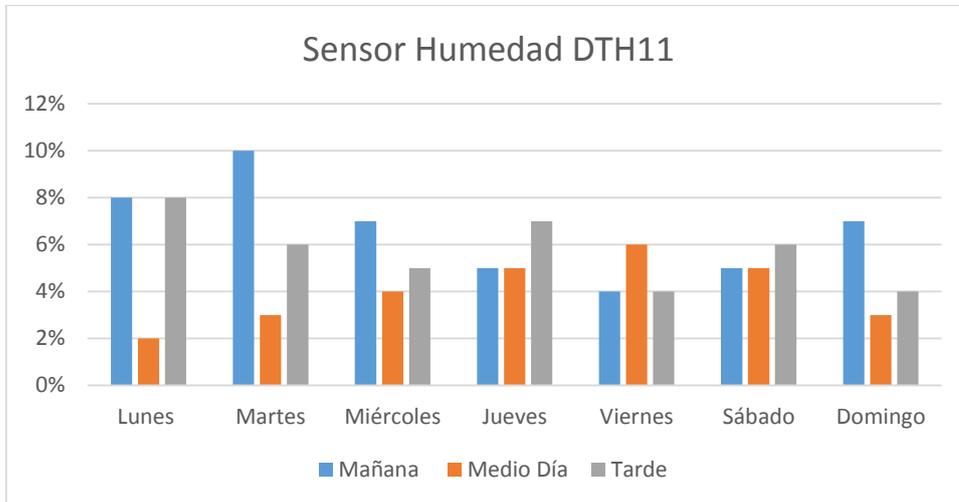
**Tabla 4-3:** Resultados de monitorización de la humedad relativa

	Mañana	Medio Día	Tarde
<b>Lunes</b>	8%	2%	8%
<b>Martes</b>	10%	3%	6%
<b>Miércoles</b>	7%	4%	5%
<b>Jueves</b>	5%	5%	7%
<b>Viernes</b>	4%	6%	4%
<b>Sábado</b>	5%	5%	6%
<b>Domingo</b>	7%	3%	4%
<b>Promedio</b>	7%	4%	6%

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

La Tabla 4-3, muestra los datos obtenidos con el sensor de Humedad DTH11 que midió la humedad relativa ambiente, donde dio como resultado del 7% de humedad relativa en la mañana, un 4% en el medio día y de un 6% en la tarde, también estos datos pueden variar dependiendo del clima que se encuentre cada día y de la hora.



**Gráfico 13-3: Sensor de Humedad DHT11**

Realizado por: Recalde, José; 2018

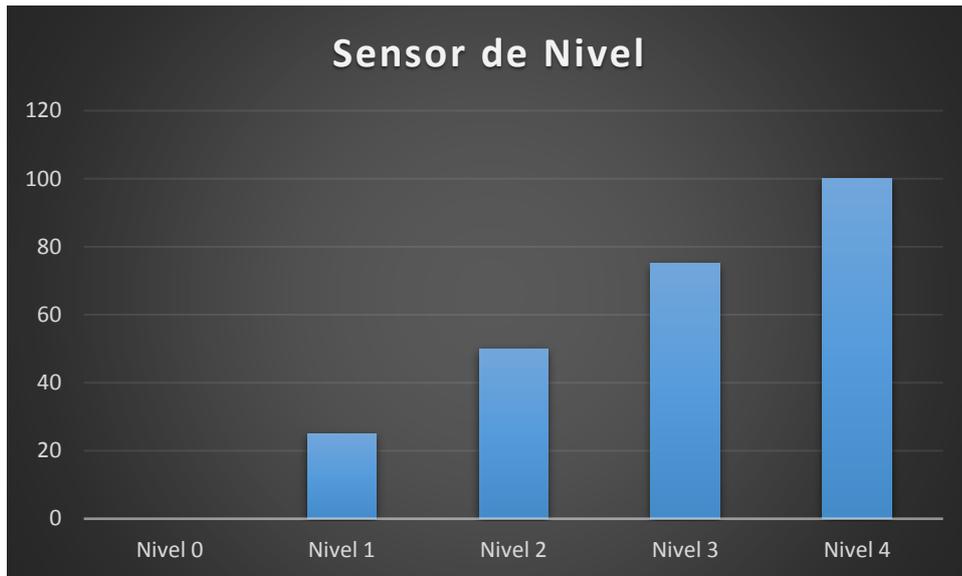
### 3.2.3.3 Nivel de agua

**Tabla 5-3: Resultado de monitorización del sensor del nivel de agua**

	SENSOR DE NIVEL DE AGUA				Estado del Tanque
	Led1	Led2	Led3	Led4	
Nivel	0 (Apagado)	0 (Apagado)	0 (Apagado)	0 (Apagado)	El tanque se encuentra vacío
Nivel 1	1 (Encendido)	0 (Apagado)	0 (Apagado)	0 (Apagado)	El nivel de agua llega a un 25%
Nivel 2	1 (Encendido)	1 (Encendido)	0 (Apagado)	0 (Apagado)	El nivel de agua en el tanque está a la mitad
Nivel 3	1 (Encendido)	1 (Encendido)	1 (Encendido)	0 (Apagado)	El nivel de agua llega a un 75 %
Nivel 4	1 (Encendido)	1 (Encendido)	1 (Encendido)	1 (Encendido)	El tanque se encuentra totalmente lleno de agua

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018



**Gráfico 14-3:** Sensor de nivel

Realizado por: Recalde, José; 2018

En el Grafico 14-3 muestra los resultados de prueba del sensor de nivel que dio como resultado lo siguiente; si el tanque se encuentra vacío no se enciende ningún led indicador , cuando el tanque comienza a adquirir agua y se enciende el Led1 esto quiere decir que el nivel de agua llega a un 25% , si se enciende el Led2 indica que el nivel de agua en el tanque se encuentra en la mitad , si llega a encenderse el Led3 el nivel de agua a llegado a un 75% , y por ultimo si se encuentran encendidos los 4 leds indicadores , se determina que el nivel de agua allega al 100% es decir se encuentra lleno.

#### 3.2.3.4 Sensor LM35

**Tabla 6-3:** Resultados monitoreo LM35

	Sensor de temperatura de agua LM35	
	Sin seguidor solar	Con seguidor solar
7 am	20°	25°
9 am	24°	28°
10 am	40	45°
11 am	50	53°
12 pm	70	72°
13 pm	50	53°
14 pm	45	50°
15 pm	43	48°
16 pm	40	44°

17 pm	30	35°
18 pm	20	24°

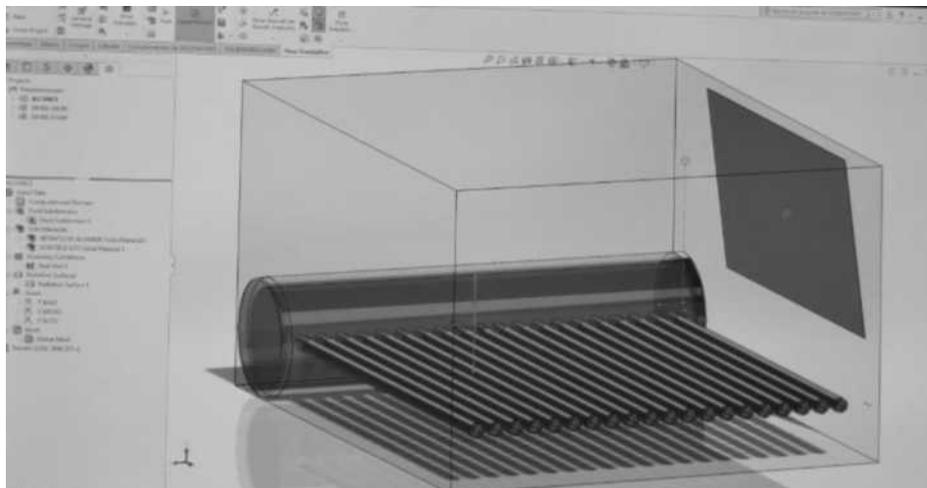
**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

Los resultados del monitoreo utilizando el sensor LM35 para al agua se lo puede apreciar en la Tabla 6-3 donde los datos sin el seguidor solar son reales y los datos haciendo uso del seguidor solar son el resultado de la simulación realizada en solidworks utilizando la Workstation perteneciente de la UNACH.

### 3.2.4 *Análisis y comparación de los resultados obtenidos del prototipo*

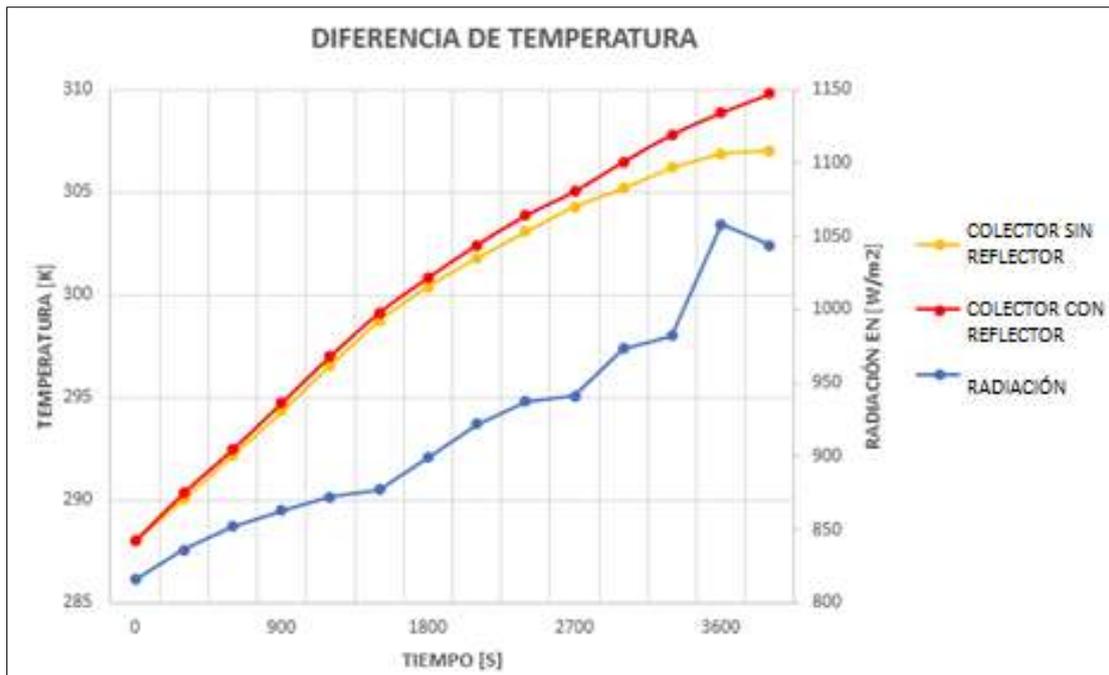
Se realizó pruebas utilizando solidworks para poder determinar el aumento de temperatura del agua en el colector solar, ya que con estos resultados se pudo comparar con los resultados del calentamiento del agua de un colector solar sin el prototipo. Para estas pruebas se utilizó la Workstation UNACH la que cuenta con 32 GB de memoria RAM que permite lograr las simulaciones en pocas en horas. En la Figura 1-3 se puede apreciar la simulación mediante las Workstation del seguidor y colector solar.



**Figura 1-3:** Simulación del seguidor solar utilizando la Workstation

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

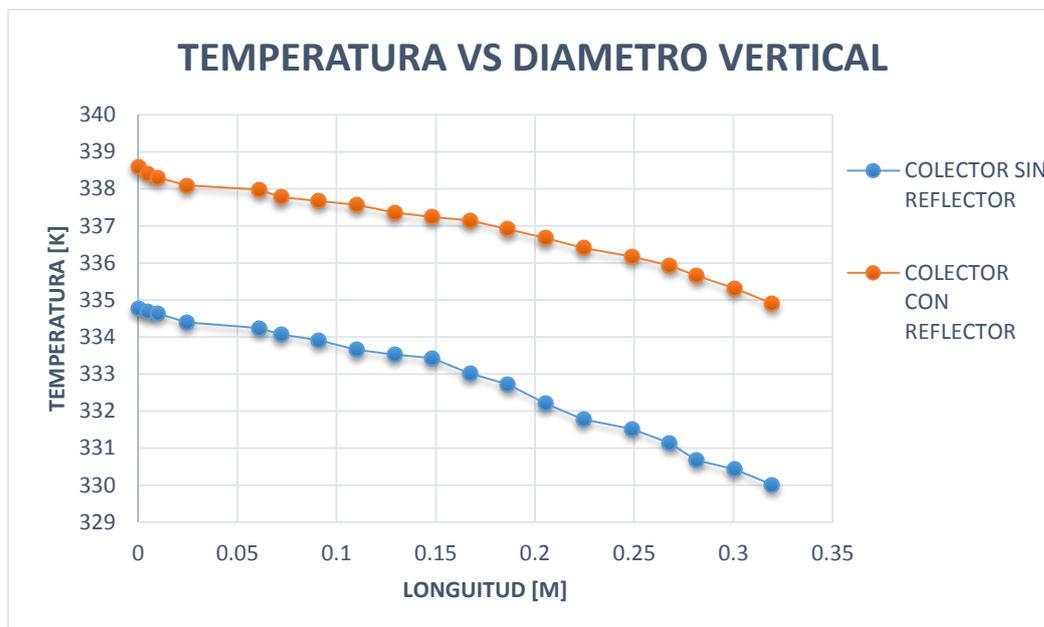
Se realizó todo un día de simulación para realizar el respectivo análisis de temperatura del agua, tomando cuenta la temperatura generada por la radiación solar como también las temperaturas del agua generadas por el colector solar sin el seguidor solar y con el seguidor solar. En el Gráfico 15-3 se puede observar los resultados dados por la simulación realizada.



**Gráfico 15-3:** Diferencia de temperatura

Realizado por: Recalde, José; 2018

La simulación realizada mediante la Workstation da como resultado un aumento de hasta 5 grados de temperatura en comparación a la simulación realizada del colector solar sin el seguidor solar dando como resultado un 10% de efectividad en el calentamiento del agua.

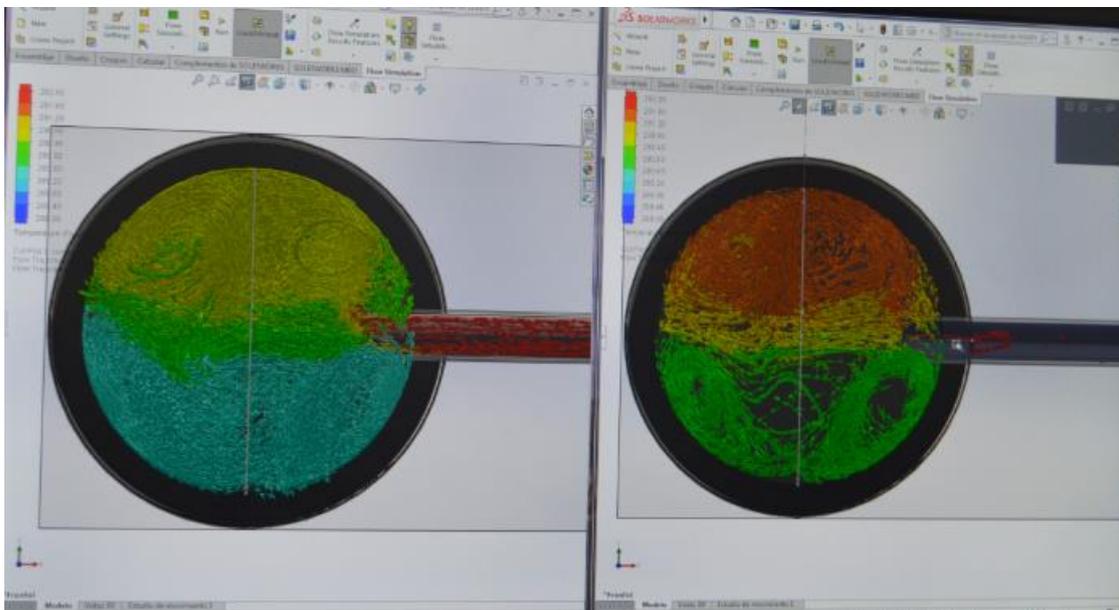


**Gráfico 16-3:** Temperatura vs diámetro vertical

Realizado por: Recalde, José; 2018

En el Grafico 16-3 se observa el comportamiento de la temperatura por diámetro vertical del tanque reservorio el cual tiene el siguiente comportamiento, a medida que aumenta su diámetro vertical la temperatura disminuye.

El colector sin el seguidor solar tiene un máximo de 335° kelvin a 0 m de longitud y un mínimo de 330° kelvin a 32 cm mientras la temperatura con el seguidor solar tiene un máximo de 339° kelvin a 0 m de longitud y un mínimo de 334,5° kelvin a 32 cm. La variación total de temperatura utilizando el seguidor solar es de 4° a 5° en todo el diámetro vertical del tanque reservorio del colector solar. En la Figura 2-3 se puede observar la variación de calor que se encuentra en tanque reservorio del colector solar cuando expuesto a la radiación solar y también cuando está actuando el seguidor solar.



**Figura 2-3:** Variación de temperaturas en tanque reservorio del colector

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

En la Tabla 7-3 se puede observar los datos obtenidos de la gráfica anterior de tal manera que se pueda observar mejor el comportamiento de la temperatura del agua.

**Tabla 7-3:** Distribución de temperaturas finales

Longitud (m)	Colector(sin prototipo)	Colector(con prototipo)
0	334,764965	338,602862
0,00494922	334,681785	338,411231
0,00989844	334,634072	338,305789
0,02436665	334,395243	338,092207
0,0610828	334,241528	337,982881
0,07196165	334,067748	337,776837
0,09099965	333,912561	337,670077
0,11003765	333,654908	337,566737

0,12907565	333,526517	337,357078
0,14811365	333,432013	337,242188
0,16715165	333,017441	337,139455
0,1862	332,717592	336,911642
0,20522765	332,205135	336,671707
0,22426565	331,777881	336,400434
0,24874308	331,518204	336,171446
0,26778108	331,135958	335,926384
0,28137965	330,667897	335,647977
0,30041765	330,432774	335,313093
0,31945565	330,011904	334,906383

Realizado por: Recalde, José; 2018

Fuente: Recalde, José; 2018

### 3.2.5 Análisis de costos del prototipo

**Tabla 8-3:** Costos del prototipo

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Computador de escritorio	1	500,00	500,00
Xbee S2C	2	40,00	80,00
Display LCD 16x2	1	6,00	6,00
Regulador de voltaje	3	4,50	13,50
Arduino Uno	1	10,00	10,00
Arduino Mega	1	15,00	15,00
Cargador de celular	1	5,00	5,00
Fuente DC-DC	1	15,00	15,00
Puente H monster	1	25,00	25,00
Driver calibrador drv8825	1	5,00	5,00
Mosfet IRFP240	1	1,00	1,00
Octocoplador 4N35	1	1,00	1,00
Bus I2C	1	5,00	5,00
Reloj Tiny	1	4,50	4,50
Final de carrera	6	1,00	6,00
Borneras	69	0,10	6,90
Baquelita A4	2	2,50	5,00
Madera tiras de 2,5x 2,5	10	1,00	10,00
Tabla triplex 1,60 x 2,10	4	10	40,00
Motor DC limpia parabrisas	2	10,00	20,00
Moto reductor	2	20,00	40,00
Motor DC	1	25,00	25,00
Rodamiento	2	1,00	2,00
Pernos con tornillos	20	2,00	40,00
Acrílico para la caja protectora	1	25,00	25,00
Pega Blanca	1	5,00	5,00

Cable timbre 20 metros	20	0,15	3,00
Otros	1	20,00	20,00
<b>TOTAL:</b>			933,90
<b>MANO DE OBRA</b>			
Piezas de metal	7	10,00	70,00
Corte triplex estructura	70	0,40 centavos por minuto	100,00
Corte piezas de madera	10	10,00	100,00
<b>TOTAL:</b>			370,00
<b>COSTO TOTAL IMPLEMENTACION DEL SISTEMA:</b>			1303,90

**Realizado por:** Recalde, José; 2018

**Fuente:** Recalde, José; 2018

En la Tabla 8-3, se especifica el valor de cada uno de elementos, componentes y servicios prestados que fueron requeridos para la implementación del prototipo. Donde los componentes electrónicos representan el 24,75 % del total del costo mientras la mano de obra directa representa el 27,43 % y los materiales utilizados para la construcción del prototipo representa el 9,12 % del costo total.

## CONCLUSIONES

- El módulo Xbee utilizado proporciona una transmisión de datos con una cobertura aproximada de 1000 m sin retardos, suficiente para nuestro propósito.
- La efectividad del calentamiento del agua en el colector solar aumenta de 1 a 5 grados en el calentamiento total del agua en el tanque reservorio.
- La tarjeta de adquisición Arduino es una herramienta fácil de utilizar, de programar y compatible con módulos de transmisión inalámbrica XBee.
- Con la ayuda de un espectroradiómetro se determinó que el material más apto para usarlo en el prototipo es el papel oro debido a su nivel de reflexión que es de 60% y su liviano peso.
- Con la ayuda de los sensores se obtuvo datos de la monitorización del sistema conociendo así los valores tanto de la mañana tarde y noche. El sensor de temperatura de agua tuvo un promedio de 28°, 56.67°, 35.6° respectivamente, la temperatura ambiente tuvo un promedio de 17.42°, 24.14°, 16.28 en el transcurso de día y el sensor de humedad tuvo un promedio de 7%, 4%, 6%. Dichos sensores estuvieron localizados en el calefón solar.
- Se logró diseñar e implementar un sistema de control y monitorización inalámbrica de un calefón solar de tubos al vacío.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar el diseño del sistema mecánico para trabajos futuros para lograr reducir costos en su implementación.
- Realizar un estudio de reflectancia de otros materiales existentes en el mercado para mejorar la eficiencia del dispositivo.
- Realizar un estudio óptico más exhaustivo sobre la forma y ángulo de reflexión del panel del seguidor solar para poder tener una mayor eficiencia en la reflectancia de los rayos solares sobre los tubos al vacío.
- Se podría mejorar este prototipo utilizando otras tarjetas de adquisición de datos que pudiesen dar facilidad para conexión a la web.

## BIBLIOGRAFÍA

**AAKVAAG, N y FREY, J.** "Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial". *Revista ABB*. [En línea], 2006, (Colombia), pp. 39-42.

[Citado el: 10 de octubre de 2017]. Disponible en:

[https://www.ie.com.co/pdf/ABB/02-2006/39-42%25202M631\\_SPA72dpi.pdf](https://www.ie.com.co/pdf/ABB/02-2006/39-42%25202M631_SPA72dpi.pdf)

**CALLE, J, FAJARDO, J y SÁNCHEZ, L.** "Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca". *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología*, n° 4 (2010), (Ecuador) pp. 57-65.

*Características NRF24L01*. [En línea] 2016. [Citado el: 14 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://bit.ly/1nm5bdf>.

*Características ZIGBEE*. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de agosto de 2017]. Disponible en:

<https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>.

*Colectores Solares*. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de diciembre de 2017]. Disponible en:

<http://www.enerwork.com/tecnologia/energia-solar-termica-tecnologia/colectores-solares/tubos-de-vidrio-al-vacio>.

*Concepto Zigbee*. [En línea] 2018. [Citado el: 01 de febrero de 2018]. Disponible en:

<http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/494-2/>.

**ESCOBAR MEJÍA, Andrés, HOLGUÍN LONDOÑO, Mauricio y OSORIO, Juan Carlos.**

"Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico".

*Revistas UTP*, vol. 1, n° 44 (2010), (Colombia) pp. 247.

*Espectroradiómetro Field 4*. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en:

<https://www.asdi.com/products-and-services/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res>.

**HOYOS, Daniel.** "Diseño y Construcción de Seguidores Solares". *Análisis y Comparación*.

*Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol 9, n° 2 (2008), (Argentina) pp. 871.

**INCROPERA, F y DEWITT, D.** *Fundamentos de Transferencia de Calor E de Massa*.

[En línea]. Cuarta. México: Pearson Educación, 1999. [Citado: 01 de octubre de 2017].

Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?id=QqfJw4tpIjcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=QqfJw4tpIjcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**JESKO, Zanis.** "Classification of solar collectors". *Engineering for rural development*, vol. 1, n° 21 (2008), (Letonia) pp. 21.

*Longitud de Onda.* [En línea] 2015. [Citado el: 11 de noviembre de 2017]. Disponible en:

<https://unicrom.com/luz-longitud-de-onda-frecuencia-colores/>.

*Módulos Bluetooth.* [En línea] 2014. [Citado el: 15 de septiembre de 2017]. Disponible en:

<http://diymakers.es/arduino-bluetooth/>.

*Módulos NR24L01.* [En línea] 2016. [Citado el: 14 de enero de 2018]. Disponible en:

<http://openhardware.pe/transceptores-nrf24l01-2-4ghz-radio-wireless-how-to/>.

*Movimiento Solar.* [En línea] 2010. [Citado el: 01 de octubre de 2017]. Disponible en:

<http://ingenieria.anahuac.mx/boletin/boletin.201004.html>.

*Placa Arduino.* [En línea] 2015. [Citado el: 15 de enero de 2018]. Disponible en:

<http://arduinoodhtics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>.

*Placa Galileo.* [En línea] 2014. [Citado el: 25 de enero de 2018]. Disponible en:

<http://intel.ly/2FcVjFf>.

**RABL, Ari.** *Active solar collectors and their applications.* [En línea]. New York Oxford : s.n., 1985. [Citado: 08 de noviembre de 2017]. Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?id=DE3wljeYCjIC&printsec=frontcover&dq=Active+solar+collectors+and+their+applications+rabl&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9lbbIsfnZAhXG11MKHV\\_tCNIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Active%20solar%20collectors%20and%20their%20applications%20rabl&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=DE3wljeYCjIC&printsec=frontcover&dq=Active+solar+collectors+and+their+applications+rabl&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9lbbIsfnZAhXG11MKHV_tCNIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Active%20solar%20collectors%20and%20their%20applications%20rabl&f=false)

**ROLDÁN ESPINOSA, Francisco José.** *El impacto social, económico y ambiental de la energía solar renovable dentro del Ecuador y su matriz energética.* [En línea] (Tesis). (Pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, 2013 [Citado el: 15 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3035/1/109432.pdf>.

**ROLDÁN MARTÍNEZ, David.** *Comunicaciones Inalámbricas: un enfoque aplicado.* [En línea] México: Alfaomega, 2005. [Citado: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en:  
<http://www.worldcat.org/title/comunicaciones-inalambricas-un-efoque-aplicado/oclc/893546848?referer=di&ht=edition>.

**ROMERO TOUS, Marcelo.** *Energía solar térmica.* [En línea]. Barcelona - España: Ceac, 2009. [Citado: 07 de diciembre de 2017]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books/about/Energ%C3%ADa\\_solar\\_t%C3%A9rmica.html?id=K6Z\\_xtq9J0cC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Energ%C3%ADa_solar_t%C3%A9rmica.html?id=K6Z_xtq9J0cC&redir_esc=y)

*Tarjeta Waspnote.* [En línea] 2015. [Citado el: 12 de noviembre de 2017]. Disponible en:  
[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspnote\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspnote_technical_guide.pdf).

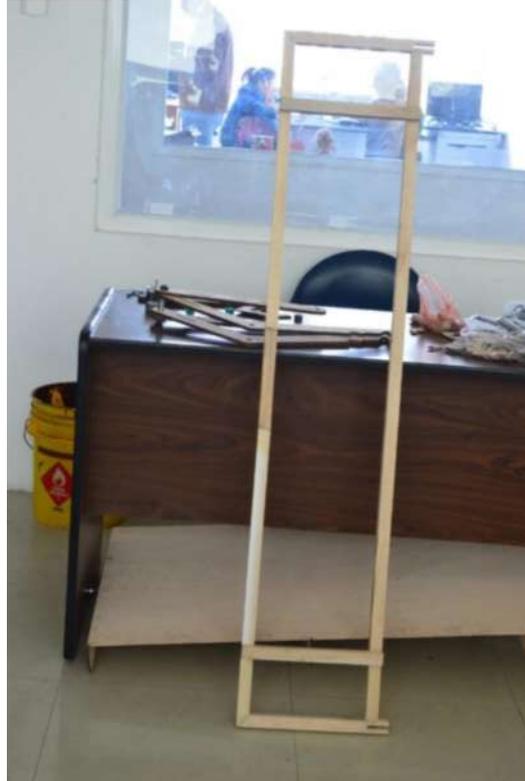
*Topologías de Red.* [En línea] 2016. [Citado el: 13 de diciembre de 2017]. Disponible en:  
<https://teleprocesos2016.wordpress.com/2016/07/18/topologia-de-red/>.

*Transmisión de calor.* [En línea] 2011. [Citado el: 10 de noviembre de 2017]. Disponible en:  
[www.termasolar.com/2011/06/7-colectores-de-vacio.html](http://www.termasolar.com/2011/06/7-colectores-de-vacio.html).

*Utilidad de Solidword.* [En línea] 2018. [Citado el: 01 de enero de 2018]. Disponible en:  
<http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>.

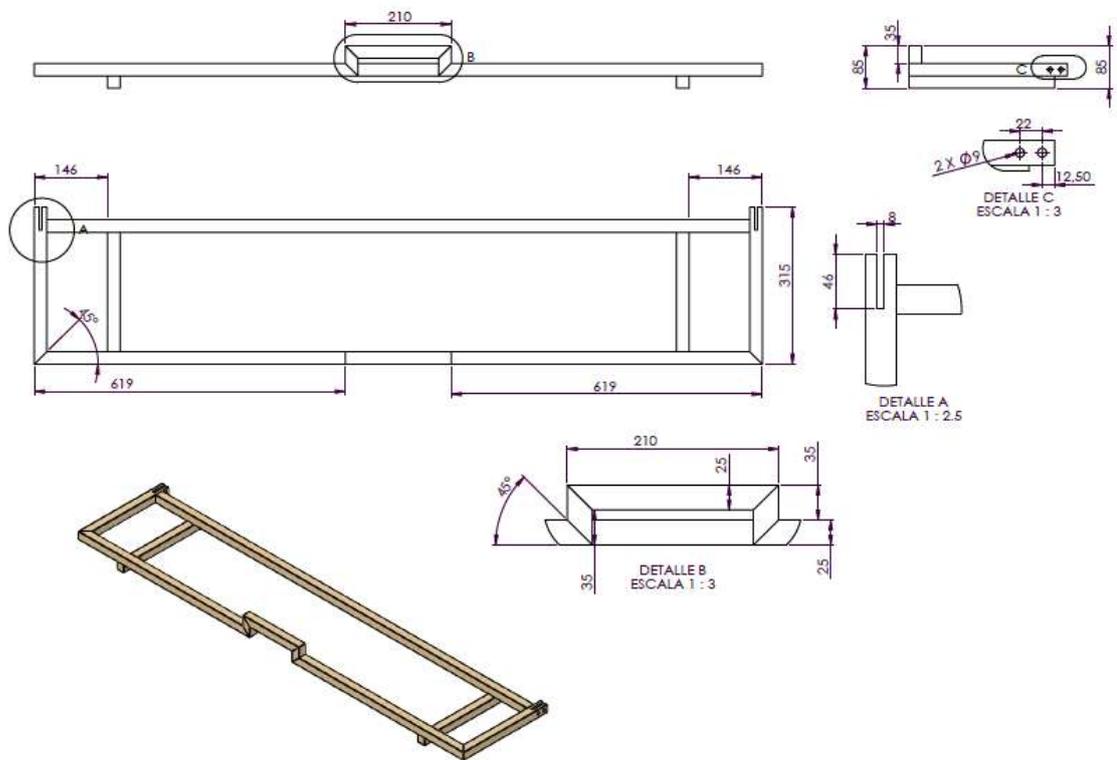
## ANEXOS

### Anexo A: Parte lateral del seguidor solar





**Anexo B:** Parte superior del Seguidor Solar

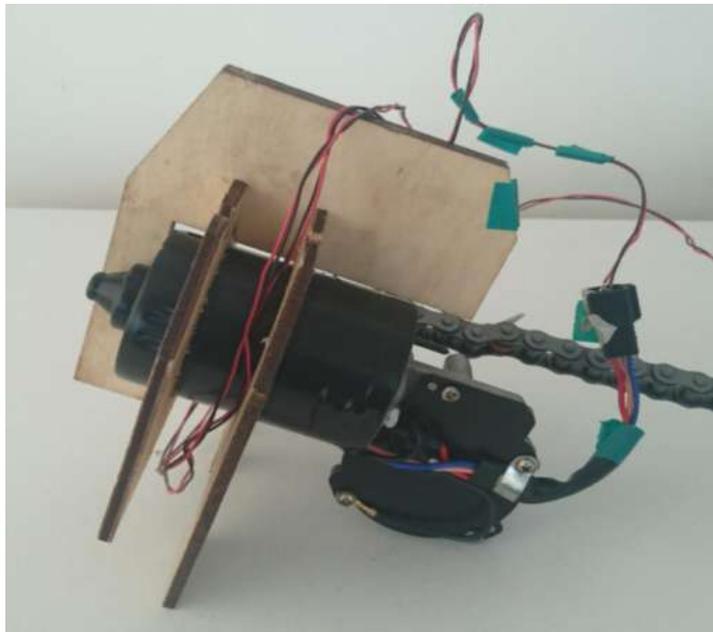
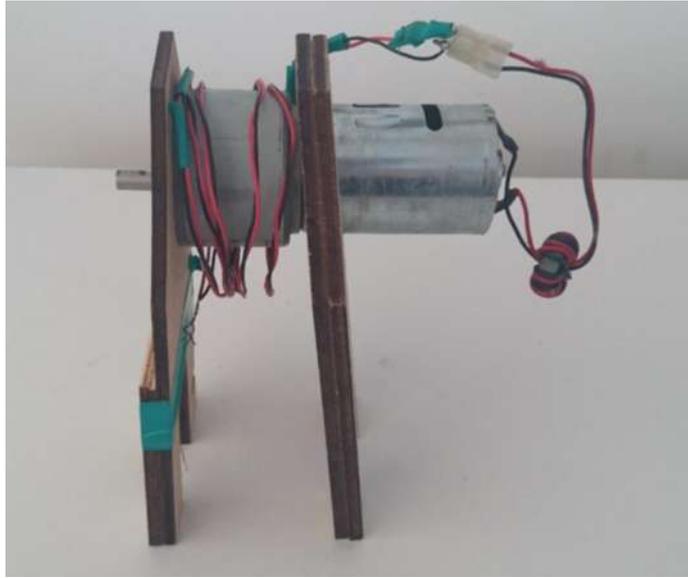




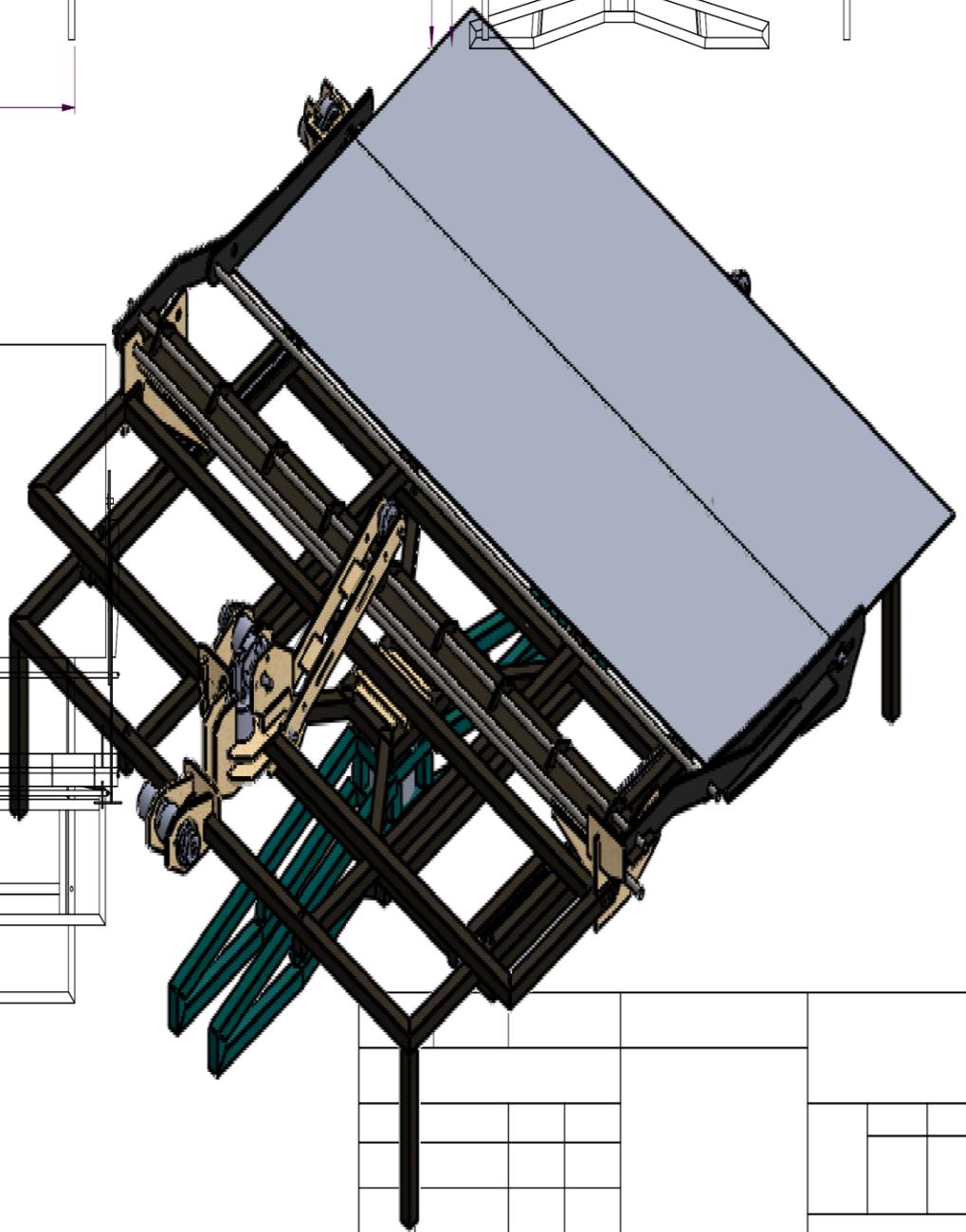
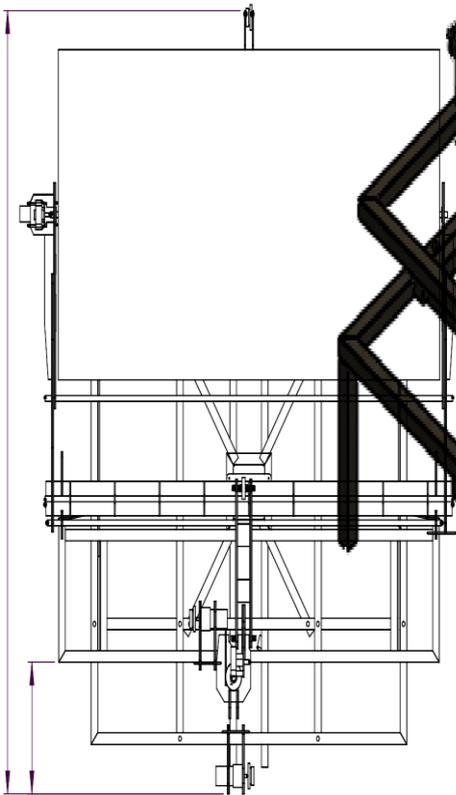
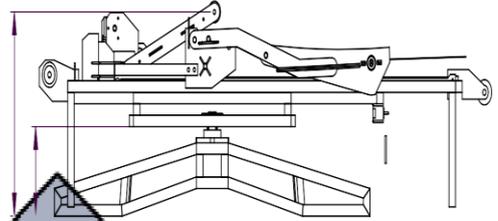
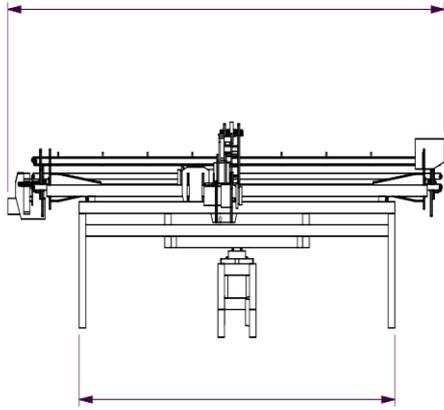
Anexo C: Datasheet motor y cubierta de los motores

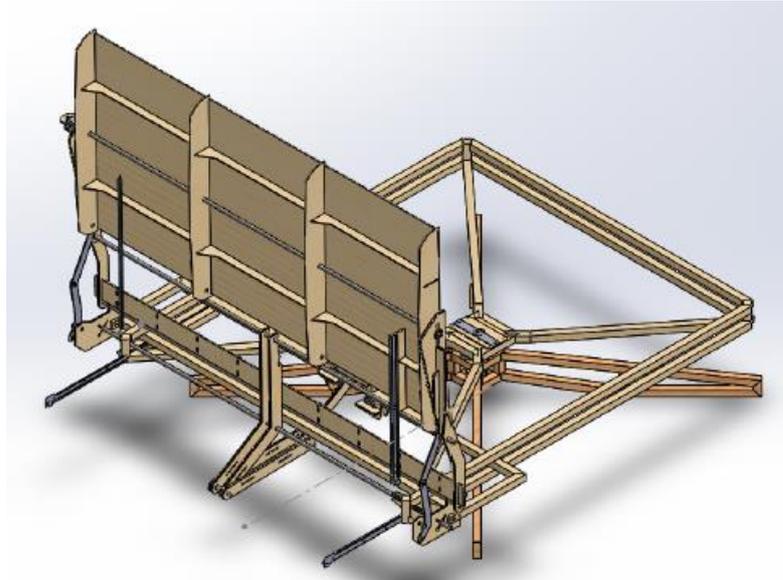


<b>ZD 2730/ZD 1730 wiper motor</b>	
<b>item</b>	windshield wiper motor
<b>used for</b>	bus
<b>brand</b>	LEILI
<b>origine</b>	China mainland
<b>voltage</b>	12V, 24V
<b>power</b>	120W
<b>MOQ</b>	100PCS
<b>package</b>	Carton
<b>payment</b>	T/T, western union
<b>delivery</b>	within 7 days after received payment
<b>certificate</b>	ISO 9001, TS 16949





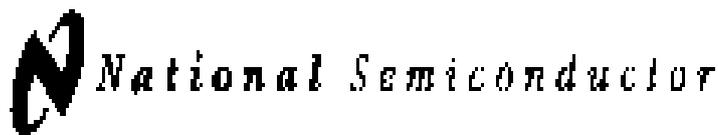




**Anexo E:** Pruebas y utilización del material reflectante







## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in  $^{\circ}$ Fahrenheit, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^{\circ}$ C at room temperature and  $\pm 1/2^{\circ}$ C over a full  $-55$  to  $+150^{\circ}$ C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60  $\mu$ A from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^{\circ}$ C in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}$ C temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^{\circ}$  to  $+110^{\circ}$ C range ( $-10^{\circ}$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

### Features

- Calibrated directly in  $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0$  mV/ $^{\circ}$ C scale factor
- $0.5^{\circ}$ C accuracy guaranteeable (at  $+25^{\circ}$ C)
- Rated for full  $-55$  to  $+150^{\circ}$ C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60  $\mu$ A current drain
- Low self-heating,  $0.08^{\circ}$ C in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^{\circ}$ C typical
- Low impedance output,  $0.1$   $\Omega$  for 1 mA load

### Typical Applications

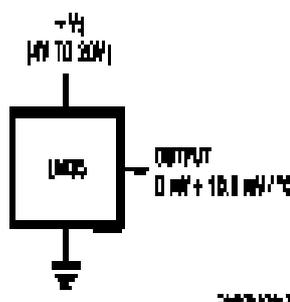
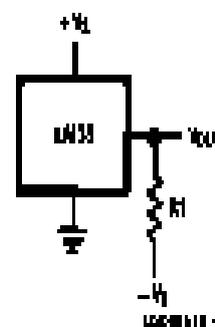


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^{\circ}$ C to  $+150^{\circ}$ C)



Choose  $R_1 = -V_2/50 \mu$ A  
 $V_{OUT} = +1.500$  mV at  $+150^{\circ}$ C  
 $= +250$  mV at  $+25^{\circ}$ C  
 $= -550$  mV at  $-55^{\circ}$ C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

## Specifications

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
Resolution		1%RH	1%RH 8 Bit	1%RH
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25°C		±4%RH	
	0-50°C			±5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
<b>Temperature</b>				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1°C	
Accuracy		±1°C		±2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	µA
	Average	0.2	Null	1	mA

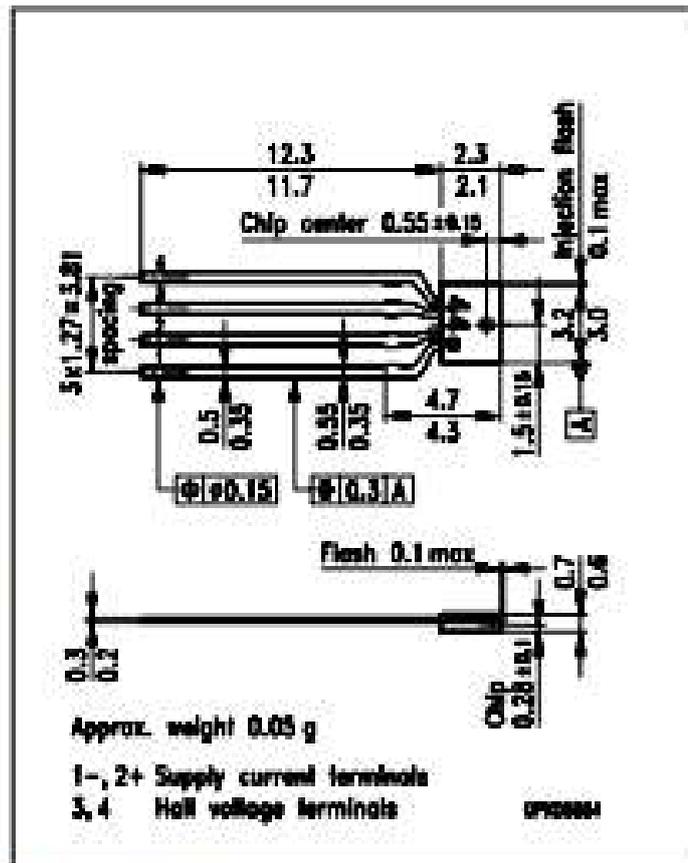
## Version 2.0

### Features

- High sensitivity
- High operating temperature
- Small linearity error
- Low offset voltage
- Low TC of sensitivity
- Specified TC of offset voltage
- Low inductive zero component
- Package thickness 0.7 mm
- Connections from one side of the package

### Typical Applications

- Current and power measurement
- Magnetic field measurement
- Control of brushless DC motors  
Rotation and position sensing
- Measurement of diaphragm
- Movement for pressure sensing

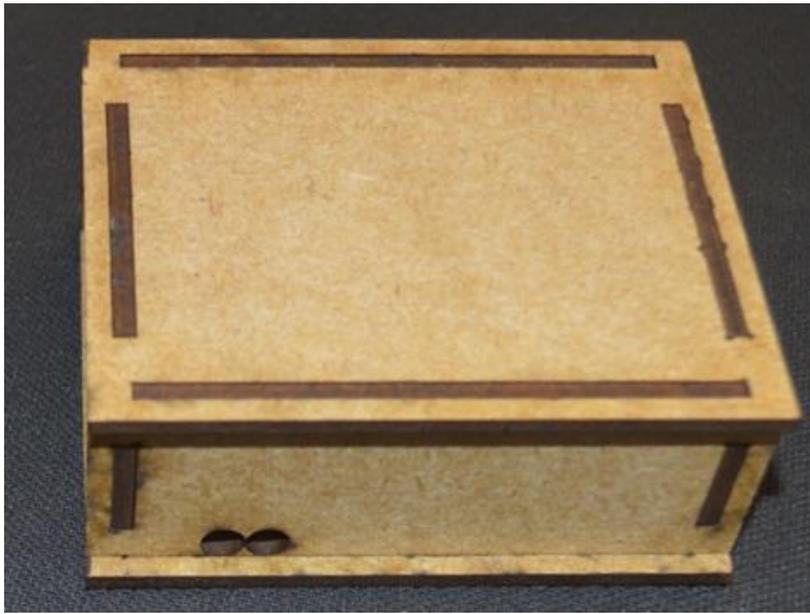


Dimensions in mm

Type	Marking	Ordering Code
KSY 44	44	Q62705-K265

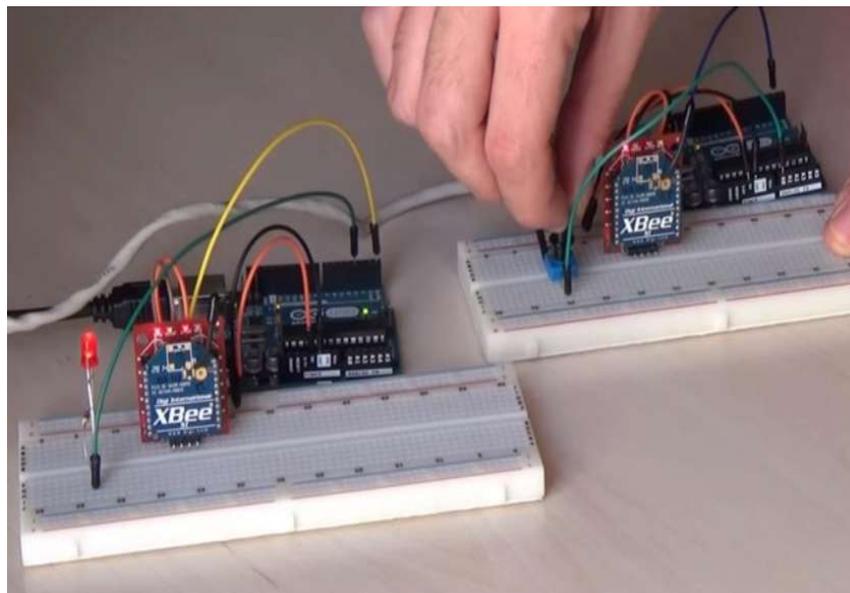
The KSY 44 is a MOVPE<sup>1)</sup> Hall sensor in a mono-crystalline GaAs material, built into an extremely flat plastic package (SOH). It is outstanding for a high magnetic sensitivity and low temperature coefficients. The 0.35 × 0.35 mm<sup>2</sup> chip is mounted onto a non-magnetic leadframe.

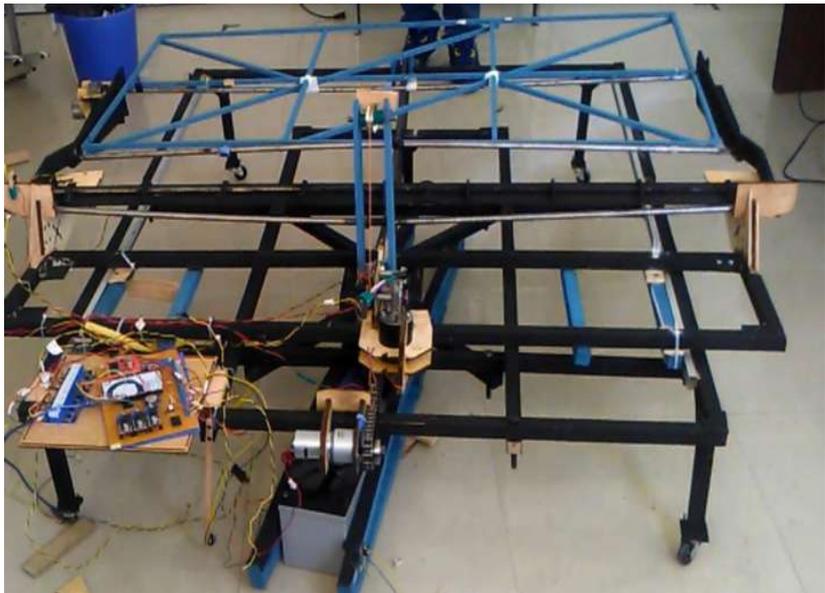
<sup>1)</sup> Metal Organic Vapour Phase Epitaxy

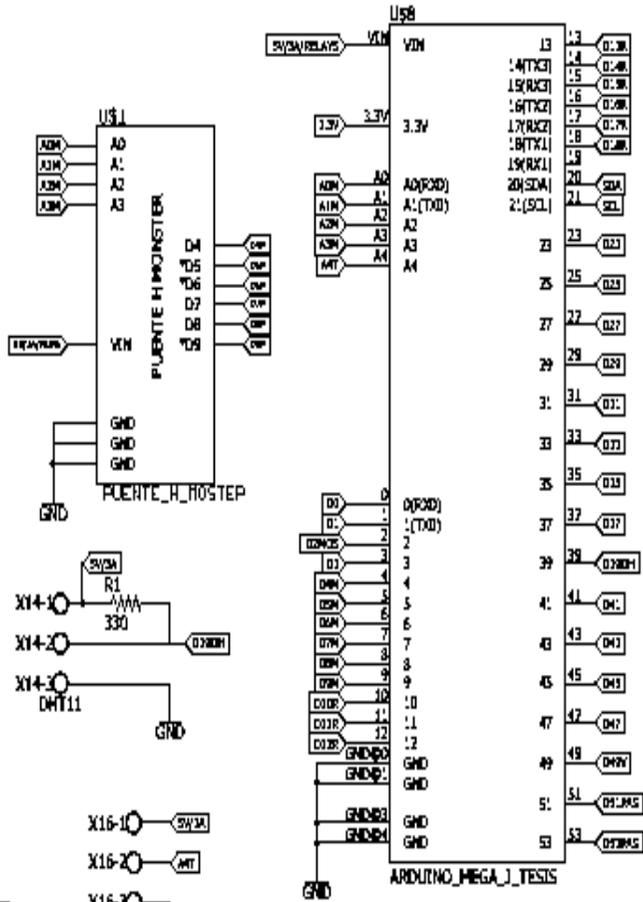
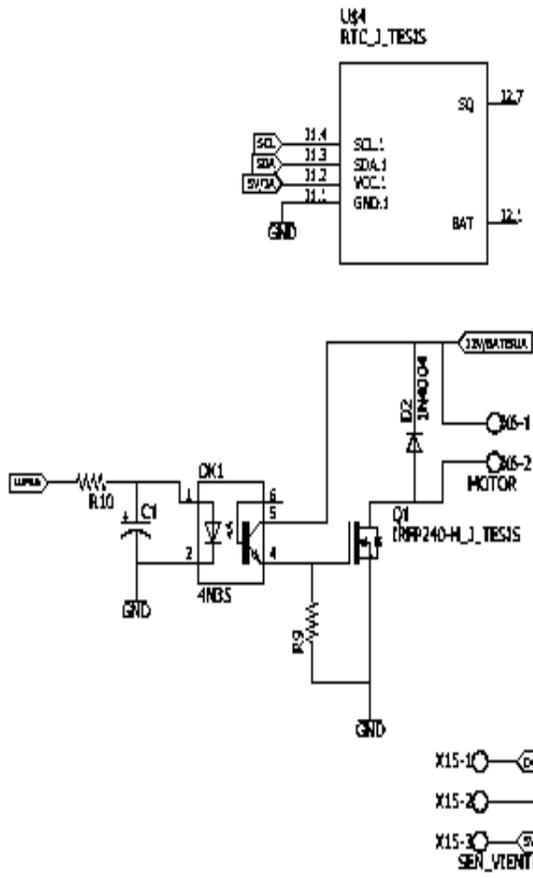




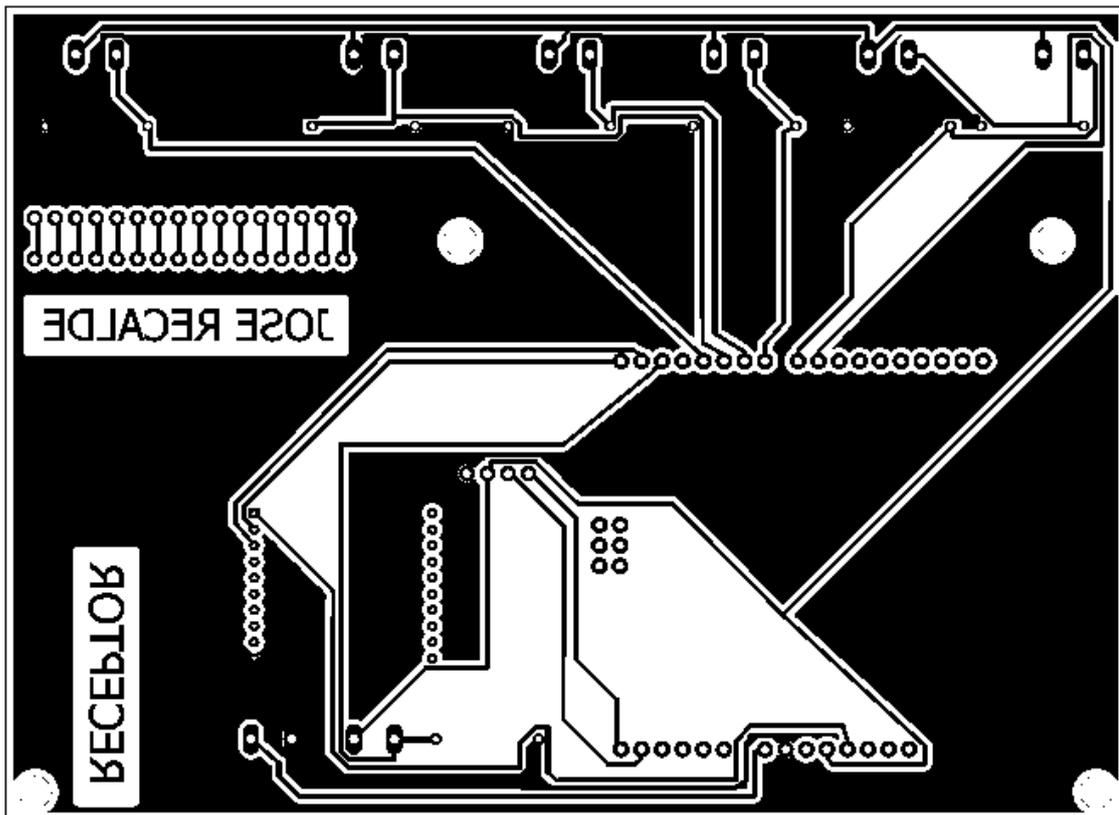
**Anexo G: Módulo Transmisor**







Anexo H: Módulo Receptor



**Anexo I:** Pruebas del funcionamiento del prototipo

