

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR
FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD

JUAN SEBASTIÁN MIRANDA FERNÁNDEZ
RICARDO ANDRÉS GÓMEZ GALVIS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2011

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR
FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD

JUAN SEBASTIÁN MIRANDA FERNÁNDEZ
RICARDO ANDRÉS GÓMEZ GALVIS

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

A mis padres...
Por todo.

Juan Sebastián

DEDICATORIA

A Dios.

Por brindarme todas las buenas oportunidades en mi camino.

A mis padres,

Por la paciencia, la comprensión, el apoyo y por darme todo en mi vida.

A mi hermana,

Por ser un modelo a seguir

A Rosana,

Por llenarme de motivos para seguir adelante.

A toda mi familia y mis grandes amigos, Cadena, Nieves, Peñaloza y German.

Ricardo A. Gómez Galvis

AGRADECIMIENTOS

Escuela de Ingeniería Mecánica, por el conocimiento adquirido.

A la empresa MEDIMPLANTES S.A. por su importante apoyo en la realización de este proyecto.

Al taller de metalmecánica Ricardo Gómez Plata y familia.

Al profesor Omar Gélvez, por motivarnos y exigirnos.

A la Universidad Industrial de Santander, por la formación y el conocimiento.

A todas las personas que con su apoyo y gentileza permitieron realizar este proyecto.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	21
1. GENERALIDADES SOBRE LA ENERGÍA SOLAR	23
1.1. CELDAS FOTOVOLTAICAS	24
1.2. EL MOVIMIENTO DEL SOL	25
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	29
1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	30
1.4.1. Objetivos generales	30
1.4.2. Objetivos específicos	30
1.5. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO.....	32
1.5.1. Acerca de los sistemas de seguimiento	32
1.5.2. Factores que influyen en un sistema de seguimiento	32
1.5.3. Elementos básicos de un sistema de seguimiento	34
2. DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGUIMIENTO	35
2.1. GENERALIDADES	35
2.1.1. Elementos de Entrada del Diseño.....	35
2.1.2. Evolución de la idea general del diseño	36
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	40
2.3. MÓDULO BASE	42
2.3.1. Estructura Base	42
2.3.1.1 Cálculo de la distancia entre los paneles	43
2.3.2. Patas niveladoras rotuladas	44
2.4. MÓDULO VERTICAL	46
2.4.1. Motorreductores para el Azimut	46

2.4.2.	Eje vertical	48
2.4.3.	Soporte eje.....	50
2.4.4.	Soporte Motorreductor inferior.....	50
2.5.	MÓDULO SUPERIOR	52
2.5.1.	Motorreductores para la altura solar.....	52
2.5.2.	Eje superior.....	54
2.5.3.	Paneles Solares Fotovoltaicos	56
2.5.4.	Marco Panel.....	57
2.5.5.	Soporte Motorreductor y potenciómetro superior	58
2.5.6.	Camisa superior.....	59
2.5.7.	Contrapeso	60
2.6.	MÓDULO CONTROL Y DISIPACIÓN.....	62
2.6.1.	Placa base	64
2.6.2.	Arduino	66
2.6.3.	Circuito de medición y disipación de potencia	68
2.6.4.	Puentes H	71
2.6.5.	Fotoceldas	73
2.6.6.	Reloj de tiempo real	75
2.6.7.	Fuente de poder.....	76
2.6.8.	Potenciómetros	78
2.6.9.	CONTROL PID	79
2.6.10.	Función de transferencia.....	81
2.6.10.1	Lazo de control	84
3.	CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE	
	COLECTORES FOTOVOLTAICO.....	87
3.1.	FABRICACIÓN DEL SISTEMA COLECTOR FOTOVOLTAICO	87
3.1.1.	ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE COLECTORES.....	87
3.1.2.	Patas niveladoras rotuladas	88

3.2.	MÓDULO VERTICAL	91
3.2.1.	Eje vertical	91
3.2.2.	Soporte eje.....	91
3.2.3.	Soporte Motorreductor inferior.....	92
3.3.	MÓDULO SUPERIOR	94
3.3.1.	Eje superior	94
3.3.2.	Marco panel	94
3.3.3.	Soporte Motorreductor y Potenciómetro Superior	95
3.3.4.	Camisa superior	95
3.3.5.	Contrapeso	97
3.4.	MÓDULO DE CONTROL Y DISIPACIÓN.....	98
3.4.1.	SOFTWARE ARDUINO	98
3.4.2.	Funciones implicadas en la programación	100
3.4.2.1	Declaración de librerías.....	100
3.4.2.2	Declaración de variables	101
3.4.3.	Función analogRead	101
3.4.3.1	Función analogWrite	102
3.4.3.2	Función byte	102
3.4.3.3	Función void.....	102
3.4.3.4	Función wire.send	103
3.4.3.5	Función wire.request.....	103
3.4.3.6	Función map	103
3.4.3.7	Función lcd.print	103
3.4.3.8	Función EEPROM.write	103
3.4.3.9	Función EEPROM.read.....	104
3.4.4.	Estructuración básica del programa	104
3.5.	INTERFAZ DE USUARIO.....	106
3.6.	ELEMENTOS DE NIVELACIÓN Y ORIENTACIÓN	108

3.6.1.	VENTILADORES	109
3.6.2.	CABLEADO	109
3.7.	DESARROLLO Y PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN.....	112
4.	<i>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO</i>	119
4.1.	ESPECIFICACIONES DE LAS PRUEBAS	119
4.2.	PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA.....	122
4.2.1.	Ecuaciones de posición solar	122
4.2.2.	Diferencia de lectura en fotoceldas	123
4.3.	PRUEBAS DE DESEMPEÑO RELATIVO	124
4.3.1.	Fotoceldas vs ecuaciones de posición solar	124
4.3.2.	Un grado de libertad vs dos grados de libertad	128
5.	<i>CONCLUSIONES</i>	132
6.	<i>RECOMENDACIONES</i>	133
7.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	135
	ANEXOS	136

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Funcionamientos de una celda fotovoltaica.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Orbita de la tierra alrededor del sol.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. Representación de un observador en la semiesfera celeste.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Definición del ángulo cenital del sol, la altura y el azimut.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5. Planta generadora de energía con múltiples reflectores.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6. Elementos de instalación.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Alternativa 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Alternativa 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9. Alternativa 3.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10. Descripción de los Módulos del Sistema de Colector Fotovoltaico.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11. Modulo base.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 12. Estructura base.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13. Inclinación de los paneles en el solsticio de verano en el ocaso.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14. Pata niveladora rotulada.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15. Módulo vertical.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 16. Fuerzas en el eje vertical (Azimut).....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 17 Motorreductores para el azimut.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 18. Dimensiones eje vertical.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 19. Soporte eje.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20. Soporte Motorreductor inferior.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 21. Modulo superior.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 22. Viento incidente sobre los paneles.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 23. Esquema de fuerzas en el eje de la altura solar.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 24. Motorreductores ofrecidos por “dynamo electronics”.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 25. Diagrama de cuerpo libre.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 26. Paneles solares fotovoltaicos.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 27. Marco panel.....</i>	<i>58</i>

<i>Figura 28. Soporte Motorreductor y Potenciómetro Superior</i>	<i>58</i>
<i>Figura 29. Camisa superior.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 30. Contrapeso</i>	<i>60</i>
<i>Figura 31. Centro de Masa del Contrapeso</i>	<i>61</i>
<i>Figura 32. Esquema de enlazamiento de la partes del módulo de Control.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 33. Circuito esquemático de la placa base.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 34. Placa base.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 35. Arduino</i>	<i>67</i>
<i>Figura 36. Esquema del circuito de disipación y medición.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 37. Circuito de disipación y medición.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 38. Puente H L298N</i>	<i>72</i>
<i>Figura 39. Fococelda.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 40. Circuito integrado DS1307 con componentes adicionales.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41. Salidas de potencia de la fuente</i>	<i>77</i>
<i>Figura 42. Fuente de poder.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 43. Caracterización de potenciómetros.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 44. Control PID.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 45. Diagrama de cuerpo libre para el eje superior de los paneles con contrapesos.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 46. Diagrama del sistema dinámico.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 47. Diagrama de bloques para el control por ecuaciones.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 48. Diagrama de bloques para el control por fotoceldas.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 49. Estructura base pintada</i>	<i>88</i>
<i>Figura 50. Simulaciones Patas Niveladoras Rotuladas.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 51. Mecanizado Perilla.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 52. Simulación Fresado Eje Vertical.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 53. Soporte eje</i>	<i>92</i>
<i>Figura 54. Mecanizado Placas del Soporte Motorreductor Inferior.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 55. Marco Panel</i>	<i>94</i>

<i>Figura 56. Simulación Agujeros Soportes</i>	95
<i>Figura 57. Simulación del mecanizado de la Camisa Superior.</i>	96
<i>Figura 58. Mecanizado Camisa Superior.</i>	96
<i>Figura 59. Interfaz de programación de arduino</i>	99
<i>Figura 60. Estructura del programa</i>	105
<i>Figura 61. Interfaz de usuario</i>	106
<i>Figura 62. Interior de la interfaz de usuario.</i>	107
<i>Figura 63. Elementos de nivelación</i>	108
<i>Figura 64. Brújula.</i>	108
<i>Figura 65. Ventiladores</i>	109
<i>Figura 66. Cable de 2 líneas.</i>	110
<i>Figura 67. Superficie lijada en los soportes de los potenciómetros</i>	111
<i>Figura 68. Sistema de control</i>	112
<i>Figura 69. Contrapeso de prueba.</i>	115
<i>Figura 70. Contrapeso de prueba encastrado en la estructura.</i>	116
<i>Figura 71. Comparación de pared adherida a las fotoceldas.</i>	117
<i>Figura 72. Ubicación espacial del lugar de las pruebas.</i>	119
<i>Figura 73. Paneles 1 y 2</i>	120
<i>Figura 74. Paneles durante las pruebas</i>	121
<i>Figura 75. Calibración de fotoceldas</i>	123
<i>Figura 76. Prueba de fotoceldas vs ecuaciones de posición solar</i>	125
<i>Figura 77. Ejemplo de movimiento de la prueba: fotoceldas vs ecuaciones de posición.</i>	126
<i>Figura 78. Prueba de fotoceldas un grado de libertad vs dos grados de libertad</i>	128
<i>Figura 79. Ejemplo de movimiento de la prueba: un grado de libertad vs dos grados de libertad</i>	129

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Cálculo de Columna del Eje Vertical</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2. Especificaciones Piñones Motorreductor – Potenciómetro Azimut</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 3. Cálculo del Factor de seguridad del Eje Superior.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 4. Consumo energético de diferentes elementos</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5. Especificaciones de los paneles para las pruebas.</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 6. Especificaciones de los paneles para las prueba de fotoceldas vs ecuaciones de posición solar.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 7. Resultados de pruebas de medición de fotoceldas vs ecuaciones.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 8. Especificaciones de los paneles para las prueba de un grado de libertad vs dos grados de libertad.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 9. Resultados de pruebas de medición de 1 grado de libertad eje vs 2 grados de libertad.....</i>	<i>130</i>

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Ecuación de la declinación del sol de Perrin de Brichambaut.....</i>	<i>26</i>
<i>Ecuación 2 Primera Ecuación de Posicionamiento Solar.....</i>	<i>27</i>
<i>Ecuación 3 Segunda Ecuación de Posicionamiento Solar.....</i>	<i>28</i>
<i>Ecuación 4 Ecuación para la señal de salida en un Control PID.....</i>	<i>80</i>
<i>Ecuación 5 Ecuación para la señal de salida en un Control Proporcional.....</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación 6 Ecuación diferencial del sistema.</i>	<i>83</i>
<i>Ecuación 7 Ecuación del sistema en términos del ángulo.....</i>	<i>84</i>
<i>Ecuación 8 Ecuación del sistema con transformada de Laplace.....</i>	<i>84</i>
<i>Ecuación 9 Función de transferencia del sistema.</i>	<i>84</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....</i>	<i>137</i>
<i>Anexo B. GESTIÓN DE RECURSOS.....</i>	<i>183</i>
<i>Anexo C. PROGRAMAS DE MECANIZADO</i>	<i>185</i>
<i>Anexo D. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO.....</i>	<i>200</i>
<i>Anexo E. PLANO ESQUEMÁTICO.....</i>	<i>230</i>
<i>Anexo F. DATASHEET PUENTE H L298N.....</i>	<i>232</i>
<i>Anexo G. DATASHEET RELOJ DE TIEMPO REAL DS1307.....</i>	<i>246</i>

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD*.

**AUTORES: GÓMEZ GALVIS RICARDO ANDRÉS.
MIRANDA FERNÁNDEZ JUAN SEBASTIÁN**.**

PALABRAS CLAVES: Diseño y Construcción, Energía Solar, Sistema de seguimiento, Colector fotovoltaico.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un sistema de captación de energía solar con dos paneles fotovoltaicos que permita mediante sistemas de seguimiento apuntar directamente al sol para captar la energía solar y poder comparar dos tipos de sistemas de seguimiento y la variación de los grados de libertad de éstos.

El sistema consiste en dos paneles fotovoltaicos de 20W pico montados sobre una estructura, cuentan con dos grados de libertad para el seguimiento: Azimut y altura solar. El movimiento de los paneles está dado por motorreductores eléctricos programados por una placa Arduino Mega que controla el sistema mediante un control proporcional de lazo cerrado. El sistema posee dos tipos de control para el seguimiento: Por ecuaciones de posición solar y por diferencia en lectura de fotoceldas, usando como sensores para conseguir el ángulo apropiado potenciómetros y fotoceldas. El controlador permite variar el tipo de seguimiento, los grados de libertad y medir la energía que captada, ésta energía se disipa usando resistencias.

El proceso de diseño se realizó utilizando programas CAD, para la fabricación se usaron máquinas CNC programadas con la ayuda de software CAM y el código que usa el controlador se desarrolló en software propio de Arduino.

Se evalúa el desempeño relativo en términos de captación de energía de los paneles, se realizan dos pruebas:

- Seguimiento por ecuaciones de posición solar vs seguimiento por diferencia de lectura por fotoceldas, con libertad de movimiento solamente en altura solar.
- Seguimiento por ecuaciones de posición solar con libertad en altura solar vs seguimiento por ecuaciones de posición solar, con libertad en altura solar y azimut.

* Trabajo de Grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director. Omar Gelvez Rocha

SUMMARY

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A COLLECTOR SYSTEM WITH PHOTOVOLTAIC TRACKER 2 DEGREES OF FREEDOM*.

**AUTHORS: GÓMEZ GALVIS RICARDO ANDRÉS.
MIRANDA FERNÁNDEZ JUAN SEBASTIÁN**.**

KEYWORD: Design and Construction, Solar Energy Tracking System, Photovoltaic Collector.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to design and build a solar energy collection with two solar panels that allow tracking systems by pointing directly at the sun to capture solar energy and to compare two types of tracking systems and varying degrees freedom of these.

The system consists of two 20W photovoltaic panels mounted on a structure peak, with two degrees of freedom for monitoring: solar altitude and azimuth. The movement of the panels is provided by electric gear motors programmed an Arduino Mega to control the system using a closed loop proportional control. The system has two types of control for monitoring: For solar position equations and difference in reading photocells, using as sensors to achieve the proper angle potentiometers and photocells. The controller can vary the type of monitoring, measuring degrees of freedom and captured the energy, this energy is dissipated using resistors, measuring degrees of freedom and captured the energy, this energy is dissipated using resistors.

The design process was carried out using CAD programs were used to manufacture CNC machines programmed with the help of CAM software and driver code that uses proprietary software developed in Arduino.

Relative performance is evaluated in terms of energy collection panels, there are two tests:

- Monitoring by equations of tracking solar position difference vs. reading photocells, with freedom of movement only in solar altitude.
- Monitoring by solar position equations freedom vs. solar altitude tracking solar position equations, free solar height and azimuth

* Degree Work

** Industrial University of Santander. School of Physics and Mechanics. School of Mechanical Engineering. Director. Omar Gelvez Rocha

INTRODUCCIÓN

En un mundo como el nuestro, poseedor de energía y recursos, resulta sencillo usar formas de energía barata, disponibles al inmediato alcance, aunque nocivas. El daño que se hace a los recursos de los que disponemos y dependemos es enorme. Con el propósito del desarrollo industrial simultáneamente han sido arrasadas miles de hectáreas de bosque, lanzadas a la atmósfera miles de toneladas gases invernadero. Es ahora cuando el hombre se empieza a dar cuenta del daño hecho y se propone, aunque tímidamente, intentar minimizar los daños, ya que de esto depende el bienestar del planeta y en consecuencia el de todas las especies que en él viven.

En este momento, aun cuando resulta un poco tarde, es el tiempo de usar formas de energía y hábitos que ayuden a mejorar las condiciones del planeta, o al menos, a no continuar con el proceso de devastación actual. En la búsqueda e investigación de formas de energía no contaminantes, la energía solar se impone como una de las más populares y disponibles. La obtención de esta energía mediante el uso de celdas fotovoltaica la convierte en una forma versátil y altamente llamativa para conseguir aprovecharla de forma sencilla. Así mismo, en búsqueda del ahorro de espacio, recursos y menos contaminación se hace en algunos casos, muy importante procurar la mayor eficiencia de una celda fotovoltaica. Esto se puede lograr consiguiendo que sobre la celda incida la mayor intensidad posible de rayos solares, es decir consiguiendo que la celda apunte siempre al sol, aprovechando así el máximo de su potencial para generar energía. Este tipo de seguimiento es conocido popularmente por su nombre en inglés “tracking system”.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos tipos de sistemas de seguimiento, de diversa complejidad y costo. En el interés de mejorar la calidad de vida de las personas y procurar por un mejor medio ambiente, en este proyecto se pretende mediante la experimentación, hallar un sistema de posicionamiento sencillo, asequible y eficiente con el fin de contribuir a la investigación y proporcionar, a un posible usuario de un sistema de seguimiento, información y diferencias entre estos.

1. GENERALIDADES SOBRE LA ENERGÍA SOLAR

Cuando se habla de energía solar, muchos conceptos son expuestos, ya que es una forma de energía presente en muchas formas, y es aprovechada de distintas maneras, desde la fotosíntesis que alimenta las plantas, y estas a su vez a nosotros, a una celda fotovoltaica que alimenta un motor eléctrico. Además muchas otras formas de energía como la eólica o la hidráulica son en fin de cuentas derivadas de la energía que nos provee el sol, aunque no sea captada directamente. Para generalizar la energía solar se refiere a la captación de la luz y calor irradiados por el Sol.

La tierra recibe enormes cantidades de energía, que en promedio son 174 petavatios en su capa más alta de atmósfera. Gracias a la composición de la atmósfera y el campo magnético de la tierra aproximadamente un 30% de ésta es reflejada al espacio. Cuando la energía entrante empieza a ser captada por los diversos elementos de la tierra se causa evaporación en el agua, calentamiento de las distintas superficies y en consecuencia del aire. Esto hace que el aire calentado ascienda creando distintas reacciones como viento, formación de nubes, etc. Además las plantas y algas aprovechan esta energía para crear cadenas de carbono que dan origen a compuestos orgánicos que nos permiten nuestra subsistencia.

La energía solar no es del todo beneficiosa para la vida, ya que contiene rayos ultravioleta que alteran el equilibrio natural de las células de los seres vivos, aunque para suerte nuestra, el planeta posee una capa de ozono que refleja gran parte de éstos. Hace algunas décadas la capa de ozono estaba siendo afectada por un agujero creciente por la irresponsabilidad en el aprovechamiento de recursos de los humanos, afortunadamente este agujero ahora empezó a cerrarse.

El sol es un elemento fundamental para el equilibrio de nuestro planeta y el desarrollo de la vida, además de ser una fuente enorme de energía. Por esto no debe sorprendernos que haya sido durante milenios, fuente de adoración de gran parte de las civilizaciones.

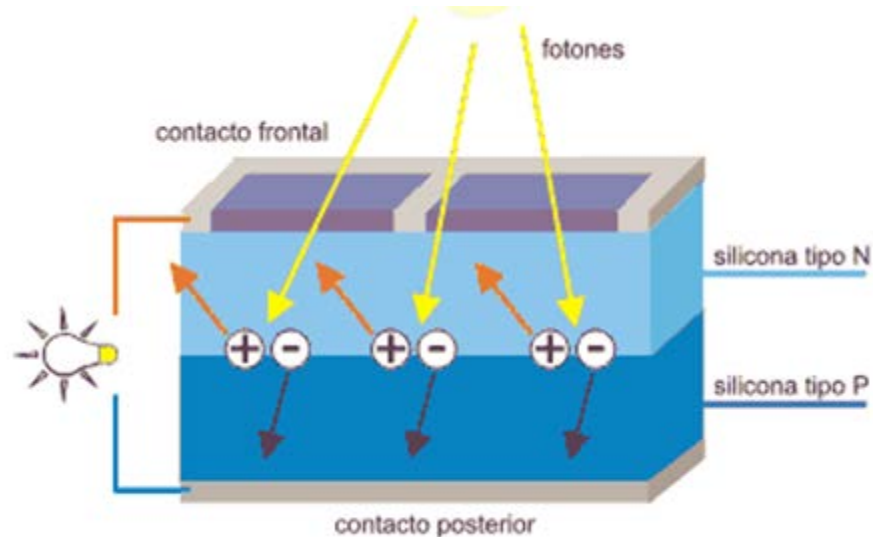
1.1. CELDAS FOTOVOLTAICAS

Cuando se trata de versatilidad para captar la energía del sol, las celdas fotovoltaicas están a la cabeza: por su gran simplicidad de instalación y funcionamiento. Además, el hecho de que conviertan la luz solar inmediatamente a una forma de energía de tan alta calidad como es la eléctrica, las hace una de las formas preferidas de conseguir aprovechar la radiación proveniente del sol.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por primera vez en 1839 por Becquerel, después de años de investigaciones y ensayos la primera celda solar se construyó en 1883 por Charles Fritts tras recubrir selenio semiconductor con oro para crear un empalme. Esta celda presentaba una eficiencia de apenas un 1%, durante años los empalmes para crear celdas de mayor eficiencia, actualmente algunas alcanzan un 30%.

Las celdas solares funcionan bajo el principio de que algunos materiales semiconductores absorben los fotones provenientes de la radiación solar, cuando los fotones golpean el panel, pasan la primera capa y son absorbidos por semiconductores como el arseniuro de galio. Esto hace que los electrones que circulan en el exterior de los átomos en orbitas de energía cuantizada, sean liberados, luego los átomos que perdieron los electrones fluyen en dirección contraria a éstos y crean una diferencia de potencial.

Figura 1. Funcionamientos de una celda fotovoltaica.



Fuente: www.electricasas.com

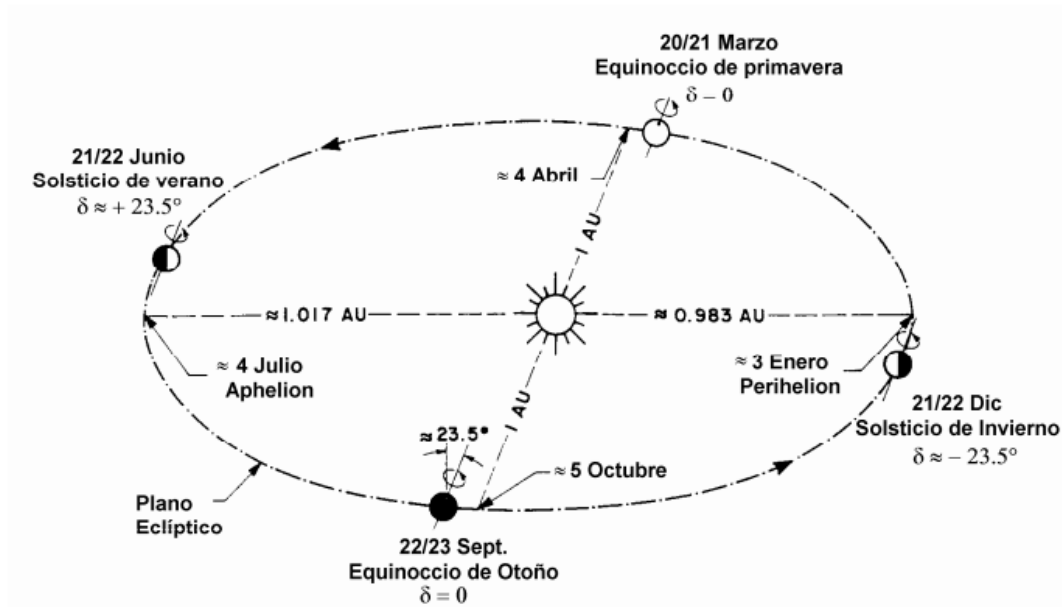
La cantidad de energía captada por una celda fotovoltaica depende de su eficiencia, intensidad irradiada y del área expuesta a la radiación. Entonces cuando se desea conseguir un máximo de energía captada por una celda solar, el factor posible de variar para una celda es el área expuesta a la radiación; a mayor área útil expuesta, mayor energía captada. Esto se puede hacer asegurándose que la celda apunte siempre al Sol.

1.2. EL MOVIMIENTO DEL SOL

La tierra se encuentra en una órbita elíptica alrededor del sol que demora 365 días y una cuarto de día, por lo cual cada cuatro años se ajusta el calendario haciendo un año bisiesto que tiene 366 días. La cantidad de radiación solar que llega a la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el sol y la tierra.

La distancia media entre el sol y la tierra es de 1 AU que equivale a 1.496×10^8 kilómetros, durante el año la distancia varía entre 0.983 AU y 1.017 AU.

Figura 2. Orbita de la tierra alrededor del sol



Fuente: <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6839/10Nvm10de17.pdf?sequence=11>

El plano en el que se mueve la tierra alrededor del sol se denomina plano eclíptico. La tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje llamado eje polar, que se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano eclíptico. Estos factores originan que haya variaciones en la radiación y producen las estaciones, haciendo días más largos y más cortos.

El plano ecuatorial es el plano que se encuentra en el medio del eje polar, este plano y la línea que une la tierra con el sol forman un ángulo llamado declinación solar. La declinación solar varía en el año entre $+23.5^\circ$ en el solsticio de verano a -23.5° en el solsticio de invierno.

En 1975 Perrin de Brichambaut logró una ecuación para describir de forma aproximada y sencilla la declinación del sol, tomando como variable de entrada el día según calendario Juliano

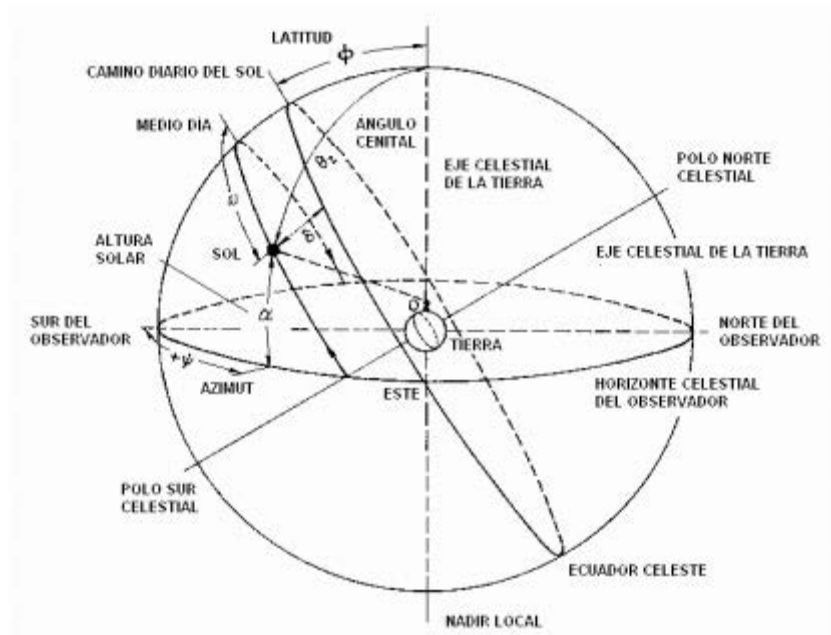
Ecuación 1 Ecuación de la declinación del sol de Perrin de Brichambaut

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left\{ 0,4 \text{ sen} \left[\frac{360}{365} (d_n - 82) \right] \right\}$$

Para conseguir capturar la máxima radiación posible proveniente del sol se tiene que saber la posición de este en el cielo respecto al plano horizontal del observador. Se puede describir un observador ubicado en el medio de una esfera. En cualquier momento, el observador sobre la superficie de la tierra tiene una posición correspondiente en la esfera celeste llamado cenit, que es el punto en la esfera en el cual cruza una línea normal a la superficie del observador, el punto opuesto es llamado nadir. El horizonte del observador es un gran círculo atravesado por la línea que une el cenit y el nadir.

El ángulo cenital θ_z es el ángulo que forman la línea que une al sol con la tierra y la el cenit, este ángulo también se puede describir por la altura solar α , el ángulo que se forma entre el plano en el que están incluidos el cenit y el sol con la sur del observador es llamado ψ o azimut del observador, que varía entre -180° a $+180^\circ$.

Figura 3. Representación de un observador en la semiesfera celeste



Fuente: <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6839/10Nvm10de17.pdf?sequence=11>

Ecuación 2 Primera Ecuación de Posicionamiento Solar

$$\cos \theta_2 = \text{sen } \delta \text{ sen } \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \text{sen } \alpha$$

Ecuación 3 Segunda Ecuación de Posicionamiento Solar

$$\cos\varphi = \frac{\text{sen } \alpha \text{ sen}\varnothing - \text{sen } \delta}{\cos \alpha \cos \varnothing}$$

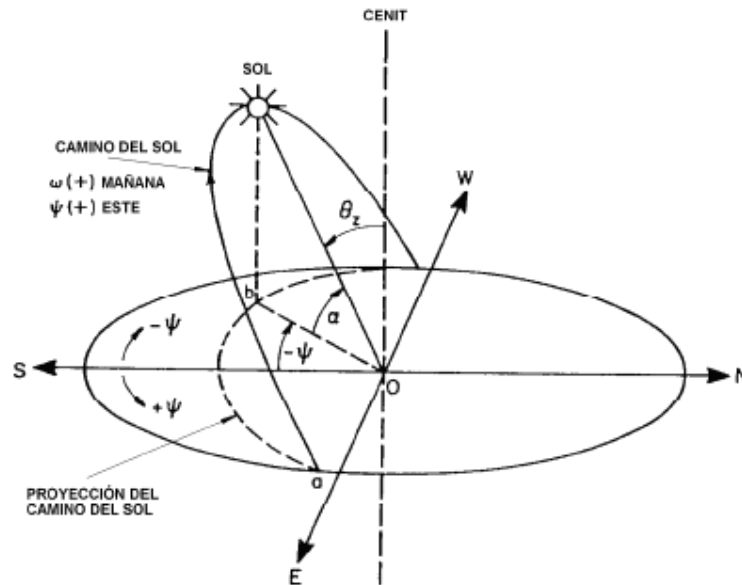
$$0^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ} \text{ y } \cos \varphi \geq 0$$

$$90^{\circ} \leq \varphi \leq 180^{\circ} \text{ y } \cos \varphi \leq 0$$

Donde ω es el ángulo horario con 0° al medio día y positivo en la mañana y Φ es la latitud geográfica del observador.

Durante el día y el año el sol varía su posición en la semiesfera celeste de una forma predecible, la posición de este varía dependiendo de la ubicación latitudinal del punto de observador, la fecha y hora del día. Haciendo que algunas veces se pueda lograr una mayor captación de energía y que la duración de los días varíe, el sol sale cerca del este y se oculta cerca del oeste y tiene su mayor intensidad a medio día.

Figura 4. Definición del ángulo cenital del sol, la altura y el azimut



Fuente: <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6839/10Nvm10de17.pdf?sequence=11>

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La comunidad a nivel mundial es consciente de que se deben adoptar nuevas formas de energía y no usar en lo posible, formas de energía contaminantes como los combustibles fósiles. Recae en las universidades una gran responsabilidad de incentivar un cambio para mejorar las condiciones actuales del planeta y de acuerdo a la misión de la Universidad Industrial de Santander se deben liderar procesos de cambio por el progreso y mejor calidad de vida de la comunidad. Con este proyecto se continúa una línea investigativa sobre el aprovechamiento de la luz solar como fuente de energía, dándole prioridad a lograr una mayor eficiencia en la captación de ésta y hacer más asequibles las formas de hacerlo.

La eficiencia en todo proceso o máquina desde el punto de vista termodinámico es un factor clave, ya que mide el rendimiento de cuanto se obtiene respecto a la energía total, una gran eficiencia asegura un despilfarro menor de energía. Por ende, es importante promover maneras de mejorar la eficiencia de la captación de energía solar, buscando maneras económicas, que no impliquen materiales escasos y costosos. Una manera sencilla de mejorar la eficiencia de la captación es siguiendo al sol en su trayectoria. Mediante este proyecto se pretende implementar una manera sencilla de lograr seguir al Sol en su trayectoria, promoviendo siempre el mejor ángulo para aprovechar su radiación. Para esto, se busca diseñar y construir un sistema de colector solar fotovoltaico con seguimiento solar de 2 grados de libertad y evaluar la eficiencia un colector solar con dos sistemas de seguimiento o “tracking system” que permita según su ubicación espacial, el mejor ángulo de incidencia a una hora y fecha dada, asegurando una mayor eficiencia. Con el desarrollo de este proyecto se continúa una línea de investigación del aprovechamiento de la energía solar contribuyendo al desarrollo de la región y mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades.

1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.4.1. Objetivos generales

- Contribuir a la misión de la universidad con un trabajo de grado que aporte a la línea investigativa de energía solar con el propósito de mejorar la calidad de vida de la comunidad y liderar procesos de cambio.

- Dar continuidad a las líneas de investigación relacionadas con el aprovechamiento de la luz solar, con el fin de motivar en los estudiantes el deseo de realizar proyectos que permitan el mejoramiento en la captación de este tipo de energía.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un banco experimental para la evaluación de la captación de energía solar con las siguientes características:

Colector 1:

- Una placa fotovoltaica de 20w pico.
- Un sistema de posicionamiento de lazo cerrado 2 grados de libertad que consta de:
 - Placa Arduino Mega como controlador.
 - Motores eléctricos como actuadores.
 - Potenciómetros como sensores.
- Un sistema de medición de la captación energética por medio de sensores de voltaje y corriente a la salida del colector.
- Control del ángulo de posicionamiento de la placa fotovoltaica por medio de ecuaciones para el seguimiento del sol.

Colector 2.

- Una placa fotovoltaica de 20w pico.

- Un sistema de posicionamiento de lazo cerrado 2 grados de libertad que consta de:
 - Placa Arduino Mega como controlador.
 - Motores eléctricos como actuadores.
 - Fotorresistencias como sensores.
 - Un sistema de medición de la captación energética por medio de sensores de voltaje y corriente a la salida del colector.
 - Control del ángulo de posicionamiento de la placa fotovoltaica por medio de la medición comparativa de la captación energética de 4 fotorresistencias dispuestas en el marco de la Placa Colectora.
- Evaluar el desempeño relativo de los Colectores Fotovoltaicos en términos de captación de energía de las diferentes alternativas a partir de la variación de:
- El tipo de control de posicionamiento (Formulas y Fotorresistencias).
 - La restricción del sistema de posicionamiento de dos grados de libertad a un grado de libertad.

1.5. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO

1.5.1. Acerca de los sistemas de seguimiento

Para la gran mayoría de personas resulta fascinante el hecho de que los girasoles, flores que poseen una gran belleza, tengan la cualidad de haciendo honor a su nombre, poder seguir al sol durante el día. Este comportamiento, fascinante deja clara la adaptabilidad positiva de la evolución al buscar una forma de captar una mayor cantidad de energía, y que seguir al sol, cuando se quiere aprovechar más su radiación, crea ventajas respecto a quedarse estático.

Cuando se empezaron a construir los primeros paneles solares para captar su energía: los cuales se usaban principalmente para calentar objetos concentrando radiación. Mostraron claramente que un buen ángulo de ajuste, era primordial para conseguir óptimos resultados. En ese momento, hace siglos, resultaba muy difícil conseguir una manera en que el panel, automáticamente cambiara de posición durante el día en función del sol.

Fue en la época del descubrimiento de los refrigerantes de evaporación a temperaturas ambiente y presiones altas, cuando se empezaron a crear sistemas de seguimiento eficaces capaces de seguir al sol durante el día procurando el mejor ángulo para el panel. Esto supuso un mayor aprovechamiento de la capacidad del panel y dejó claro que era necesario seguir avanzando en esta materia.

1.5.2. Factores que influyen en un sistema de seguimiento

El diseño e implementación de un sistema de seguimiento depende en gran medida del tipo de colectores a usar, ya que de éstos depende la orientación que debe tener el panel respecto al Sol. En una celda fotovoltaica siempre es deseable que ésta esté apuntado directamente al Sol, mientras que en una planta de

múltiples reflectores éstos no deben apuntar directamente al Sol, sino que deben posicionarse de un modo tal que la luz incidente sobre estos proveniente del sol, debe reflejarse a un punto en común para conseguir calentar una superficie. Esta gran diferencia ya restringe el tipo de control a usar en un sistema de seguimiento, ya que para el caso de los reflectores múltiples la geometría se vuelve bastante compleja y el cálculo del ángulo de posicionamiento correcto depende del ángulo de incidencia y por tanto, es necesario saber la posición exacta del sol en el cielo, con el fin de conseguir un ángulo de incidencia tal que los rayos se reflejen en la dirección deseada. Mientras que para una celda fotovoltaica, el sistema de control simplemente debe estar enfocado a conseguir la mayor cantidad de área útil expuesta a la luz.

Otros factores importantes en el diseño y consideraciones que se deben tener en un sistema de seguimiento están los factores externos, como el viento o la lluvia. Estos agregar fuerzas externas y una mayor cantidad de trabajo para conseguir realizar un movimiento, además de requerir una mayor frecuencia de muestreo y robustez de la estructura.

Figura 5. Planta generadora de energía con múltiples reflectores.



Fuente: <http://ochoe813.blogspot.com>

1.5.3. Elementos básicos de un sistema de seguimiento

Los elementos que básicos que componen un sistema de seguimiento, dependen del tipo de control que se quiera realizar y el fenómeno en el cual este se base.

Básicamente los fenómenos en los cuales se basan los sistemas lo sistemas de seguimiento contemporáneos son: El recorrido del Sol que es conocido y predecible en la semiesfera celeste y la diferencia de temperaturas o de luz en dos puntos distintos de un colector.

Conocido el tipo de seguimiento que se quiera realizar, es necesario tener para un lazo cerrado: Sensores, controlador y actuador. Mientras que para un lazo abierto con un controlador y un actuador será suficiente. Algo importante a recalcar es que el uso de la electrónica en un sistema de seguimiento define drásticamente los elementos que componen a éste, ya que si un colector es controlado por la diferencia de luz incidente y usa elementos no electrónicos, su fiabilidad y facilidad de calibración será reducida, al mismo tiempo que se reducen los componentes y se sacrifica versatilidad ante los elementos externos como viento y lluvia.

Otros elementos importantes se necesitan en la instalación de la estructura para el posicionamiento correcto de ésta, así mismo estos se verán restringidos por el fenómeno en el cual se base el sistema de control. Cuando el sistema de control se basa en el recorrido del Sol en la semiesfera celeste, una brújula y un nivel serán indispensables para asegurar un posicionamiento requerido.

Figura 6. Elementos de instalación



Fuente: www.mercadolibre.com.mx

2. DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGUIMIENTO

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Elementos de Entrada del Diseño.

Para facilitar el análisis de los resultados de captación energética que se obtienen de dos paneles fotovoltaicos diferentes es necesario garantizar que los paneles sean sometidos a las mismas condiciones y además reducir al máximo factores externos que puedan influir en los resultados arrojados por cada uno de ellos.

Se decide seleccionar elementos comerciales y de bajo costo con el fin de asegurar que se puedan conseguir fácilmente para su posterior reemplazo en caso de deterioro o daño; o de reproducir el sistema completo.

En caso de no poder seleccionar un elemento comercial se crean elementos que se puedan fabricar fácilmente y proporcionar la información necesaria para tal fin.

Cada uno de los ejes de la estructura debe proporcionar el rango de movimiento necesario para el seguimiento de la trayectoria solar.

De manera general se debe tener en cuenta factores que son decisivos a la hora de seleccionar componentes, tales como: Peso, cantidad de componentes, costo de fabricación, manipulación, transporte, instalación, entre otros, basados en el sentido común.

En el diseño de cada módulo y en particular de cada uno de los componentes del sistema se tuvieron en cuenta los requerimientos ya descritos, a la hora de comparar dos o más alternativas y de tomar decisiones acerca de la selección de una alternativa.

2.1.2. Evolución de la idea general del diseño

Durante la etapa de diseño del sistema de colector fotovoltaico se puede observar una transformación de la idea inicial, pues a medida que se daba detalle a cada uno de los módulos que componen el sistema de colector fotovoltaico y se comparaban con los requerimientos, éstos generaban la necesidad de realizar correcciones a la alternativa planteada.

A continuación se describen de forma general las alternativas planteadas durante el desarrollo de la etapa de diseño del sistema de colector fotovoltaico.

- **Alternativa 1:** En ésta primera alternativa se hace una descripción muy general de los componentes principales del colector fotovoltaico y sirve de partida para la generación de ideas y dar forma a las siguientes alternativas.

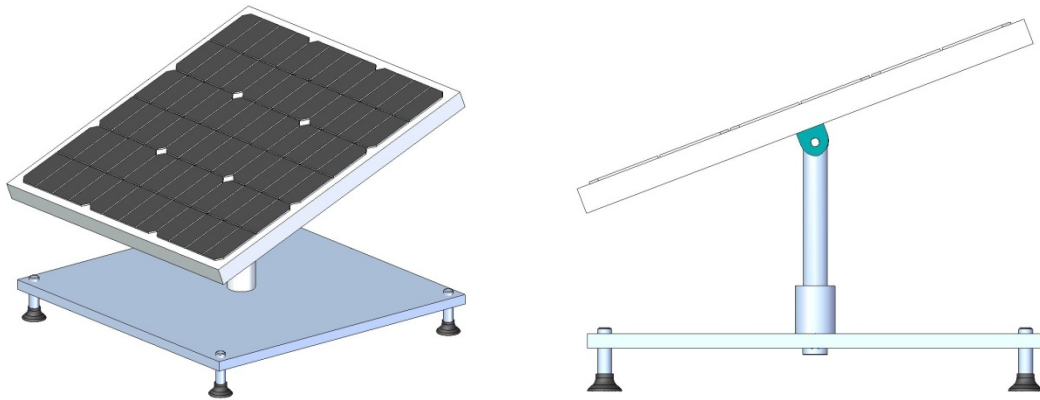
En ésta alternativa el Colector fotovoltaico se compone de una placa fotovoltaica cuadrada, una estructura base cuadrada, un eje vertical y un eje superior conectado a la placa fotovoltaica como se ilustra en la Figura 7.

Se decide utilizar placa fotovoltaica de forma cuadrada y no rectangular, que es la forma más común de placa que se encuentra en el mercado, con el fin de eliminar la posibilidad de que se presenten desalineaciones o descompensaciones y dar condiciones de simetría al sistema basados en el requerimiento de garantizar que los paneles estén sometidos a las mismas condiciones y además reducir al máximo factores externos que puedan influir en los resultados.

Ventajas: Fácil de transportar

Desventajas: La estructura base cuadrada presenta un mayor reto para estabilidad del colector fotovoltaico, debido a la dificultad que se presenta a la hora de nivelar un sistema de 4 puntos de contacto con el suelo.

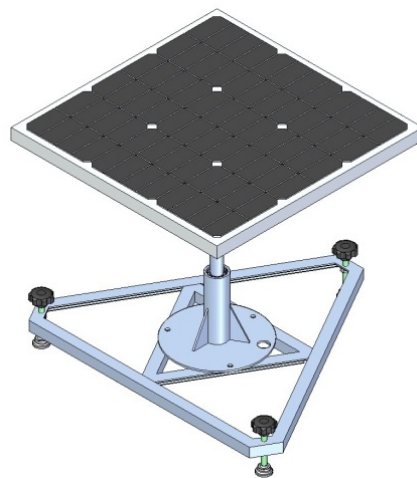
Figura 7. Alternativa 1



Fuente: Los autores

- **Alternativa 2:** Se modifica la forma de la estructura base a una estructura de forma triangular con apoyo de tres puntos de contacto con el suelo mostrado en la Figura 8.

Figura 8. Alternativa 2



Fuente: Los autores

Se plantea un sistema de patas niveladoras rotuladas como mejor alternativa para el soporte del colector fotovoltaico puesto que brinda la oportunidad de adecuación a diferentes tipos de superficies rugosas o inclinadas sin afectar al área de contacto de las bases de las patas niveladoras con el suelo; se incorpora a los niveladores unas perillas para facilitar la manipulación de los mismo a la hora de realizar la nivelación, éste sistema se describe a detalle en la descripción de la alternativa final.

Ventajas: Fácil de transportar, apoyo estable de la estructura.

Desventajas: Contar con dos estructuras por separado, una para cada colector fotovoltaico, presenta el dilema de duplicar los elementos de control o desconectar y conectar cada vez que sea necesario trasladar el sistema a otra ubicación; además es necesaria la calibración luego de cada reconexión.

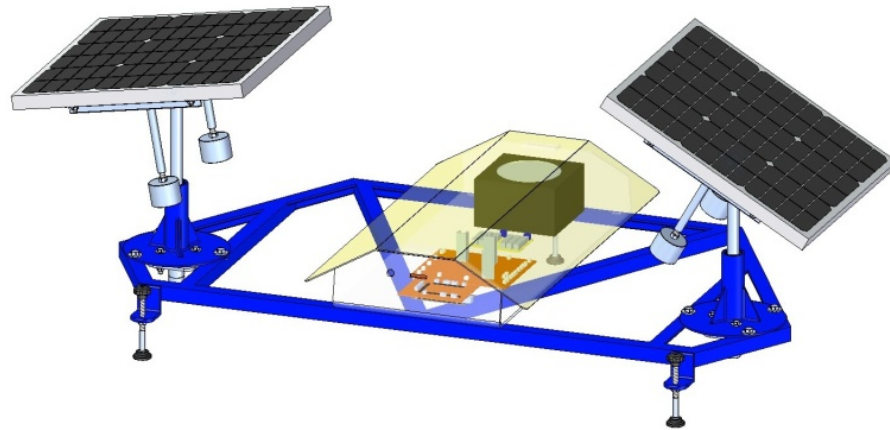
- **Alternativa 3:** En ésta alternativa se modifica la estructura base para integrar las dos placas fotovoltaicas en un solo conjunto y teniendo en cuenta la distancia mínima entre las placas, la estructura cuenta también con 3 puntos de apoyo con patas niveladoras rotuladas.

En ésta alternativa brinda la oportunidad de ubicar los sistemas de control y disipación en el centro de la estructura para que controlen las dos placas.

Ventajas: Mayor estabilidad de la estructura, menos elementos de control y disipación, se aseguran las mismas condiciones para las dos placas, evita la desconexión de los elementos y por ende su recalibración.

Desventajas: El tamaño de la estructura dificulta el transporte.

Figura 9. Alternativa 3



Fuente: Los autores

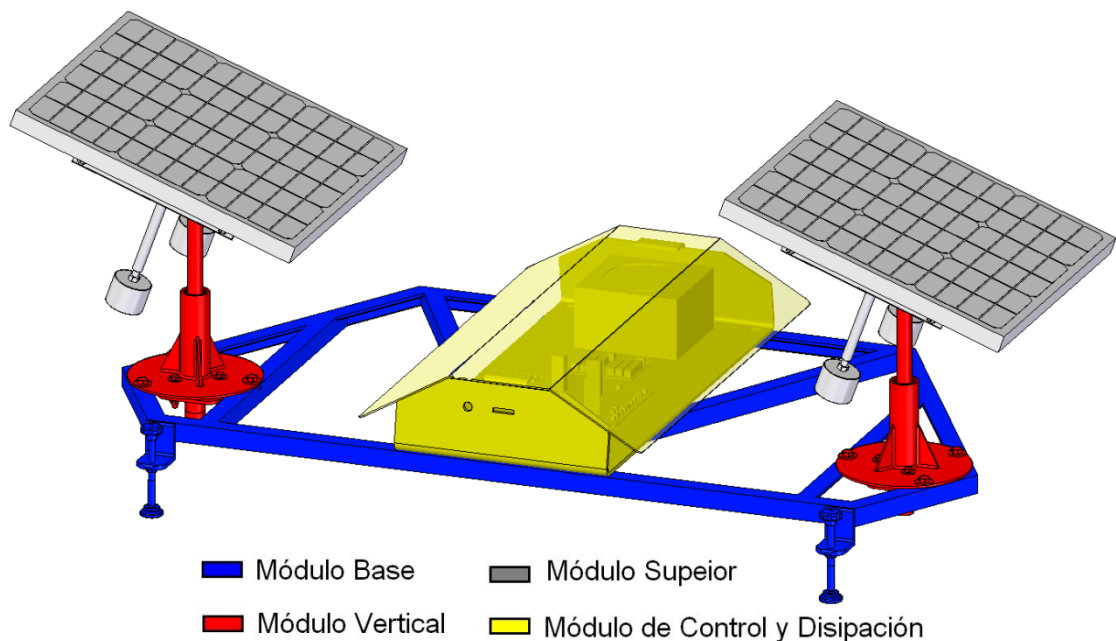
La alternativa 3 fue seleccionada para el desarrollo del proyecto.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

El resultado de éste proyecto es un sistema de colector fotovoltaico compuesto por 4 módulos, el Módulo Base, el módulo Vertical, el Módulo Superior y el Módulo de Control y Disipación, como se ilustran en la Figura 10.

- ❖ El Módulo Base que sirve de soporte del sistema general.
- ❖ El Módulo Vertical contiene los elementos que proporcionan el grado de libertad encargado de ubicar el ángulo Azimut.
- ❖ El módulo Superior contiene los elementos que proporcionan el grado de libertad encargado de ubicar la altura solar.
- ❖ El módulo de Control y Disipación contiene los componentes electrónicos que se encargan del control y disipación, y su respectiva cubierta.

Figura 10. Descripción de los Módulos del Sistema de Colector Fotovoltaico



Fuente: Los autores

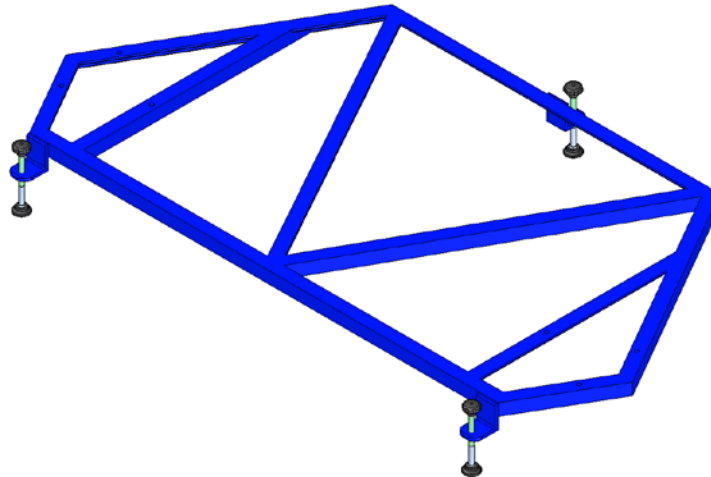
Uno de los objetivos de éste proyecto es hacer una evaluación del desempeño relativo de los Colectores Fotovoltaicos en términos de captación de energía, para lo cual el colector de la derecha contará con un sistema de seguimiento por control de ecuaciones de posición solar, mientras el otro contará con un sistema de control por fotoceldas.

El Panel Fotovoltaico controlado por ecuaciones de posicionamiento solar apuntará directamente al sol, mientras que el Panel controlado por fotoceldas apuntará a la mayor fuente de luz presente en cada instante.

2.3. MÓDULO BASE

Éste módulo está compuesto por los elementos que conforman la estructura general y su objetivo es brindar estabilidad y soporte a los demás módulos del sistema de colector fotovoltaico.

Figura 11. Modulo base

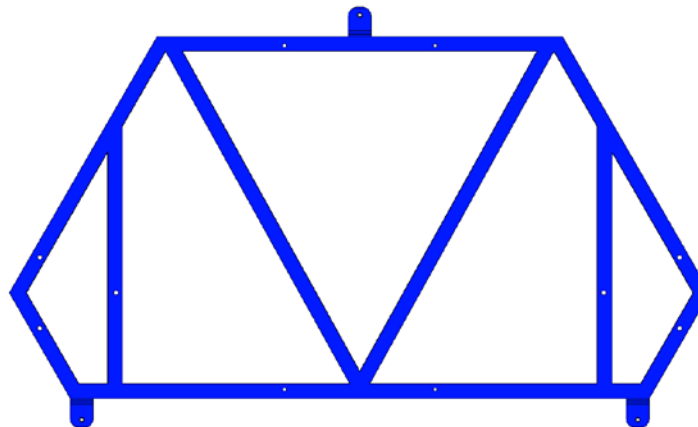


Fuente: Los autores

2.3.1. Estructura Base

Éste elemento es el encargado de dar soporte general a todo el sistema, lleva unos agujeros en donde se acoplan con tornillos los 2 módulos verticales, el módulo de control y disipación, y también tiene acopladas las patas niveladoras rotuladas.

Figura 12. Estructura base



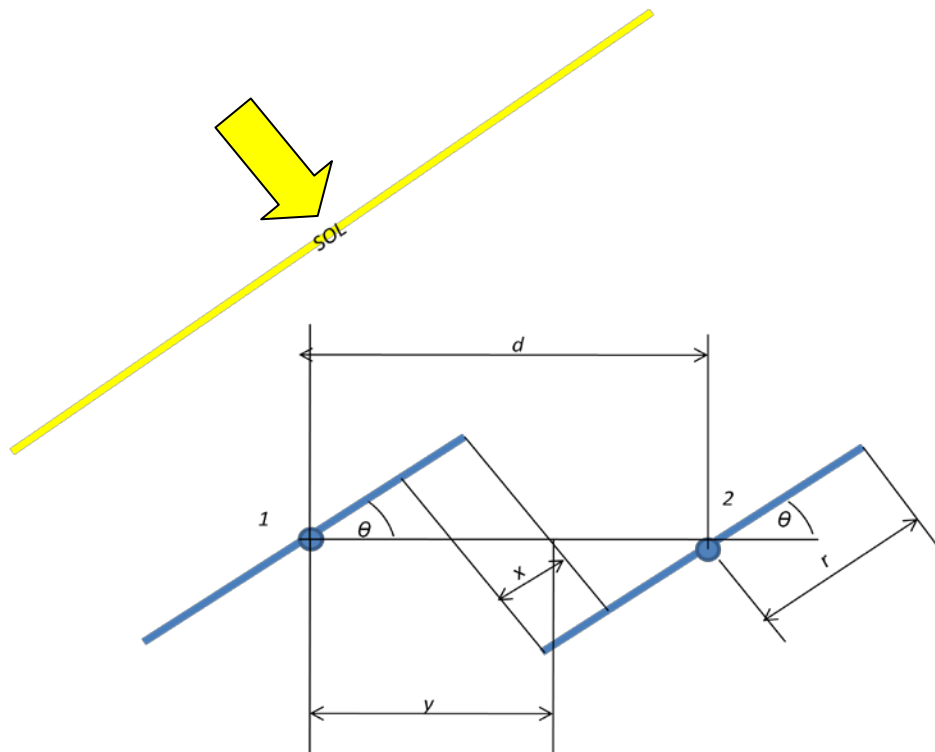
Fuente: Los autores

2.3.1.1 Cálculo de la distancia entre los paneles

La distancia entre los centros de los paneles toma gran importancia al tener en cuenta la posibilidad de que un panel quede bajo la sombra del otro cuando se inclinen, causando así errores en la toma de datos.

Para evitar que se presente ésta situación se hace un cálculo teniendo en cuenta una de las inclinaciones más críticas del panel, el ocaso en el día del solsticio de verano.

Figura 13. Inclinación de los paneles en el solsticio de verano en el ocaso.



Fuente: Los autores.

Usando como datos la latitud de la ciudad de Bucaramanga $\alpha=0.122$ rad, día juliano=172 (para el día 21 de Junio) y utilizando las ecuaciones de posicionamiento, hallamos el ángulo θ , que es igual a 26.6° .

Ecuaciones de posicionamiento del sol Ecuación 2 y Ecuación 3,

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) (d_n - 82) \right] 0.4 \right\}$$

Con los anteriores datos obtuvimos que la distancia mínima (cuando $x=0$) entre los ejes de los paneles es de 47. cm, y aplicando un factor de seguridad igual a dos, obtenemos que:

$$d = 94 \text{ cm}$$

Para facilitar la medición, y el ensamble de los componentes se aproxima la distancia entre ejes a 100 cm.

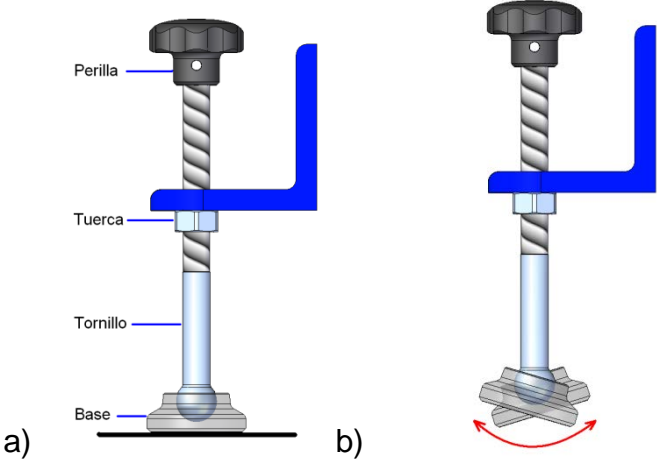
2.3.2. Patas niveladoras rotuladas

Son los elementos encargados de permiten la nivelación de toda la estructura mediante al acople roscado con una tuerca en la estructura base y el giro de la perilla, se componen cada una de una barra roscada con una esfera tallada en una de sus puntas, que sirve para acople con la Base Nivelador, y en el otro extremo se acopla de manera roscada y con un pin una perilla que sirve para desplazar el tornillo y de ésta forma graduar la altura de cada uno de los puntos de apoyo.

La rótula en la parte inferior le permite entrar en contacto directo con superficies completamente horizontales e inclinadas, como se ilustra en la Figura 14, además permite que la base del nivelador no rote en el momento de girar la perilla evitando el desgaste por fricción contra el suelo, y en el caso en que el suelo sea blando evita la creación de surcos o agujeros por la acción de giro de la base, a diferencia de lo sucedería con un nivelador fijo corriente.

Un componente de éstas características específicas no se pudo encontrar fácilmente en el mercado por lo que se diseñó de tal forma que se pudiera fabricar en un taller.

Figura 14. Pata niveladora rotulada



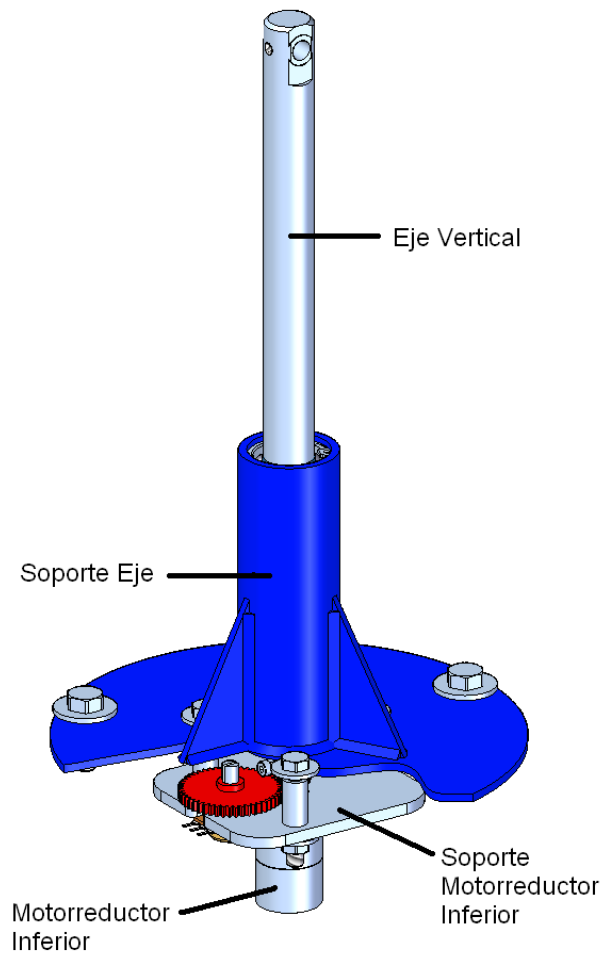
a) Apoyada en una superficie horizontal, b) Movilidad de la Base del Nivelador.

Fuente: Los autores.

2.4. MÓDULO VERTICAL

Éste módulo está compuesto por los componentes que conforman el grado de libertad para el posicionamiento del Azimut.

Figura 15. Módulo vertical



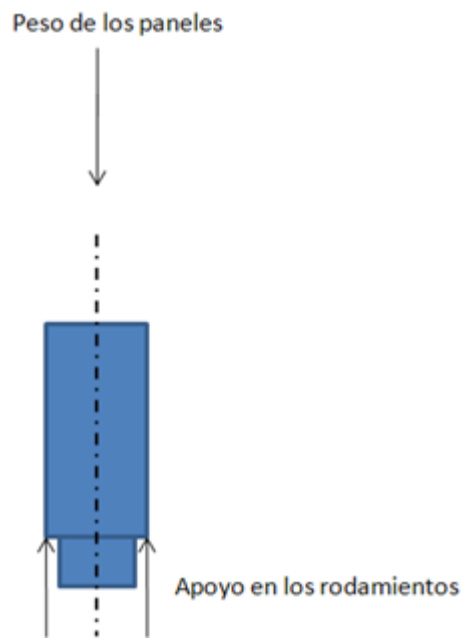
Fuente: Los autores.

2.4.1. Motorreductores para el Azimut

Por la forma en la que está concebido el arreglo, los Motorreductores que controlan el azimut tendrán menos carga que los que controlan la altura solar, ya que el eje que mueve el azimut está en forma vertical y la carga se ubica

axialmente a este, así que únicamente la carga que manejarán estos Motorreductores será de inercia, ya que la fricción en los rodamientos es despreciable.

Figura 16. Fuerzas en el eje vertical (Azimut)

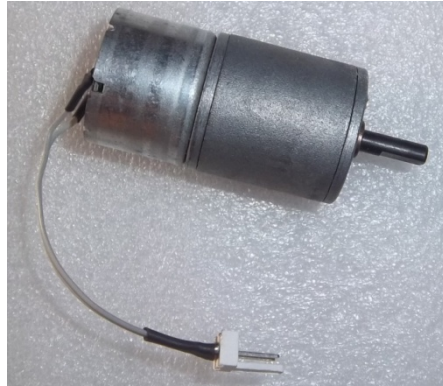


Fuente: Los autores

Así mismo, se sabe que el torque es proporcional a la inercia y la aceleración angular, como este sistema está enfocado en seguir al sol, que se mueve muy lento, la aceleración angular es casi cero. Así que los Motorreductores que se encarguen de mover el azimut simplemente estarán ceñidos a los siguientes criterios. Precio bajo, velocidad baja y un voltaje de operación igual al de los Motorreductores del azimut para evitar agregar más componentes al circuito de alimentación.

Siguiendo esto, se adquieren Motorreductores de 30rpm a 12V con un torque de parada de 8 Kg.cm. Realizando pruebas a estos se observa que el consumo de corriente en parada es de 1.5A.

Figura 17 Motorreductores para el azimut.



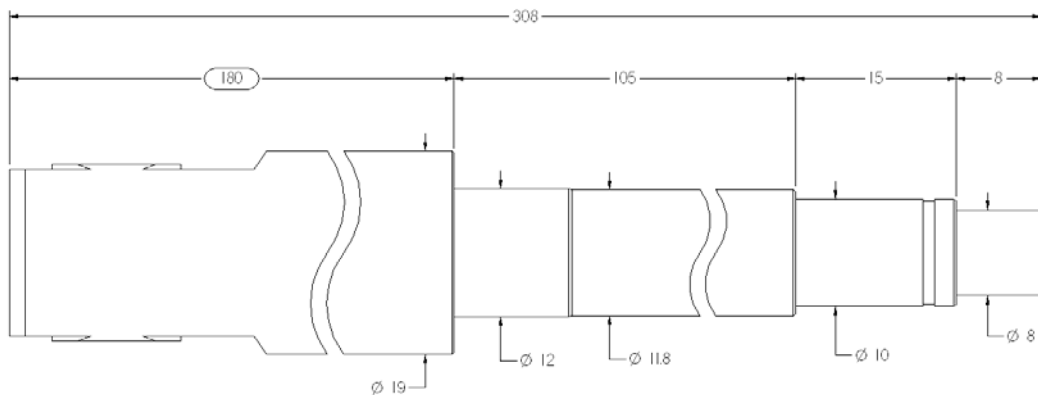
Fuente: Los autores.

2.4.2. Eje vertical

Claramente se puede identificar que el eje vertical es similar a una columna, por lo cual comprobamos la geometría del eje realizando el cálculo del método de carga admisible en columnas.

Aunque la longitud total del eje es de 308 mm podemos simplificar el cálculo del tramo superior en voladizo y con un comportamiento empotrado en la posición del rodamiento, quedando entonces la longitud del eje en 180 mm, con un diámetro de 19 mm.

Figura 18. Dimensiones eje vertical



Fuente: Los autores.

Datos

Sección transversal circular solida: Diámetro =19mm; Longitud =L=180mm

Eje empotrado en el extremo inferior y en voladizo en el extremo superior, para el cual el factor de fijación de extremos es $k=2.1$.

Material: Acero acero AISI 1020 estirado en frio, la resistencia de fluencia es de 250Mpa y el módulo de elasticidad es de 205 Gpa.

Realizando el cálculo del radio de giro, la relación de esbeltez y la constante de columna.

Como el valor de la relación de esbeltez es menor que C_c , entonces la columna es corta corta y se utiliza la ecuación de J. B. Johnson para calcular nuestra carga crítica de pandeo.

Tabla 1. Cálculo de Columna del Eje Vertical

	Ecuación	Resultado
Radio de Giro	$r = \sqrt{I/A}$	4.75mm
Relación de Esbeltez	$\frac{KL}{r}$	75.79
Constante de Columna	$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$	117.12
Carga Crítica según J. B. Johnson	$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y (KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right]$	64333.573 kN
Carga Admisible	$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$	12.866 kN $\approx 1312.kg-f$

Fuente: Los autores

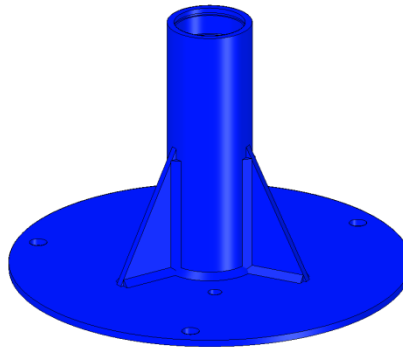
Obteniendo que la carga crítica es de $P_{cr}=64333.573$ kN, y utilizando un factor de seguridad de $N=5$, nuestra carga admisible es: $P_a = 12.866$ kN $\approx 1312.kg - f$

Se puede evidenciar claramente que a pesar de utilizar un factor de seguridad alto la carga admisible sigue siendo elevada y se podría concluir que el eje se encuentra sobre dimensionado, de inmediato se puede pensar en rebajar el diámetro del tramo de 19 mm para reducir su peso y ajustar un poco el diseño, pero es claro que es necesario éste diámetro en la punta, debido a la necesidad de que contenga al eje superior, y reducir el diámetro del tramo restante generaría la necesidad de mecanizar éste tramo, aumentando así el costo de fabricación del eje vertical innecesariamente.

2.4.3. Soporte eje

El soporte del eje es una carcasa que aloja los rodamientos que lleva el eje vertical y en la parte inferior lleva un plato agujereado unido con tres refuerzos soldados, los agujeros del plato base sirven para el acople apernado con la estructura base y con el soporte del Motorreductor inferior.

Figura 19. Soporte eje



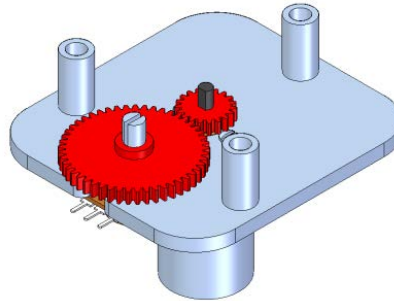
Fuente: Los autores.

2.4.4. Soporte Motorreductor inferior

El soporte para el Motorreductor inferior está compuesto de una placa en donde se fija el Motorreductor y unos bujes separadores que aseguran la distancia que debe

haber entre el Eje Vertical y el Motorreductor, a ésta placa también se fija el potenciómetro.

Figura 20. Soporte Motorreductor inferior



Fuente: Los autores

Las especificaciones de los piñones seleccionados son las siguientes:

Tabla 2. Especificaciones Piñones Motorreductor – Potenciómetro Azimut

	Motorreductor	Potenciómetro
Paso	2.45	2.45
Módulo	0.78	0.78
Altura del Diente	1.69	1.69
Número de Dientes	19	49
Ángulo de Presión	20	20
Diámetro Primitivo	14.82	38.21
Diámetro Exterior	16.38	39.77
Diámetro Interior	13.00	36.39
Relación	2.58	
Distancia entre ejes	26.515	

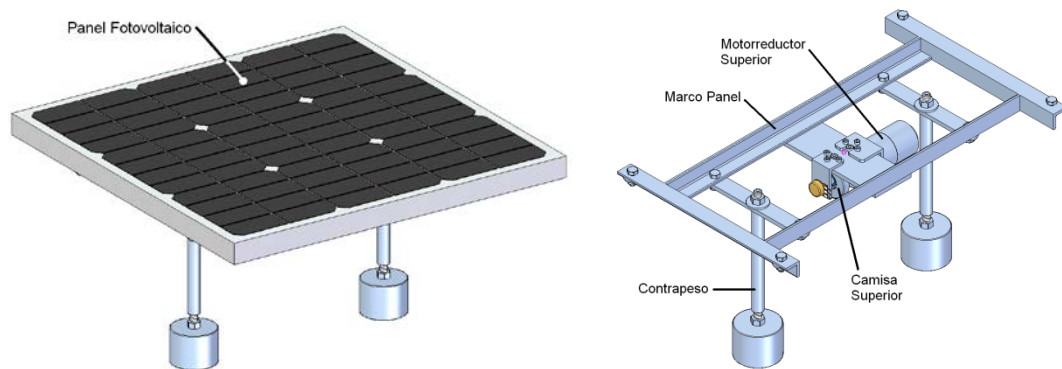
Fuente: Los autores

2.5. MÓDULO SUPERIOR

Éste módulo está compuesto por los componentes que conforman el grado de libertad para el posicionamiento de la altura solar, el contrapeso y el Panel Fotovoltaico con su respectivo soporte.

En la etapa de diseño de éste módulo se le dio mayor importancia a los componentes que asegurarían el correcto funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, como por ejemplo los Motorreductores, el elemento de unión entre el marco del panel y el módulo vertical (Camisa superior) y los rodamientos; y fueron éstos los que establecieron el punto de partida dimensional de los demás componentes del módulo.

Figura 21. Modulo superior



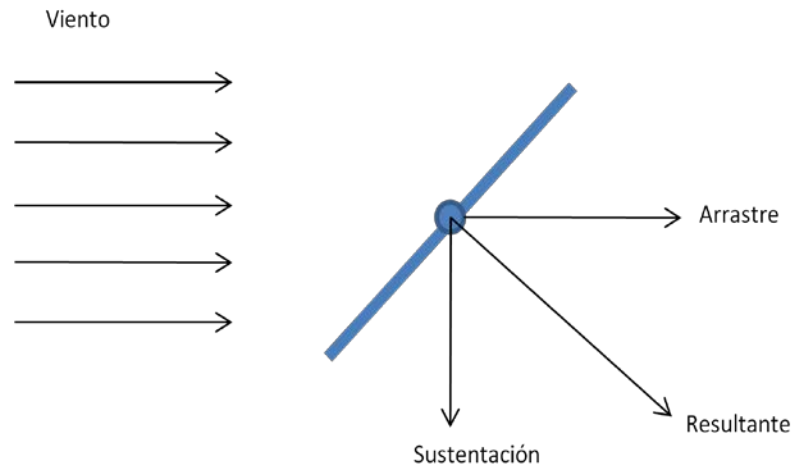
Fuente: Los autores

2.5.1. Motorreductores para la altura solar

El criterio a seguir para seleccionar los Motorreductores que se encargarán de movilizar el panel para variar el ángulo de altura solar es simplemente torque. El viento no se considerará como un factor para esto, ya que se supone flujo laminar y homogéneo sobre la superficie del panel que es simétrica respecto al eje,

entonces el viento que incide sobre el panel se concentrará en el centro del eje que se encuentre normal a la corriente de aire sin resultar en torque.

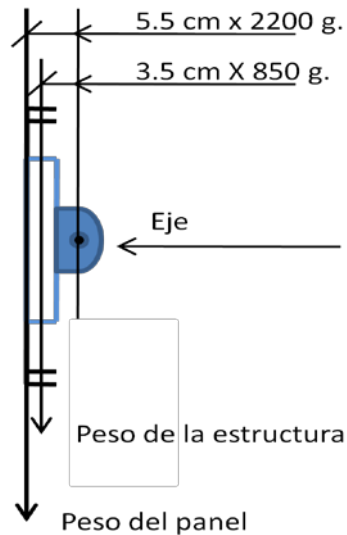
Figura 22. Viento incidente sobre los paneles.



Fuente: Los autores

Los rodamientos que los sostienen hacen la fricción despreciable, así que la carga que manejarán estos será la del peso del panel y la estructura que lo sostiene.

Figura 23. Esquema de fuerzas en el eje de la altura solar



Fuente: Los autores

La Figura 23 ilustra el torque que tiene que vencer el motor para mover el panel en el punto de mayor carga. Cuando el panel está con una altura solar de cero grados. Realizando los cálculos:

$$5.5 \cdot 2200 + 3.5 \cdot 850 = 15075 \text{ g.cm o aprox. } 15 \text{ kg.cm}$$

Con este dato entramos a la tabla de Motorreductores del proveedor “dynamo electronics” y seleccionamos el Motorreductor de 18Kg cm, además por ser el Motorreductor con el valor mínimo de revoluciones por minuto, 80 rpm.

Figura 24. Motorreductores ofrecidos por “dynamo electronics”.



Fuente: www.dynamoelectronics.com

2.5.2. Eje superior

El eje superior sirve como pivote del módulo superior y soporta todo su peso. Todo el conjunto pesa aproximadamente 5 Kg (50 N).

El dimensionamiento de éste elemento obedece a la necesidad de acoplar el eje del Motorreductor en un extremo y el potenciómetro en el otro, y la disponibilidad de rodamientos comerciales; tomando éstos dos factores como punto de partida para realizar el dimensionamiento del eje y se procede a hacer una verificación del diseño.

En Figura 25 se puede observar la distribución de fuerzas que interactúan en el eje, y teniendo en cuenta los siguientes datos se realizan los cálculos de verificación.

Datos:

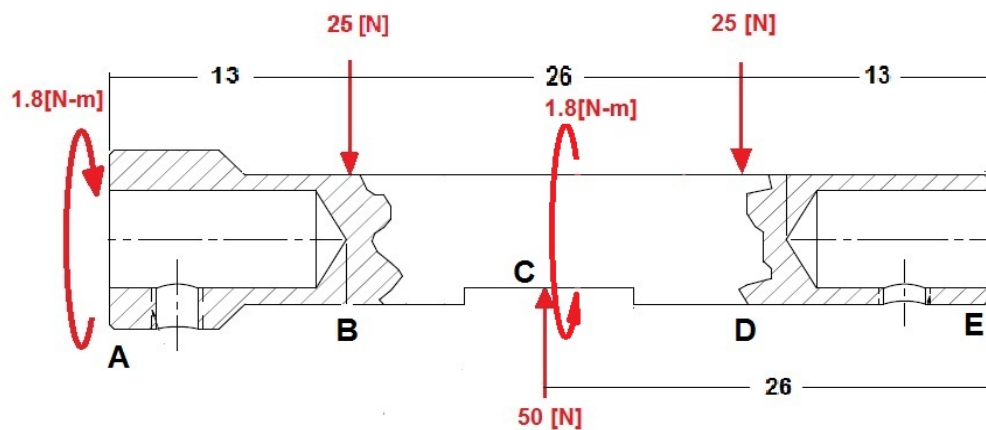
$d_e = 8$ [mm] $d_i = 6$ [mm]

Peso de la estructura (sobre los puntos B y C): 50[N]

Torque ejercido por el motor (T) = 1.8 [N-m]

Acero 1020 $S_y = 295$ [MPa]

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre.



Medidas en milímetros

Fuente: Los autores

Se identifica el punto C como el más crítico y se realizan los cálculos para hallar el factor de seguridad, los resultados de los cálculos se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 3. Cálculo del Factor de seguridad del Eje Superior

	Ecuación	Resultado
Esfuerzo Normal	$\sigma_x = \frac{M * c}{I}$	6.465 [MPa]
Esfuerzo Cortante	$\tau_{xy} = \frac{T * c}{J}$	17.905 [MPa]
Esfuerzos Normales Principales	$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	$\sigma_1 = 21.42 [MPa]$ $\sigma_2 = -14.96 [MPa]$
Factor de Seguridad	$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 * \sigma_2 \geq \frac{S_y}{n_s}$	$n_s = 9.31$

Fuente: Los autores

El factor de seguridad del Eje Superior sobrepasa las condiciones de uso a las que será sometido.

2.5.3. Paneles Solares Fotovoltaicos

Son el componente principal de este arreglo. El objetivo principal de este proyecto se basa en la orientación de los Paneles Solares Fotovoltaicos en el mejor ángulo posible con dirección al sol mediante dos formas de seguimiento (ecuaciones de posición y fotoceldas). Después de consultar precios y tamaños de paneles, exclusivamente por cuestiones de portabilidad, tamaño y precio se eligen paneles de 20W con medidas de 420 x 420 x 25 mm del proveedor "HQRP". Son dos paneles gemelos dispuestos en la estructura.

Figura 26. Paneles solares fotovoltaicos.



Fuente: www.hqrp.com

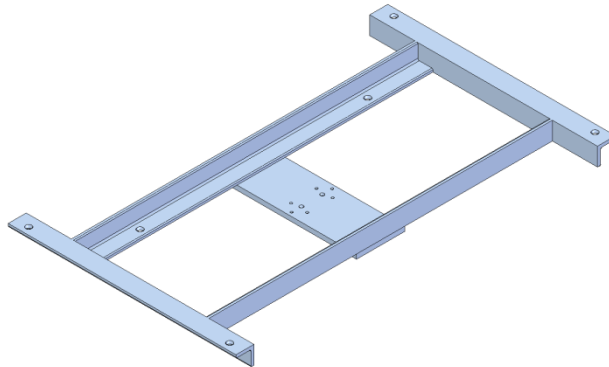
Los paneles elegidos tienen las siguientes características:

- Potencia máxima: 20 W
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): 21.6V
- Corriente en corto circuito (I_{sc}): 1.3A
- Voltaje de máxima potencia (V_{mp}): 17.2V
- Corriente de máxima potencia (I_{mp}): 1.17A
- Dimensiones: 420x420x25 mm
- Peso: 2.2 Kg.

2.5.4. Marco Panel

Esta estructura de ángulo de acero permite fijar con tornillos el Panel Fotovoltaico y el juego de contrapesos, lleva en la parte inferior y en el centro una placa de acero agujereada para el acople de la camisa de rodamientos del eje superior.

Figura 27. Marco panel

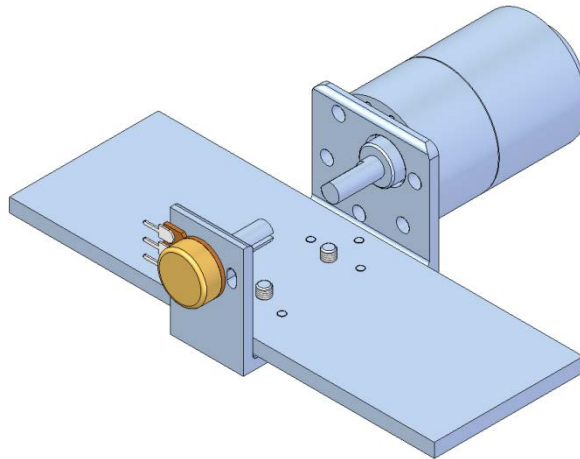


Fuente: Los autores

2.5.5. Soporte Motorreductor y potenciómetro superior

Estos elementos dan soporte al Motorreductor y al Potenciómetro respectivamente y se fijan a la placa del marco del panel como se muestra en la Figura 28.

Figura 28. Soporte Motorreductor y Potenciómetro Superior



Fuente: Los autores

2.5.6. Camisa superior

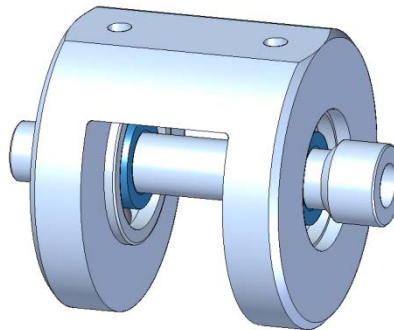
Elemento de unión entre el eje superior y el marco del panel, y que aloja a los rodamientos del eje superior.

Aunque la descripción de la función del elemento es bastante sencilla, a éste elemento se le dio una gran importancia en la etapa de diseño debido a que debe asegurar la estabilidad del Panel Fotovoltaico con su respectiva estructura, para cumplir con el requerimiento de garantizar que los paneles sean sometidos a las mismas condiciones y además reducir al máximo factores externos que puedan influir en los resultados arrojados por cada uno de ellos

Debido a que comercialmente no se encuentra ningún elemento que se pueda adaptar fácilmente y que cumpla con la función principal de la parte, se decide diseñar y fabricar éste elemento.

Para poder asegurar que los elementos fabricados (uno para cada panel) fueran idénticos y que no presentaran defectos en la fabricación como por ejemplo descentre, desalineaciones, holguras no deseadas, etc., se realiza el diseño teniendo en cuenta como parámetro decisivo el método de fabricación, que se describe a detalle en el siguiente capítulo.

Figura 29. Camisa superior



Fuente: Los autores

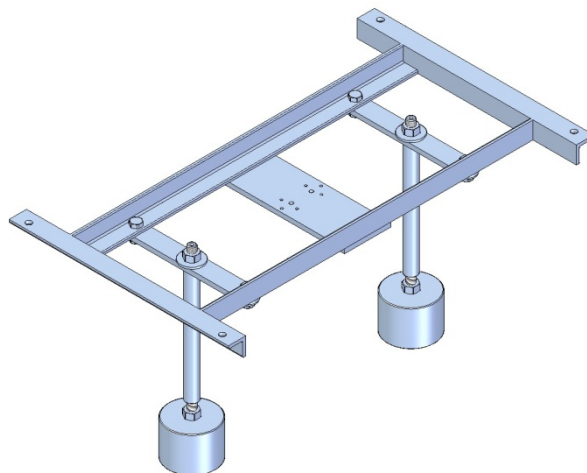
2.5.7. Contrapeso

El diseño de la forma del contrapeso se hizo a través de las herramientas de cálculo de centros de masa del programa CAD utilizado para el modelamiento, para esto se midieron y pesaron cada uno de los componentes comprados, como el panel fotovoltaico, Motorreductores, potenciómetros y tornillería en general; se alimentó el software con éstos datos y se realizó el ensamble con los demás componentes diseñados, para calcular de ésta forma el centro de masa del conjunto.

Se incorporaron los elementos que componen el contrapeso y realizando un diseño dinámico, se estableció la forma y dimensiones de cada componente, teniendo en cuenta que estos componentes pudieran ser fabricados de manera sencilla.

Son necesarios dos contrapesos para cada Panel, uno a cada lado del marco del panel. El contrapeso consta de una platina, que es la que se fija al panel; una barra roscada en los dos extremos, una pesa y una contratuerca para fijar la pesa como se ilustra en la Figura 30.

Figura 30. Contrapeso



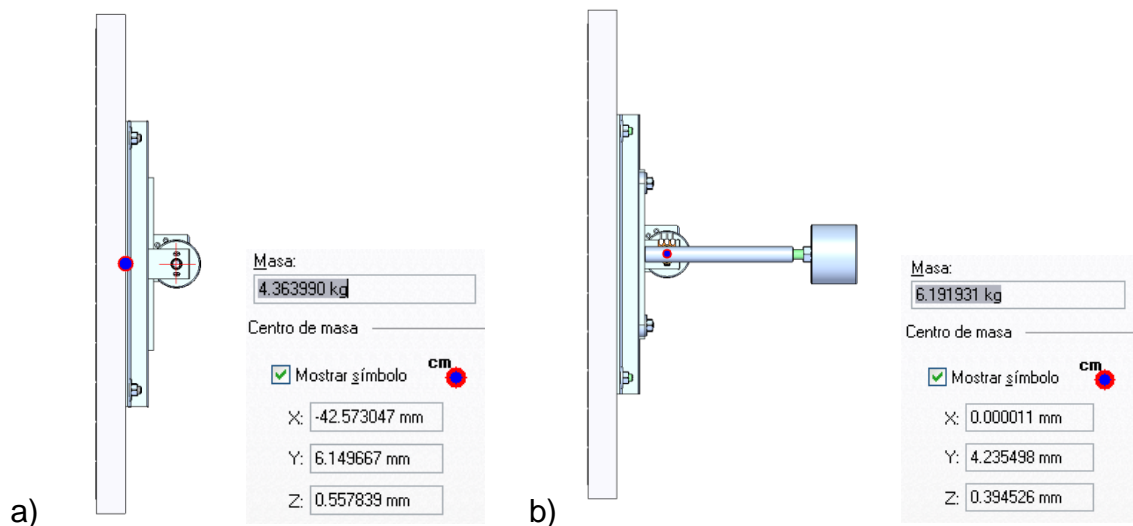
Fuente: Los autores

Se tuvo en cuenta un margen de error que pudiera presentarse entre el valor del centro de masa calculado por el programa vs el real de la estructura, debido a las aproximaciones hechas en los valores del peso de los componentes o por la necesidad de incorporar algún componente adicional que no se haya tenido en cuenta en el diseño, para proponer un contrapeso graduable manualmente para que se ajuste a la situación requerida.

En la Figura 31 a) se pueden observar los resultados de los cálculos de centro de masa realizados por el programa CAD para el panel ubicado verticalmente sin contrapeso, el valor de centro de masa en x es de -42.573 mm y con un peso estructural de 4.364 Kg el torque generado es de 18.57 Kg-cm.

En el caso b) de la Figura 31 tenemos los valores calculados con el contrapeso en donde se puede evidenciar que el centro de masa se encuentra prácticamente en el eje de rotación, componente X igual a cero, eliminando el torque del caso anterior y con tan solo un aumento en el peso estructural de 1.82 Kg.

Figura 31. Centro de Masa del Contrapeso



Fuente: Los autores

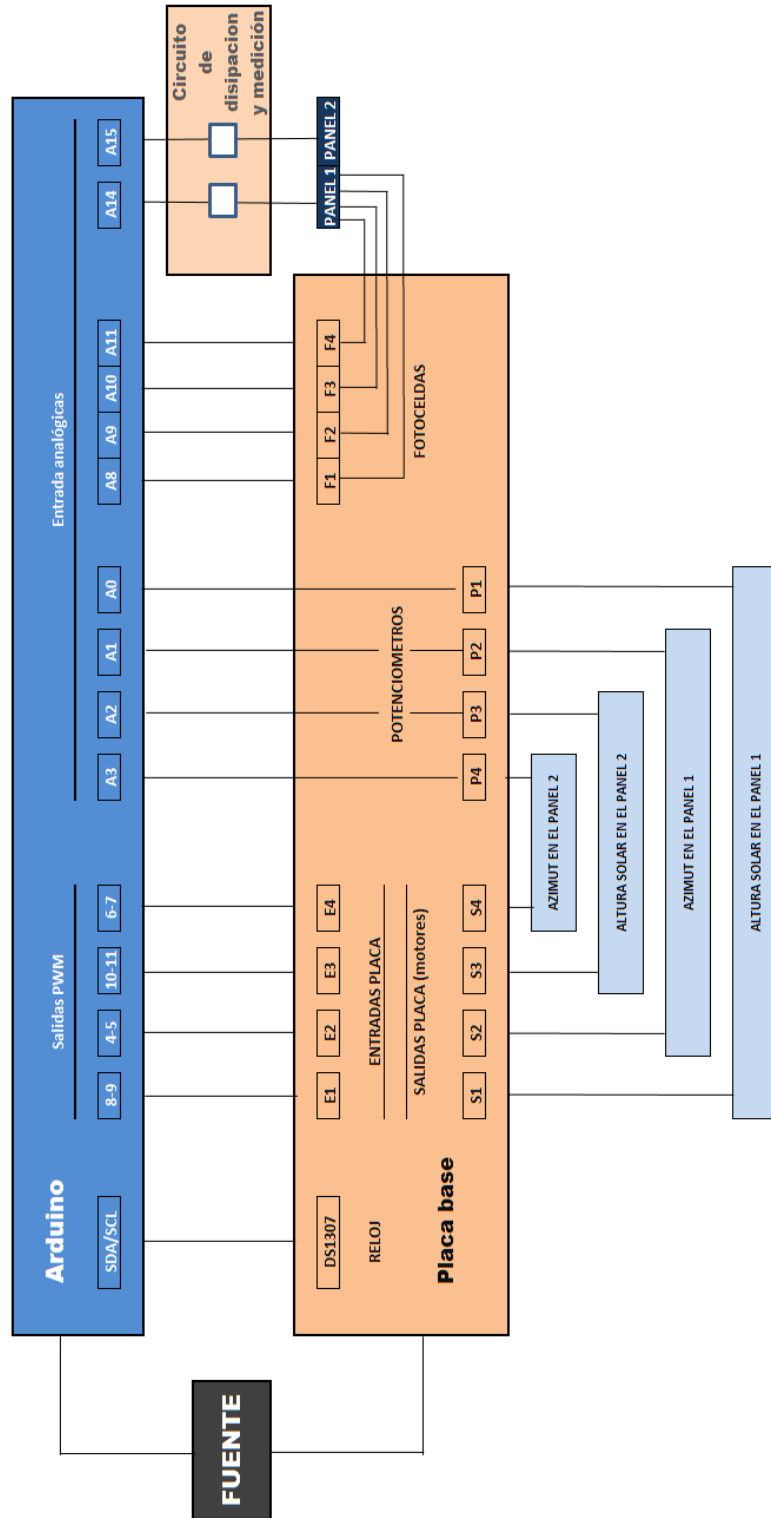
2.6. MÓDULO CONTROL Y DISIPACIÓN

El módulo de control y disipación es el que permite el movimiento de los paneles, la medición de la energía que éstos captan, además de disiparla. Diversos componentes están enlazados para conseguir el funcionamiento del sistema, los elementos están enlazados con el cerebro del arreglo, que es el microcontrolador. Los elementos básicos del módulo de control y disipación son:

- Placa base
- Microcontrolador (Arduino Mega)
- Circuito de disipación y medición
- Fuente
- Sensores (Fotoceldas y Potenciómetros)
- Actuadores (Motorreductores)

La manera como se encuentran enlazados los componentes del módulo se ilustra en la Figura 32.

Figura 32. Esquema de enlazamiento de la partes del módulo de Control



Fuente: Los autores

2.6.1. Placa base

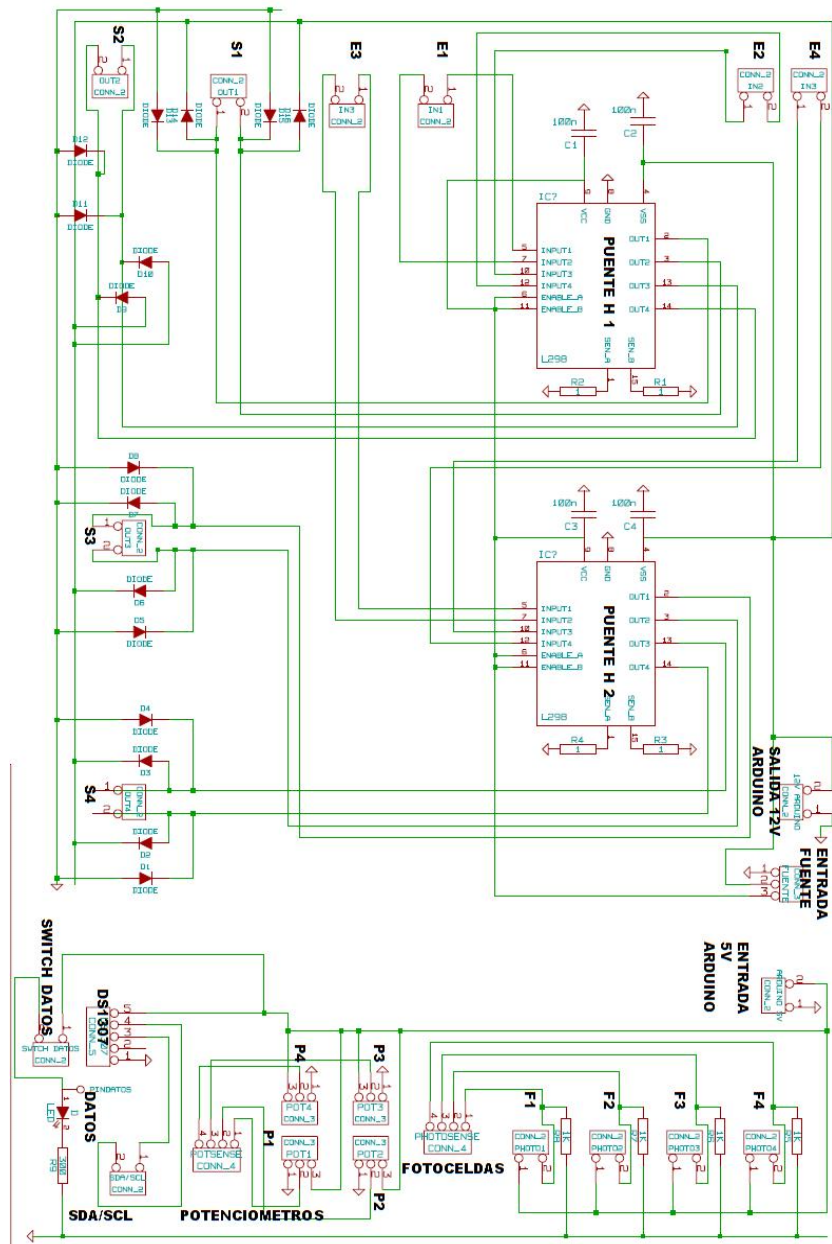
La placa base es el circuito que enlaza todos los componentes anteriormente nombrados con el Arduino, es el intermediario que los contiene o contiene las conexiones y elementos necesarios para llegar a éstos. La placa base fue montada sobre una baquelita genérica punteada de 15x20cm. La más grande que ofrece el mercado local, esto con el objetivo de no dejar reducido el espacio para permitir una mejor visualización de los componentes y conexiones para seguir con el enfoque académico e investigativo que tiene el proyecto.

La placa base tiene los siguientes elementos:

- 2 Puente H L298N
- 4 pares de entradas PWM
- 4 pares de salidas PWM
- 16 diodos
- 4 capacitores de 100 nF
- 8 Resistencias de 1 ohmio
- Entrada de 12V y 5V de entrada
- Salida de 12V para el Arduino
- Entrada de 5V desde Arduino
- Puerto de acople para el DS1307
- Salida SDA/SCL del DS1307
- 4 entradas para conectar fotoceldas (en serie con resistencias de 1K ohmio.)
- 4 entradas para conectar potenciómetros
- 8 salidas para analógicas (potenciómetros y fotoceldas)
- 2 disipadores para puentes H.

El circuito esquemático de la placa base se muestra a continuación:

Figura 33. Circuito esquemático de la placa base

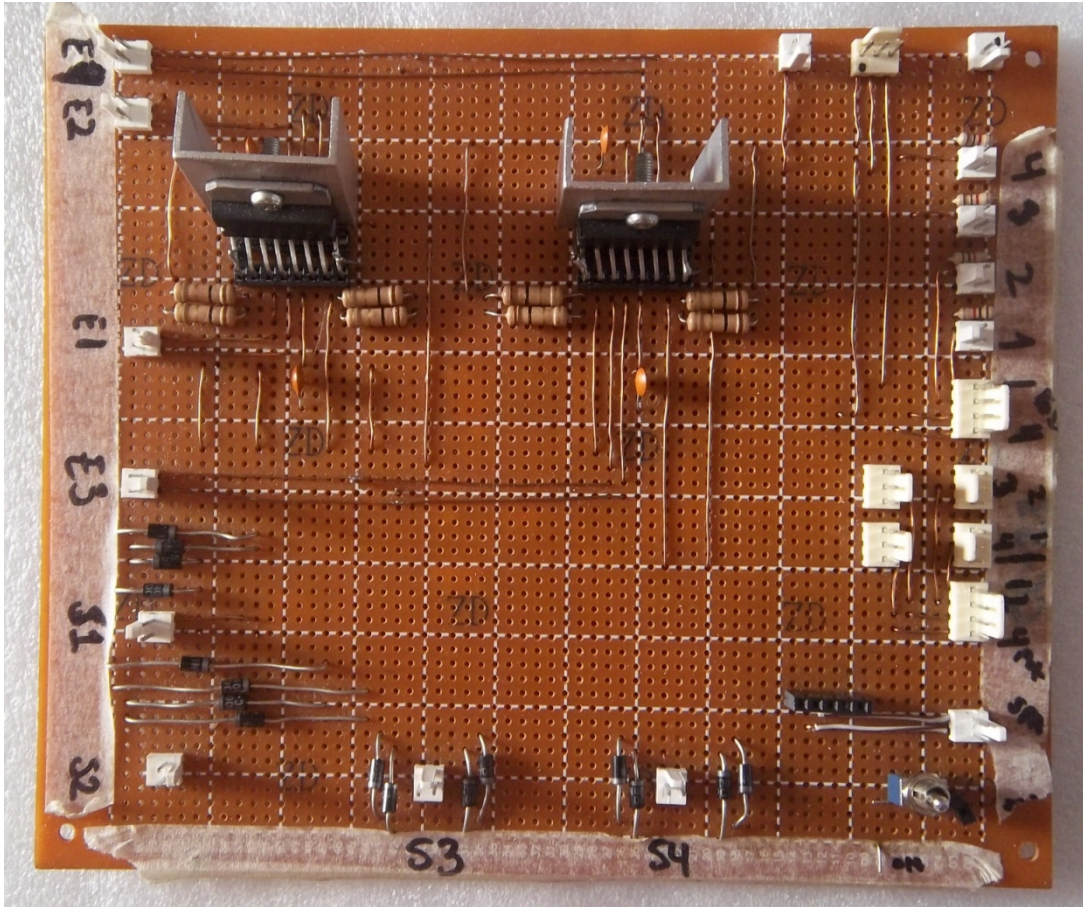


Fuente: Los autores

El esquemático ampliado se muestra en el anexo.

La placa contiene los elementos soldados a ésta y enlazados por alambre de cobre de 0.5mm. La placa finalizada se muestra a continuación:

Figura 34. Placa base



Fuente: Los autores.

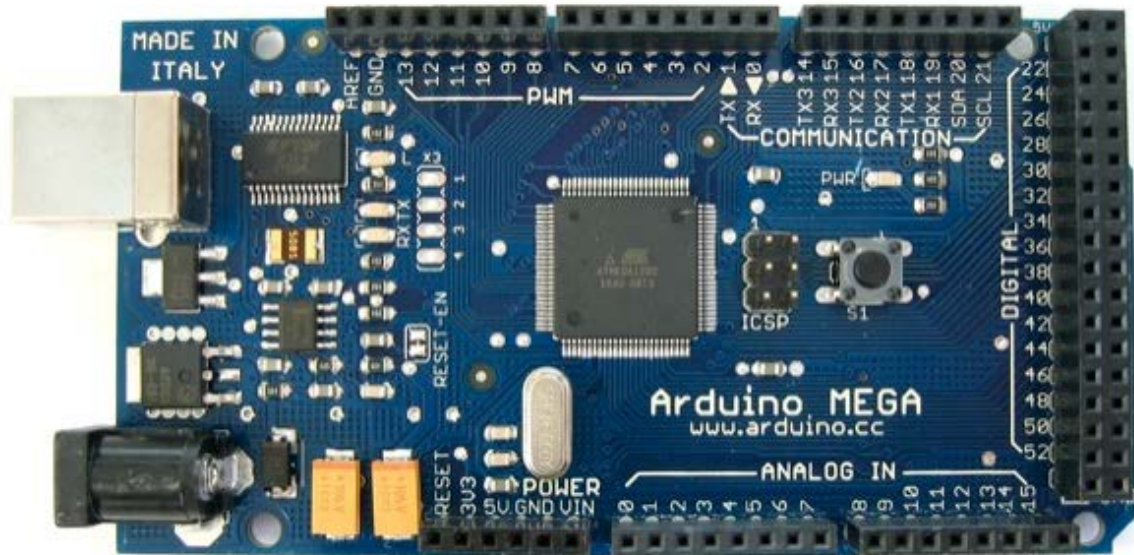
2.6.2. Arduino

Arduino es una forma electrónica abierta de prototipado rápido basada en microcontroladores Atmega, posee todas las características para funcionar al estilo “plug and play”. Capta diversas variantes del entorno mediante sensores y envía señales a actuadores. Es básicamente un micro-controlador sencillo, versátil y económico.

Arduino Mega es el controlador elegido para esta aplicación por las características anteriormente nombradas, además de poseer un consumo de corriente bajo y la

posibilidad de almacenar datos en la memoria EEPROM, la cual permite guardar bytes que no se borran al cortar la energía.

Figura 35. Arduino



Fuente: www.arduino.cc

Las características de hardware del Arduino Mega son las siguientes:

Microcontrolador: ATmega1280

Voltaje de funcionamiento : 5V

Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V

Voltaje de entrada (limite): 6-20V

Pines E/S digitales : 54 (14 PWM)

Pines de entrada analógica: 16

Intensidad por pin: 40 mA

Memoria Flash: 128 KB

SRAM : 8 KB

EEPROM: 4 KB – números de 0 a 255.

Velocidad de reloj: 16 MHz

Al saber que la intensidad por pin es de menos de 40mA, se nos deja claro que no se pueden manejar directamente los distintos motores y captar directamente de los sensores. Así que será necesario agregar circuitos intermedios que permitan enlazar el micro-controlador con los distintos componentes.

2.6.3. Circuito de medición y disipación de potencia

Al ser uno de los objetivos de este proyecto la medición comparativa entre las captación de energía en los paneles solares según el tipo de seguimiento, se hace necesario un circuito que nos permita disipar y medir la potencia que están dando los paneles en cada momento. Para efectos prácticos y evitar variaciones en la resistencia, el circuito solo usará resistencias eléctricas para disipar la potencia en forma de calor. El cálculo de la resistencia del circuito se basa en el punto de máxima potencia de los paneles: 17.2V y 1.17 A.

Sabiendo que $V=I \cdot R$, podemos despejar la resistencia para el punto de máxima potencia.

$$R=V/I = 17.2/1.17 = 14.7 \Omega.$$

Entonces, la resistencia total que tengan los circuitos de disipación debe ser de aproximadamente 14.7 Ω para cada panel. Para evitar altas temperaturas en las resistencias que puedan llegar a quemar un cable, se usará un factor de seguridad de 2 para elegir la potencia que disipen las resistencias, es decir, que estas puedan disipar 40W.

Sabemos también, que queremos medir la potencia que estén dando los paneles en tiempo real, para esto hemos de tomar la medida de la corriente en algún punto del circuito. El Arduino será el voltímetro a elegir para la medición de la potencia, estos datos se guardarán en la memoria EEPROM para evitar la pérdida de datos cuando el Arduino esté apagado. De los datos que sabemos del Arduino, este

puede guardar números en su EEPROM de 0 a 255. En sus pines de entrada, el Arduino tiene una resolución de 10 bits y mide voltajes de 0 a 5V:

Resolución: $2^{10} = 1024$

Esto quiere decir que el Arduino mide datos de 0 a 5V, donde 0V es cero y 5V es aproximadamente 1023. Volviendo al tema de la EEPROM, si captamos datos estos deben estar entre 0 y 255. Entonces hacemos una regla de 3 para hallar el potencial de máximo de caída que debe haber en la medición:

$255/1023 * 5 = 1.249 \text{ V}$, o aprox 1.25V.

Sabiendo que la corriente en el circuito es de 1.17A en el punto de máxima potencia, y que la caída de potencial en el punto de medición debe ser máximo 1.25V:

$R = V/I = 1.25/1.17 = 1 \ \Omega$.

Con esto, sabemos que una de las resistencias debe tener 1 Ω y el total aproximadamente 14.7 Ω , para simplificar las cosas haremos un arreglo de resistencias en serie, entonces las resistencias restantes deben tener un equivalente de:

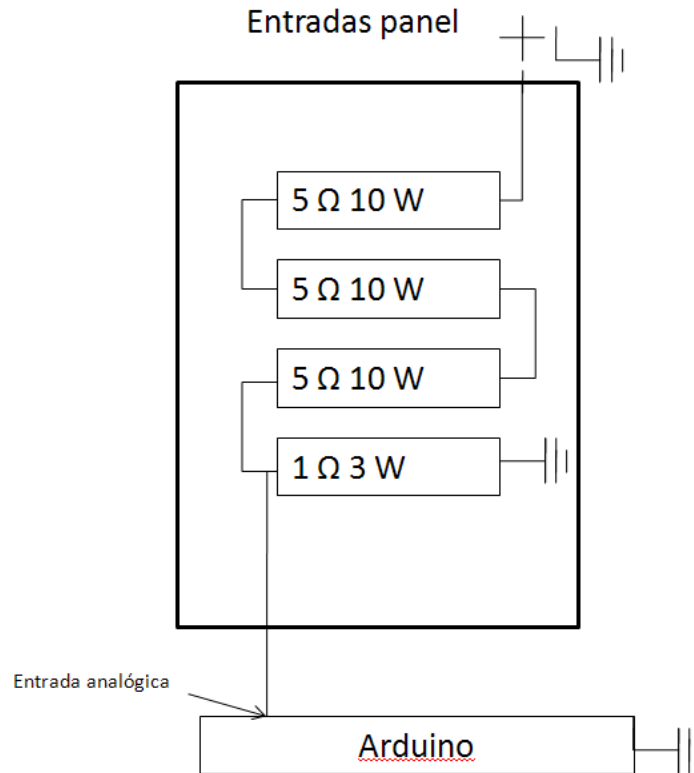
$R_{eq} = 14.7 - 1 = 13.7 \ \Omega$.

Recurriendo al mercado local se adquieren 3 resistencias de 5 Ω y 10 W y una resistencias de 1 Ω y 3 W para cada circuito que darán el punto más cercano al deseado, ya que las resistencias de 5 Ω en realidad tienen 4.7 Ω , dando así una resistencia total:

$R_{total} = 4.7 * 3 + 1 = 15.1 \ \Omega$.

Esto es un punto aceptablemente cercano al deseado. El arreglo esquemático será así.

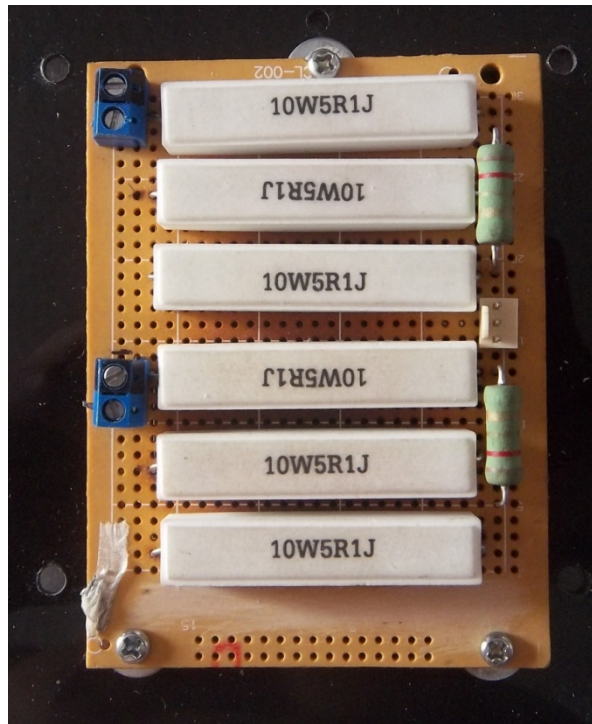
Figura 36. Esquema del circuito de disipación y medición.



Fuente: Los autores.

Después de juntar los elementos en una baquelita genérica, el arreglo montado que contiene los 2 circuitos de disipación y medición gemelos es probado a una fuente de 12V y chequeada la potencia disipada por ambos haciendo uso del Arduino como voltímetro. Para el arreglo la caída de potencial es exactamente igual en ambos circuitos gemelos, lo cual garantizará la justa comparación futura de los tipos de seguimiento. A continuación se muestra el circuito ensamblado:

Figura 37. Circuito de disipación y medición



Fuente: Los autores.

2.6.4. Puentes H

Los puentes H son circuitos que permiten la comunicación entre el controlador y el motor, consiguiendo controlar el motor con corrientes de entrada muy bajas a los puentes H, pero corrientes de salida altas al motor, evitando así que el microcontrolador sufra una elevada corriente en los pines de salida que puedan dañarlo. Son indispensables para controlar los motores DC que hacen de actuadores en este arreglo. Recurriendo al proveedor de circuitos local, se adquieren puentes H de la referencia L298N, por ser estos los de mayor corriente en el mercado local además de poder manejar hasta 2 motores a la vez. Los puentes H L298N tienen las siguientes características:

Alimentación: 5-46V DC

Corriente máxima: 2 Amperios por salida

Alimentación lógica: 5-7V

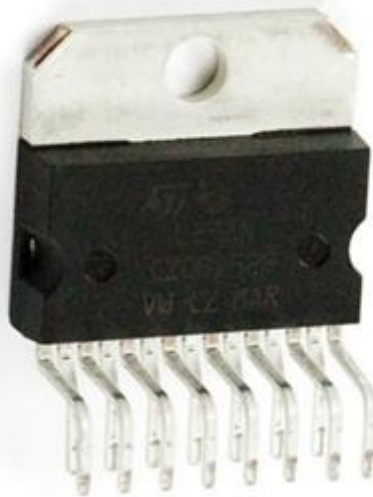
Corriente para lógica: ~36 mA

Niveles TTL: Bajo -0.3V~1.5V, alto: 2.3V~Vss

Potencia máxima: 25W (75°C)

Temperatura de funcionamiento: -25°C a 130 °C

Figura 38. Puente H L298N



Fuente: www.5hz-electronica.com

Estos puentes H necesitan montarse en un circuito con los siguientes componentes adicionales:

- Resistencias de menos de 1Ω.
- Capacitores de 100nF.
- Diodos de recuperación rápida.

Aunque los motores que controlan la altura solar consumen en parada 5A de corriente, los puentes H podrán soportarse, ya que la corriente se enviará por

pulsos haciendo uso de la programación del Arduino, lo que disminuye considerablemente la corriente, sumado a esto la resistencia de los cables que conectan el motor con el puente H y los disipadores que se acoplan a los puente H, hacen que sea posible manejar estos motores sin quemar el puente H, después de realizar pruebas con torque de parada en los paneles los puente H apenas alcanzas a sentirse tibios al tacto.

2.6.5. Fococeldas

Las fotoceldas son sensores cuya resistencia varía según la intensidad de luz incidente sobre estas. Están hechas de un conductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio, cuando una luz incidente tiene la suficiente fuerza, los fotones son absorbidos por la elasticidad propia del material semiconductor y entonces los electrones tienen la suficiente energía para saltar a la banda de conducción permitiendo el paso de corriente con menor resistencia.

Figura 39. Fococelda



Fuente: Los autores.

Las fotoceldas estarán dispuestas en los bordes del panel que se basa en éstas para el control de su posición, estas se encargan de garantizar que el panel esté en un ángulo adecuado si la medida de los pares de fotoceldas dispuestas en los contornos se igualan.

Las fotoceldas tienen una buena repetitividad en su medición aunque la repetitividad entre las medidas de distintas fotoceldas es muy baja. Por ejemplo, algunas pueden para ciertos espacios medir diferencias de potencial de 1v a 4 V mientras que para el mismo espacio otra fotoceldas virtualmente iguales puede medir diferencias de potencial entre 2V y 3V, aunque el fenómeno se mantiene, a mayor luz menos caída de potencial. Esto resulta ser un gran problema si se quiere comparar las medidas de los pares de fotoceldas para conseguir posicionar el panel en un ángulo apropiado, ya que si el par de fotoceldas está siendo incidida con la misma intensidad de luz, habrá una diferencia significativa en las medidas. Afortunadamente con ayuda del controlador y sabiendo que el fenómeno se mantiene, se puede lograr la misma medida para una misma luz incidente con fotoceldas que miden diferencias de potencial distintas. Esto se consigue haciendo una función de calibración con el controlador, en el cual este mide comparativamente los resultados de los pares de fotocelda haciendo un barrido de los distintos ángulos de posición de estas, variando así la luz incidente: exponiéndolas a la máxima y mínima luz posible en el espacio donde se ubique el panel, anotando sus máximos y mínimos. Una vez se conoce el comportamiento de cada fotocelda del par, una de éstas se mide en función de la otra, haciendo que para la misma luz incidente las dos tengan una medida extremadamente similar. La función de calibración es necesaria, se inscribe en el código de programación, y se hará cada vez que se encienda el sistema de colectores.

2.6.6. Reloj de tiempo real

El reloj de tiempo real es un componente clave en el sistema de seguimiento del panel que usa control por ecuaciones de posición, ya que es el que proporcionará la hora y la fecha para obtener los distintos ángulos en los que se encuentra el sol durante el día.

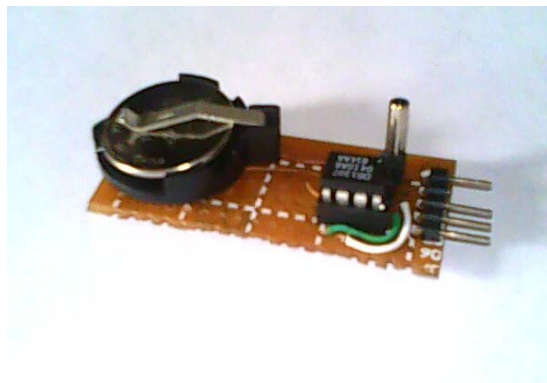
El reloj de tiempo real se basa en un circuito integrado DS1307, el cual está diseñado para entregar y recibir información de segundos, minutos, horas, días, meses, años y días de la semana. Tiene la cualidad de mantenerse encendido una vez que el controlador se apaga pasando automáticamente a funcionar con una batería de reserva. Los componentes adicionales necesarios para que este pueda operar son:

-Cristal a 32.768 KHz.

-Fuente a 3.3 V

El reloj de tiempo real DS1307 estará conectado al arduino por puertos de comunicación SDA y SCL.

Figura 40. Circuito integrado DS1307 con componentes adicionales.



Fuente: Los autores

2.6.7. Fuente de poder

Para el funcionamiento del sistema es absolutamente necesario que los motores tengan alimentación eléctrica y también el Arduino, y aunque esta podría ser suplida por los paneles no se cumpliría el objetivo de poder disipar la máxima energía captada del sol por éstos en un instante dado. Por esto se hace necesario reservar los paneles al circuito de disipación el cual se encargará de disipar por completo la energía que estos captan mientras el sistema de seguimiento es alimentado externamente por una fuente de poder. La fuente de poder debe cumplir los requisitos de poder alimentar los motores y el Arduino que a su vez alimenta los sensores. Es importante resaltar que el consumo del sistema solo será de 12V, los cuales alimentarán a los motores y al Arduino, éste internamente mediante reguladores de voltaje bajará de 12V a 5V para alimentar sensores y demás componentes. El consumo de todo el sistema en corriente será aproximadamente de:

Tabla 4. Consumo energético de diferentes elementos

Elemento	Corriente (A)	Voltaje (V)
Motoreductor	5	12
Motoreductor	5	12
Motoreductor	1,5	12
Motoreductor	1,5	12
Arduino	0,5	12
Ventilador	0,12	12
Ventilador	0,12	12
Total	13,74	

Fuente: Los autores

El consumo de corriente máximo es de solamente 13,74 A, el cual virtualmente nunca será alcanzado. Se adquiere en el mercado local una fuente estándar de computador de 300 W reales marca JAVAN.

Figura 41. Salidas de potencia de la fuente



Fuente: Los autores.

La cual puede dar máximo 29A en la salida de +12V, lo cual ofrecerá un factor de seguridad de:

$$N=29/13.74 =2.11$$

Con esto sabremos que la fuente no tendrá problemas por sobrecarga de corriente, además esta fuente cuenta con protección por corto circuito lo cual resulta supremamente útil ya que no requiere adherir reguladores de corriente ni ningún otro elemento para proteger elementos del circuito.

Figura 42. Fuente de poder.

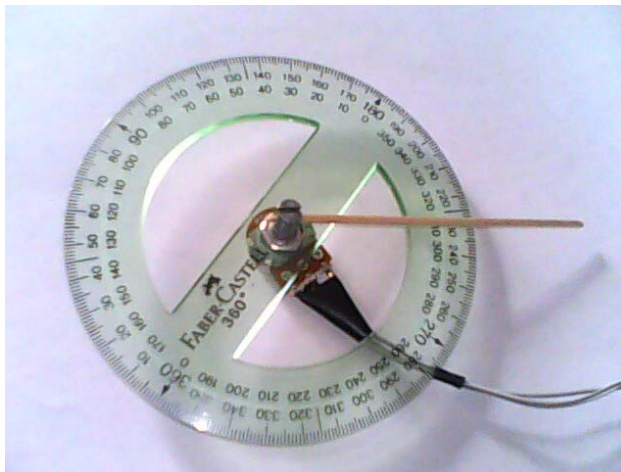


Fuente: www.mercadolibre.com.co

2.6.8. Potenciómetros

Son sensores que miden la caída de potencial que se registra según una posición angular. Los potenciómetros son los sensores de posición usados en el sistema de seguimiento para medir el ángulo al que se encuentran los paneles fotovoltaicos. Se usarán para este caso potenciómetros estándar a los cuales se les ha realizado una caracterización mediante la medición de la caída de potencial según el movimiento de los grados.

Figura 43. Caracterización de potenciómetros.



Fuente: Los autores.

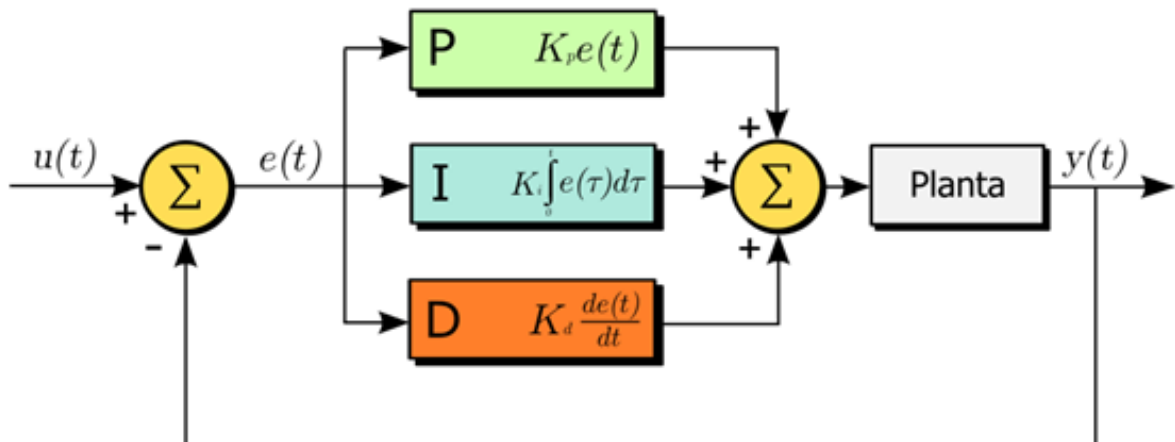
Después de realizar mediciones con potenciómetros de diversas resistencias entre 5 K Ω , 10 K Ω y 100 K Ω se concluyó que los que dan una relación más lineal y tienen una mayor repetibilidad son los de 5K Ω .

Los potenciómetros irán instalados de tal modo que giren conjuntamente con el eje del sistema de seguimiento que requiera medición de ángulo. La caracterización de ángulo vs caída de potencial se inscribe en el lenguaje de programación.

2.6.9. CONTROL PID

El control PID es un tipo de control de lazo cerrado que calcula la desviación del set-point respecto a la variable que se quiere obtener, con el objetivo de aplicar una acción para obtener una acción de corrección y así llevar al proceso al punto requerido. El control PID consta de tres parámetros: Proporcional, integral y derivativo.

Figura 44. Control PID.



Fuente: www.wikipedia.org

Para el control PID se hace necesario un controlador, que toma la señal de algún sensor que mide cierto parámetro de operación del sistema, este controlador la compara con una señal de entrada preestablecida o set-point que es el punto de operación en el que se desea mantener el sistema. El controlador resta la señal de entrada con la de set-point produciendo un error, posteriormente esta señal que determina que tan lejos se está del punto de consigna, es utilizada por cada uno de los componentes del control PID, proporcional integral y derivativo,

consiguiendo una señal de salida para los actuadores que debe ser tratada para hacerla apta para estos.

La señal de salida de un controlador que implementa control PID se define con la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Ecuación para la señal de salida en un Control PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

Donde los coeficientes K_p , K_i y K_d , representan los coeficientes proporcionales, integral y derivativo respectivamente, estos coeficientes también son llamados ganancias. De esto queda claro que a mayor sea la magnitud del coeficiente, mayor será la influencia del componente en el control, así mismo, si algún coeficiente es cero, el componente de éste en el tipo de control será nulo. Es decir, si la ganancia integral K_i es cero, no tendremos parte integral, el control será solamente proporcional derivativo (PD).

Que tanta importancia toman los componentes del control PID depende de la aplicación en la que se implemente el control. El control proporcional es el más básico y ampliamente usado, ya que es el más sencillo. Por ser nuestro sistema tan sencillo y equilibrado usaremos este tipo de control, es decir K_i y K_d serán cero y serán descartados.

2.6.9.1 Control proporcional

El control proporcional se reduce a simplemente el producto entre el coeficiente K_p y la señal de error, el objetivo es conseguir que el error sea casi cero, aunque en realidad esto es imposible solamente con el control proporcional, pero es

aceptable cuando se obtienen errores muy bajos y la aplicación no lo justifica, tal cual en nuestro caso.

Cuando se usa solamente el control proporcional la ecuación que define la señal de salida es:

Ecuación 5 Ecuación para la señal de salida en un Control Proporcional

$$u(t) = K_p e(t)$$

En nuestro caso, el coeficiente proporcional será sintonizado junto con el desarrollo del lenguaje de programación para conseguir que los paneles se estabilicen con un error aceptable y no incurran en una oscilación continua o simplemente no se muevan.

❖ Error estacionario

El error de estado estacionario se entiende como el error que existe cuando el sistema, después de un tiempo de respuesta logra estabilizarse y mantiene un error relativamente constante. El error de estado estacionario es propio de un control proporcional, ya que el control proporcional para funcionar necesita de un error, y si la ganancia es muy alta el sistema oscilará alrededor del punto de consigna, y si esta es muy baja y existen efectos de rozamiento el sistema se estancará en un punto cercano al de consigna.

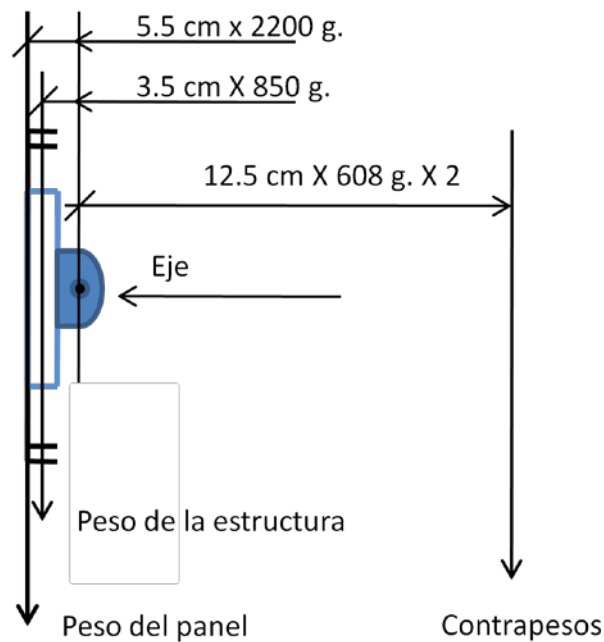
2.6.10. Función de transferencia

La función de transferencia representa el comportamiento del sistema respecto a una señal de entrada. Es el cociente de la salida sobre la entrada y se define como $G(s)$, es básicamente la ecuación diferencial que modela el sistema representando la salida respecto a la entrada.

Para el sistema de colectores a tratar, que con ayuda de los contrapesos agregados y los paneles está perfectamente balanceado en ambos ejes, despreciando la fricción que es mínima en los rodamientos, solamente habrá inercias para mover en los 2 ejes a controlar, no se subirán cargas, así las únicas fuerzas que habrán serán: Las provenientes de los torques de los motores y las fuerzas de oposición que generan las inercias al ser aceleradas.

La carga del eje inferior (azimut) es solamente axial. Para el caso del eje de la altura solar:

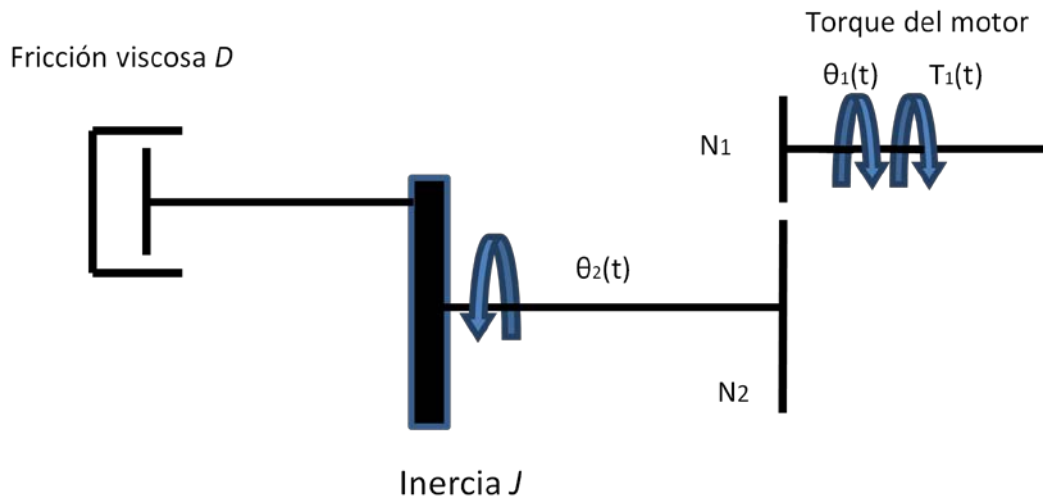
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre para el eje superior de los paneles con contrapesos.



Fuente: Los autores.

Entonces quedará reducido el sistema a mover inercias (paneles y contrapesos) que están frenadas por fricciones dentro de los motores y rodamientos. Entonces el diagrama que ilustra las fuerzas a las que se encuentra sometido el sistema es:

Figura 46. Diagrama del sistema dinámico.



Fuente: Los autores.

Para esta situación, que tienen ambos ejes (azimut y altura solar), la ecuación diferencial que modela el sistema es:

Ecuación 6 Ecuación diferencial del sistema.

$$\frac{N_2}{N_1} T_1 = D \frac{d\theta_2}{dt} + J \frac{d^2\theta_2}{dt^2}$$

Donde: θ =Ángulo, (salida).

J =Inercia total del sistema.

T_1 =Torque (entrada).

D = Fricción viscosa.

$\frac{N_2}{N_1}$ =Relación de los dientes de los engranajes de los motorreductores.

Por tanto la fuerza de fricción mecánica es constante. Entonces dejando todo en términos del ángulo θ se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 7 Ecuación del sistema en términos del ángulo.

$$\frac{N_2}{N_1} T_1 = D \frac{d\theta_2}{dt} + J \frac{d^2\theta_2}{dt^2}$$

Entonces, usando la transformada de Laplace:

Ecuación 8 Ecuación del sistema con transformada de Laplace.

$$\frac{N_2}{N_1} T_1(s) = Ds\theta_2(s) + Js^2\theta_2(s)$$

Entonces la función de transferencia que representa la salida sobre la entrada es:

Ecuación 9 Función de transferencia del sistema.

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{\frac{N_1}{N_2}}{Js^2 + Ds}$$

Es claro de esta ecuación de transferencia que estamos ante un sistema estable y fácil de controlar que responderá muy predeciblemente al torque de entrada.

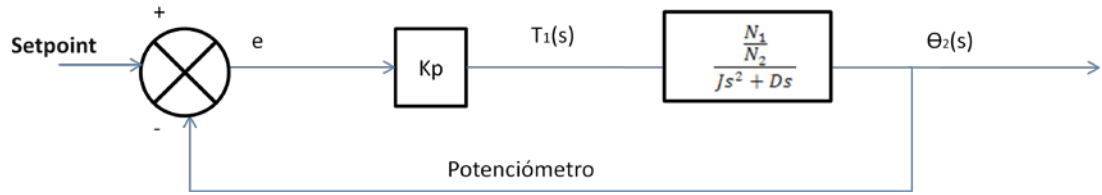
2.6.10.1 Lazo de control

El lazo de control en nuestra aplicación depende del tipo de control del panel: fotorresistencias o ecuaciones. A continuación describiremos el lazo de control según el tipo:

❖ Control por ecuaciones de posición del Sol

Para el lazo de control por ecuaciones de posición del Sol en la semiesfera celeste tenemos el siguiente diagrama de bloques.

Figura 47. Diagrama de bloques para el control por ecuaciones.



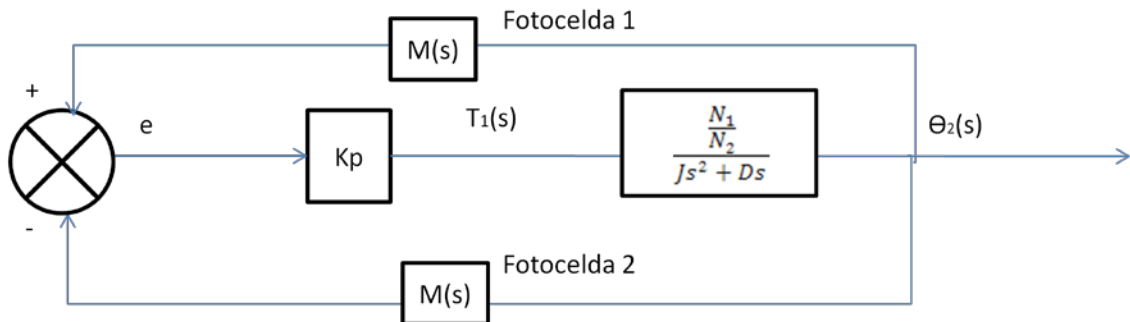
Fuente: Los autores.

En este caso la señal de entrada o setpoint es la señal de proviene de el reloj de tiempo real DS1307 transformada por el controlador a grados, luego se genera la función error al restarle la señal de retroalimentación que por el potenciómetro. Obteniendo un torque al multiplicar por la ganancia proporcional del control. Posteriormente se pasa a la planta y entonces se tiene el ángulo de salida.

❖ Control por fotoceldas

Para el lazo de control por fotorresistencias tendremos el siguiente diagrama de bloques.

Figura 48. Diagrama de bloques para el control por fotoceldas.



Fuente: Los autores.

En este caso las fotoceldas toman la señal del sistema posicionado en un ángulo y su señal es retroalimentada hasta que el ángulo sea tal que la lectura en las fotoceldas sea igual y entonces la señal error sea cero. Las funciones $M(s)$ por las que se multiplica el ángulo θ para conseguir la señal de las fotoceldas son desconocidas, ya que varían dependiendo de el posicionamiento, reflexión del sistema y demás fenómenos implicados.

3. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE COLECTORES FOTOVOLTAICO.

3.1. FABRICACIÓN DEL SISTEMA COLECTOR FOTOVOLTAICO

El proceso de fabricación del sistema de colectores fotovoltaicos con seguimiento se realizó en varias locaciones. Con la colaboración de Ricardo Andrés Gómez se logra conseguir la facilidad de hacer maquinado en CNC y ensamblaje en la empresa “MEDIIMPLANTES S.A.” donde éste labora. Otros procesos como soldadura y pintura en el “TALLER INDUSTRIAL DE METALMECÁNICA RICARDO GÓMEZ PLATA” y el ensamblaje de componentes electrónicos y algunas pruebas se desarrollan en locaciones residenciales de los interesados en el proyecto.

3.1.1. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE COLECTORES

La estructura del sistema de colectores fue elaborada con acero estructural en L de 25.4 x 25.4 x 4.76 mm utilizando un total de 5.5 metros. Para lograr la periferia de la estructura se realizaron cortes en V a 60° en una de las alas del perfil y se realizan los dobleces para unir las alas cortadas, luego se sueldan las uniones.

La estructura fue diseñada teniendo en cuenta la mejor las medidas mínimas para evitar interferencias y sombras entre los paneles, el fácil acceso de los diferentes componentes y la posibilidad de movilización por una sola persona.

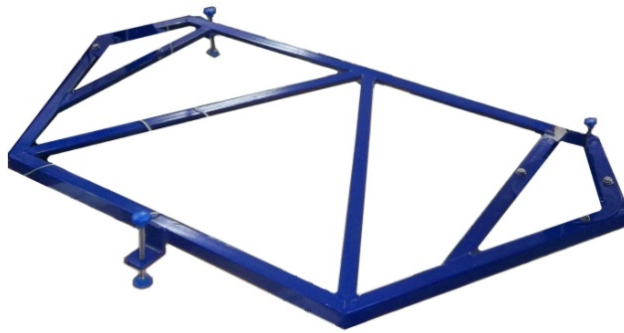
Los parales internos de la estructura se cortan a medida y se sueldan en la posición indicada.

Las tres bases para las pata niveladoras rotuladas son tramos de perfil en L de acero estructural de 50.8 x 50.8 x 6.35 mm por 40 mm de longitud, se perforan en una de las alas con broca de 8.1 mm a 14 mm del extremo del ala y se redondean

las esquinas del ala perforada; se ubican en la posición indicada y se sueldan al marco de la estructura base, se sueldan además una tuerca M8 en la parte inferior cada una de las tres bases, asegurándose de alinear correctamente la tuerca con el agujero previamente hecho.

Se pulen las uniones soldadas y se pinta la estructura.

Figura 49. Estructura base pintada



Fuente: Los autores.

3.1.2. Patas niveladoras rotuladas

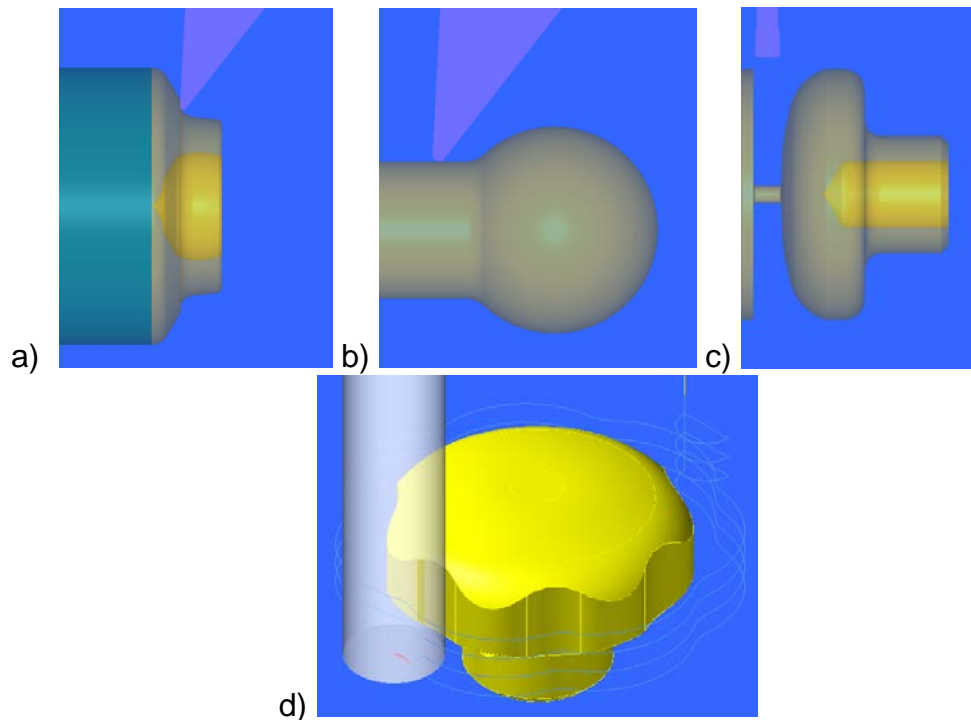
Para la fabricación de los componentes de las patas niveladoras rotuladas se plantea las siguientes estrategias de mecanizado:

- **Base Niveladora:** El mecanizado se realiza en un torno CNC, ver plano y programa anexo, y para el cilindrado interno de la cavidad esférica es necesario modificar una barra de alesado y se traslapa el mecanizado con una barra de roscar, seguido se realiza el cilindrado exterior y se tronza la pieza.
- **Tornillo Nivelador:** Se realiza el cilindrado general y la rosca en un torno convencional, también se cilindra una aproximación a la punta

esférica y el mecanizado final se realiza en un torno CNC, ver plano y programa anexo, para asegurar que cada una de las tres puntas esféricas de los tornillos quedan idénticas, y de ésta forma garantizar el acople con las bases del nivelador.

- **Perilla Niveladora:** Se realiza el cilindrado en un torno CNC, ver plano y programa anexo, y la superficie de 7 puntas redondeada que le da la forma a la perilla se mecaniza en un centro de mecanizado CNC, ver plano y programa anexo.

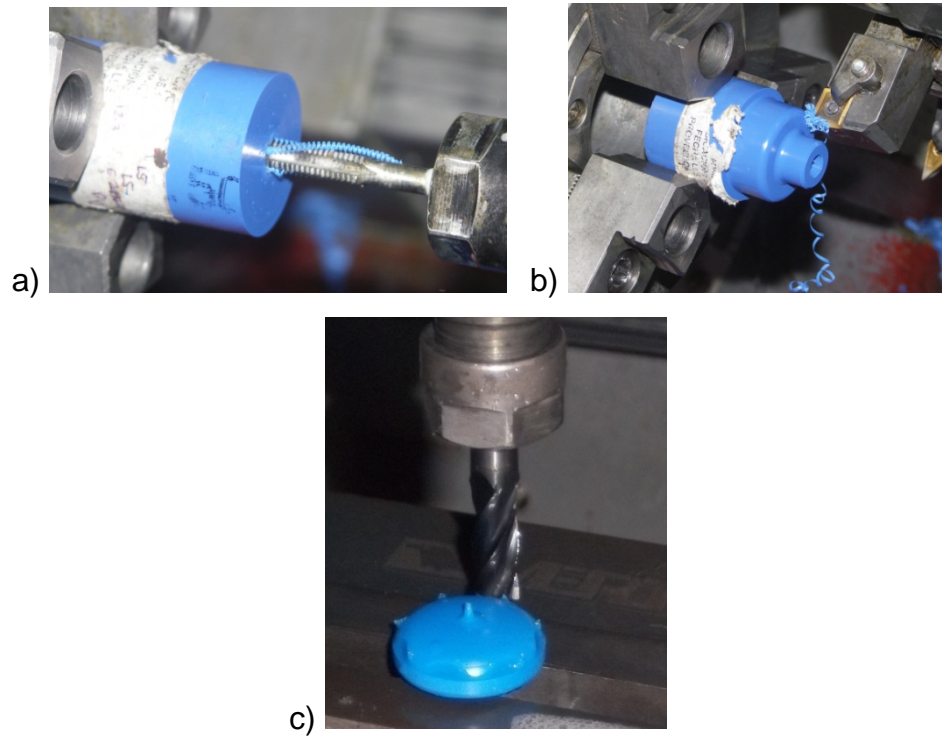
Figura 50. Simulaciones Patas Niveladoras Rotuladas.



a) Base Nivelador, b) Tornillo Nivelador, c) Perilla Nivelador Torno CNC, d) Perilla Nivelador Centro de mecanizado CNC.

Fuente: Los autores

Figura 51. Mecanizado Perilla.



a) Roscado Torno CNC, b) Cilindrado Torno CNC, c) Fresado CNC

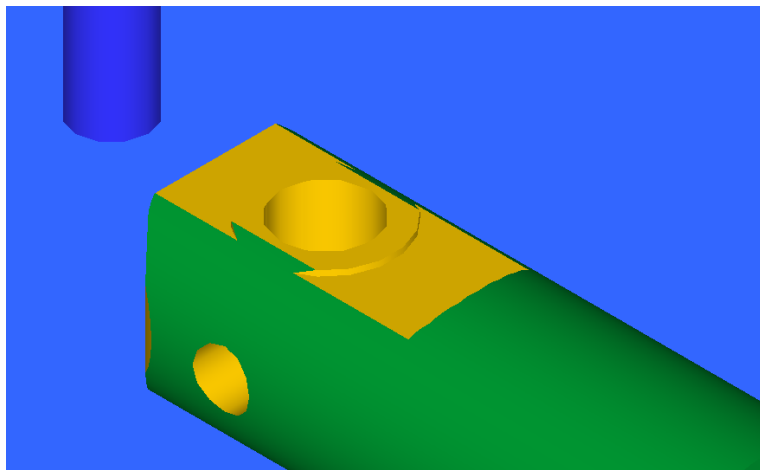
Fuente: Los autores

3.2. MÓDULO VERTICAL

3.2.1. Eje vertical

El Eje Vertical fabricado en acero AISI 1020 de $\varnothing 19.05$ mm se cilindra en torno convencional y las caras planas y perforaciones de la punta que aloja el eje superior se realizan en centro de mecanizado CNC, ver plano y programa anexo.

Figura 52. Simulación Fresado Eje Vertical.



Fuente: Los autores

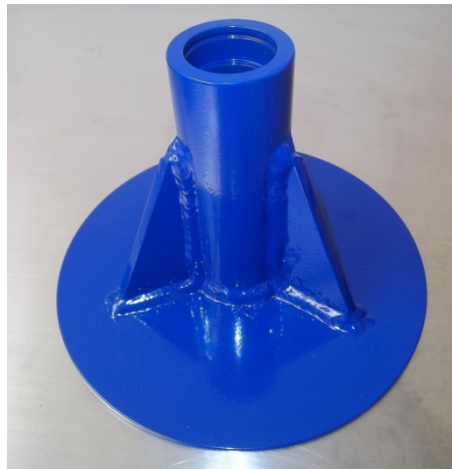
3.2.2. Soporte eje

La carcasa que aloja al Eje Vertical se fabrica a partir de una tramo de acero AISI 1020 que se perfora y posteriormente se tornean las cajas de los rodamientos, se perfora un disco de acero AISI 1020 en el centro y se ajustan las medidas de acople con la carcasa.

Se toman la carcasa, el plato base y los refuerzos y se unen con soldadura; posteriormente se rectifica en un torna convencional la cara inferior del plato base para asegurar que ésta cara quede completamente perpendicular al eje de la carcasa.

Una vez terminada la carcasa se procede a pintarla.

Figura 53. Soporte eje



Fuente: Los autores

3.2.3. Soporte Motorreductor inferior

Para la fabricación de la placa del soporte se toma una lámina de acero de 4.5 mm de espesor y se realiza el mecanizado de los agujeros, cavidades y canales en un centro de mecanizado, para asegurar la concentricidad del eje del Motorreductor inferior, en el programa de la estrategia de mecanizado planteada se tiene en cuenta mecanizar las dos placas, una para cada módulo, en un solo montaje para posteriormente separar las placas por corte manual.

Éste conjunto consta además de unos bujes separadores que fueron cilindrados y perforados en un torno convencional, y cortados a medida.

Figura 54. Mecanizado Placas del Soporte Motorreductor Inferior.



Fuente: Los autores

Para el acople de los piñones seleccionados con el Motorreductor y con el potenciómetro fue necesario modificar en el caso del Motorreductor, la forma y tamaño de la cavidad y en el caso del potenciómetro aumentar el tamaño del agujero, y para asegurar el alineamiento de los ejes éstas modificaciones fueron hechas en un centro de mecanizado CNC.

3.3. MÓDULO SUPERIOR

3.3.1. Eje superior

Se utiliza Acero AISI 1020 para su fabricación en torno convencional, posteriormente se realizan los agujeros roscados con machuelos y la cara plana central en taladro de árbol.

3.3.2. Marco panel

Fabricado en perfil en L de acero estructural de 19.05 x 19.05 x 3.175 mm, utilizando un total de 1.2 metros. Se cortaron manualmente 2 tramos de 240 mm y 2 tramos de 362 mm unidos posteriormente con soldadura, luego se realizan cuatro agujeros para apernar el Panel Fotovoltaico.

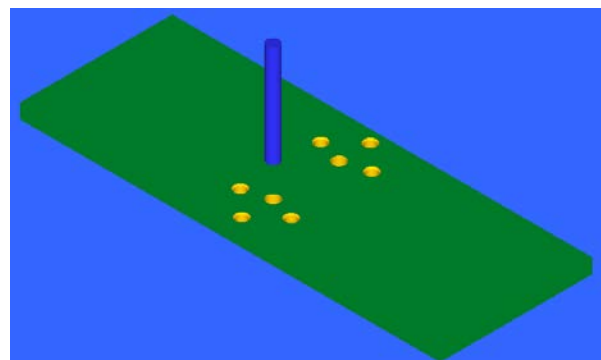
Además con una placa de acero de 50.8 mm por 145 mm y de 4.76 mm de espesor con perforaciones en el centro para el acople de los soportes para el Motorreductor y el Potenciómetro Superior, luego de realizar los agujeros se suelda en el centro del marco anteriormente descrito.

Los agujeros de la placa central se realizaron en un centro de mecanizado CNC para asegurar su alineación.

Se pulen las uniones soldadas y se pinta la estructura.

Figura 55. Marco Panel

a) Marco Terminado. b) Simulación de Agujeros Placa Central



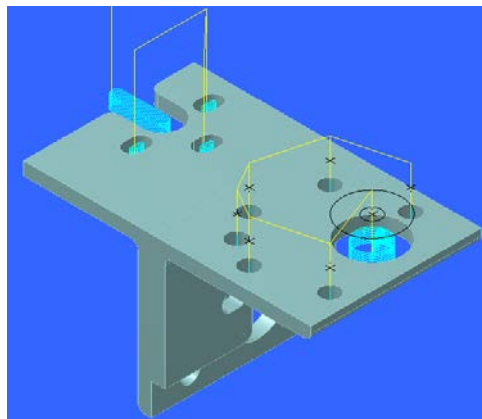
Fuente: Los autores

3.3.3. Soporte Motorreductor y Potenciómetro Superior

Fabricados a partir de perfil en L de acero estructural de 38.1 x 38.1 x 3.175 mm, un tramo de 40 mm para el Motorreductor y un tramo de 25 mm para el Potenciómetro, con agujeros dispuestos en cada cara del perfil L para fijar cada uno de ellos a la placa central del Marco Panel.

Los agujeros se realizan en un centro de mecanizado para asegurar una correcta alineación.

Figura 56. Simulación Agujeros Soportes



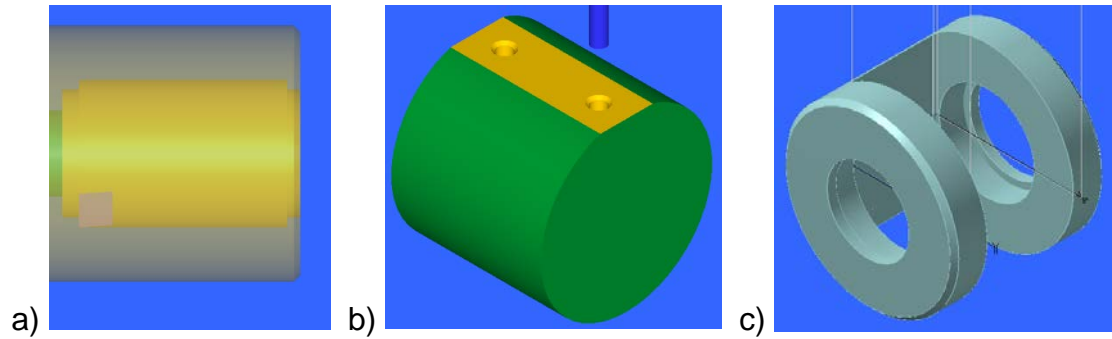
Fuente: Los autores

3.3.4. Camisa superior

La fabricación de éste elemento se hizo completamente en máquinas de control numérico para garantizar la igualdad de las 2 piezas necesarias.

La estrategia de mecanizado planteada inicia con un mecanizado en un torno CNC en donde se realiza un cilindrado interior de las cajas donde se alojan los rodamientos.

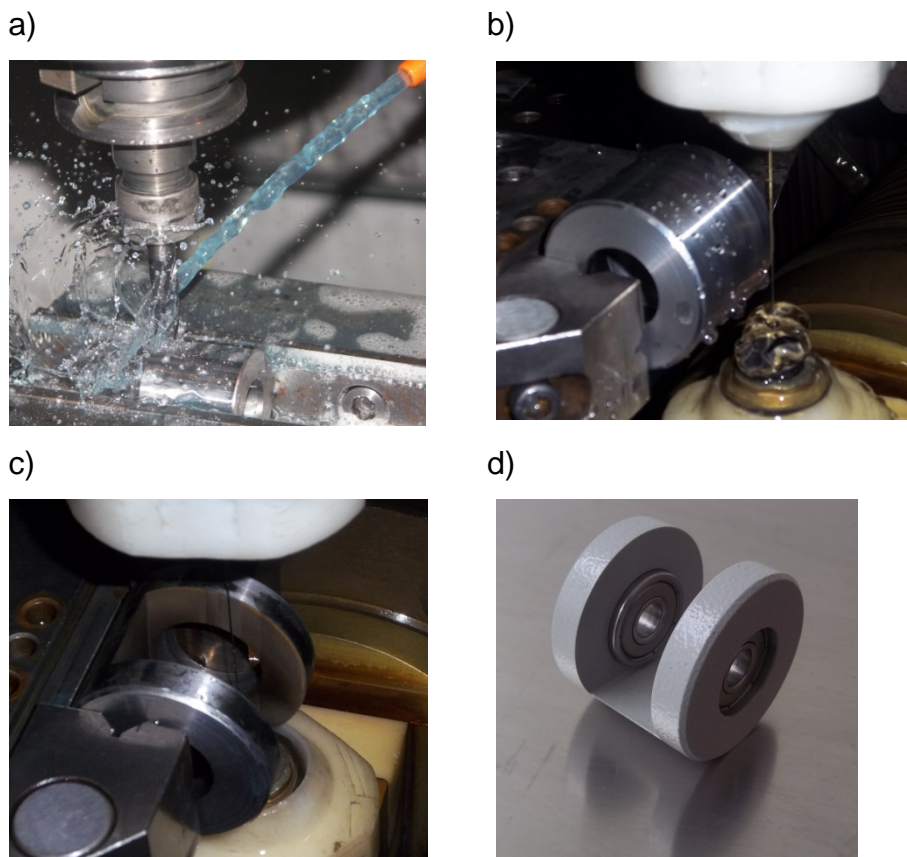
Figura 57. Simulación del mecanizado de la Camisa Superior.



a) Torneado CNC. b) Planeado CNC. c) Corte por Hilo.

Fuente: Los autores

Figura 58. Mecanizado Camisa Superior.



a) Planeado. b) Montaje Electroerorionado
c) Electroerorionado Terminado. d) Camisa Superior Pintada

Fuente: Los autores

Se continúa la fabricación en un centro de mecanizado CNC realizando un planeado y unos agujeros roscados, para crear la cara de contacto con la placa base del Panel Fotovoltaico.

Se realiza un corte por electroerosionado (Corte por hilo), ayudándose con la cara planeada con anterioridad para la alineación de la pieza, se pulen las aristas vivas y se pinta la pieza.

3.3.5. Contrapeso

Platina contrapeso fabricada en lámina de 19.05 mm X 4.76 mm por una longitud cada una de 141 mm, con 2 agujeros brocados de 6.35 mm y uno en el centro de 8 mm.

Se roscan las puntas del Brazo Contrapeso en un torno convencional; en donde también se cilindran y perforan las Pesas, para luego realizar la rosca manualmente con machuelo.

3.4. MÓDULO DE CONTROL Y DISIPACIÓN

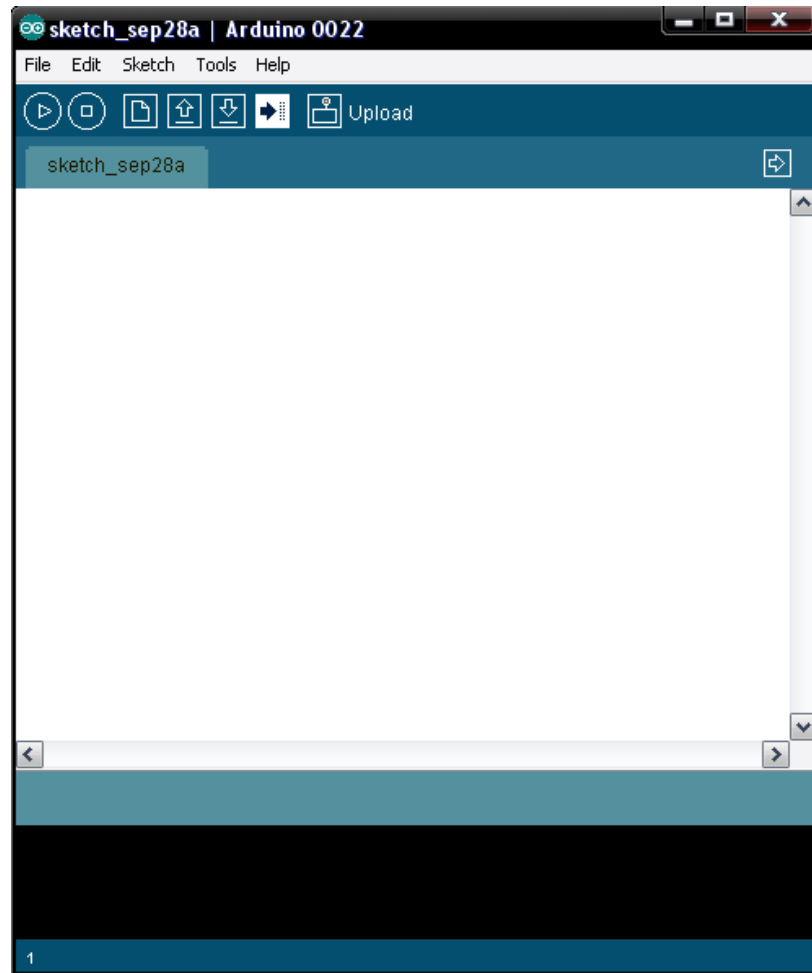
La programación del micro controlador es quizá la parte más compleja en cuanto a cantidad de componentes que tiene el proyecto, hay que enlazar muchos datos, sensores y actuadores. Afortunadamente el controlador con el que se cuenta (Arduino Mega) permite programar infinidad de veces para ir poco a poco construyendo el programa y ensamblando sus partes en el lenguaje. Los aspectos más importantes a tener en cuenta en esta fase fueron la simplicidad, confiabilidad y funcionamiento correcto del sistema, con estos tres aspectos se empezó a trabajar el lenguaje de programación en la aplicación basada en Java y C++ que proporciona Arduino gratuitamente desde su página.

3.4.1. SOFTWARE ARDUINO

El software que proporciona Arduino para programación es una aplicación basada con una interfaz basada en el ambiente de proceso de desarrollo de Java, y sus librerías de núcleo están desarrolladas en C++ y del tipo “open source” o en español código abierto. Esto quiere decir que todos tienen acceso al código de programación de éste y hacer modificaciones que consideren oportunas. Es una gran ventaja que este software sea “open source” y gratuito, ya que nos evita recaer en mayores costos para el presupuesto que se busca sea el más mínimo, ya que recordemos que aunque el fin de este proyecto es meramente investigativo se busca que su costo sea mínimo, por si algún usuario quiere implementar los sistemas de control aquí nombrados le estén a sus alcance económico.

El software de prototipado es llamado “Arduinoalpha” y fue escrito depurado y soportado por MazimoBanzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino basado en “processing” desarrollado por Casey Reas y Ben Fry.

Figura 59. Interfaz de programación de arduino



Fuente: www.arduino.cc

En esta interfaz se desarrolla todo el software que se monta en el micro controlador, el programa trabaja las programaciones como “sketches” que pueden ser montados directamente a la placa o depurados con el fin de evitar problemas a la hora de ser montados a esta.

El Arduino se conecta a con el software del computador a través de un puerto paralelo virtual por medio de un dispositivo propio de la placa Arduino llamado “FT 232 R USB UART”.

3.4.2. Funciones implicadas en la programación

A continuación se hace una breve descripción algunas de las funciones usadas en el control y por consiguiente incluidas en la programación, que a juicio de los autores requieren una aclaración o apartado. Se trata de hacer una breve explicación de lo que hacen éstas entrar en detalles sobre que hacen específicamente en cada parte del programa y donde son llamadas, ya que esto se aclara en el código de programación propiamente (disponible en los anexos), donde son encontradas y explicadas como comentarios. Esto, con el fin de simplificar el entendimiento del usuario.

3.4.2.1 Declaración de librerías

Las librerías son códigos prescritos usados en los “sketches” para simplificar el código del usuario al momento de enlazar el Arduino con algún otro hardware, son desarrolladas en C++. Estas librerías son llamadas al principio del programa y se usan según la necesidad. Algunos ejemplos de estas librerías (las más usadas) son:

- Ethernet – Se usa para conectar el Arduino a internet usando el Arduino Ethernet Shield
- Firmata – Se usa para comunicar el Arduino con algunas otras aplicaciones del computador usando comunicación por puerto serial estándar.
- LiquidCrystal – Es usada para comunicar el Arduino con pantallas de cristal líquido a modo de interfaz visual.
- SD – Sirve para leer y escribir tarjetas de memoria SD.
- Servo – Se usa para controlar servomotores.
- Stepper – Para mover motores paso a paso.
- Wire - "WiretwoWire Interface" (TWI/I2C) para enviar y recibir datos de dispositivos externos (DS1307).

-EEPROM - Se usa para leer y escribir datos en la memoria EEPROM del Arduino.

Las librerías que se usan en este proyecto son: Wire, EEPROM y LiquidCrystal.

3.4.2.2 Declaración de variables

La declaración de variables dentro del “Sketch” puede ser hecha al principio del programa o dentro de la operación que esta esté implicada, eso así, no se pueden declarar dos veces. Las variable se declaran según la el uso que estas vayan a tener: si se desea que estas solo manejen números enteros o texto, a continuación se nombran las declaraciones usadas:

- int (entero) : Son el tipo de datos más usado y guardan valores de números enteros de 2 bytes, del rango de -32,768 a 32,768.
- long (entero 32b) : Usado para variables del tipo numérico que van del rango de -2,147,483,648 hasta 2,147,483,647.
- float (en coma flotante) : Usado para declarar valores decimales que van de 3.4028235E+38, a un mínimo de -3.4028235E+38.
- double (en coma flotante de 32b): Guarda valores decimales de la misma manera que float.
- array (cadena): Se usa para declarar matrices o vectores.

3.4.3. Función analogRead

Esta es la función usada para capturar datos de sensores análogos en el Arduino, en este caso conectados en alguno de los pines de lectura análogos del 0 al 16 que posee la placa con resolución de 10 bits. Mediante esta función se leen los datos de los potenciómetros y fotorresistencias. Lee datos que van de 0 a 5 V DC y los ubica en el rango de 0 a 1023 dada su resolución.

3.4.3.1 Función analogWrite

Esta función se usa para controlar los motoredutores, maneja los pines de salida PWM del Arduino con una resolución de 8 bits, y arroja datos en DC de 0 a 5V en señal PWM que van de 0 a 255. Así, se envía la señal de salida a los puentes H.

3.4.3.2 Función byte

Esta function se usa para convertir datos de binario a decimal para poder enviar o recibir del reloj DS1307 a través de los pones de comunicación SDA/SCL que posee el arduino. Si se desea pasar datos de decimal a binario usaremos:

`bytedecToBcd (byte X)`

En caso contrario: `byte BcdTodec (byte X)`

3.4.3.3 Función void

La palabra void está reservada solamente a la declaración de funciones. Esta palabra indica que no se devolverán datos a la función donde fue llamada.

Los dos usos más claros de la palabra void son definiendo el arreglo o setup donde se declara:

`voidsetup()` : Aquí se aclaran ciertos parámetros para la operación de el programa, como permitir comunicación serial y definir valores de variables o mediciones previas de sensores para chequear el funcionamiento correcto del sistema y calibración de éste.

`voidloop()` : Es en esencia el bucle continuo del programa que mantiene funcionando el Arduino haciendo lo que se desee, una vez se entra en este solo se sale si el Arduino es reseteado. Aquí está inscrito todo lo necesario para la operación continua del programa.

3.4.3.4 Función wire.send

Esta función es usada para enviar datos al DS1307 a través de los puertos SDA/SCL

3.4.3.5 Función wire.request

Esta función es usada para recibir datos al DS1307 a través de los puertos SDA/SCL. Le pide al DS1307 que envíe datos tales como día, hora, año, etc.

3.4.3.6 Función map

Función usada para adaptar datos al rango que se requiera, es básicamente una función donde se proporcionan 2 rangos con sus máximos y mínimos y se proporciona un valor perteneciente a un primer rango para que la función devuelva la ubicación de este proporcionalmente en el segundo rango. Ej: map (P,x1,x2,y1,y2)

Para este caso, el valor P se ubica entre el rango de números que van de x1 a x2, y se busca el valor que este tiene proporcionalmente dentro del rango de números que van de y1 a y2.

3.4.3.7 Función lcd.print

Función usada para publicar en la pantalla LCD valores deseados, se indica la fila y la columna donde se quiere que el dato sea publicado y el valor que se desea sea publicado.

3.4.3.8 Función EEPROM.write

Usada para escribir los datos en la memoria EEPROM sobre parámetros de operación del sistema de seguimiento: datos capturados de los paneles promediados de la medición del día para que no se pierdan una vez el Arduino se quede sin energía.

3.4.3.9 Función EEPROM.read

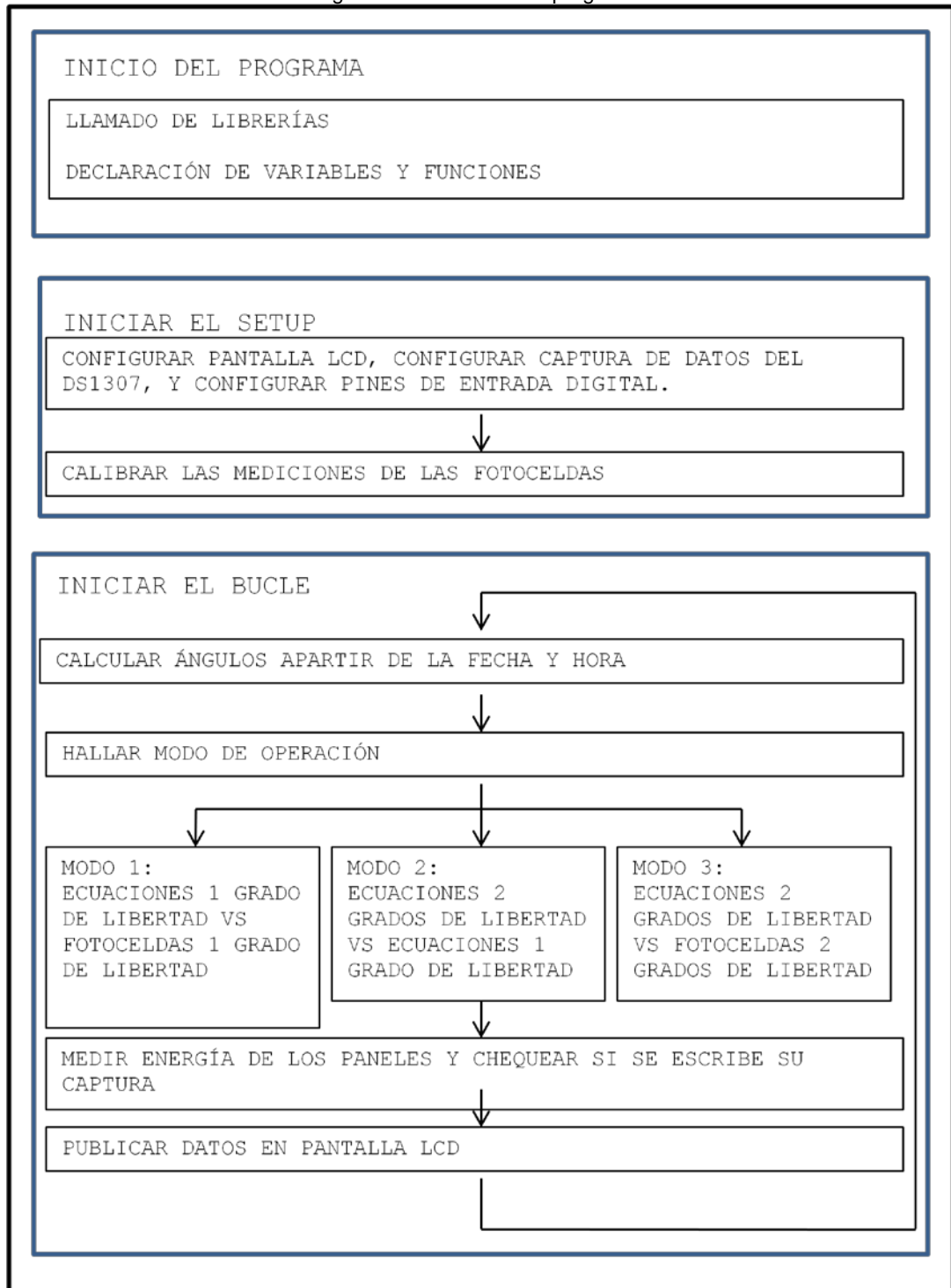
Usada para leer los datos en la memoria EEPROM sobre parámetros de operación del sistema de seguimiento: datos capturados de los paneles promediados de la medición del día para que no se pierdan una vez el Arduino se quede sin energía y se puedan consultar aparte en un computador u otro programa.

A continuación se mencionan los otros elementos que hacen parte del sistema de colectores y son necesarios para su funcionamiento óptimo.

3.4.4. Estructuración básica del programa

La estructura del programa básicamente se muestra en la siguiente figura, comprende la declaración de variables y funciones necesarias, entrar al “setup” y luego al bucle infinito.

Figura 60. Estructura del programa



Fuente: Los autores

3.5. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario es el medio por el cual la persona que esté operando u observando el sistema de colectores puede ver las medidas en tiempo real del colector solar, fecha y cambiar modo de operación. La interfaz puede ser conectada o desconectada si se desea, no afecta el funcionamiento de toma de datos del dispositivo.

Figura 61. Interfaz de usuario



Fuente: Los autores

Está conformada por una pantalla lcd, interruptores de pulso y un potenciómetros que se encarga de graduar el contraste de la pantalla. Su carcasa está hecha en plástico negro, interiormente está construida sobre una baquelita universal y soldada con alambre de estaño. Sus conexiones están hechas con alambre de cobre de 0.5mm y resistencias para los interruptores.

La interfaz de usuario está basada en una pantalla LCD de 16 pines para una comunicación inmediata entre el usuario y el sistema. Los componentes de la interfaz son:

-Pantalla LCD de 16 pines.

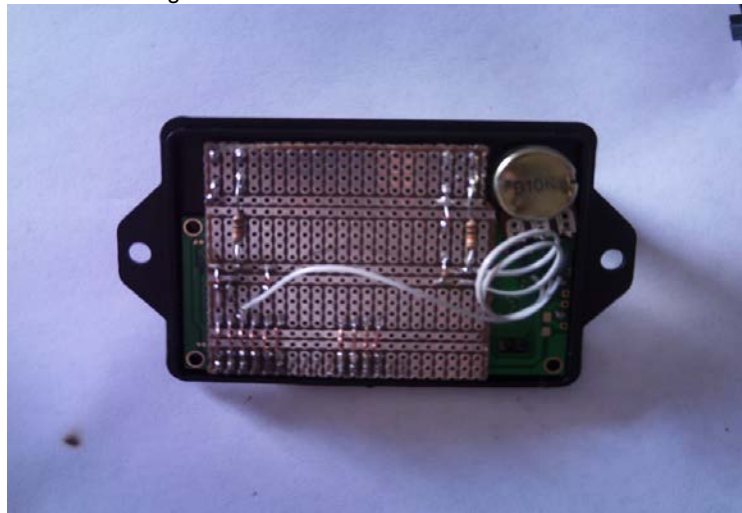
-Interruptores.

-Potenciómetro.

Está comunicada con el Arduino a través de un cable bus.

Esta interfaz fue elaborada y ensamblada por los autores, haciendo uso de los mismos métodos mencionados en el sistema de control y medición.

Figura 62. Interior de la interfaz de usuario.



Fuente: Los autores

La pantalla LCD es una pantalla compatible con el driver “Hitachi HD44780”, posee una capacidad de muestra de 16x2 caracteres. Tiene funciones como cursor y parpadeo.

3.6. ELEMENTOS DE NIVELACIÓN Y ORIENTACIÓN

Figura 63. Elementos de nivelación



Fuente: Los autores

El sistema de nivelación comprende unos tornillos que hacen de apoyo y cuentan con una rótula en el contacto con el suelo, junto con un nivel, permite al usuario ubicar de manera horizontal los paneles.

Figura 64. Brújula.



Fuente: Los autores

La brújula permite al usuario asegurar el correcto posicionamiento espacial de la estructura.

3.6.1. VENTILADORES

Figura 65. Ventiladores



Fuente: Los autores

La función de los ventiladores es esencial, ya que el sistema está concebido de manera que disipe la energía captada como calor, es necesario remover esta para evitar temperaturas altas que dañen el sistema de control. El sistema comprende ventiladores encargados de asegurar un flujo de aire continuo sobre los circuitos.

3.6.2. CABLEADO

El cableado es por supuesto otro de los elementos fundamentales en este proyecto: enlaza los componentes y permite la comunicación y transmisión de potencia. El cableado, al no manejar corrientes altas se hace con cable bus para transmisión de datos, excepto los cables que manejan altas corrientes: Los que provienen de los paneles que manejan más de 1A, para estos se usa un cable de 2x16AWG. El cableado está concebido de tal manera que los cables no tienen

entrada o salida, las dos cabezas hembra que poseen permiten conectar estos a cualquier conector que macho que tenga el mismo número de pines.

Figura 66. Cable de 2 líneas.



Fuente: Los autores.

El cableado tiene tantos hilos como los componentes que vayan a enlazar lo requieran.

Durante el ensamblaje de los componentes fue necesario para el correcto posicionamiento estancado de los potenciómetros agregar rugosidad por medio de un papel de lija número 80 a las superficies de la estructura que hacían contacto con éstos, para evitar que se movieran y tuvieran lecturas erróneas que conllevaran a una medición y inexacta.

Figura 67. Superficie lijada en los soportes de los potenciómetros

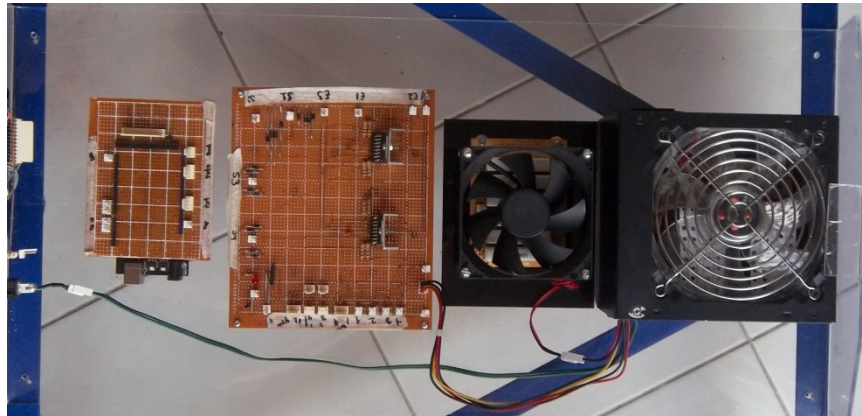


Fuente: Los autores

Durante el desarrollo del código y puesta a punto se hizo necesario agregar un contrapeso a la estructura superior, para conseguir un balance estático del sistema, esto con el fin de evitar desperdicio de energía y sobrecalentamiento de los componentes electrónicos. La información, por éste ser un inconveniente surgido en el desarrollo de la programación y la puesta a punto del control se amplía en el capítulo correspondiente a “DESARROLLO Y PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN”.

3.7. DESARROLLO Y PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN

Figura 68. Sistema de control



Fuente: Los autores

Este sistema está construido con diversos componentes, básicamente se compone de:

- Sensores: fotoceldas, potenciómetros, voltímetro (interno en el arduino).
- Actuadores: Motorreductores DC.
- Controlador: Placa Arduino Mega (microcontrolador Atmega 1280).
- Reloj: Basado en un circuito integrado DS1307.

Para el funcionamiento de este sistema fue necesario diseñar y construir circuitos de comunicación entre el arduino y los demás componentes, además de un circuito de disipación de la potencia captada por los paneles. Para esto fueron necesarias como placas base baquelitas universales perforadas, componentes como capacitores, resistencias y múltiples conectores de distinto número de pines. Enlazados con alambre de cobre de 0.5 mm de diámetro y soldados con estaño. Estos circuitos intermedios juegan una labor esencial en el funcionamiento correcto de el sistema de seguimiento.

El cableado entre componentes se hace con un cable de bus y hecho sus terminales con conectores “mallet” hembra, los conectores machos se sueldan con estaño a las placas de silicio.

Se empezó con un prototipo en madera para comprobar que el modelo de control funcionaría, sobre todo el de las fotoceldas. Con este modelo se realizaron pruebas básicas satisfactorias para continuar con la producción y desarrollo del modelo real, se observó además que era necesario através de la programación restringir el ángulo de giro del panel con fotoceldas para evitar enredos con los cables ya que era muy posible que el colector, en caso de usuarios curiosos diera vueltas siguiendo una luz que se comportase de modo errático.

Una vez se fabricaron las partes del modelo final se procedió a ensamblarlas y desarrollar código junto con estas.

La puesta a punto se llevo simultaneamente con la programación, realizando pruebas de estabilización del sistema y optimizando el código, probando por partes, una vez las fotoceldas, otra vez los potenciómetros todo de manera muy depurada en busca de errores de programación, que fueron múltiples. Otras veces un problema físico en los componentes como algún cable desconectado hacía retrasar el progreso. Un problema presentado durante, el proceso de desarrollo fue la comunicació nula entre el DS1307 y el Arduino, después de algunos tropiezos con ésto, se observó que el problema se reducía a suciedad en los circuitos, después de esto se halló que los puertos de comunicación del Arduino SDA/SCL son supremamente sensibles a cualquier capacitancia en el cableado, situación que estaba sucediendo por la pasta para soldar impregnada en los circuitos, es necesario limpiar cuidadosamente los conductores o elementos de conducción que comuniquen estos puertos con el DS1307.

Una vez se consiguió controlar la posición se empezaron a calibrar las ganancias y el modo de la salida de la señal del control PID, observando las temperaturas de los diferentes componentes electrónicos al tacto. Mientras se trabajaba fue obvio que el uso de un contrapeso era absolutamente necesario para evitar sobrecargar el sistema eléctrico y desperdiciar energía en mantener en equilibrio: Los paneles necesitaban estar en una sola posición y estaban estáticamente desbalanceados en el eje de la altura solar (el centro de masa del conjunto estaba fuera del eje de giro), por lo cual el motor debía mantener una fuerza para mantener los paneles en el ángulo requerido, ver Figura 23, pidiendo mayor corriente a los puente H recargando el sistema.

Aunque nunca se quemó un puente H por sobrecorriente, estos tomaron temperaturas altas al tacto. Después de plantear soluciones o pensar en cambiar a fabricar puentes H a transistores MOSFET era obvio que si no se subía ninguna carga y se balanceaba estaticamente el sistema, los paneles podrían ser movidos de manera fácil sin mucho esfuerzo. En ese momento se decide añadir un contrapeso que aproximadamente tenga 15 Kg-cm. Para ubicar el centroide del panel en el eje de la altura solar. Esto consigue balancear el sistema y los puentes H apenas se ponen tibios. El primer contrapeso que se pone se basa en una pesa de 5 lbs usada comumente para entrenamiento muscular, a esta se le adiciona una base en madera que se encastre a presión en la estructura del panel.

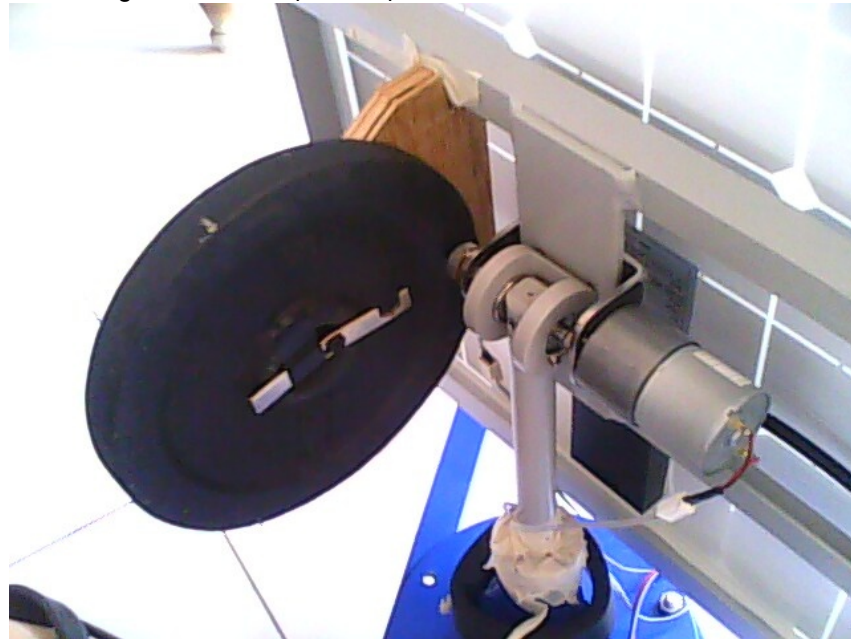
Figura 69. Contrapeso de prueba.



Fuente: Los autores.

Una vez los contrapesos son encastrados a la estructura del panel estos consiguen balancear los paneles solamente con la fricción y la inercia de los motores cuando no hay energía. Entonces los puentes H L298N apenas toman temperaturas tibias por la ausencia de altas cargas.

Figura 70. Contrapeso de prueba encastrado en la estructura.



Fuente: Los autores.

Entonces se verifican de nuevo las ganancias para no entrar en una oscilación continua. Luego de que el panel esta balanceado se procede a revisar la capacidad del panel con fotoceldas de apuntar a la mayor fuente de luz y es notable que este no lo hace. Después de observar los datos tomados con las fotoceldas se ve que estas no arrojan la misma lectura para una misma intensidad de luz, pero se comportan de igual manera: Las dos elevan la lectura a mayor luz. Es cuando se decide para solucionar esto agregar una función de calibración al código de programación. Cada vez que se encienda el sistema, el panel con fotoceldas hará un barrido del espacio capturando las lecturas máximas y mínimas, luego las almacenará e irá a un punto central. Estas lecturas máximas y mínimas permiten establecer una comparación en los datos captados por las fotoceldas, entonces una se mide en función de la otra, de tal modo que para una misma intensidad de luz las dos tendrán ahora, la misma lectura. Para conseguirlo, se hace uso de la función `map()`, donde se ubica la lectura de una fotocelda (1) en el rango de la otra (2). Luego de esto, el control por ecuaciones

apunta a donde se desea con un error de mas o menos 2 grados y el control por fotoceldas apunta a la mayor fuente de luz con gran fidelidad.

Las pruebas y el desarrollo hasta el este punto se habían realizado bajo techo, es decir, la luz incidente sobre las fotoceldas no provenia directamente del Sol, llegaba a estas por medio de una ventana o una fuente de luz artificial.

Cuando se empezaron a realizar pruebas al aire libre surgió un inconveniente: Las fotoceldas al ser expuestas directamente a la luz del Sol toman valores de lecturas muy altas y no son sensibles a una variación sobre el ángulo de incidencia de ésta, dando como resultado un control defectuoso cuando se quiere buscar al Sol. Afortunadamente, la solución a este problema está inherente en la descripción de los sucesos hasta el momento mencionados: Las fotoceldas funcionan correctamente en el interior y el ángulo de incidencia fuente de luz afecta la medida. En el exterior la luz del Sol es demasiado alta para tener sensibilidad sobre el ángulo de incidencia. La solución es conseguir reproducir en el ambiente exterior, condiciones parecidas a las del interior, simplemente se reduce a agregar una pequeña cobertura en los bordes de la fotocelda a modo de pared, que disminuya la luz incidente si esta no se dirige directamente a la superficie de la fotocelda.

Figura 71. Comparación de pared adherida a las fotoceldas.



Fuente los autores.

Una vez esta pared es adherida el control por fotoceldas consigue apuntar de manera satisfactoria al sol, una vez se consigue esto se procede a probar el sistema de medición, conectando todos los componentes y chequeando los datos. En este punto se puede observar que el ángulo al que apuntan los paneles con diferente tipo de control respecto al Sol, es extremadamente parecido.

Etapa de finalización: Se conectan los paneles al circuito de disipación y éste al Arduino. Se desarrolla el código por completo y se ponen límites al movimiento al panel que posee el control por fotoceldas, ya que el límite de movimiento del panel que se mueve con control por ecuaciones esta inherente en éste. Se enlaza el sistema de control con al interfaz de usuario para arrojar resultados en tiempo real, y se llevan a cabo las pruebas.

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

De acuerdo con los objetivos planteados se realizaron dos pruebas que cumplen con el objetivo de evaluar el desempeño relativo de los tipos de seguimiento (fotoceldas y ecuaciones) y de la cantidad de grados de libertad (1 grado de libertad vs 2 grados de libertad). Las pruebas consisten en exponer el sistema al sol para captar su energía y evaluar comparativamente, el desempeño de los paneles en términos de captación de energía según las especificaciones de seguimiento que éstos tengan en la configuración de la prueba.

4.1. ESPECIFICACIONES DE LAS PRUEBAS

Las pruebas se realizan en el municipio de Floridablanca, exactamente en las coordenadas: **7°05'01.80"N 73°06'29.50"O**.

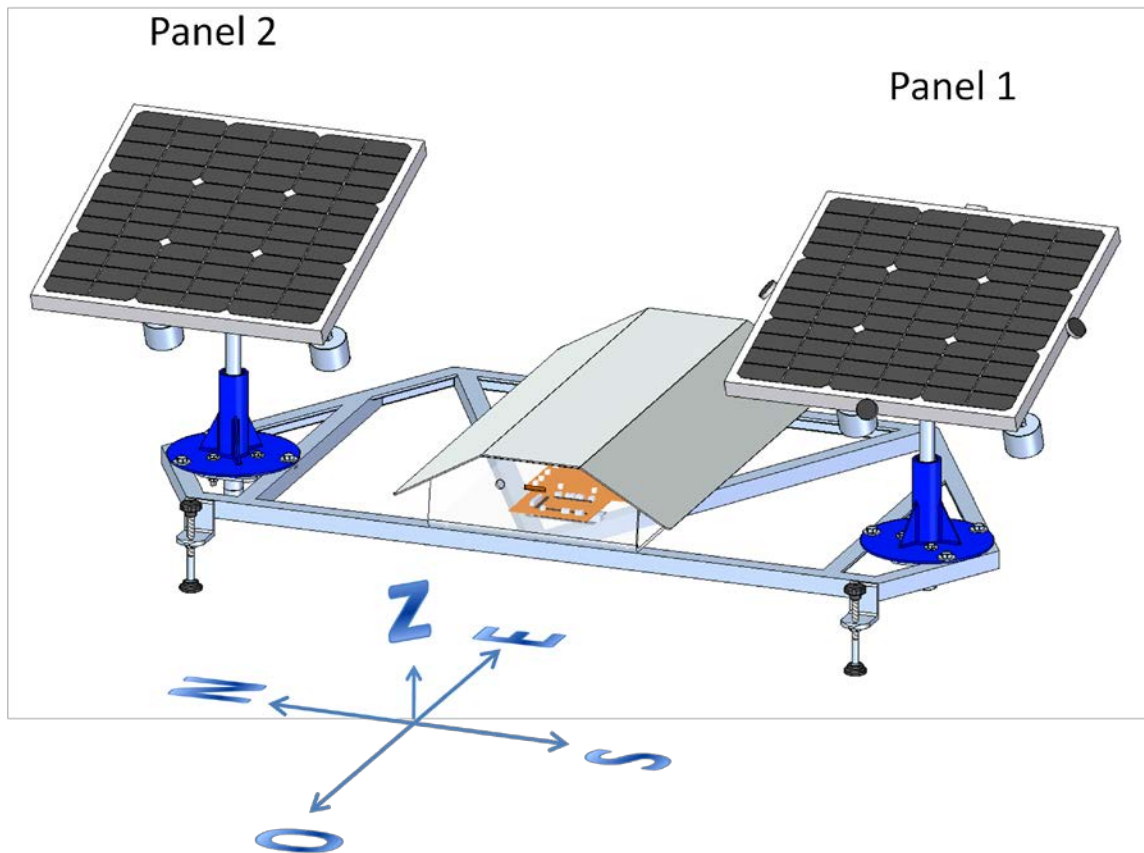
Figura 72. Ubicación espacial del lugar de las pruebas.



Fuente: Google Earth.

Las pruebas se realizan de 6 am. A 6pm. Los paneles se ubican de manera que los ejes de azimut de los dos paneles pasan por la línea norte-sur, ubicando el panel 1 en sur y el panel 2 en el norte como se muestra en la Figura 73.

Figura 73. Paneles 1 y 2



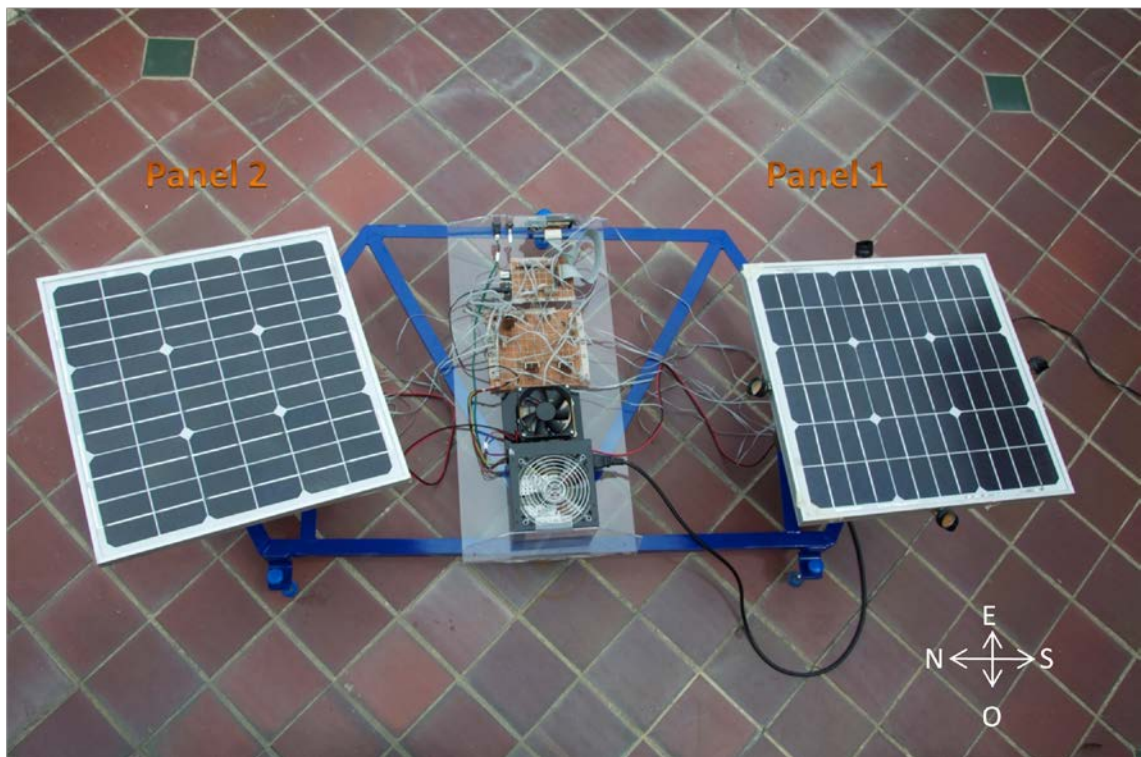
Fuente: Los autores.

Se asegura la correcta alineación de los paneles con los puntos cardinales con una brújula. La estructura se nivela mediante las los apoyos roscados ajustables.

En todos los casos el movimiento estará dado por los motorreductores de corriente directa que poseen los paneles en cada eje, controlados por un Arduino Mega.

Para ambas pruebas, los paneles se exponen al Sol tomando datos durante 15 días, pausando la toma de datos mientras llueve, cubriendo el sistema con un forro plástico para evitar cortos circuitos o daños en las placas de control. Se toman datos en tiempo real cada 5 minutos haciendo uso de la programación del controlador y almacenando los datos en la memoria EEPROM de éste, para que después puedan ser descargados en un computador. Estos datos se recogen del controlador promediados.

Figura 74. Paneles durante las pruebas



Fuente: Los autores

Las especificaciones de los paneles del sistema y del seguimiento de éstos son las siguientes:

Tabla 5. Especificaciones de los paneles para las pruebas.

PANEL Nº	CAPACIDAD	GRADOS DE LIBERTAD		TIPO DE SEGUIMIENTO		SENSORES PARA EL SEGUIMIENTO	
		AZIMUT	ALTURA SOLAR	ECUACIONES	FOTOCELIDAS	AZIMUT	ALTURA SOLAR
PANEL 1	20W PICO	SI	SI	SI	SI	POTENCIÓMETRO Y FOTOCELIDAS 1 Y 2	POTENCIÓMETRO Y FOTOCELIDAS 3 Y 4
PANEL 2	20W PICO	SI	SI	SI	NO	POTENCIÓMETRO	POTENCIÓMETRO

Fuente los autores.

Para asegurar el correcto funcionamiento se lleva una puesta a punto antes de las pruebas.

4.2. PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA

La puesta a punto del sistema consiste en asegurar que los tipos de seguimiento posicionen correctamente los paneles. Para esto es necesario realizar una calibración del sistema según el sistema de seguimiento:

4.2.1. Ecuaciones de posición solar

La calibración del seguimiento mediante el uso de ecuaciones de posición solar se hace en los dos paneles, ya que los dos poseen este tipo de seguimiento. Esta calibración consiste en asegurar que los ángulos en los que se posicionen los paneles físicamente, sean acordes a los que el controlador arroja como resultado del cálculo de las ecuaciones.

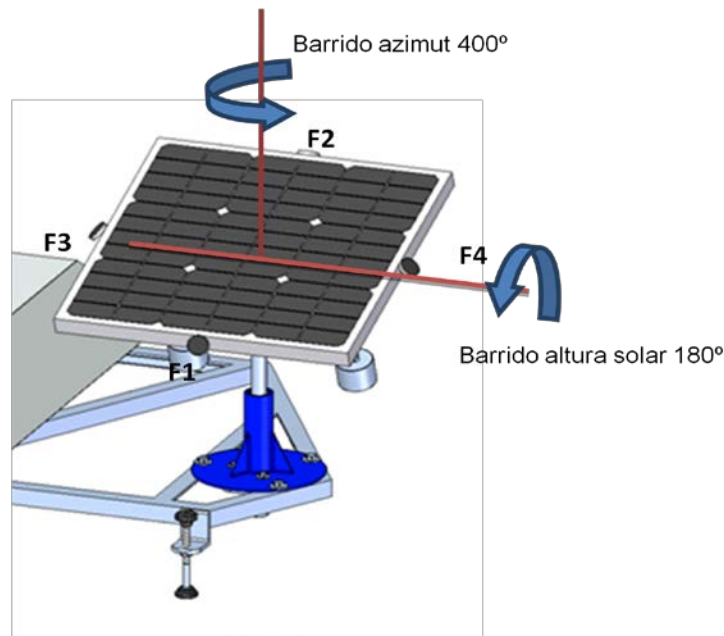
Esto se consigue ajustando las ganancias del sistema para que el control proporcional usado para la posición angular sea el eficaz y el sistema no entre en oscilación continua. Este ajuste es necesario una vez, y se configura de manera permanente en el código de programación.

4.2.2. Diferencia de lectura en fotoceldas

La calibración del sistema de seguimiento que implementa fotoceldas consiste en procurar que el panel 1, que posee fotoceldas en sus contornos, consiga apuntar a la mayor fuente de luz, ya que las fotoceldas, no arrojan medidas iguales para la misma cantidad de luz y es necesario calibrarlas mediante un relacionamiento. Para esto se hace uso de la programación del controlador, relacionando las medidas de máximos y mínimos de los dos pares de fotoceldas ubicadas para el control de los dos ejes: azimut y altura solar.

La calibración de las fotoceldas se hace cada vez que se enciende el sistema automáticamente y consiste en: Hacer un barrido de aproximadamente 180° para el par de fotoceldas del eje de altura solar (fotoceldas 1 y 2) y un barrido de aproximadamente 400° para el par de fotoceldas del eje de azimut (fotoceldas 3 y 4).

Figura 75. Calibración de fotoceldas



Fuente: Los autores.

Mientras se realizan los barridos se capturan los datos máximos y mínimos medidos por cada fotocelda para relacionar las medidas entre pares, es decir, relacionar las medidas de las fotoceldas 2 y 4 en base a las fotoceldas 1 y 3 respectivamente. Así, se consigue que cuando el panel se encuentre apuntando a la mayor fuente de luz cada par de fotoceldas dé aproximadamente la misma lectura.

4.3. PRUEBAS DE DESEMPEÑO RELATIVO

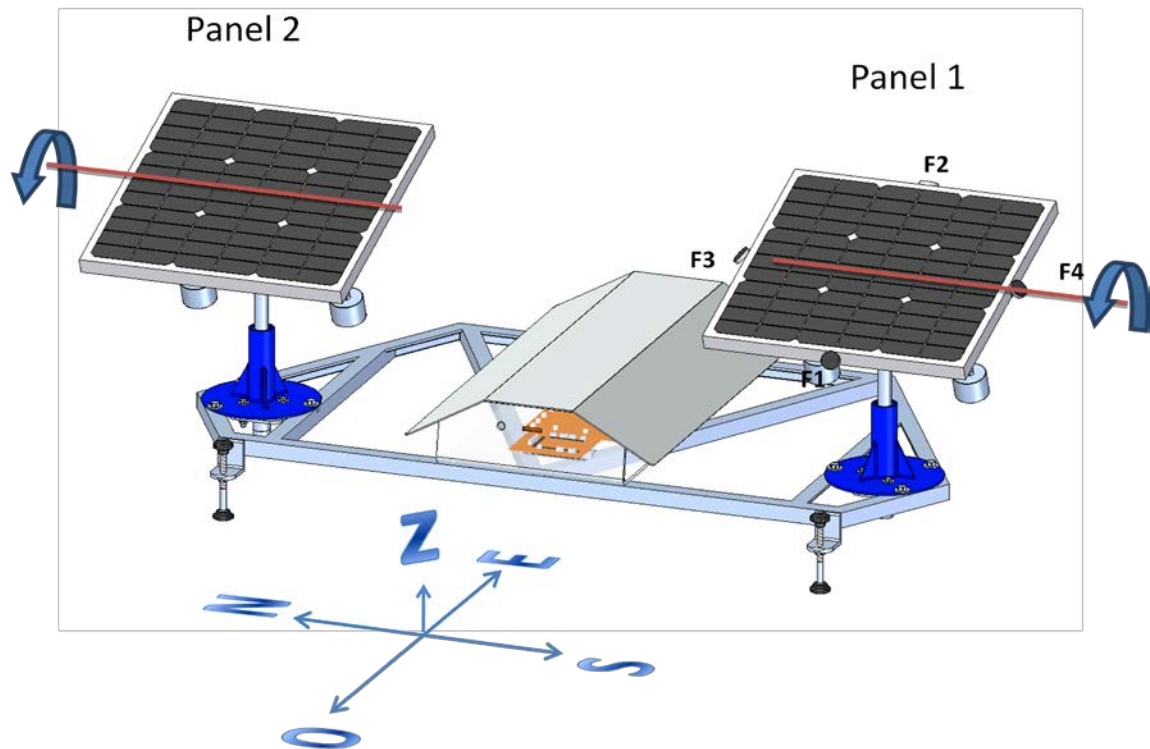
Las dos pruebas que se realizaron para evaluar el desempeño relativo de los sistemas de seguimiento variando los parámetros de operación de éstos se explican a continuación.

4.3.1. Fotoceldas vs ecuaciones de posición solar

Esta prueba se trata de comparar el desempeño relativo en términos de captación de energía entre los dos paneles, cuando un panel usa como sistema de orientación control por diferencia en fotoceldas y el otro, ecuaciones de posición solar.

Para ésta prueba solamente se usa un grado de libertad, no se usa azimut: Este se restringe a 90° , en el alba los paneles apuntarán directamente al este, y en el ocaso al oeste, es decir, los contornos de los paneles se ajustan con las líneas: Norte-sur o Este-Oeste. Esto se hace para dar total prioridad a comparar los dos tipos de seguimiento en la configuración más usada comúnmente: movimiento solo en altura solar.

Figura 76. Prueba de fotoceldas vs ecuaciones de posición solar

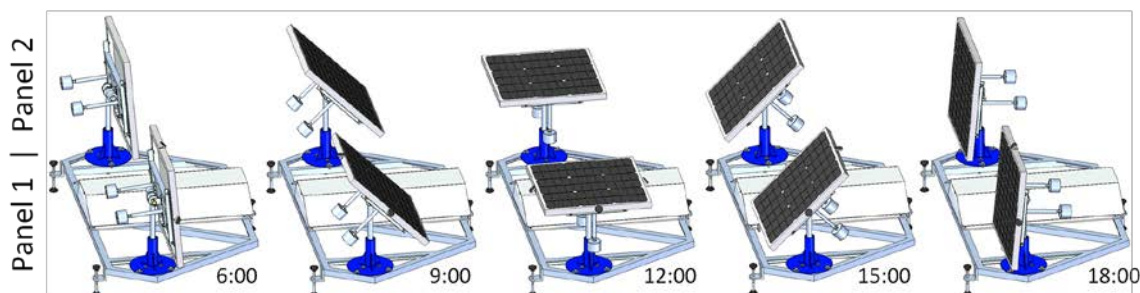


Fuente: Los autores.

Para ésta prueba el panel 1 se posiciona mediante el uso de fotoceldas y el panel 2 según las ecuaciones de posicionamiento como se muestra en la Figura 76 (orientación en la tarde). No existe rotación en el eje Z en ninguno de los paneles, solamente en el eje Norte-sur (altura solar). El panel de fotoceldas se mueve mediante la comparación relativa de las lecturas de las fotoceldas 1 y 2.

El movimiento aproximado de los paneles durante un día cualquiera de pruebas se ilustra a continuación.

Figura 77. Ejemplo de movimiento de la prueba: fotoceldas vs ecuaciones de posición.



Fuente: Los autores.

La configuración del sistema para la prueba se aclara en la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones de los paneles para las prueba de fotoceldas vs ecuaciones de posición solar.

PANEL Nº	CONTROL		SENSORES PARA EL SEGUIMIENTO	
	AZIMUT	ALTURA SOLAR	AZIMUT	ALTURA SOLAR
PANEL 1	ESTABLECIDO A 90°	DADO POR FOTOCELDA	POTENCIÓMETRO	FOTOCELDA 1 Y 2
PANEL 2	ESTABLECIDO A 90°	DADO POR ECUACIONES	POTENCIÓMETRO	POTENCIÓMETRO

Fuente: Los autores.

Las pruebas se realizaron del 2 de septiembre al 30 de septiembre, los datos obtenidos durante la exposición se muestran en vatios, muestran valores promedios totales tomados cada 3 horas desde las 6am hasta finalizar el día y están resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados de pruebas de medición de fotoceldas vs ecuaciones.

		6:00-9:00	6:00-12:00	6:00-15:00	Promedio día
16/09/2011	PANEL 1	1,21	2,68	1,59	1,42
	PANEL 2	1,36	3,05	1,83	1,61
17/09/2011	PANEL 1	2,83	6,75	4,11	5,59
	PANEL 2	3,45	7,31	4,76	6,27

18/09/2011	PANEL 1	2,13	6,96	7,53	6,28
	PANEL 2	2,21	8,75	8,95	7,03
19/09/2011	PANEL 1	1,53	1,21	5,45	2,84
	PANEL 2	1,92	1,74	6,45	3,46
20/09/2011	PANEL 1	3,11	3,25	4,05	3,08
	PANEL 2	4,23	3,96	5,02	3,67
21/09/2011	PANEL 1	4,53	9,06	6,35	6,72
	PANEL 2	5,05	10,53	7,11	7,63
22/09/2011	PANEL 1	0,45	1,17	3,96	2,61
	PANEL 2	0,51	1,29	4,27	3,19
23/09/2011	PANEL 1	4,95	10,96	8,75	8,68
	PANEL 2	5,35	11,97	10,35	11,11
24/09/2011	PANEL 1	1,53	4,52	5,35	3,66
	PANEL 2	1,85	5,35	6,22	4,25
25/09/2011	PANEL 1	0,53	5,96	3,56	4,51
	PANEL 2	0,75	6,35	3,95	5,21
26/09/2011	PANEL 1	0,55	0,95	0,51	0,72
	PANEL 2	0,69	1,21	0,82	0,92
27/09/2011	PANEL 1	3,75	2,51	2,71	2,3
	PANEL 2	4,23	3,12	3,12	2,69
28/09/2011	PANEL 1	5,75	10,96	11,63	9,19
	PANEL 2	7,05	12,73	12,91	12,37
29/09/2011	PANEL 1	1,45	5,96	3,56	4,57
	PANEL 2	1,97	6,35	3,95	5,05
30/09/2011	PANEL 1	3,69	7,59	7,03	6,36
	PANEL 2	4,25	8,96	8,34	7,33
	PANEL 1	PANEL 2			
Promedio total		4,56	5,45		

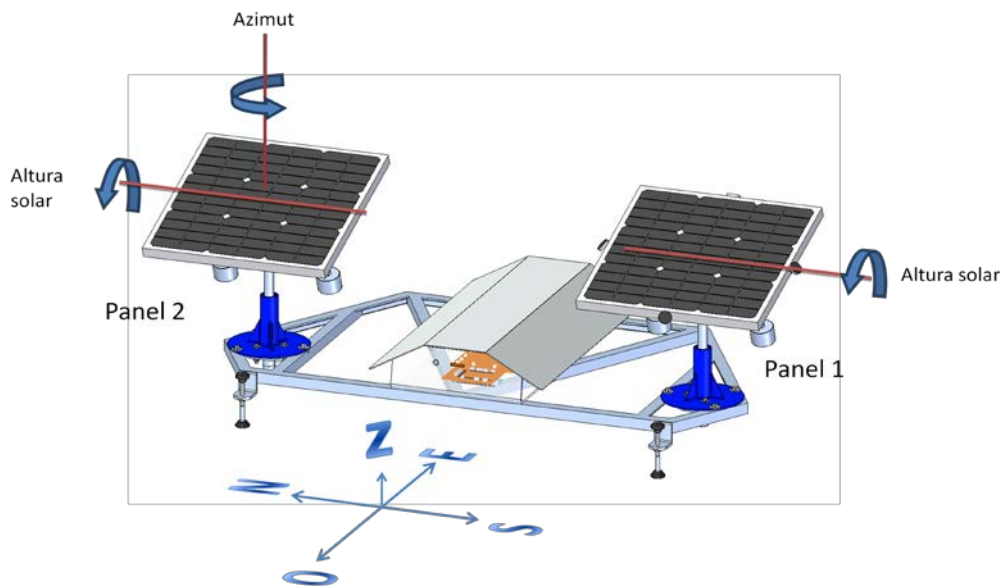
Fuente: Los autores.

4.3.2. Un grado de libertad vs dos grados de libertad

La prueba consiste en comparar el desempeño relativo, en términos de captación de energía entre los dos paneles, usando dos grados de libertad en un panel (azimut y altura solar) y un grado de libertad en el otro (altura solar), con el objetivo de conocer la capacidad de captación relativa de los paneles.

Un grado de libertad significa que el panel tiene capacidad de rotación en un eje, en este caso altura solar. Dos grados de libertad significa que el panel tiene además de capacidad de rotación en altura solar, capacidad de rotación en el eje de azimut.

Figura 78. Prueba de fotoceldas un grado de libertad vs dos grados de libertad



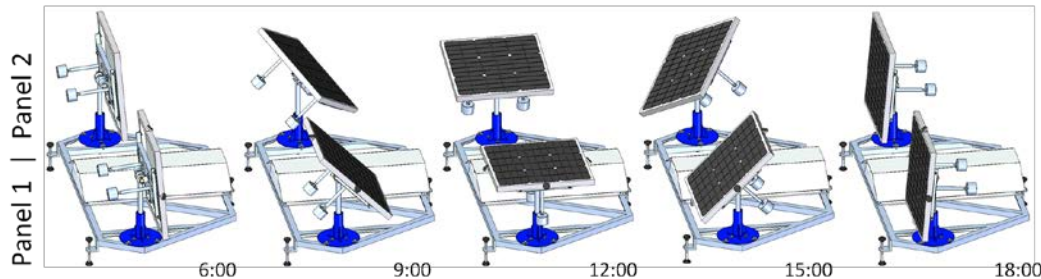
Fuente: Los autores.

En esta prueba no se usan las fotoceldas, los dos paneles usan seguimiento por ecuaciones de posición solar. El panel 1 maneja un grado de libertad y el panel 2 maneja 2 grados de libertad, como se muestra en la Figura 78. El panel 1 tiene el

azimut restringido y se orienta de tal modo que sus contornos están alineados con los ejes: Norte-sur o este-oeste. Apunta al este en el alba y al oeste en el ocaso. El panel 1 rota solamente en el eje norte-sur (altura solar) mientras que el panel 2 rota en el eje norte-sur y eje z (azimut). En ambos casos, los ángulos requeridos estarán dados por los resultados de las ecuaciones de posición solar que arroje el controlador a partir de la hora, fecha y latitud.

El movimiento aproximado de los paneles durante el equinoccio de otoño se ilustra a continuación.

Figura 79. Ejemplo de movimiento de la prueba: un grado de libertad vs dos grados de libertad



Fuente: Los autores.

La configuración del sistema para la prueba se aclara en la siguiente tabla:

Tabla 8. Especificaciones de los paneles para las prueba de un grado de libertad vs dos grados de libertad.

PANEL Nº	CONTROL		SENSORES PARA EL SEGUIMIENTO	
	AZIMUT	ALTURA SOLAR	AZIMUT	ALTURA SOLAR
PANEL 1	ESTABLECIDO A 90°	DADO POR ECUACIONES	POTENCIÓMETRO	POTENCIÓMETRO
PANEL 2	DADO POR ECUACIONES	DADO POR ECUACIONES	POTENCIÓMETRO	POTENCIÓMETRO

Fuente: Los autores.

Como se ve en la figura, el panel el panel 2 rota en sus dos ejes, permitiendo seguir de manera exacta el recorrido del sol durante el día, a diferencia del panel 1

que solamente rota en el eje de altura solar, el cual aproxima la posición del sol siguiendo un recorrido que supone un equinoccio sobre el ecuador.

Las pruebas se realizaron del 2 de octubre al 16 de octubre, los datos obtenidos durante la exposición se muestran en vatios, muestran valores promedios totales tomados cada 3 horas desde las 6 am hasta finalizar el día y están resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados de pruebas de medición de 1 grado de libertad eje vs 2 grados de libertad.

		6:00-9:00	6:00-12:00	6:00-15:00	Promedio día
02/10/2011	PANEL 1	2,95	4,21	3,96	4,64
	PANEL 2	4,11	6,93	6,36	7,13
03/10/2011	PANEL 1	1,25	2,41	1,97	2,06
	PANEL 2	1,71	2,91	2,36	2,45
04/10/2011	PANEL 1	3,09	5,69	7,1	7,63
	PANEL 2	3,19	5,8	7,19	7,73
05/10/2011	PANEL 1	1,35	5,1	5,03	4,96
	PANEL 2	1,45	5,23	5,12	5,05
06/10/2011	PANEL 1	1,19	3,96	4,91	4,88
	PANEL 2	1,29	4,57	5,59	5,55
07/10/2011	PANEL 1	0,41	1,26	2,69	2,22
	PANEL 2	0,49	1,39	3,21	2,63
08/10/2011	PANEL 1	2,12	1,97	2,63	2,45
	PANEL 2	2,46	2,22	2,91	2,81
09/10/2011	PANEL 1	1,53	5,36	4,05	3,19
	PANEL 2	1,72	6,05	4,72	3,6
10/10/2011	PANEL 1	4,25	8,35	6,91	6,46
	PANEL 2	4,41	8,7	7,12	6,84
11/10/2011	PANEL 1	2,01	3,14	3,29	2,34
	PANEL 2	2,21	3,61	3,48	2,69
12/10/2011	PANEL 1	5,01	6,46	7,11	5,82
	PANEL 2	5,29	7,12	7,43	6,18

13/10/2011	PANEL 1	3,56	3,98	3,05	2,69
	PANEL 2	3,71	4,12	4,25	3,19
14/10/2011	PANEL 1	5,12	8,34	8,91	8,46
	PANEL 2	5,23	8,91	9,72	9,45
15/10/2011	PANEL 1	5,12	3,93	4,51	4,96
	PANEL 2	5,29	3,97	4,59	5,05
16/10/2011	PANEL 1	3,95	2,97	2,51	2,81
	PANEL 2	4,12	3,09	2,63	3,12
	PANEL 1	PANEL 2			
Promedio total		4,17	4,78		

Fuente: Los autores.

5. CONCLUSIONES

Como resultado de éste proyecto se logró diseñar y construir un sistema de colector solar fotovoltaico de 2 grados de libertad, con dos tipos de seguimiento, para la evaluación de la captación de energía solar.

Se realizó investigación en materia de energía solar para darle continuidad a ésta rama, contribuyendo con la generación de conocimiento e incentivando a los estudiantes y usuarios interesados a implementar sistemas sencillos de seguimiento solar que aumenten la capacidad de captación promedio diaria de una celda solar fotovoltaica.

Se logró enlazar los componentes del sistema de control y medición de manera satisfactoria para lograr seguir al sol con dos métodos diferentes y conseguir captar una mayor cantidad de energía.

Se midió el desempeño relativo de los sistemas de seguimiento en términos de captación de energía evidenciando los siguientes resultados:

-La captación de energía por el método de seguimiento por control de diferencias en lectura de fotoceldas es inferior a la del sistema de seguimiento por ecuaciones de posición solar.

-El sistema de seguimiento con dos grados de libertad es ligeramente superior al sistema de seguimiento con un grado de libertad.

6. RECOMENDACIONES

Cuando se desee implementar un sistema de seguimiento se recomienda usar ecuaciones de posición solar, ya que con este tipo de control se logra captar una mayor cantidad de energía en comparación con un control por diferencia de lectura en fotoceldas.

En general es recomendable usar tan solo un grado de libertad: altura solar, ya que la estructura y los componentes necesarios para hacer funcionar un segundo eje que permita libertad en el azimut resulta complejo y la diferencia en la capacidad de captación es mínima.

A los usuarios que deseen implementar un sistema de control de seguimiento por diferencia de lectura en fotoceldas se les recomienda realizar una calibración de éstas para conseguir una medida similar a la misma intensidad de luz con el fin de obtener una mayor precisión y además, adicionarles una cubierta que permita la entrada de rayos de luz incidente en dirección aproximadamente perpendicular a la superficie de éstas.

Se recomienda a los usuarios con conocimientos básicos en electrónica que deseen realizar proyectos similares, el uso de Arduino como microcontrolador ya que existe una extensa documentación y por su facilidad de manejo e implementación.

Tener en cuenta en la etapa de diseño elegir las alternativas con el menor número de componentes con el fin de minimizar errores en el funcionamiento del dispositivo debido a las holguras no deseadas; también diseñar en función de la fabricación para poder elegir estrategias de mecanizado que permitan lograr las

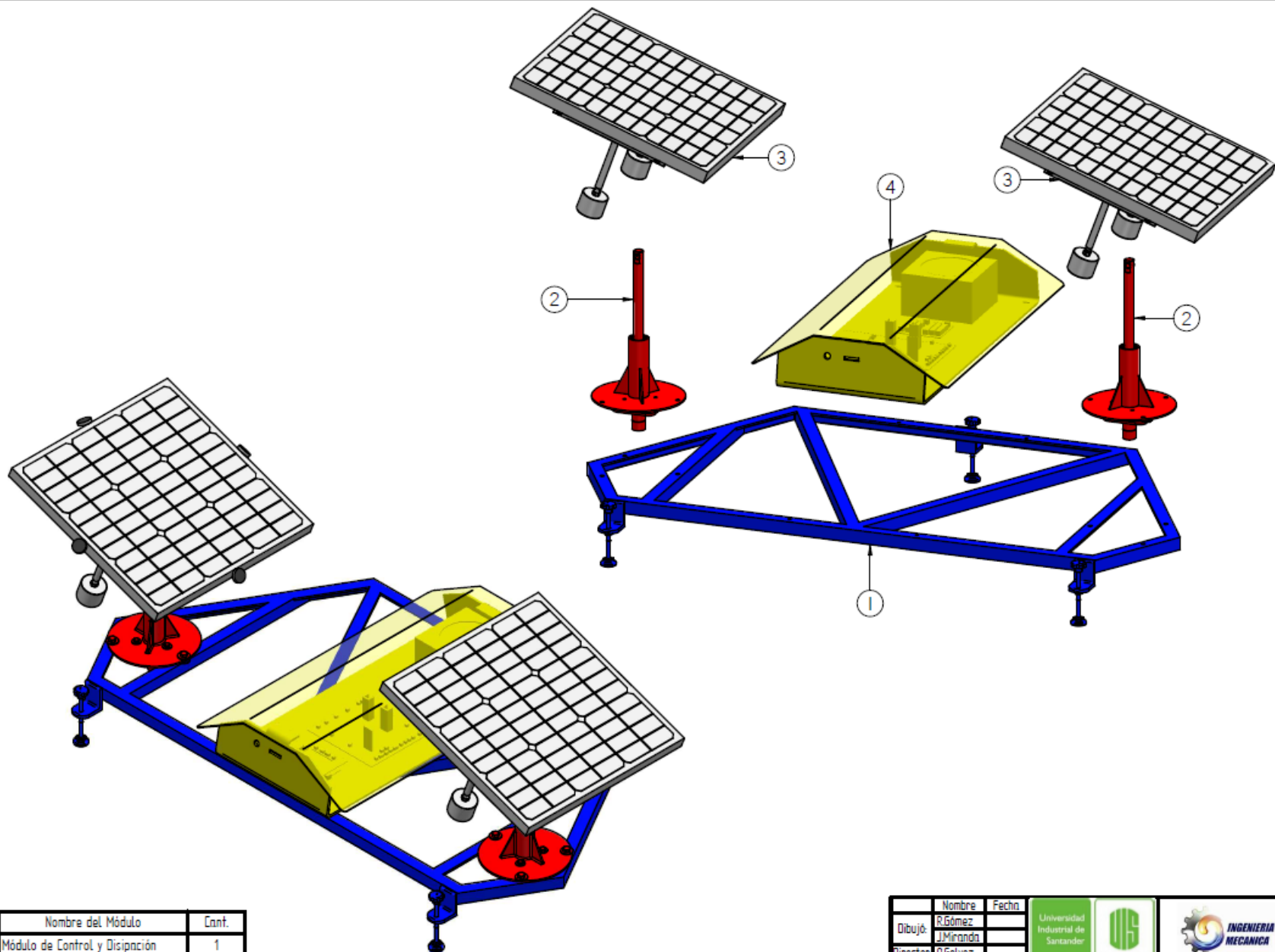
geometrías deseadas, que aseguren obtener la alineación de los elementos a la hora de realizar el ensamble.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ARDUINO. Tutorials. Consultado en Junio de 2011 de la página Web:
<http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
- CASTRO, Diego, Peña Jhon. Diseño y construcción de un prototipo experimental de un vehículo eléctrico autobalanceado unipersonal VEAU. Universidad Industrial de Santander, Colombia, Junio 2011.
-
- GARCÍA, V. Un reloj con el DS1307. Consultado en Julio de 2011 de la página Web: <http://hiswavila.com/3ds/atmega/ds1307reloj.html>
- HAMROCK. Bernard. Elementos de máquinas. México,DF: McGrawHill, Julio de 2000. 899p.
-
- OGATA, K. Ingeniería de control moderna. México DF: PRENTICE HALL, 1998. 997p.
-
- STMICROELECTRONICS. L298N – Dual Full - Bridge Driver. Consultado en Junio de 2011 de la página Web: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>
- UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA. Relaciones astronómicas Sol Tierra. Consultado en Junio de 2011 de la página Web: <http://ocw.unia.es/ciencias-de-la-ingenieria/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-1>

ANEXOS

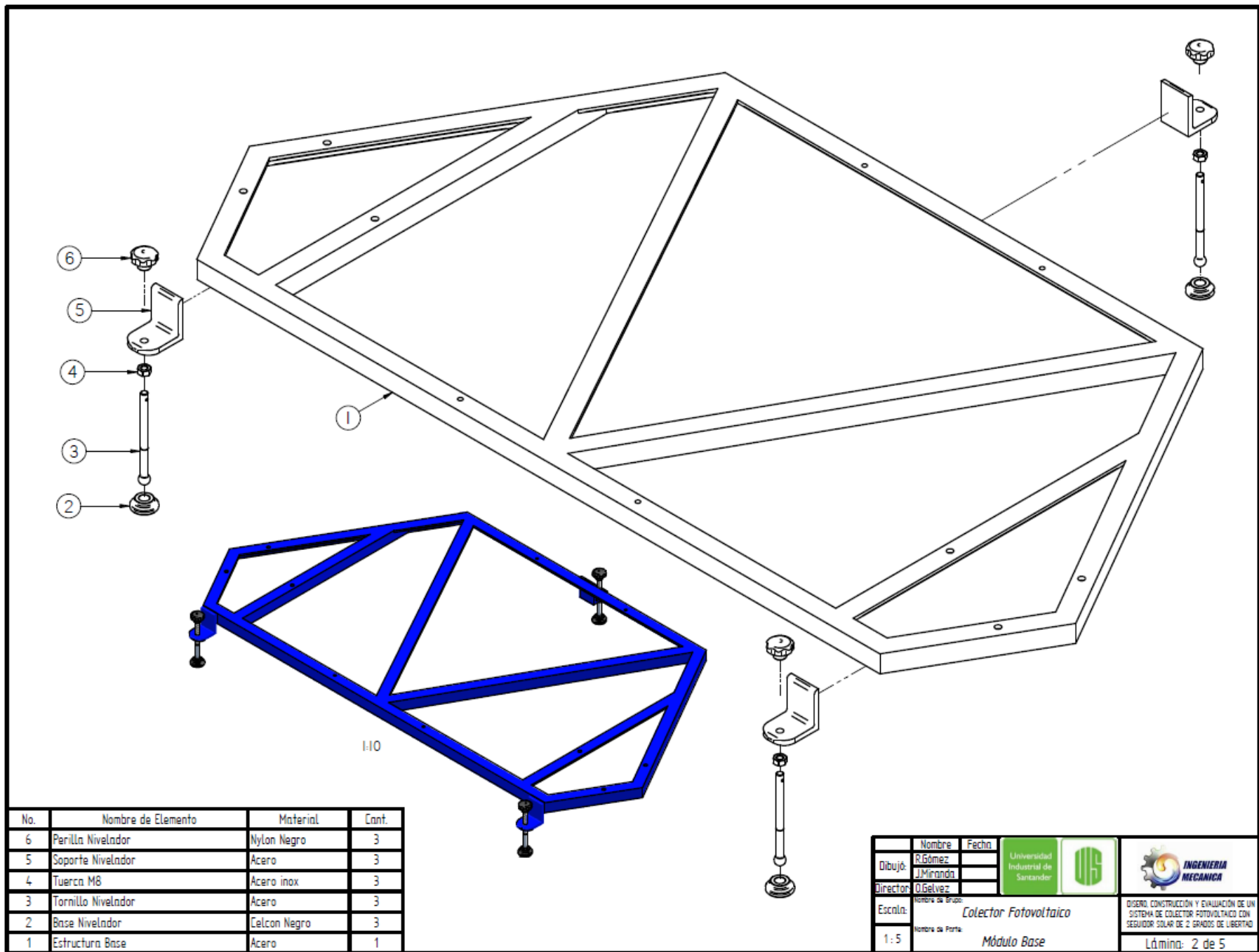
Anexo A. PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA



No.	Nombre del Módulo	Cant.
4	Módulo de Control y Disipación	1
3	Módulo Superior	2
2	Módulo Vertical	2
1	Módulo Base	1

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R. Gómez	
Director:	J. Miranda	
Escala:	O. Gelvez	
Nombre de Bruto:	Colector Fotovoltaico	
Nombre de Perfil:	Colector Fotovoltaico	
1:10	Lámina: 1 de 5	

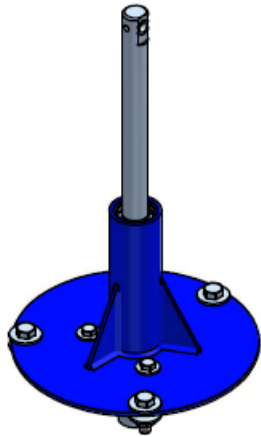
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD



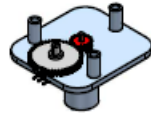
No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
6	Perilla Nivelador	Nylon Negro	3
5	Soporte Nivelador	Acero	3
4	Tuerca M8	Acero inox	3
3	Tornillo Nivelador	Acero	3
2	Base Nivelador	Calcon Negro	3
1	Estructura Base	Acero	1

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R.Gómez	
Director:	J.Miranda	
Escala:	O.Gelvez	
Nombre de Grupo:	Colector Fotovoltaico	
Nombre de Parte:	Módulo Base	
1:5	Lámina: 2 de 5	

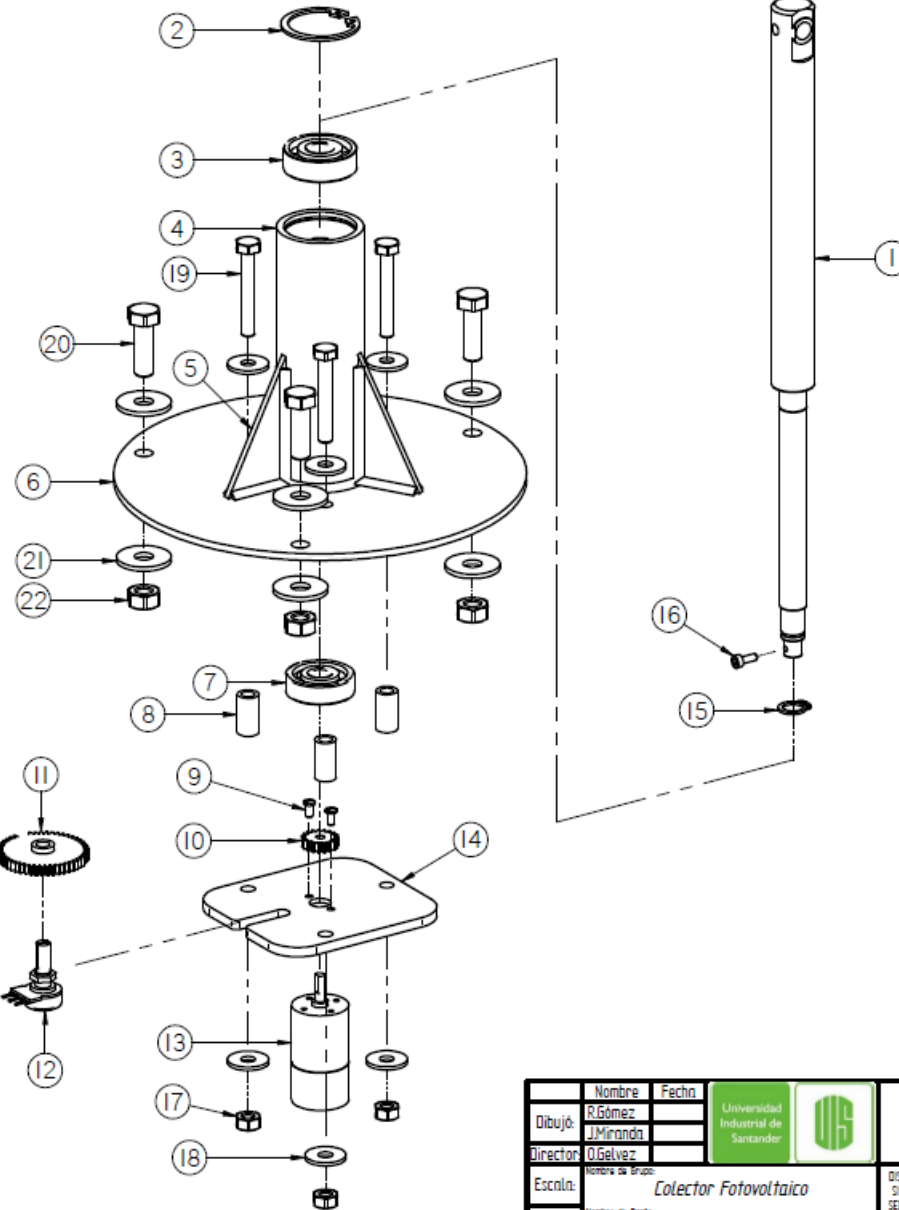
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD



15

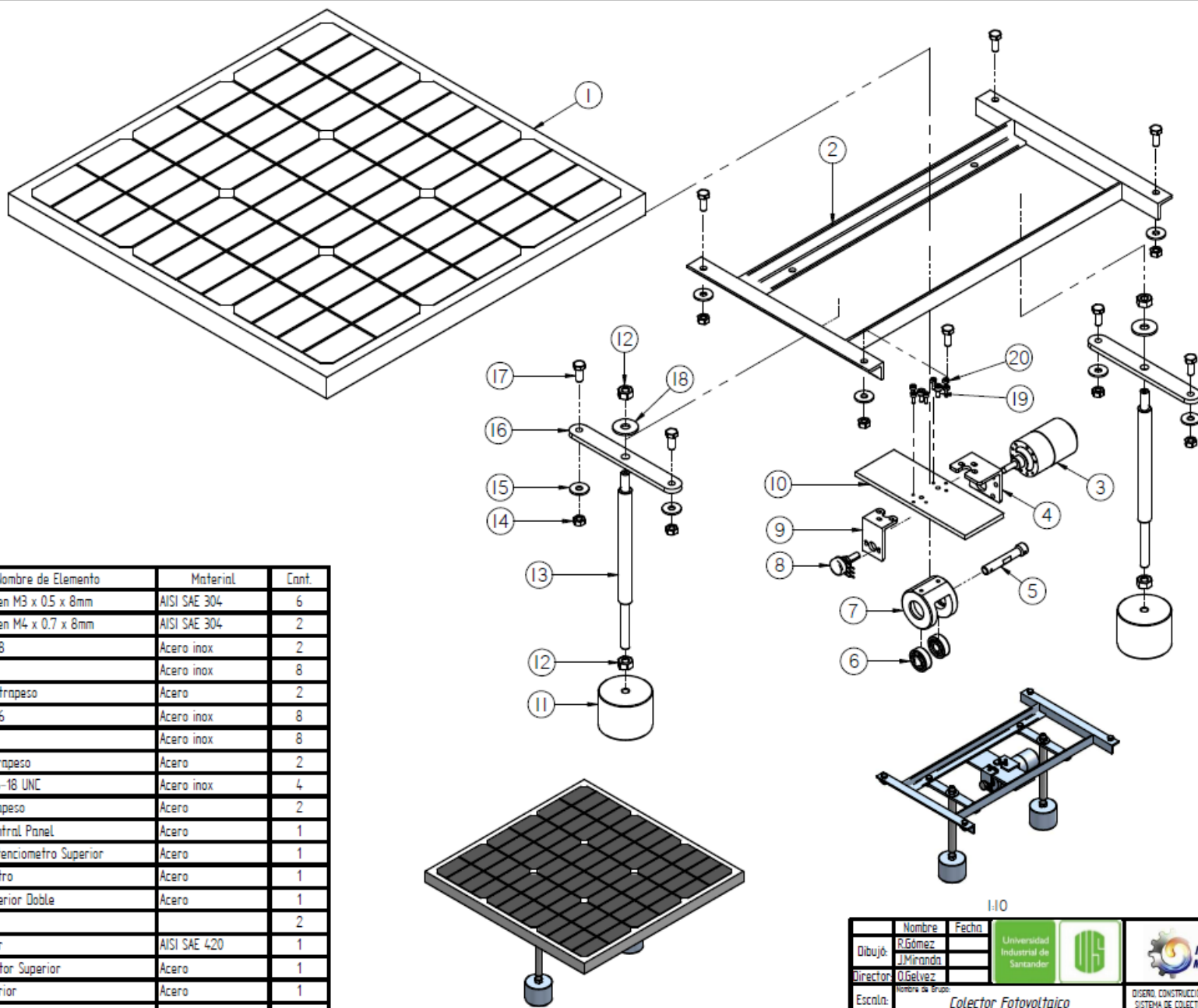


15



No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
22	Tuerca M8	Acero inox	3
21	Arandela M8	Acero inox	6
20	Tornillo M8	Acero inox	3
19	Tornillo M6 x 40mm	Acero inox	3
18	Arandela M6	Acero inox	6
17	Tuerca M6	Acero inox	3
16	Tornillo Allen M3 x 0.5 x 8mm	AISI SAE 304	1
15	Anillo de Retención DSH-10 DIN 471	Acero	1
14	Soporte Motor Inferior	Acero	1
13	Motor Inferior	Acero	1
12	Potenciómetro	Acero	1
11	Corona Potenciómetro	Polipropileno	1
10	Piñon Motor	Polipropileno	1
9	Tornillo M3x0.5	AISI SAE 304	2
8	Buje Soporte Inferior	Acero	3
7	Rodamiento FAG 6200		1
6	Plato Soporte Eje	Acero	1
5	Refuerzo Base Eje	Acero	3
4	Soporte Eje	Acero	1
3	Rodamiento FAG 7201-b-1vp		1
2	Anillo de Retención DHD-32 DIN-472	Acero	1
1	Eje Vertical	Acero	1

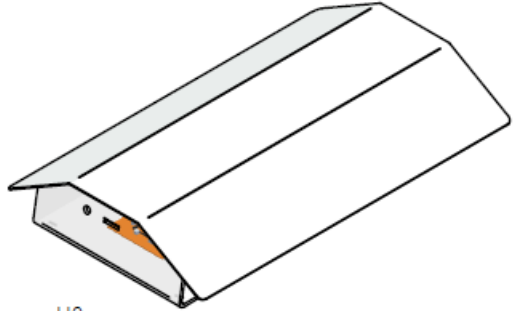
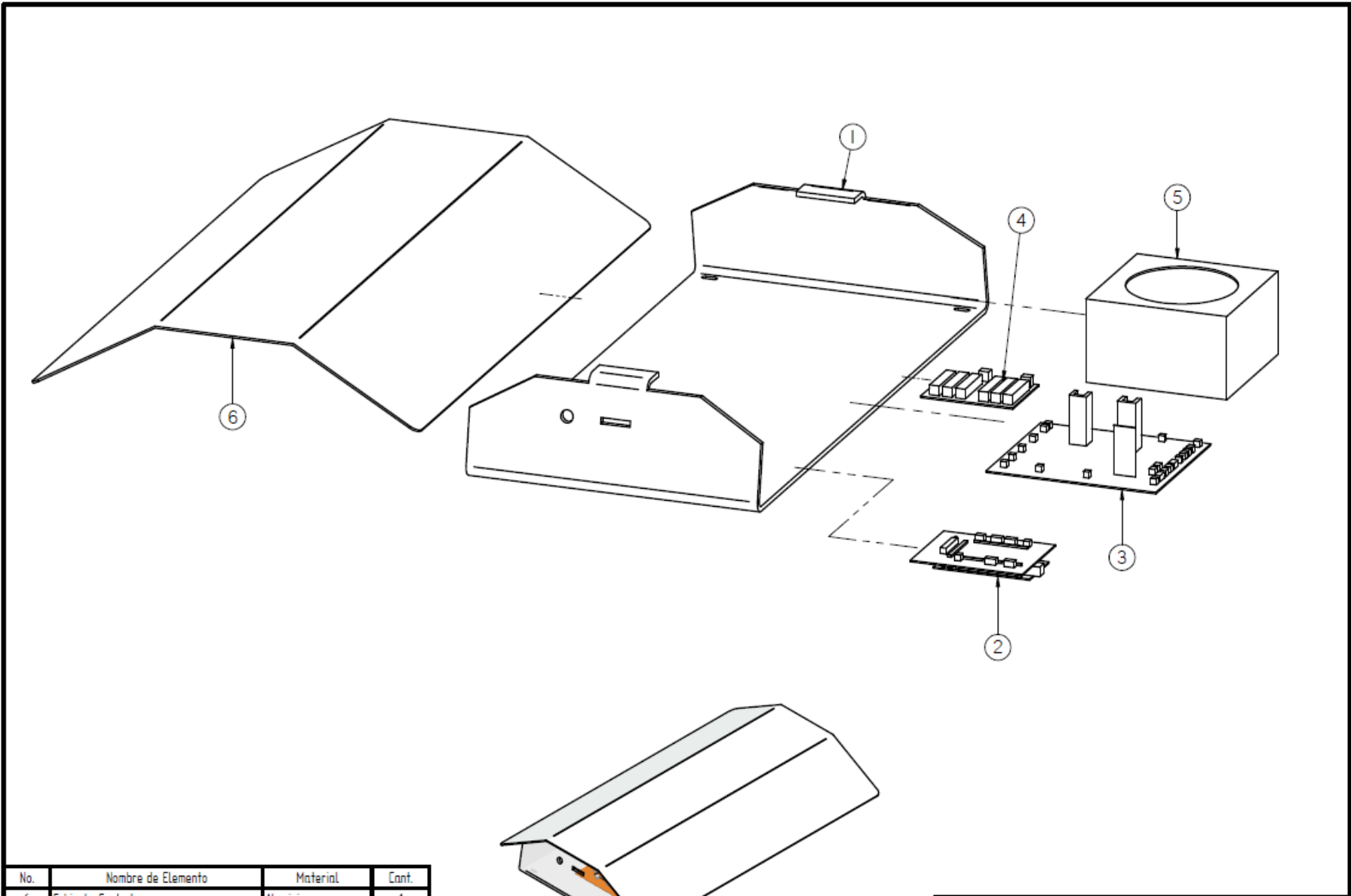
Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R.Gómez			
Director:	J.Miranda			
Escalón:	O.Gelvez			
Nombre de Grupo:	Colector Fotovoltaico			
Nombre de Parte:	Módulo Vertical			
1:3				DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 3 de 5



No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
20	Tornillo Allen M3 x 0.5 x 8mm	AlSI SAE 304	6
19	Tornillo Allen M4 x 0.7 x 8mm	AlSI SAE 304	2
18	Arandela M8	Acero inox	2
17	Tornillo M6	Acero inox	8
16	Platina Contrapeso	Acero	2
15	Arandela M6	Acero inox	8
14	Tuerca M6	Acero inox	8
13	Brazo Contrapeso	Acero	2
12	Tuerca 5/16-18 UNC	Acero inox	4
11	Pesa Contrapeso	Acero	2
10	SopORTE Central Panel	Acero	1
9	SopORTE Potenciometro Superior	Acero	1
8	Potenciometro	Acero	1
7	Camisa Superior Doble	Acero	1
6	FAG 608		2
5	Eje Superior	AlSI SAE 420	1
4	SopORTE Motor Superior	Acero	1
3	Motor Superior	Acero	1
2	Marco Panel	Acero	1
1	Panel Solar	-	1

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R. Gómez	
Director:	J. Miranda	
Escala:	O. Gelvez	
Nombre de Brújula:	Colector Fotovoltaico	
Nombre de Porta:	Módulo Superior	
1:5	Lámina: 4 de 5	

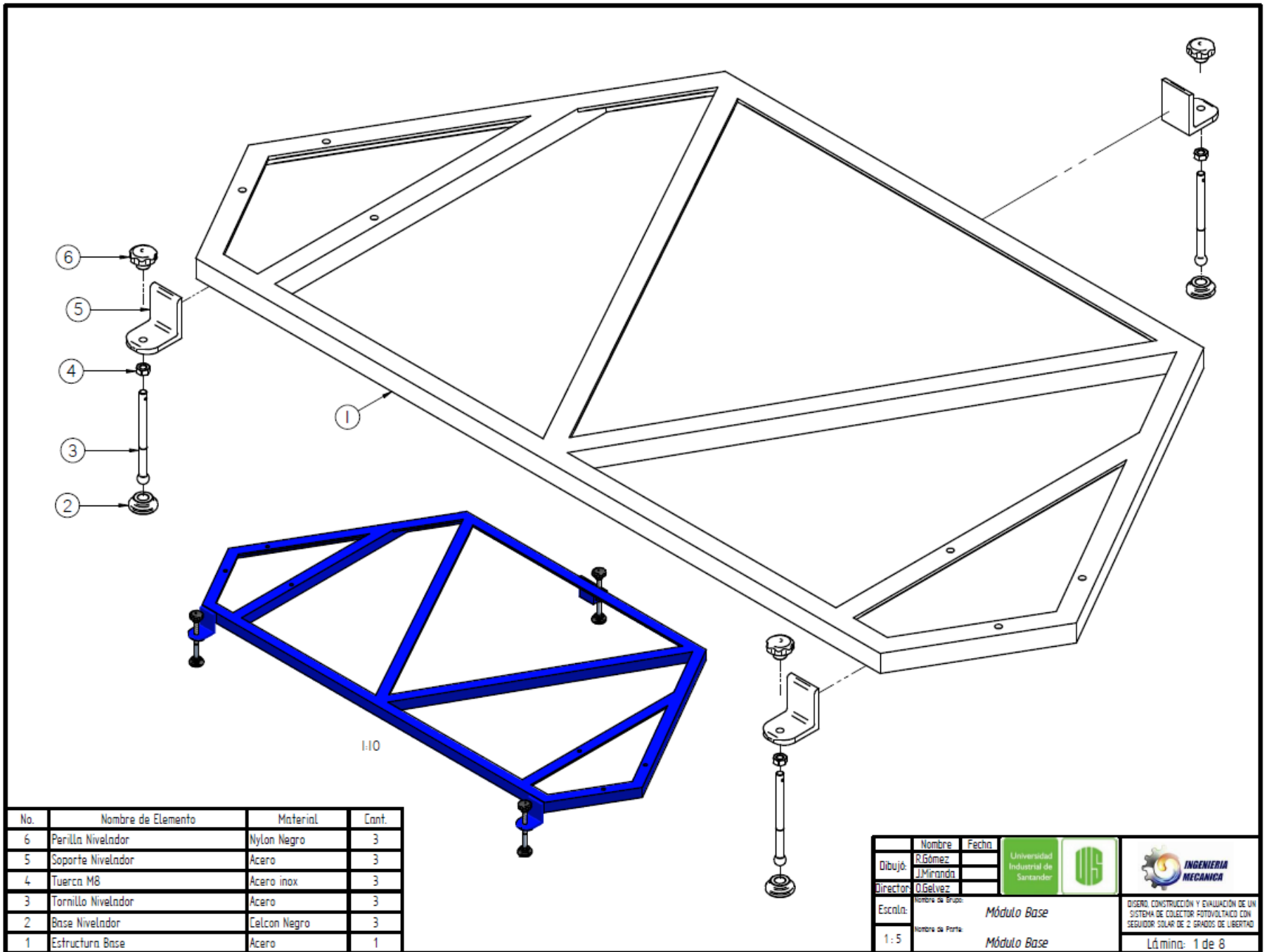
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD



1:10

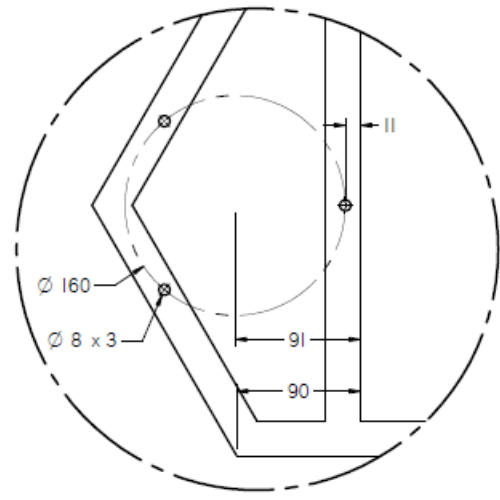
No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
6	Cubierta Controles	Aluminio	1
5	Fuente		1
4	Disipador		1
3	Placa Base		1
2	Placa Arduino		1
1	Placa Base Controles	Acrilico	1

Nombre	Fecha		
Dibujó:	R.Gómez		
Director	J.Miranda		
Escala:	O.Gelvez		
1:5	Nombre de Grupo:	Colector Fotovoltaico	
	Nombre de Parte:	Módulo Superior	
			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 5 de 5

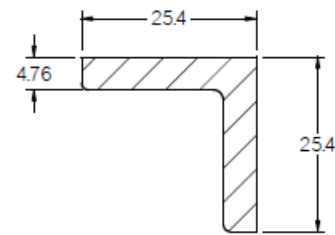
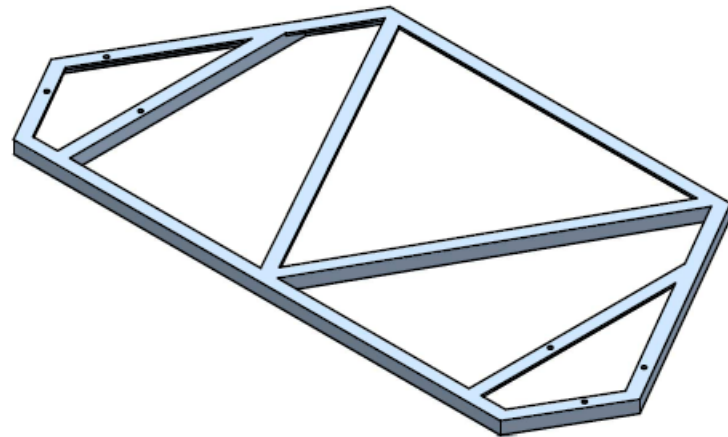
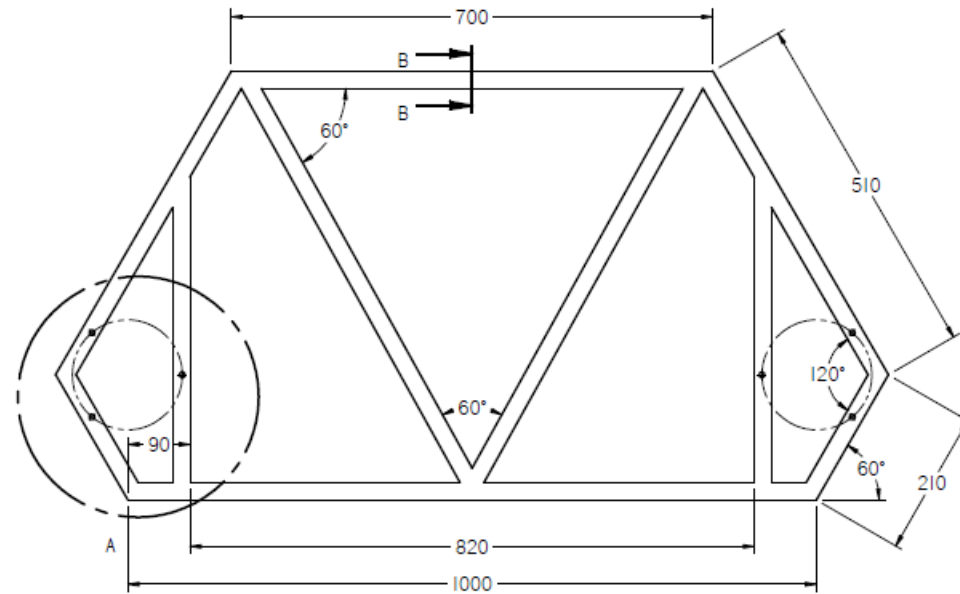


No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
6	Perilla Nivelador	Nylon Negro	3
5	Soporte Nivelador	Acero	3
4	Tuerca M8	Acero inox	3
3	Tornillo Nivelador	Acero	3
2	Base Nivelador	Calcon Negro	3
1	Estructura Base	Acero	1

Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		 
Dibujó: R.Gómez				
Director: J.Miranda				DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 1 de 8
Escalón: O.Gelvez				
1:5				



DETALLE A
1:5

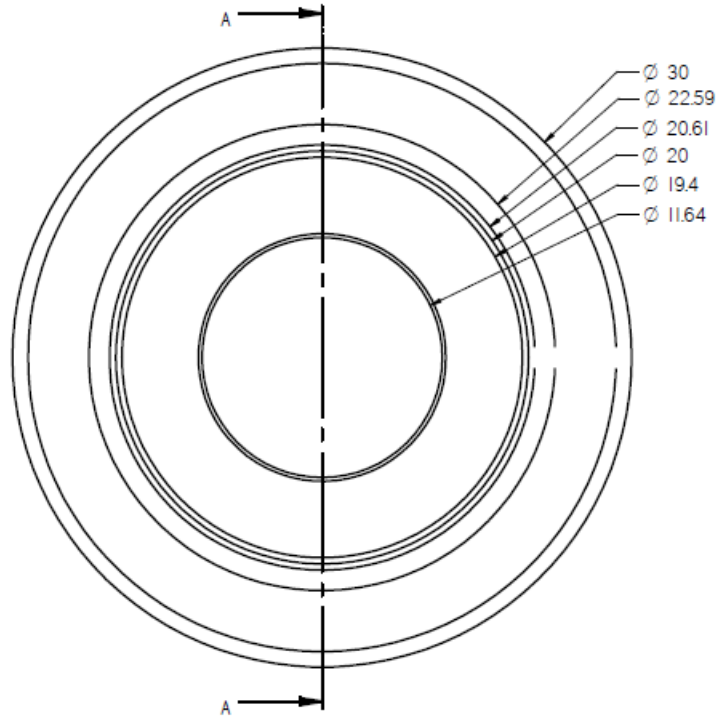
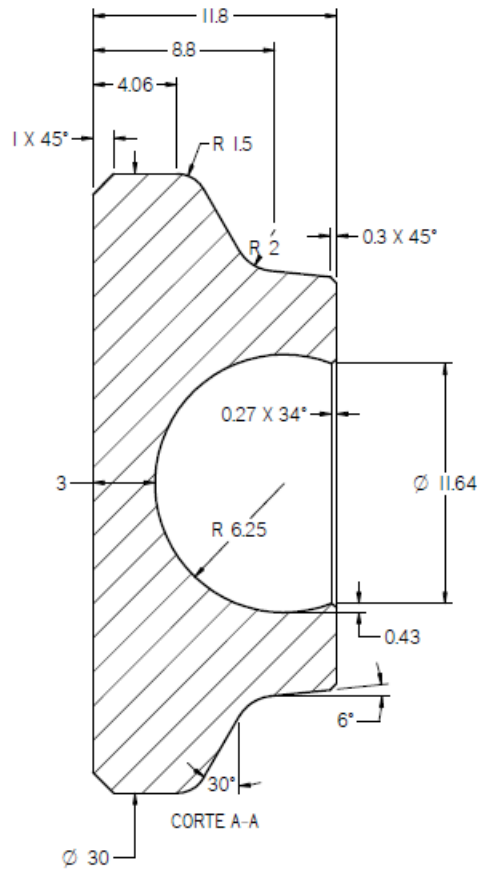


CORTE B-B
II

Nombre	Fecha		
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escala:	O. Gelvez		
Nombre de Brzo:	Módulo Base		
Nombre de Parta:	Estructura Base		
1:10			

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
Lámina: 2 de 8

OPERACION	1	Programa
Máquina	Torno T-6	01102
Herramienta	Posición	Ataque
CNMG432MG	T 1	H3
Broca 10mm	T 3	H7 H8
Barra BB155	T 4	H3
CB # 4	T 5	H7 H8
Barra Rosca Mod	T 6	H3
G-MGM-300	T 10	H3
VNGP-331K	T 12	H3

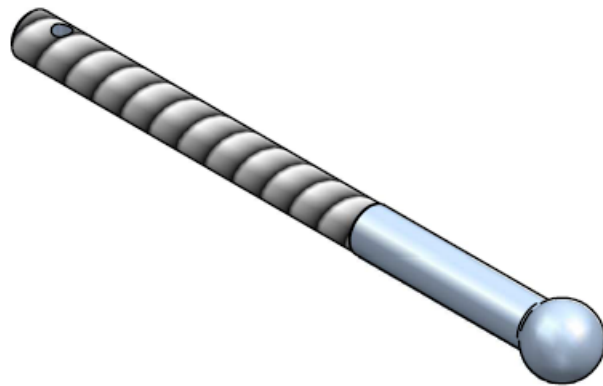
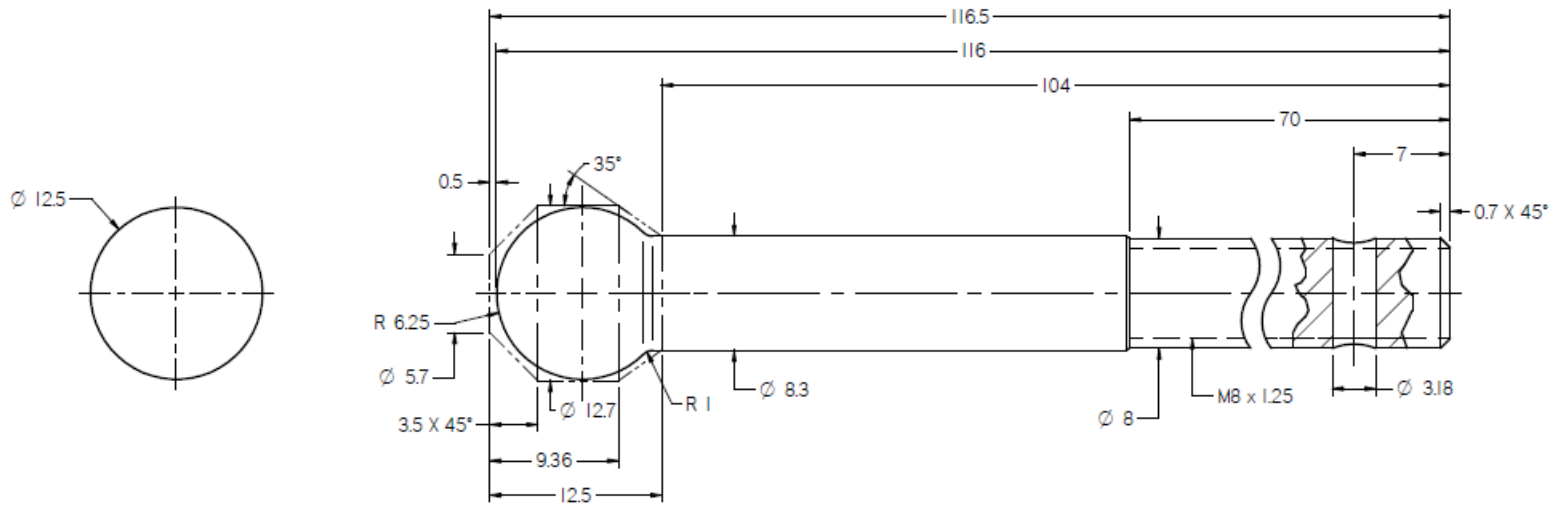


1:1

Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó	R. Gómez	J. Miranda		
Director	O. Gelvez			
Escala:	Nombre de Bruto:	Módulo Base	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
3:1	Nombre de Partes:	Base Nivelador	Lámina: 3 de 8	

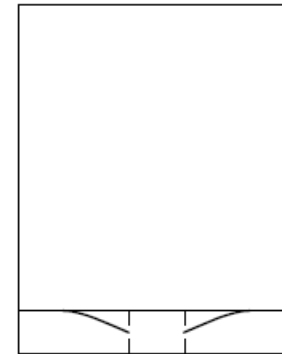
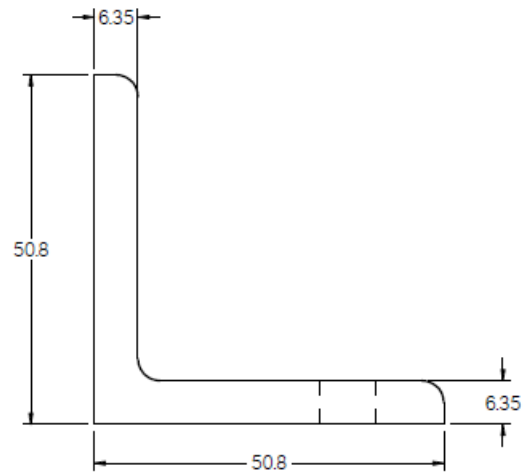
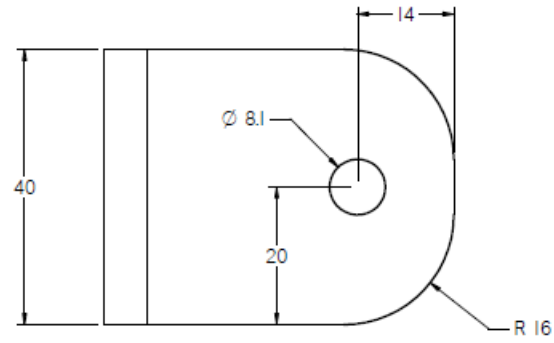
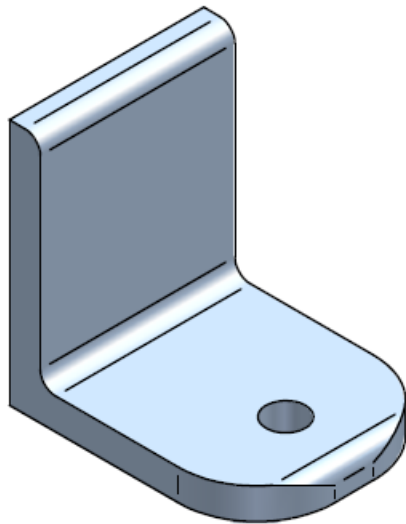
OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Broca de Roscar

OPERACION 2	Programa
Máquina: Torno T-6	01101
Herramienta	Posición Ataque
VNGP-331K	T 12 H3



11

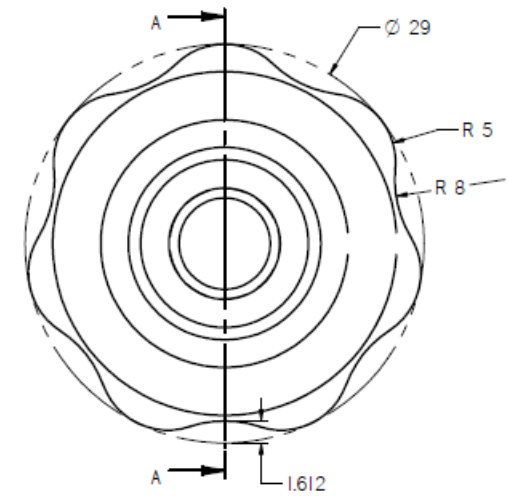
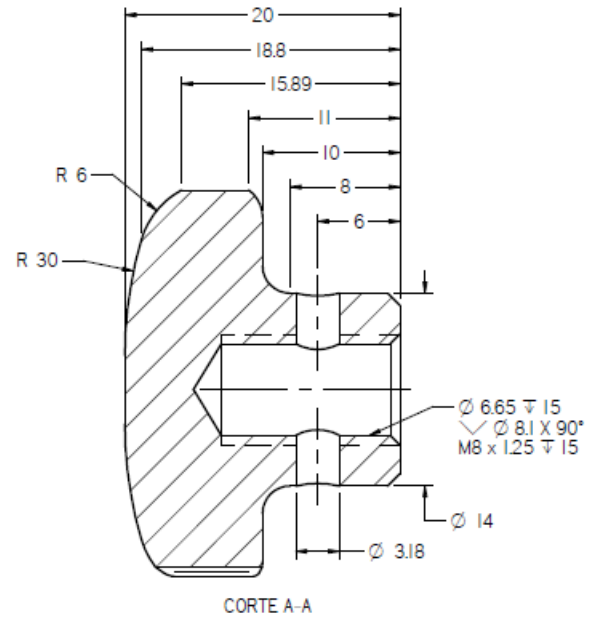
Nombre	Fecha	 
Dibujó: R. Gómez		
Director: J. Miranda		
Director: O. Gelvez		
Escala:	Nombre de Bruto: Módulo Base	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
2:1	Nombre de Parta: Tornillo Nivelador	
		Lámina: 4 de 8



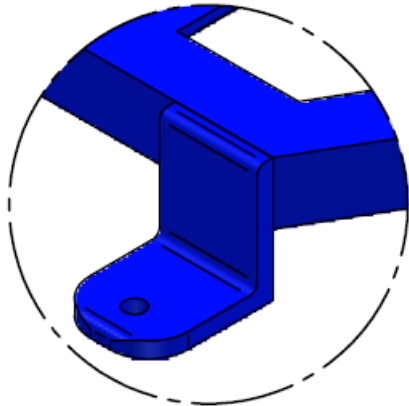
	Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R. Gómez				
Director:	J. Miranda				
	O. Gelvez				
Escalón:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Base</i>				
1:1	Nombre de Parte: <i>Soporte Nivelador</i>				
					DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 5 de 8

OPERACION 1		Programa
Máquina: Torno T-6		01105
Herramienta	Posición	Ataque
DNMG432MG	T 1	H3
CB # 4	T 5	H7 H8
Braca 7mm	T 6	H7 H8
Macho M8x1.25	T 6	H7 H8
G-MGM-300	T 10	H3
VNGP-331K	T 12	H3

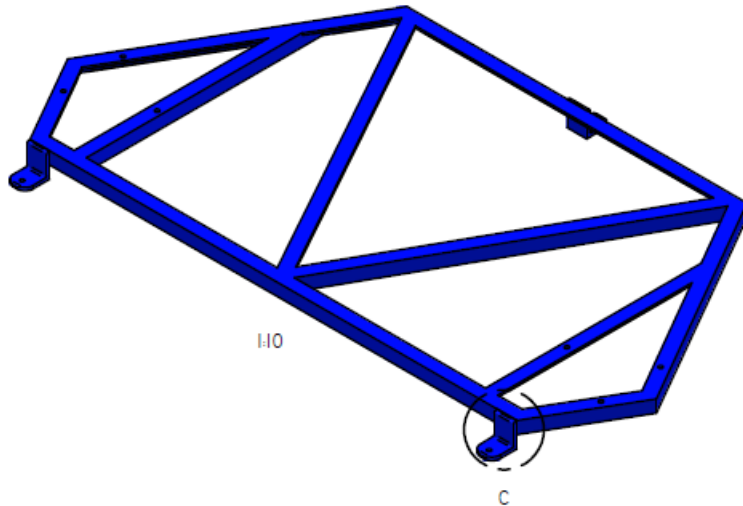
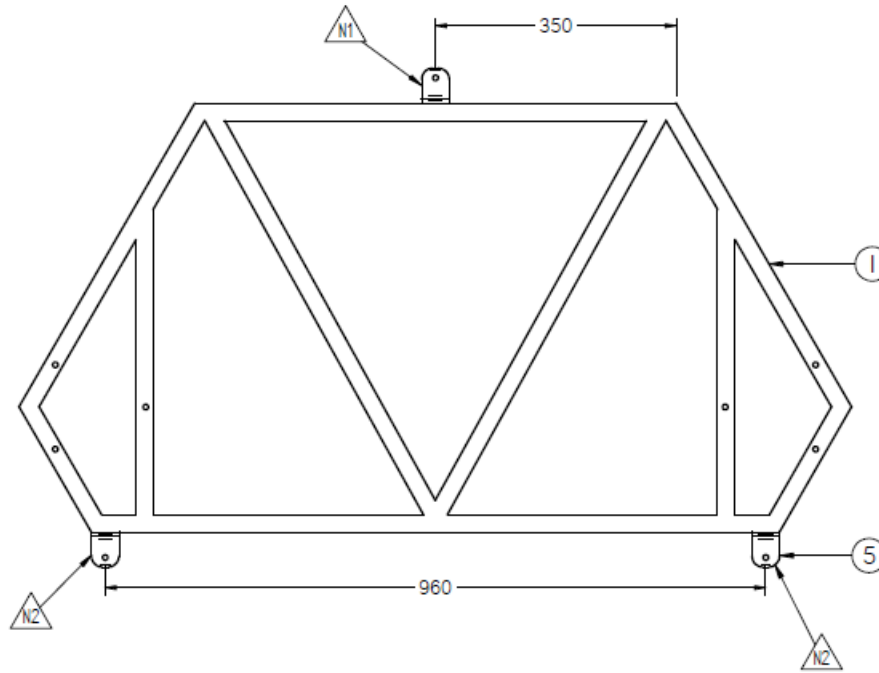
OPERACION 2		Programa
Máquina: CMV-30i		01106
Herramienta	Posición	
Fresa Plana 9525		2




Nombre	Fecha	 
Dibujó: R. Gómez		
Director: J. Miranda		
Nombre de Grupo:	Módulo Base	
Nombre de Perfil:	Perilla Nivelador	
Escala: 2:1		
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD		
Lámina: 6 de 8		




DETALLE C
1/2

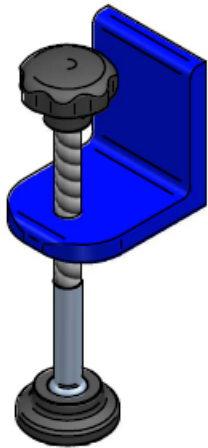


NOTAS:

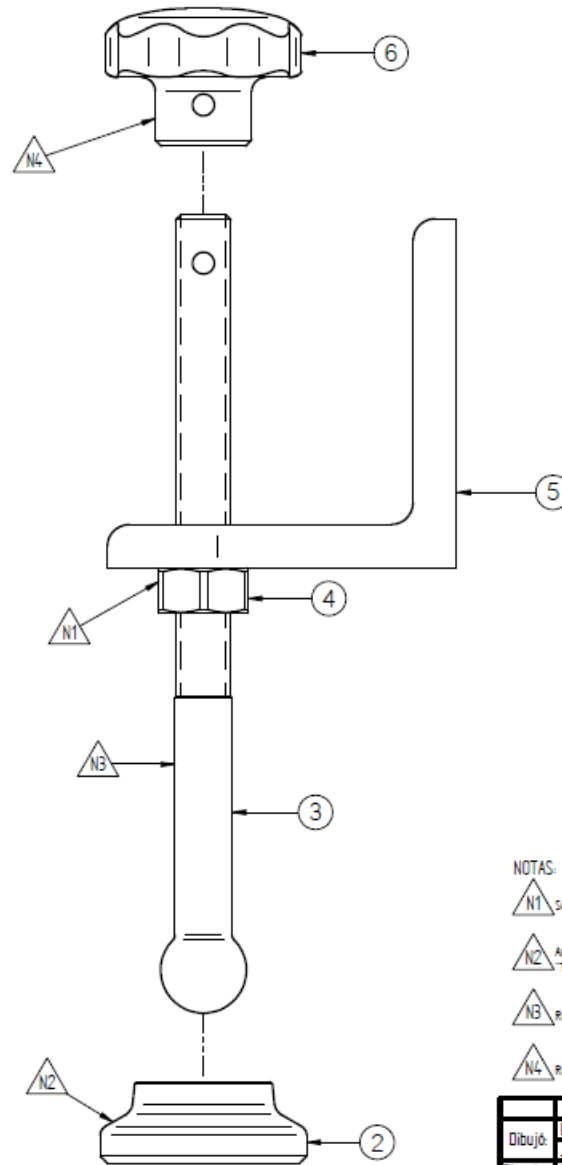
 Ubicar un "Soporte Nivelador" (5) en la mitad del Lado posterior de la "Estructura Base" (1)

 Ubicar dos "Soporte Nivelador" (5) en el extremo del Lado frontal de la "Estructura Base" (1)

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R.Gómez	
Director:	J.Miranda	
Escalón:	Nombre de Bruto:	Módulo Base
1:10	Nombre de Perfil:	Módulo Base
		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 7 de 8



1:2

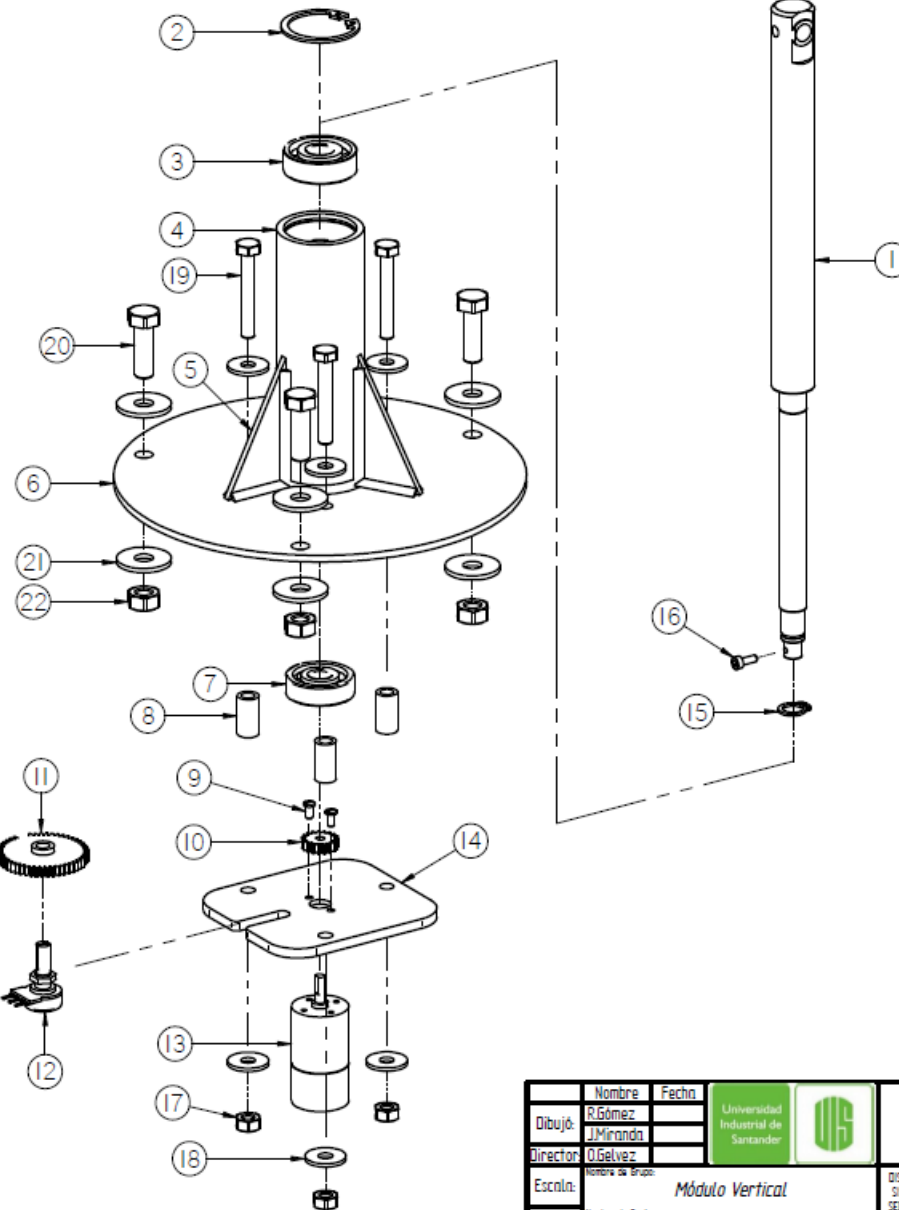
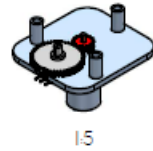
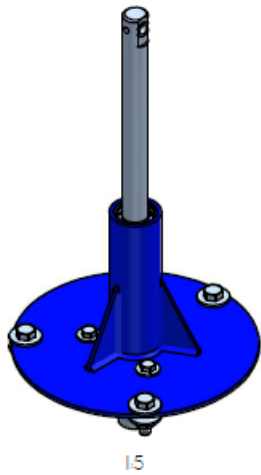


NOTAS:

- △ N1 Soldar una "Tuerca M8" (4) en la cara inferior del "Soporte Nivelador" (5)
- △ N2 Acoplar la "Base Nivelador" (2) en el "Tornillo Nivelador" (3) con un golpe en la cabeza del "Tornillo"
- △ N3 Rascar el "Tornillo Nivelador" (3) en la "Tuerca M8" (4) del "Soporte Nivelador" (5)
- △ N4 Rascar a tope la "Perilla Nivelador" (6) en el "Tornillo Nivelador" (3) y pinar los elementos

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R.Gómez	
Director:	J.Miranda	
Escalón:	Nombre de Grupo:	Módulo Base
1:1	Nombre de Parte:	Módulo Base

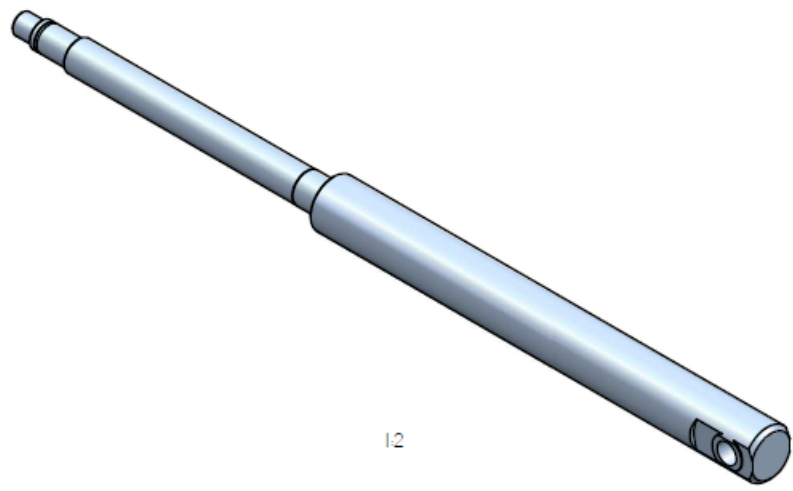
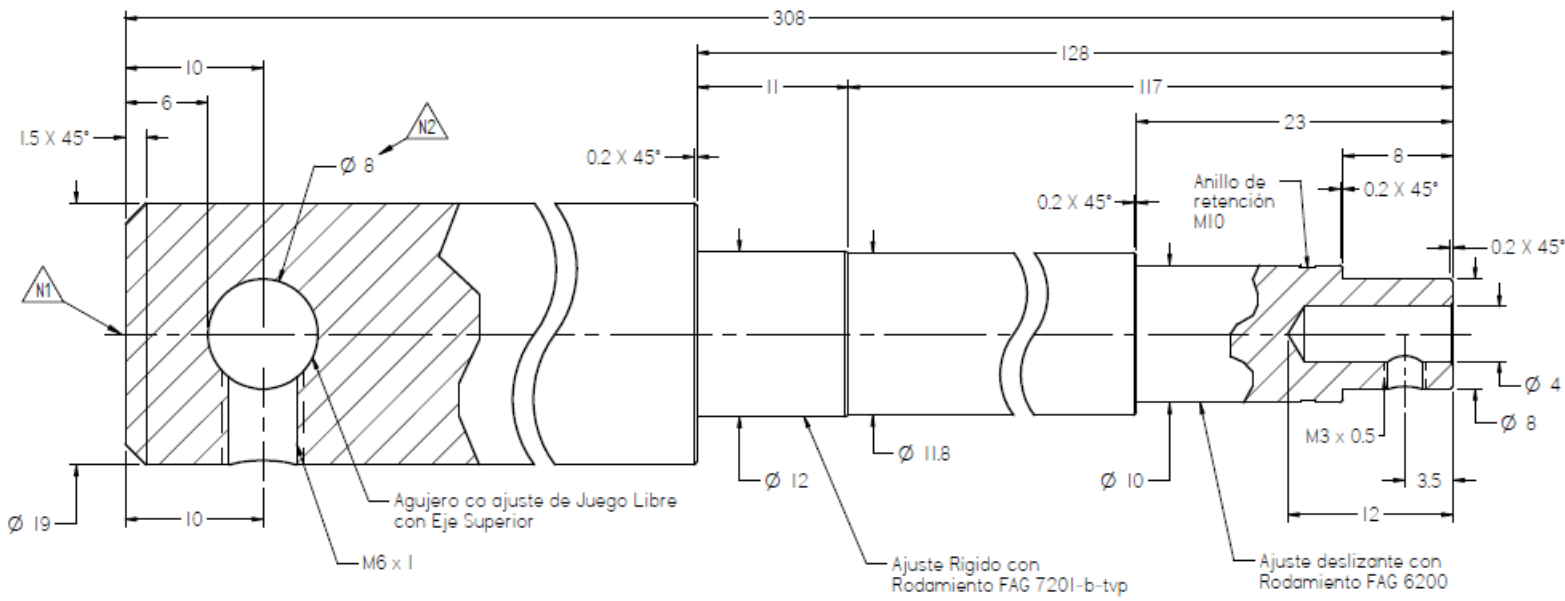
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
 Lámina: 8 de 8



No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
22	Tuerca M8	Acero inox	3
21	Arandela M8	Acero inox	6
20	Tornillo M8	Acero inox	3
19	Tornillo M6 x 40mm	Acero inox	3
18	Arandela M6	Acero inox	6
17	Tuerca M6	Acero inox	3
16	Tornillo Allen M3 x 0.5 x 8mm	AISI SAE 304	1
15	Anillo de Retención OSH-10 DIN 471	Acero	1
14	Soporte Motor Inferior	Acero	1
13	Motor Inferior	Acero	1
12	Potenciómetro	Acero	1
11	Corona Potenciómetro	Polipropileno	1
10	Piñon Motor	Polipropileno	1
9	Tornillo M3x0.5	AISI SAE 304	2
8	Buje Soporte Inferior	Acero	3
7	Rodamiento FAG 6200		1
6	Plato Soporte Eje	Acero	1
5	Refuerzo Base Eje	Acero	3
4	Soporte Eje	Acero	1
3	Rodamiento FAG 7201-b-1vp		1
2	Anillo de Retención DHO-32 DIN-472	Acero	1
1	Eje Vertical	Acero	1

Nombre	Fecha		
Dibujó:	R.Gómez		
Director	J.Miranda		
Nombre de Grupo:	O.Gelvez		
Escala:	1:3	Nombre de Parte:	Módulo Vertical
		Nombre de Parte:	Módulo Vertical
			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 1 de 12

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Barra de Ranurar
Centro Broca # 2

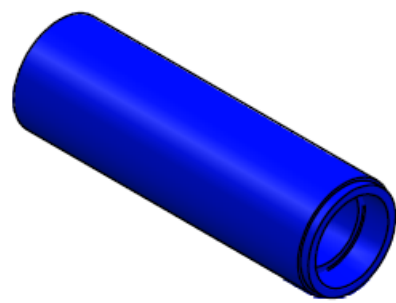
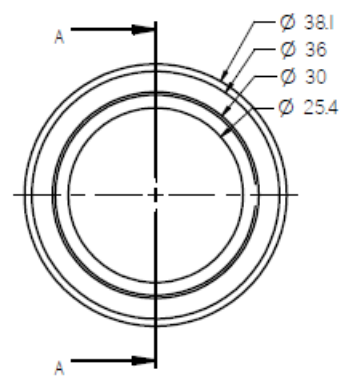
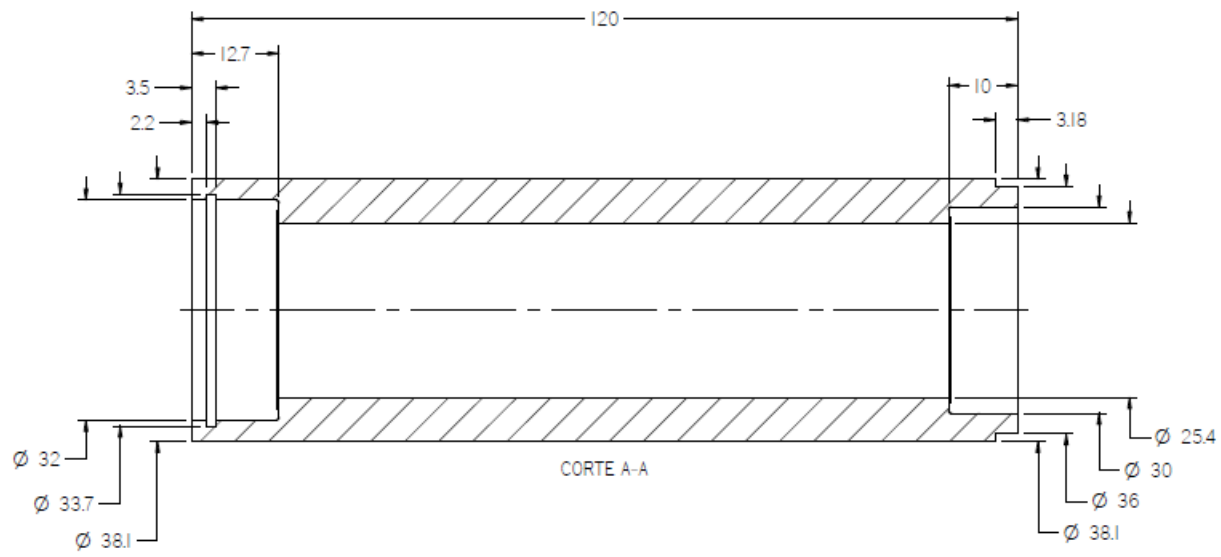


NOTAS:
 N1 Extremo del eje con posibilidad de Centro brocado con profundidad menor a 5mm
 N2 El agujero se fresa junto con las caras planas

1/2

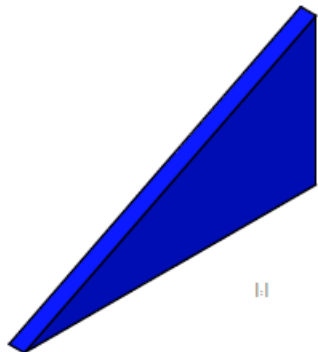
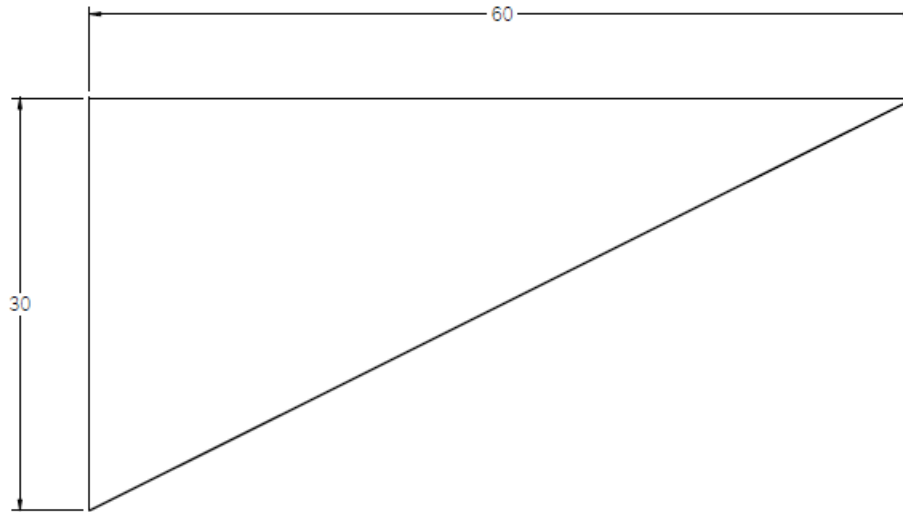
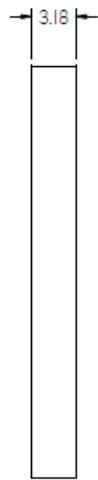
Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander	
Dibujó:	R. Gómez	J. Miranda	
Director:	O. Gelvez		
Escala:	Nombre de Broca:	Módulo Vertical	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 2 de 12
2:1	Nombre de Parta:	Eje Vertical	

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Barra de Alesado
Centro Broca # 3
Broca de 25.4mm



1:2

Nombre	Fecha	 
Dibujó: R.Gómez	J.Miranda	
Director: O.Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo Vertical	
Nombre de Parte:	Soporte Eje	
Escala: 1:1	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
	Lámina: 4 de 12	

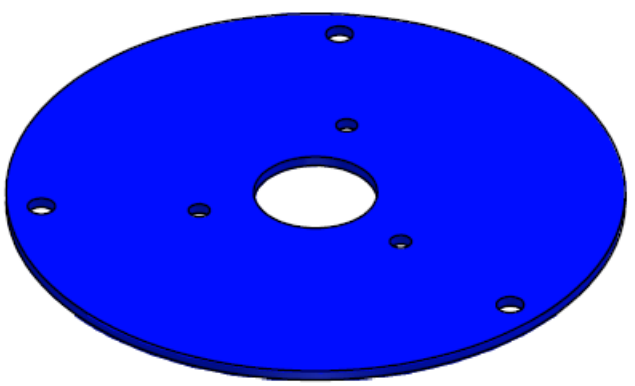
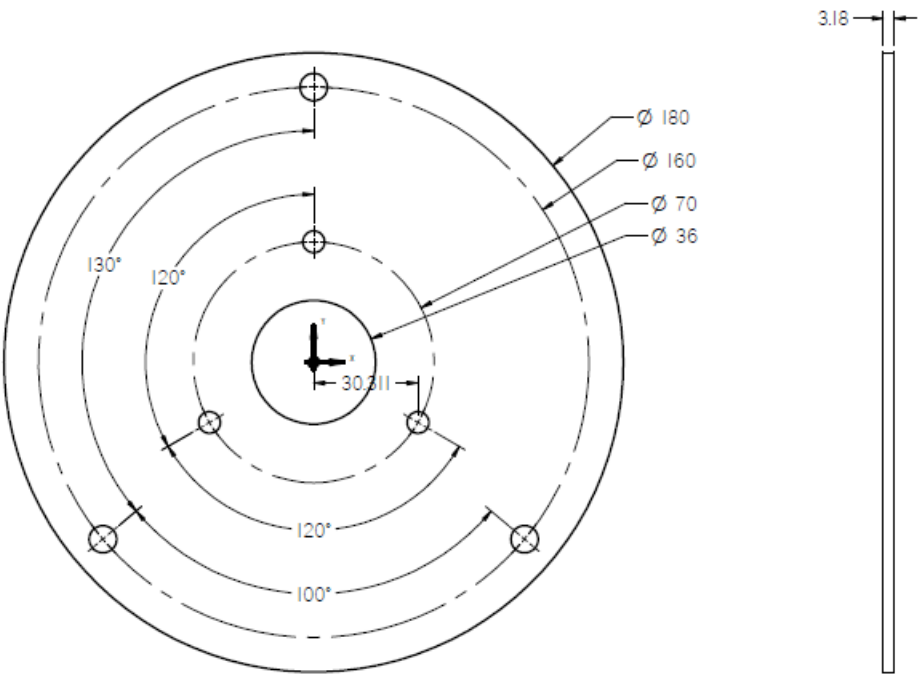


1-1

	Nombre	Fecha		
Dibujó:	R. Gómez			
Director:	J. Miranda			
Escalón:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Vertical</i>		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 5 de 12	
2:1	Nombre de Parte: <i>Refuerzo Base Eje</i>			

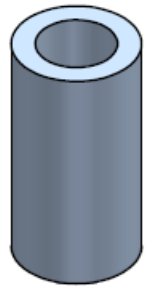
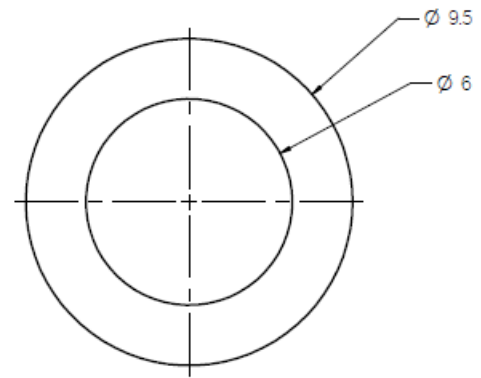
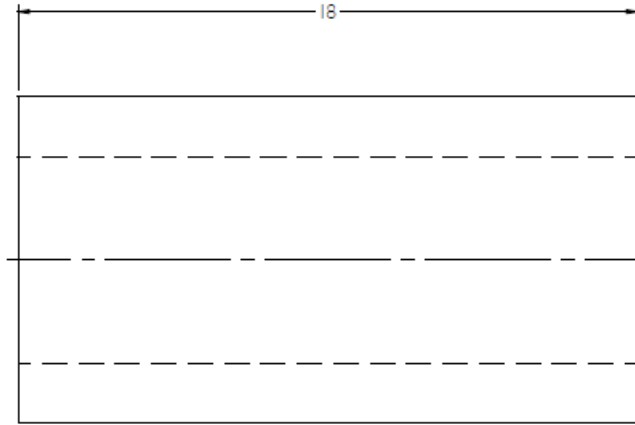
OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Barra de Alesado
Broca de 254mm

OPERACION 2	Programa
Máquina: CMV-30i	01117
Herramienta	Posición
Broca 6.35 mm	3
Broca 8mm	4
SpotDrill 4.76x90°	5



Nombre	Fecha		
Dibujó: R.Gómez			
Director: J.Miranda			
Director: O.Gelvez			
Escala:	Nombre de Bruto: <i>Módulo Vertical</i>		
1:2	Nombre de Perfil: <i>Plato Soporte Eje</i>		
			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 6 de 12

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Centro Broca # 3
Broca de 6mm

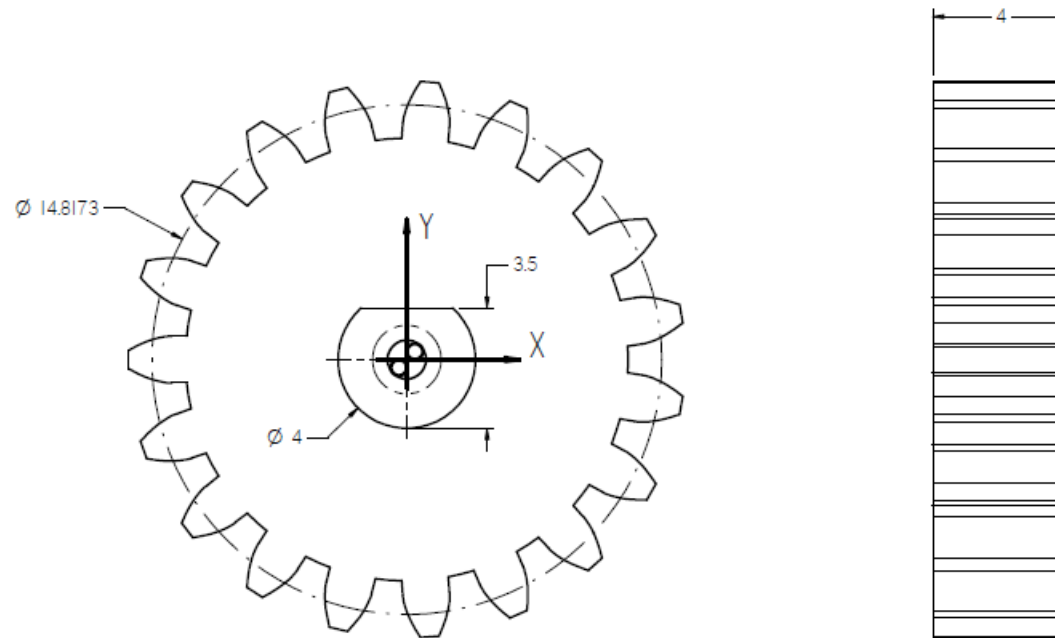


2:1

	Nombre	Fecha		
Dibujó:	R.Gómez			
Director:	J.Miranda			
	O.Gelvez			
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Vertical</i>			
5:1	Nombre de Parte: <i>Buje Soporte Inferior</i>			
				DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
				Lámina: 7 de 12

PINON	
P	2.45
M	0.7799
h	1.6900
N	19
α	20
Dp	14.8173
De	16.3770
Di	12.9971
e	1.23
B	4

OPERACION	Programa
Máquina: CMV-30i	01115
Herramienta	Posición
Fresa Plana 1mm	3
Fresa Plana 3.18mm	11

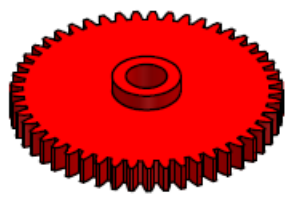
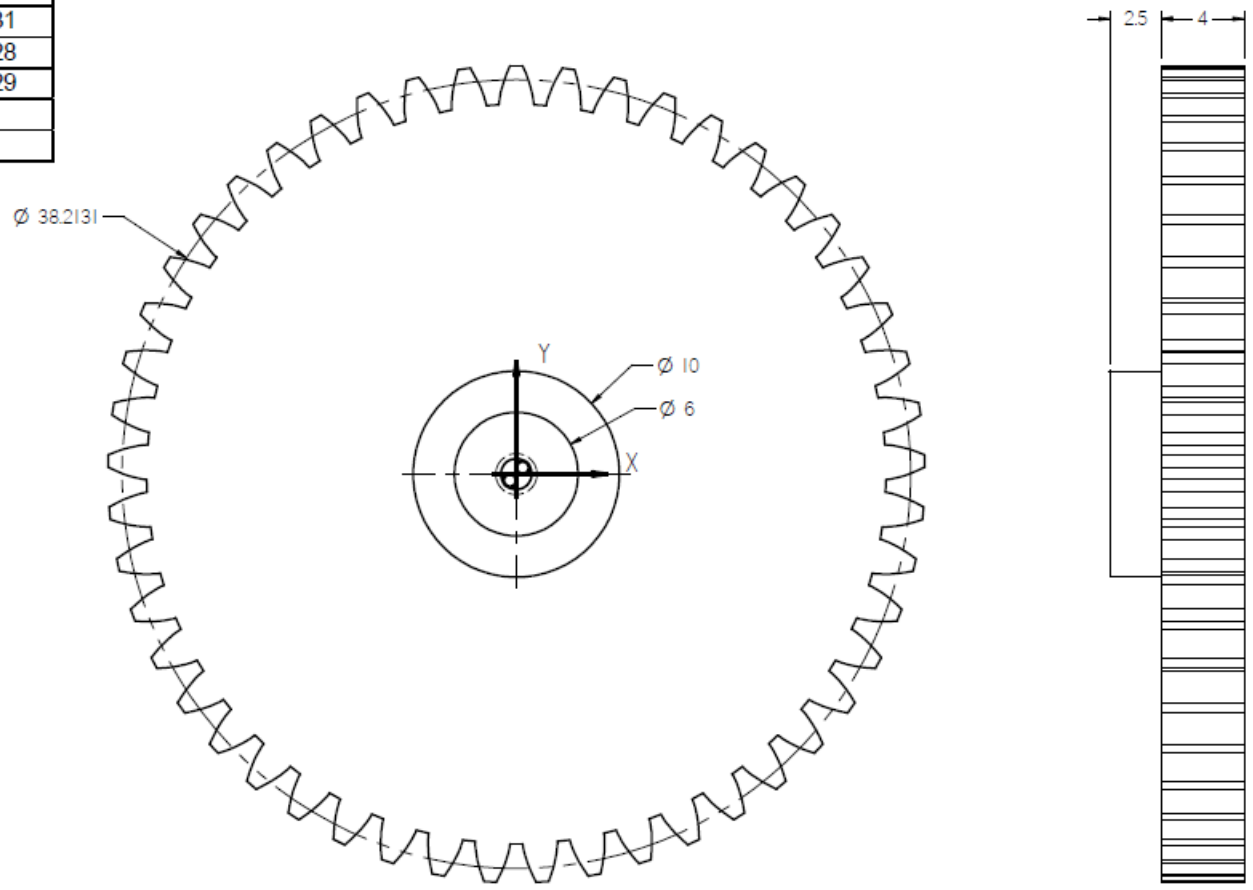


21

Nombre	Fecha		
Dibujó: R.Gómez	J.Miranda		
Director: O.Gelvez			
Escala:	Nombre de Bruto: <i>Módulo Vertical</i>	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
5:1	Nombre de Parta: <i>Pinon Motor</i>	Lámina: 8 de 12	

OPERACION 1	Programa
Máquina: CMV-30i	01118
Herramienta	Posición
Fresa Plana 3.18mm	11

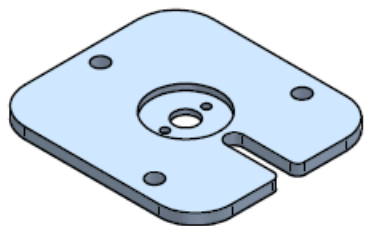
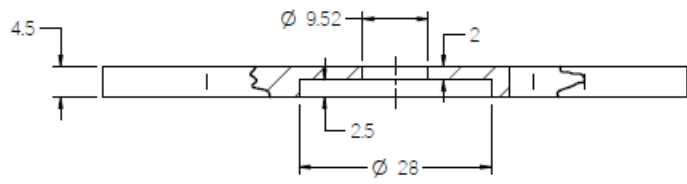
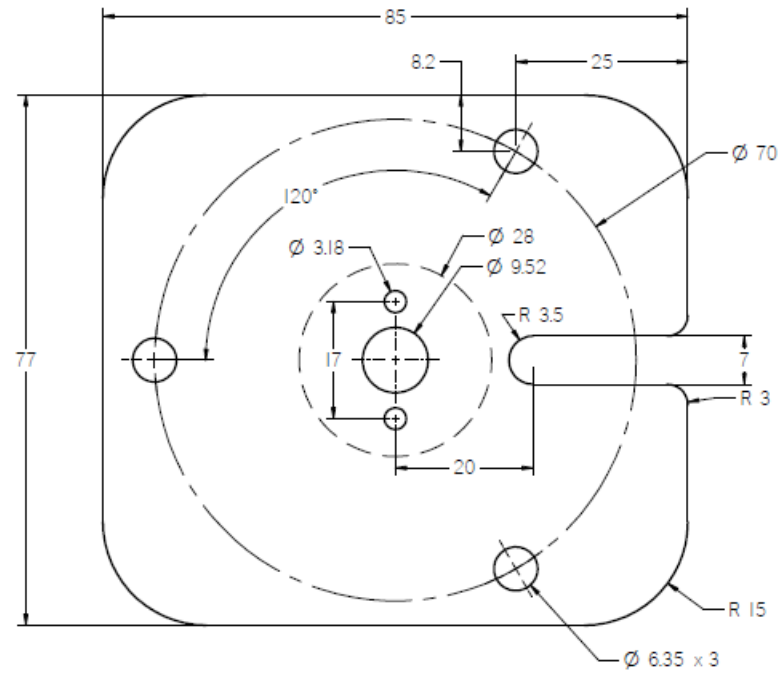
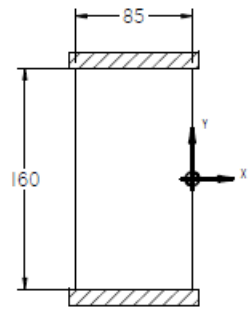
CORONA	
P	2.45
M	0.7799
h	1.6900
N	49
α	20
Dp	38.2131
De	39.7728
Di	36.3929
e	1.23
B	4



11

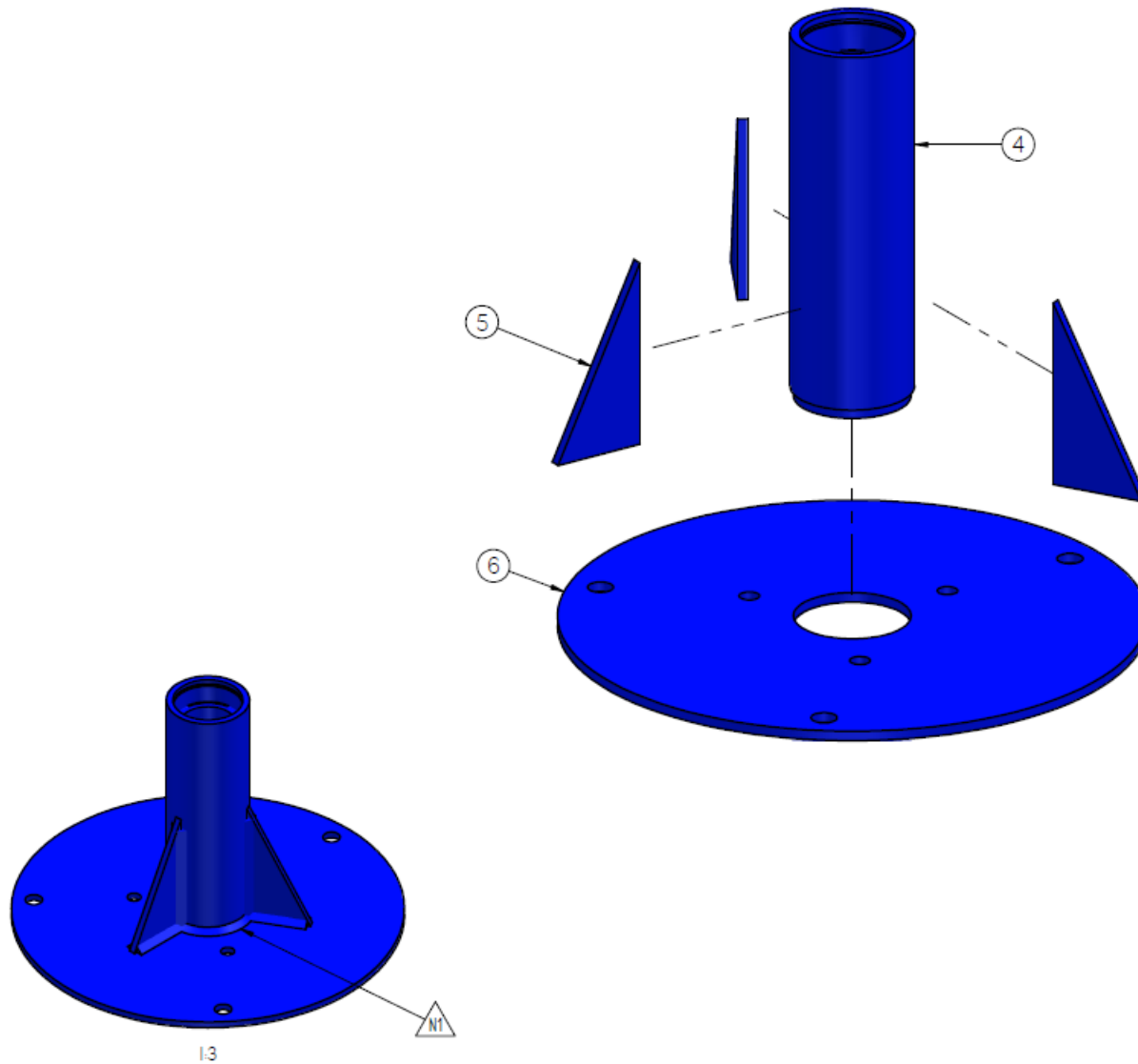
Nombre	Fecha		
Dibujó: R.Gómez	J.Miranda		
Director: O.Gelvez		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
Escalón: <small>Nombre de Grupo:</small>	Módulo Vertical		
3:1	<small>Nombre de Parte:</small> Corona Potenciometro	Lámina: 9 de 12	

OPERACION 2	Programa
Máquina: CMV-301	01108
Herramienta	Posición
Fresa Plana 6.35	1
Broca de 3.175mm	3
Fresa Plana 4mm	4
SpotDrill 4.76x90°	9
Broca de 6.35 mm	13



12

Nombre	Fecha	 
Dibujó: R.Gómez		
Director: J.Miranda		
Director: O.Gelvez		
Escala:	Módulo Vertical	
1:1	Soporte Motor Inferior	
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD		
Lámina: 10 de 12		

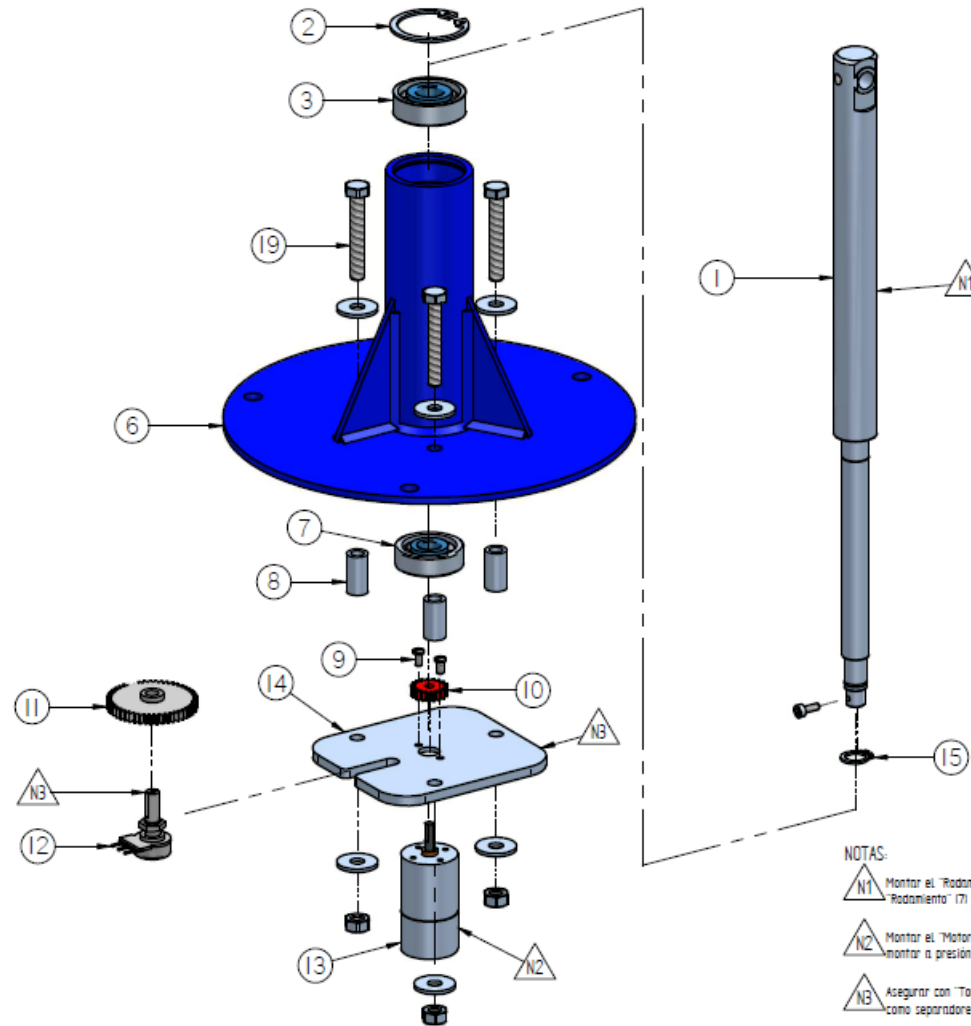
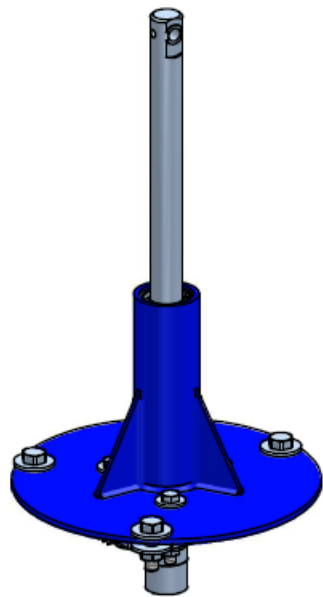


NOTAS:







Acoplar el "Soporte Eje" (4) en el "Plato Soporte Eje" (6) y aplicar soldadura junto con los "Reforzos Base Eje", asegurando alineación del Eje.

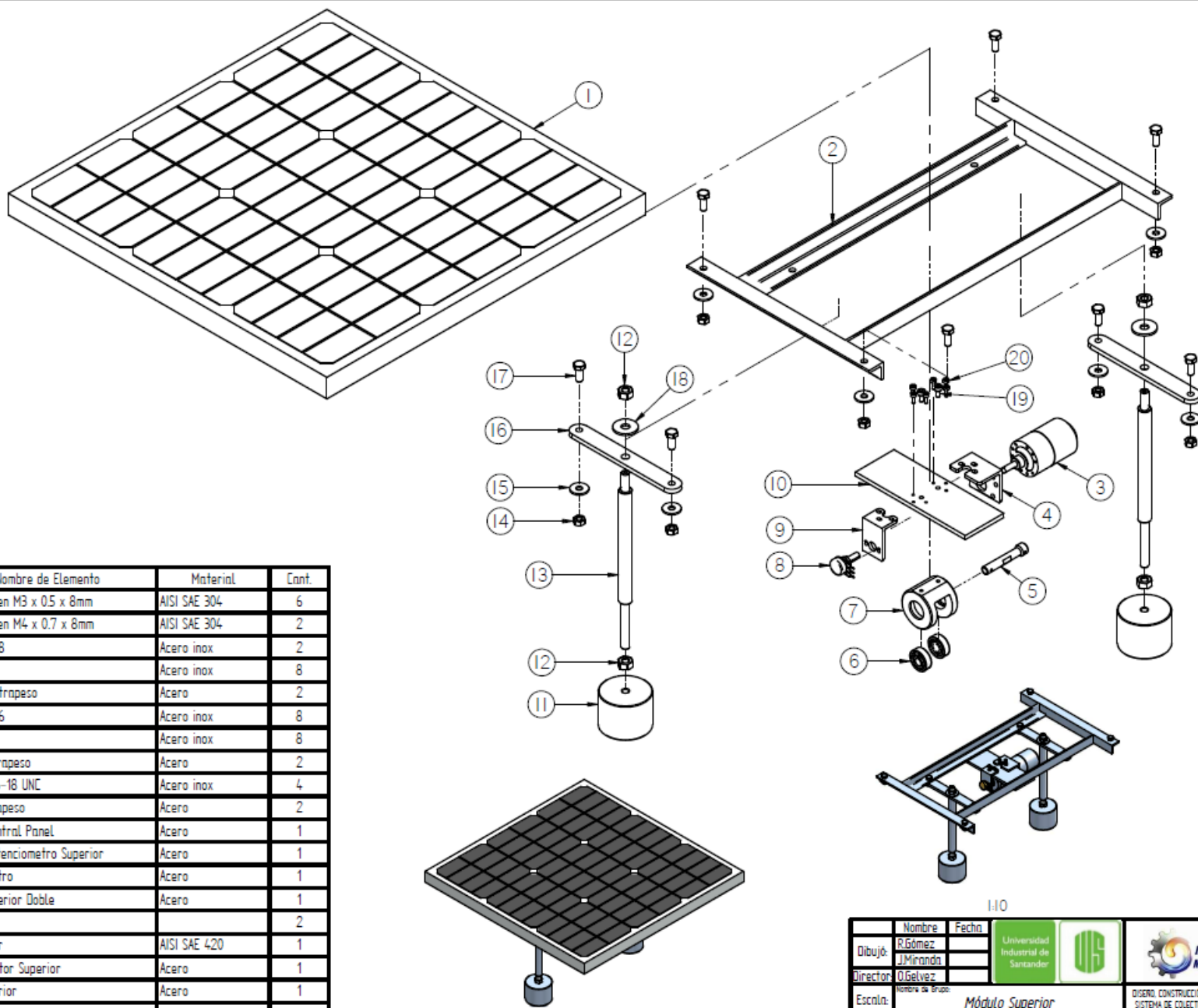
Nombre	Fecha	  
Dibujó:	R. Gómez	
Director:	J. Miranda	
Escala:	Nombre de Grupo:	Módulo Vertical
1:2	Nombre de Parte:	Módulo Vertical
		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 11 de 12



NOTAS:

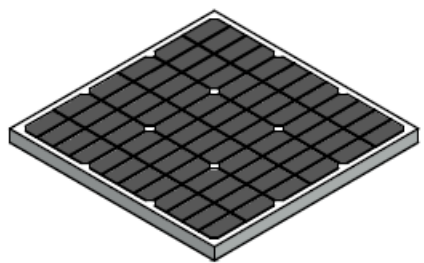
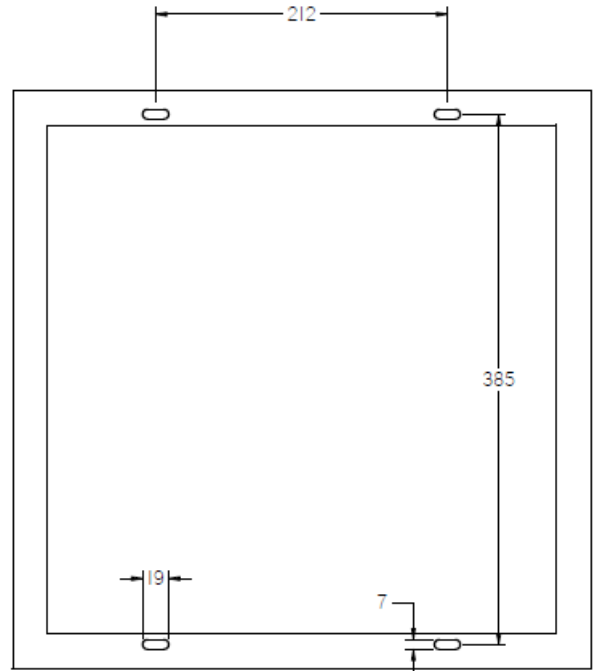
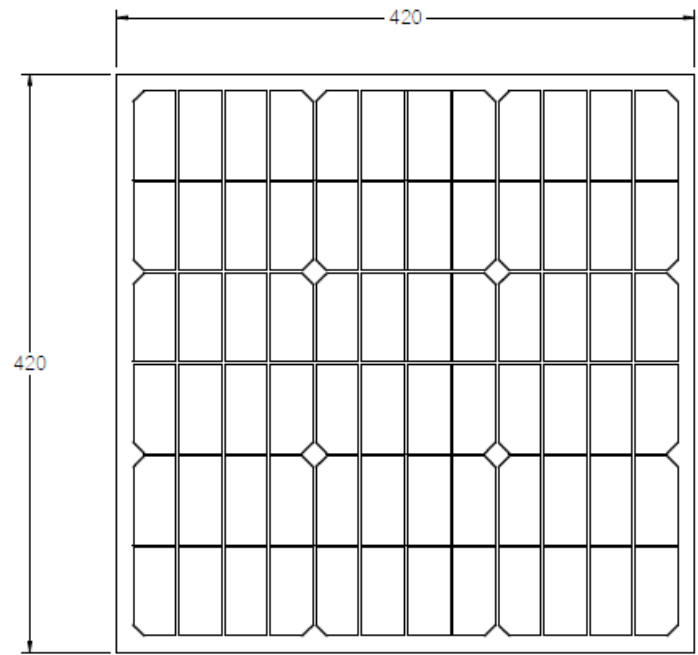
-  Montar el "Rodamiento" (3) en el "Eje" (1), acoplarlo en el "Soporte Eje", luego montar "Rodamiento" (7) y asegurar "Anillos de Retención" (2) y (5)
-  Montar el "Motor Inferior" (13) en el "Soporte Motor" (14), asegurarlo con los "Tornillos" (19) y montar a presión el "Piñón" (14) en el eje del "Motor" (13)
-  Asegurar con "Tornillos" (19) el "Soporte Motor Inferior" (14) al "Plato Soporte Eje" (6) utilizando como separadores los "Bujes Soporte Inferior" (8)
-  Acoplar a presión la "Corona Potenciómetro" (11) en el "Potenciómetro" (12) y montarlo en el "Soporte Motor Inferior" (14) en la ranura lateral del mismo, apretar la fuerza del "Potenciómetro" según la posición necesaria en el seteo del Eje

Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R.Gómez		
Director:	O.Gelvez		
Escala:	Nombre de Grupo:	Módulo Vertical	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
1:3	Nombre de Parte:	Módulo Vertical	



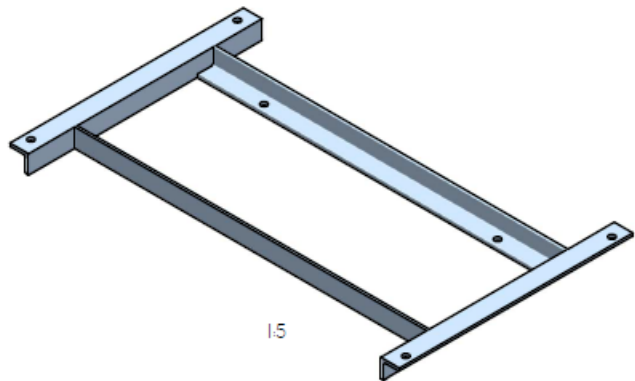
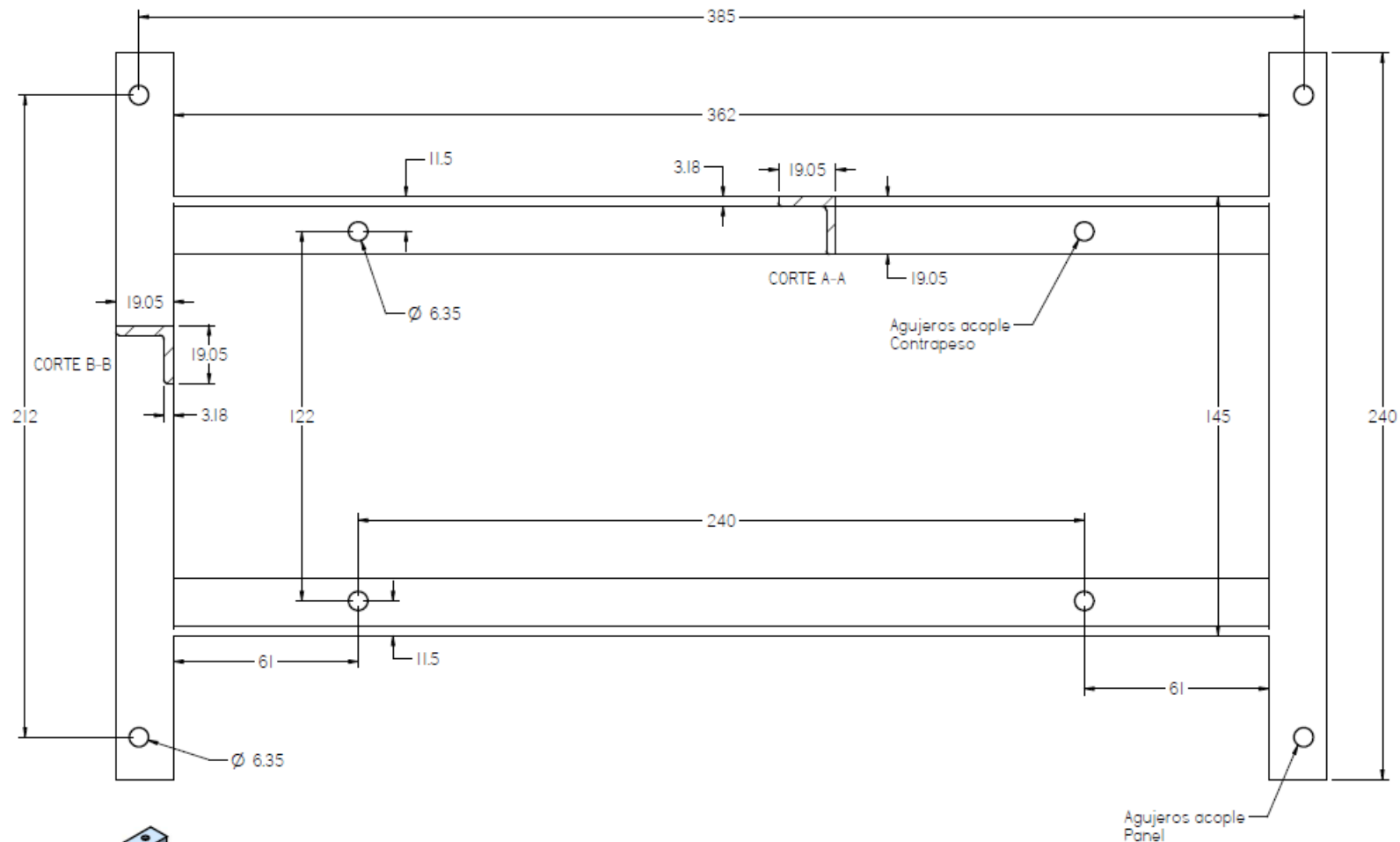
No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
20	Tornillo Allen M3 x 0.5 x 8mm	AIISI SAE 304	6
19	Tornillo Allen M4 x 0.7 x 8mm	AIISI SAE 304	2
18	Arandela M8	Acero inox	2
17	Tornillo M6	Acero inox	8
16	Platina Contrapeso	Acero	2
15	Arandela M6	Acero inox	8
14	Tuerca M6	Acero inox	8
13	Brazo Contrapeso	Acero	2
12	Tuerca 5/16-18 UNC	Acero inox	4
11	Pesa Contrapeso	Acero	2
10	Soporte Central Panel	Acero	1
9	Soporte Potenciómetro Superior	Acero	1
8	Potenciómetro	Acero	1
7	Camisa Superior Doble	Acero	1
6	FAG 608		2
5	Eje Superior	AIISI SAE 420	1
4	Soporte Motor Superior	Acero	1
3	Motor Superior	Acero	1
2	Marco Panel	Acero	1
1	Panel Solar	-	1

Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
Escalón:	O. Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo Superior		
Nombre de Perfil:			
Lámina: 1 de 14			



1:10

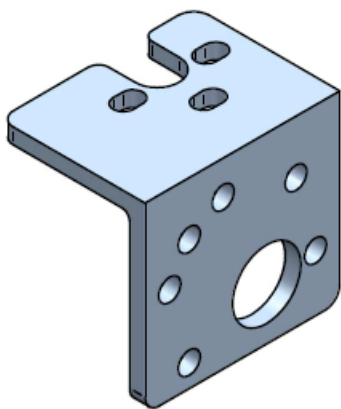
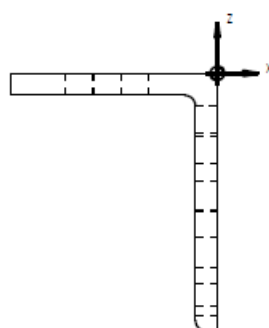
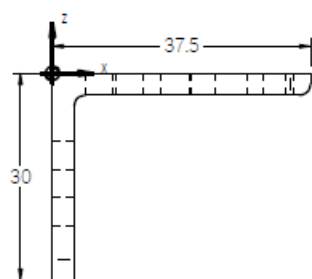
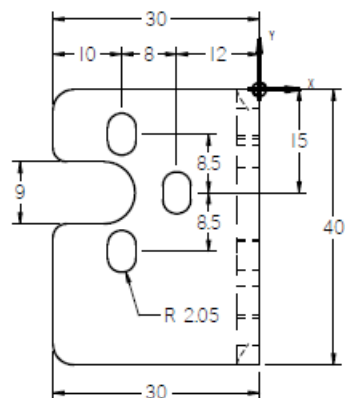
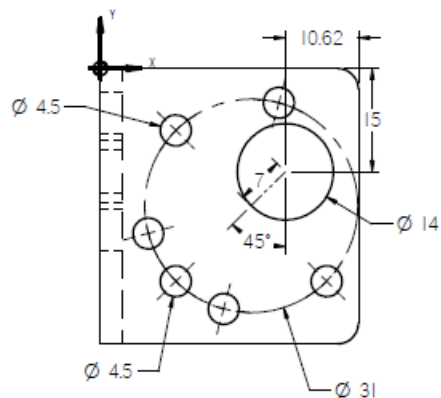
	Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Superior</i>		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 2 de 14
1:5	Nombre de Perfil: <i>Panel Solar</i>		



Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escala:	Nombre de Grupo:	Módulo Superior	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTÁICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
1:2	Nombre de Parte:	Marco Panel	

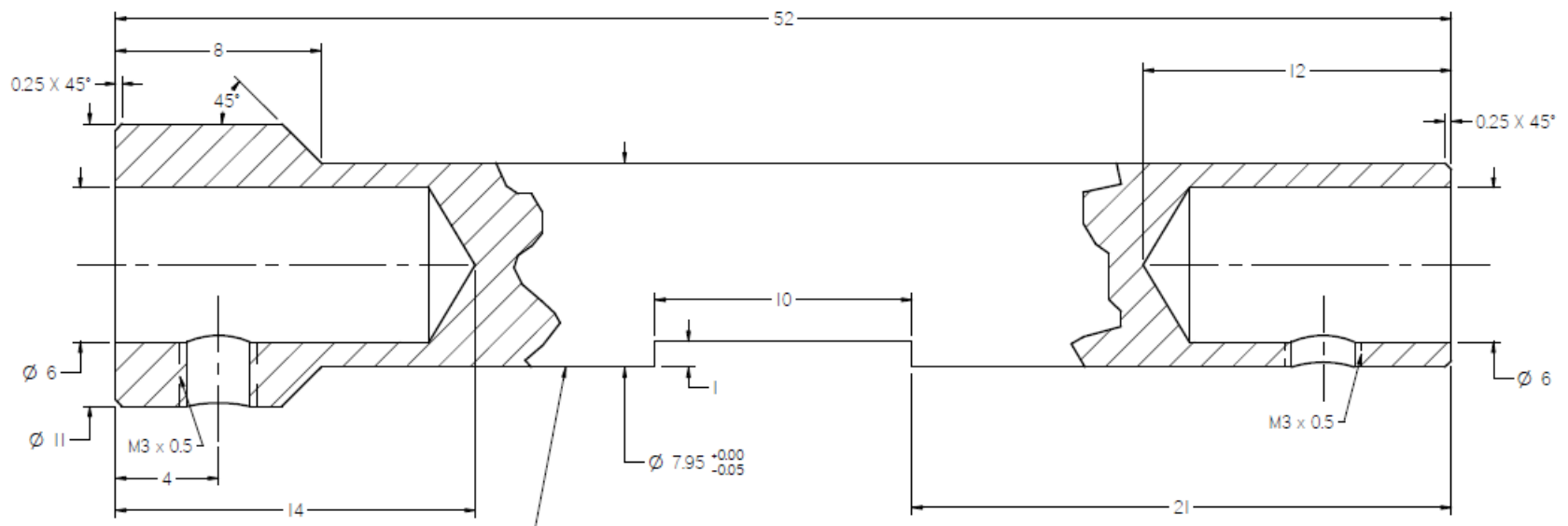
OPERACION 1		Programa
Máquina: CMV-30i		01113
Herramienta		Posición
Fresa Plana 6.35		1
Fresa Plana 3.175		11

OPERACION 2		Programa
Máquina: CMV-30i		01114
Herramienta		Posición
Fresa Plana 6.35		1
Broca 4.5 mm		4
SpotDrill 4.76x90°		9

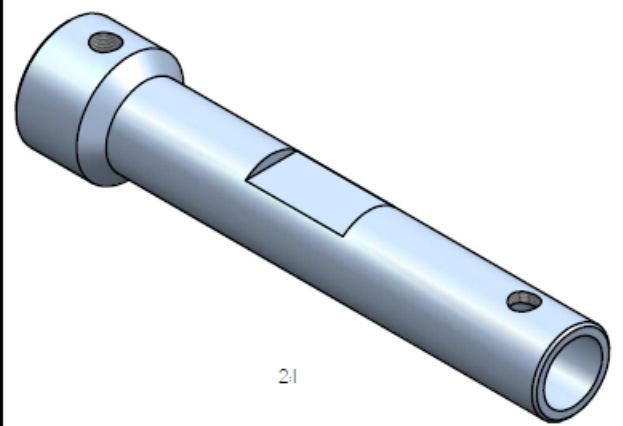


Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escala:	O. Gelvez	Nombre de Brújula: Módulo Superior	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 4 de 14
1:1		Nombre de Porta: Soporte Motor Superior	

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Broca Centro
Broca 4 mm



El Diámetro Externo de Eje requiere un ajuste de juego libre con los rodamientos, para facilitar el montaje y desmontaje del Panel



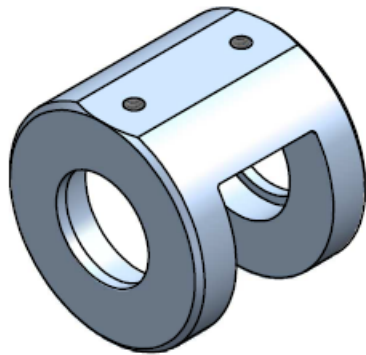
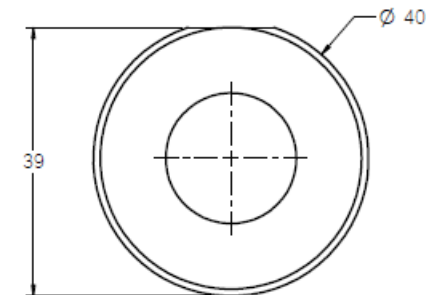
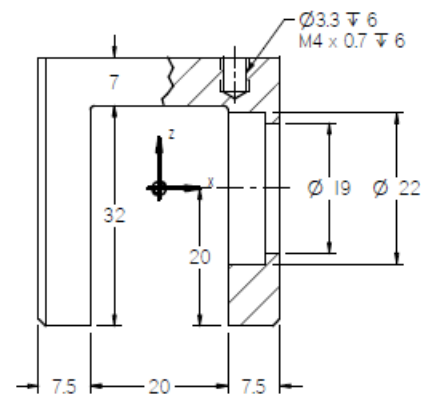
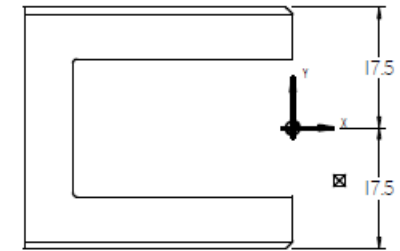
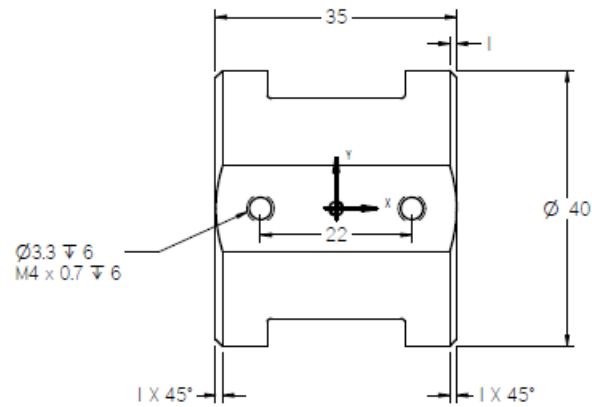
2-1

Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander	 
Dibujó: R. Gómez			
Director: J. Miranda			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 5 de 14
Escoln:	Nombre de Grupo: Módulo Superior		
4:1	Nombre de Parte: Eje Superior		

OPERACION 1		Programa
Máquina: Torno T-6		01103
Herramienta	Posición	Ataque
CNMG432MG	T 1	H3
Barra BB3116	T 5	H3
G-MGM-300	T 10	H3
VNGP-331K	T 12	H3

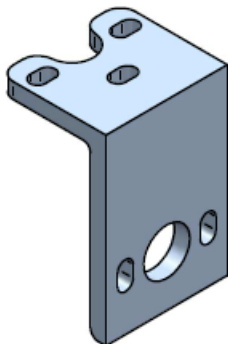
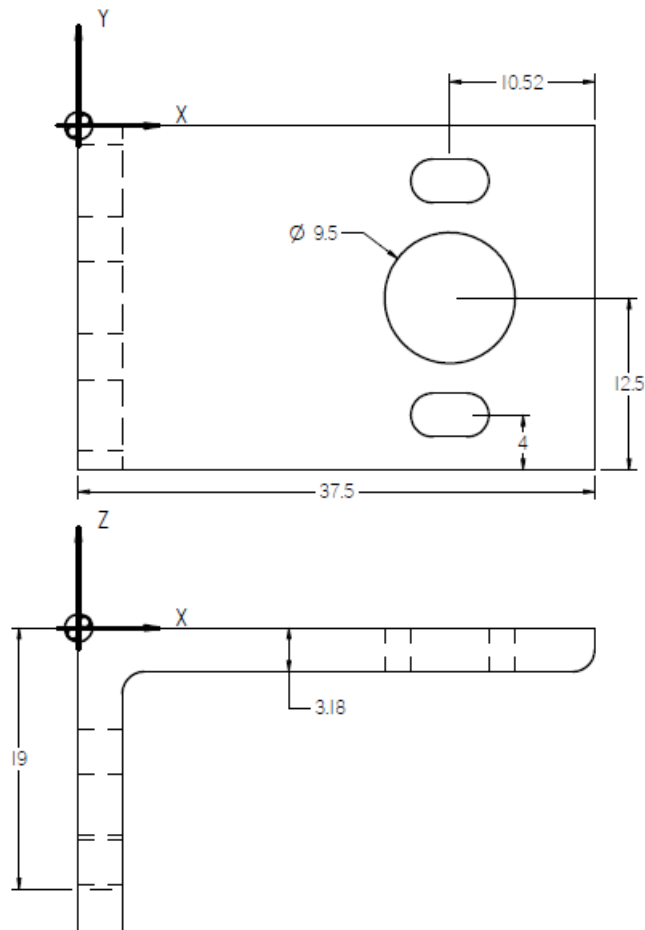
OPERACION 2		Programa
Máquina: CMV-301		01104
Herramienta	Posición	
Broca 33 mm	3	
Fresa Plana 9.525	7	
SpotDrill 4.76x90°	9	

OPERACION 5		Programa
Máquina: Corte por Hilo		C1109
Posición Inicial del Hilo		<input checked="" type="checkbox"/>



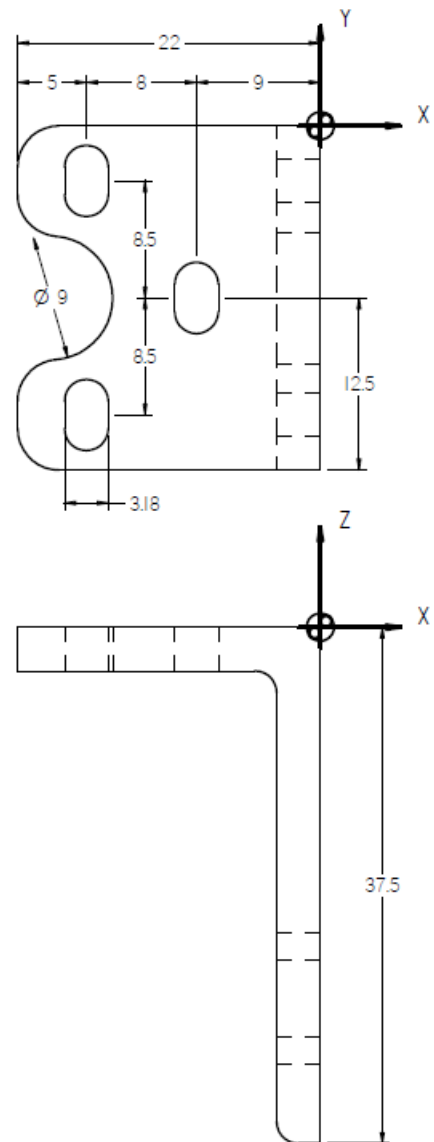
Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R. Gómez			
Director:	J. Miranda			
Escala:	Nombre de Brújula	Módulo Superior		
1:1	Nombre de Parta:	Camisa Superior Doble		
				DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 6 de 14

OPERACION 1		Programa
Máquina: CMV-30i		01111
Herramienta		Posición
Fresa Plana 3.175		5
Broca 9mm		7
SpotDrill 4.76x90°		9



1:1

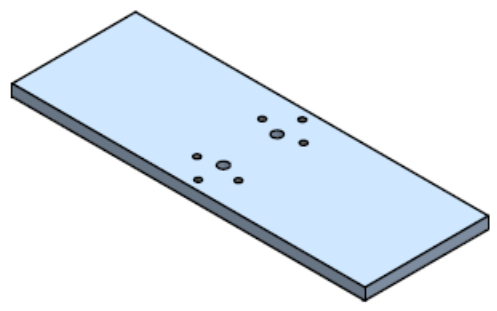
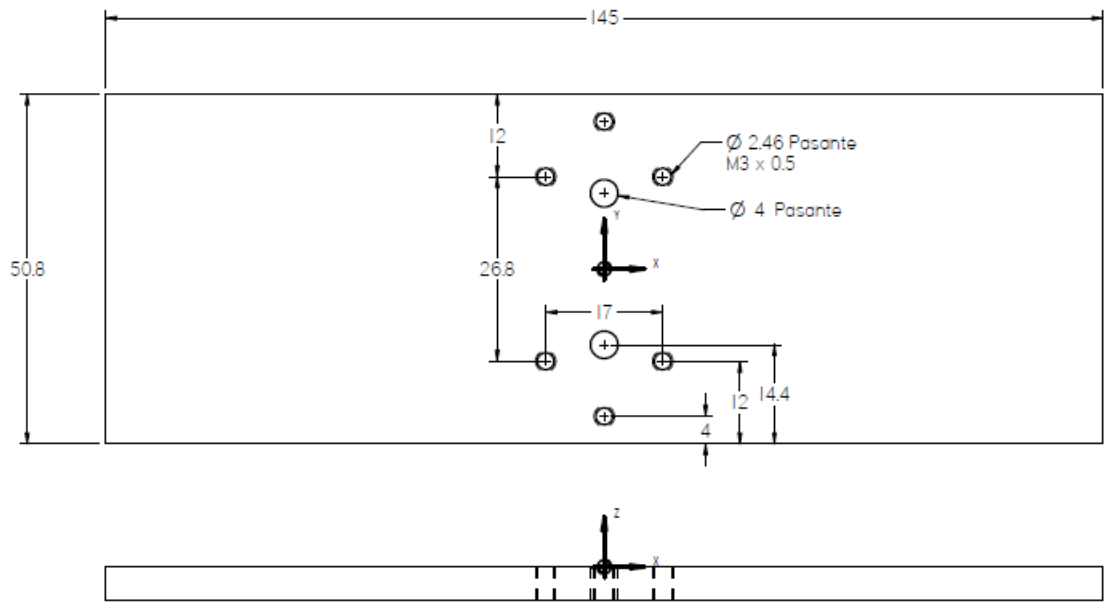
OPERACION 2		Programa
Máquina: CMV-30i		01112
Herramienta		Posición
Fresa Plana 3.175		5
Broca 9mm		7
SpotDrill 4.76x90°		9



Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R. Gómez	
Director:	J. Miranda	
Escola:	O. Gelvez	Nombre de Grupo: <i>Módulo Superior</i>
2:1		Nombre de Parte: <i>Soporte Potenciómetro Superior</i>

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
 Lámina: 7 de 14

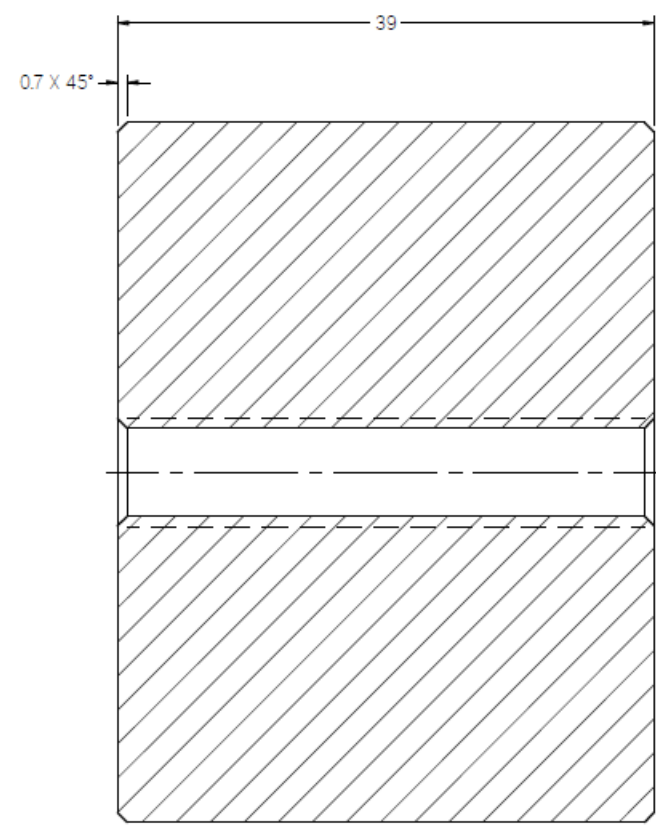
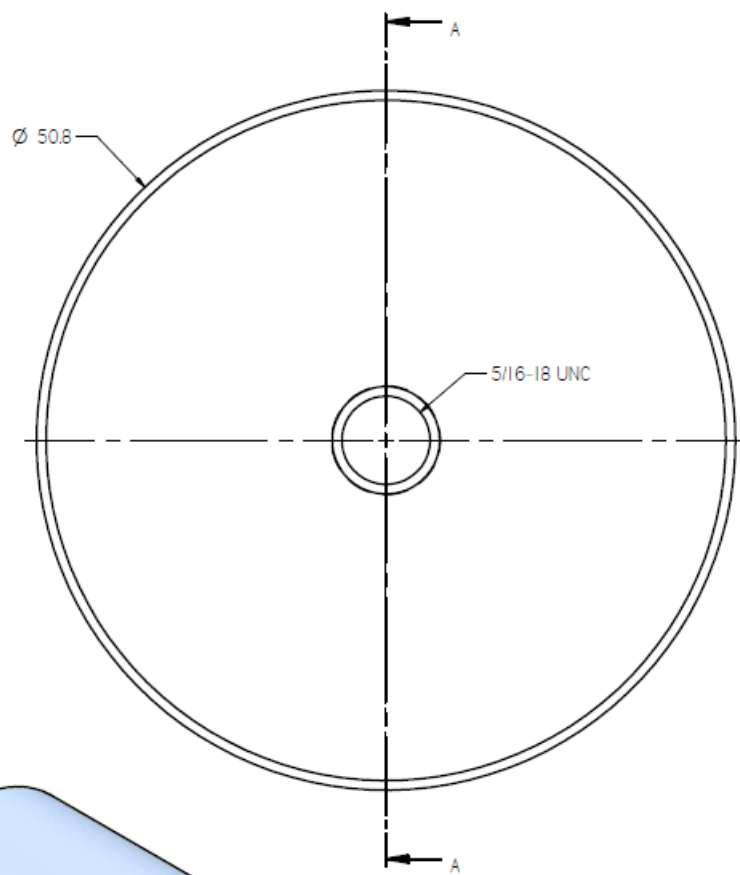
OPERACIÓN 1	Programa
Máquina: CMV-301	01107
Herramienta	Posición
Broca 3.3mm	3
Broca 4mm	4
SpotDrill 4.76x90°	9



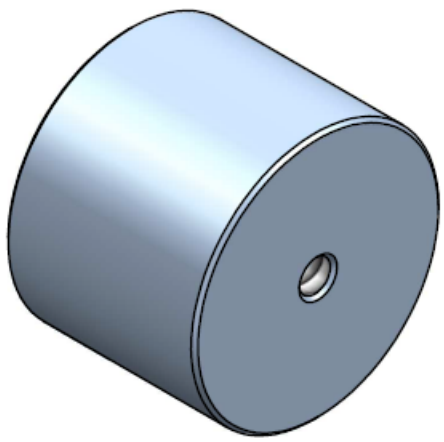
1:2

Nombre	Fecha		
Dibujó:	R.Gómez		
Director:	J.Miranda	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
Escola:	O.Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo Superior	Lámina: 8 de 14	
Nombre de Parte:	Soporte Central Panel		
1:1			

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Broca Centro
Broca 6.35 mm
Macho 5/16in-18 UNC



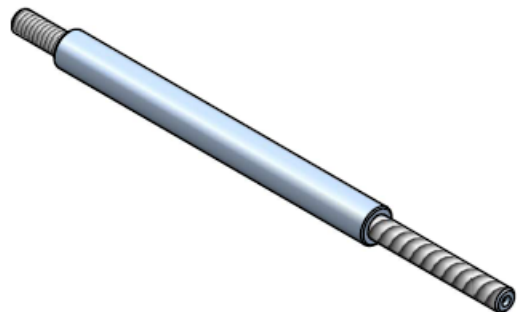
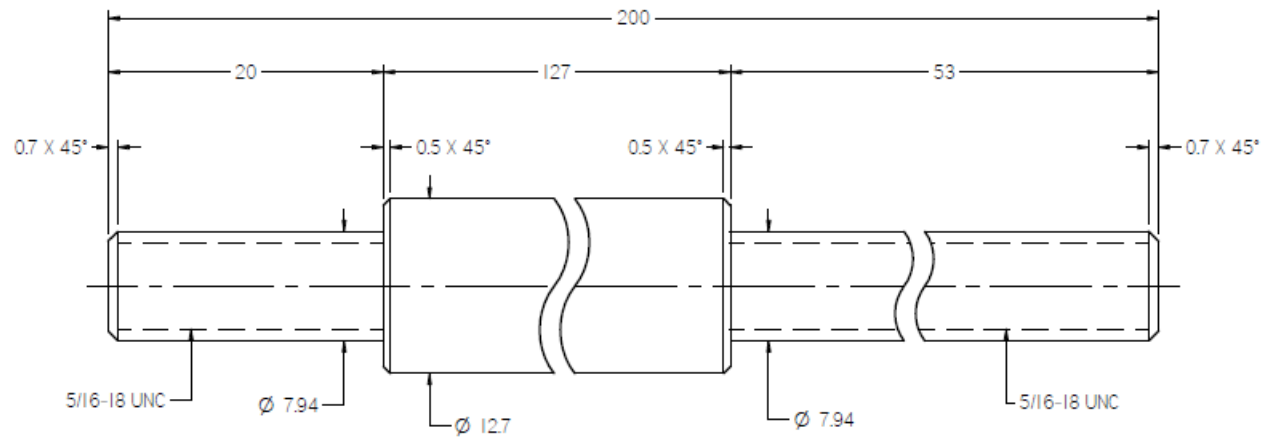
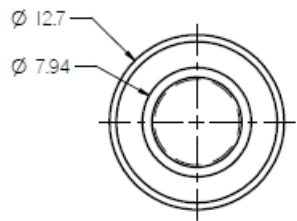
CORTE A-A



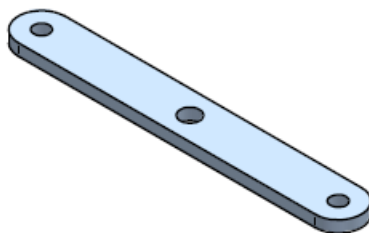
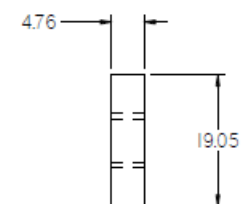
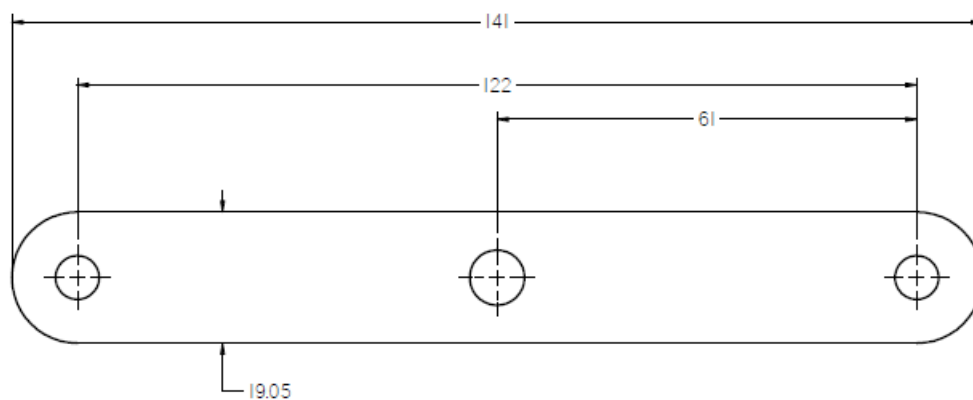
Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escala:	O. Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo Superior		
Nombre de Parte:	Pesa Contrapeso		
2:1			

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
Lámina: 9 de 14

OPERACION 1
Máquina: Torno Paralelo
Herramientas:
Barra de Cilindrar
Barra de Roscar

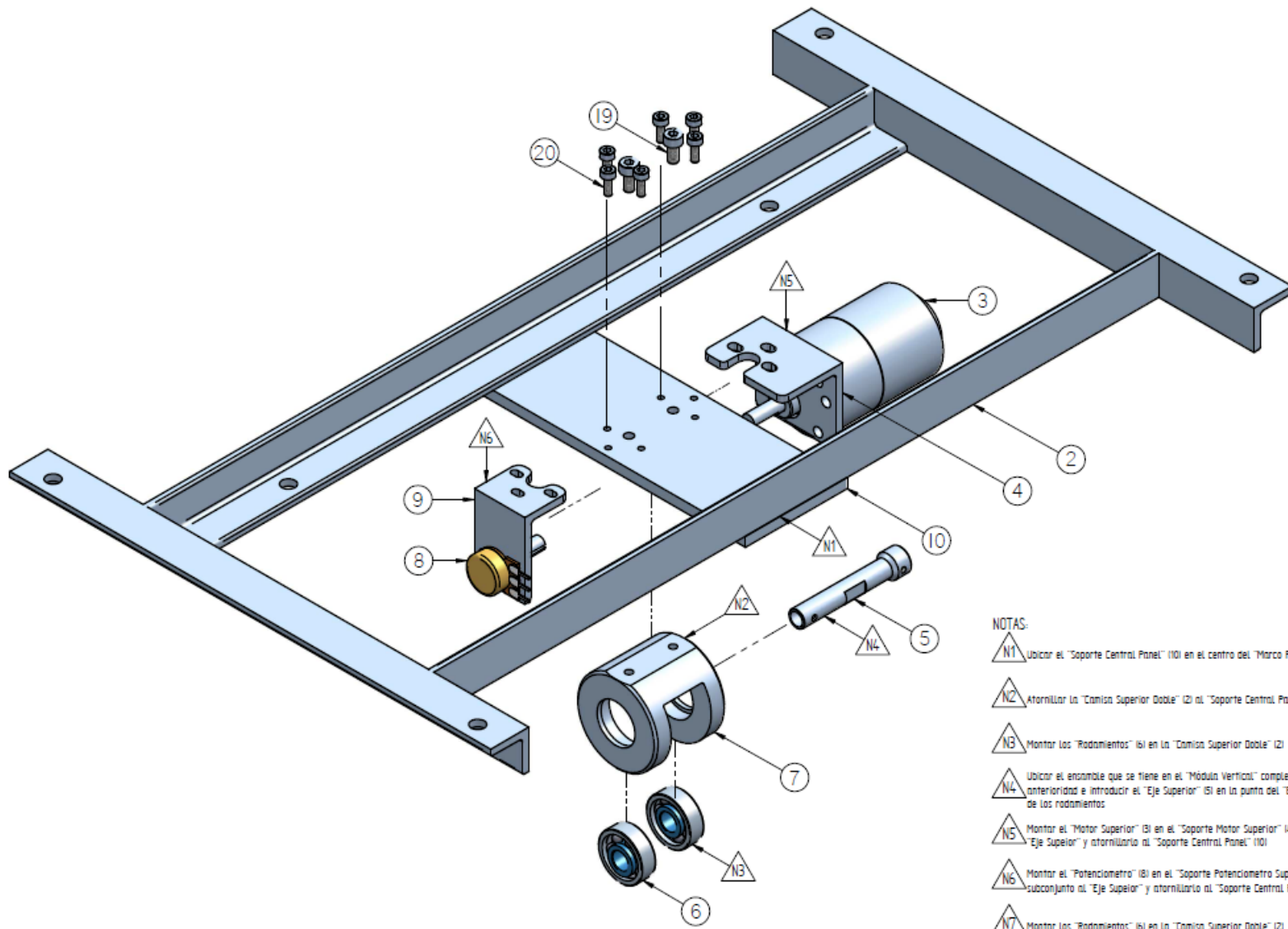









Nombre	Fecha	 	
Dibujó: R. Gómez			
Director: J. Miranda		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
Director: O. Gelvez			
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Superior</i>	Lámina: 10 de 14	
2:1	Nombre de Parte: <i>Brazo Contrapeso</i>		



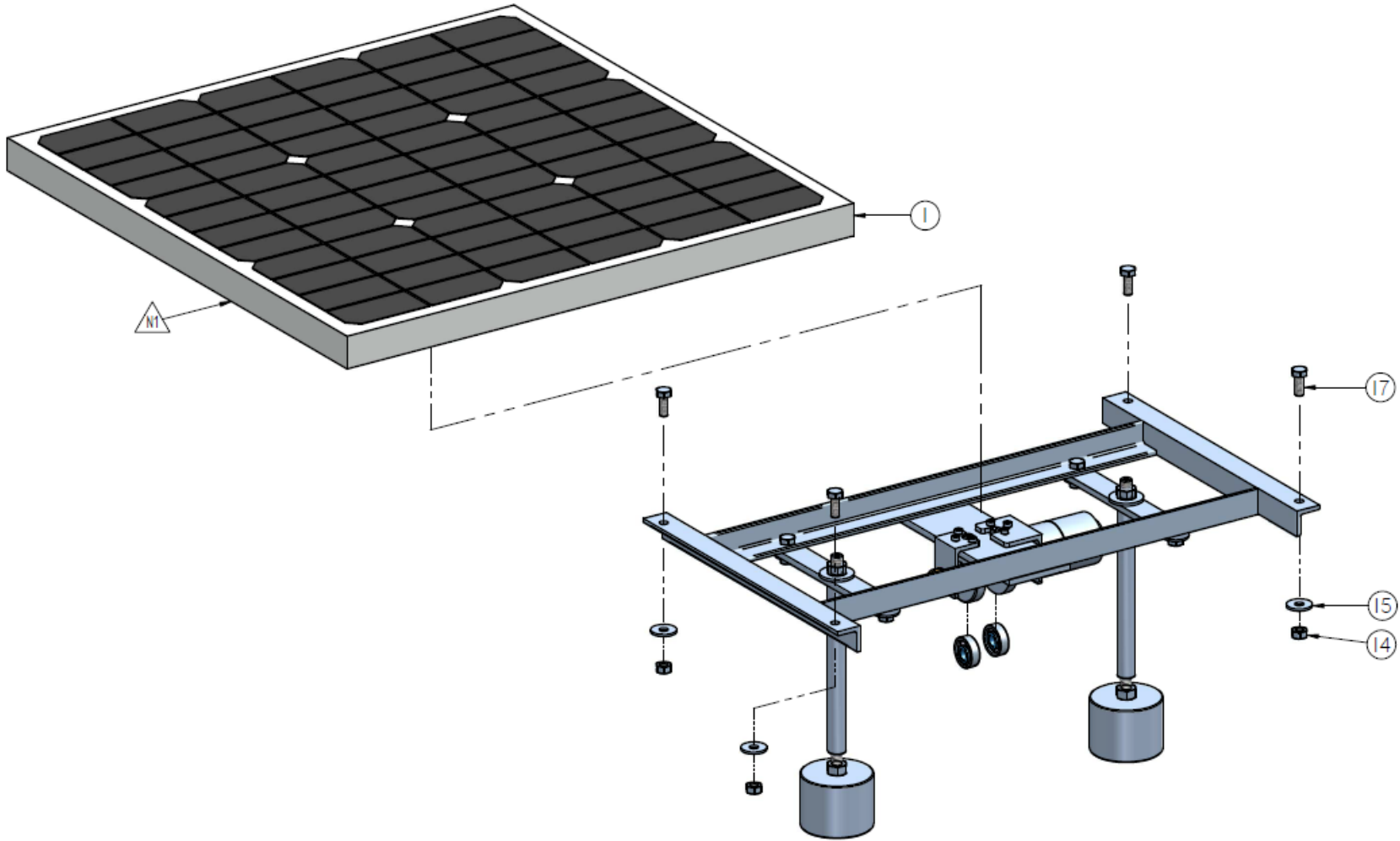
1:2

	Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R. Gómez				
Director:	J. Miranda				
	O. Gelvez				
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo Superior</i>				
1:1	Nombre de Parte: <i>Platina Contrapeso</i>				
					DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 11 de 14



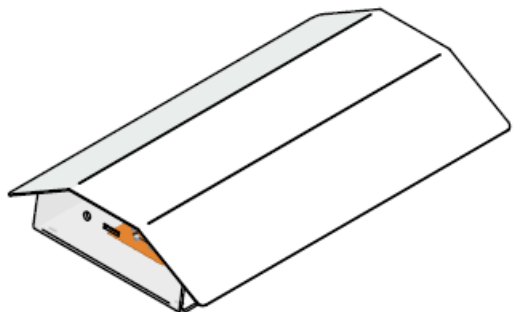
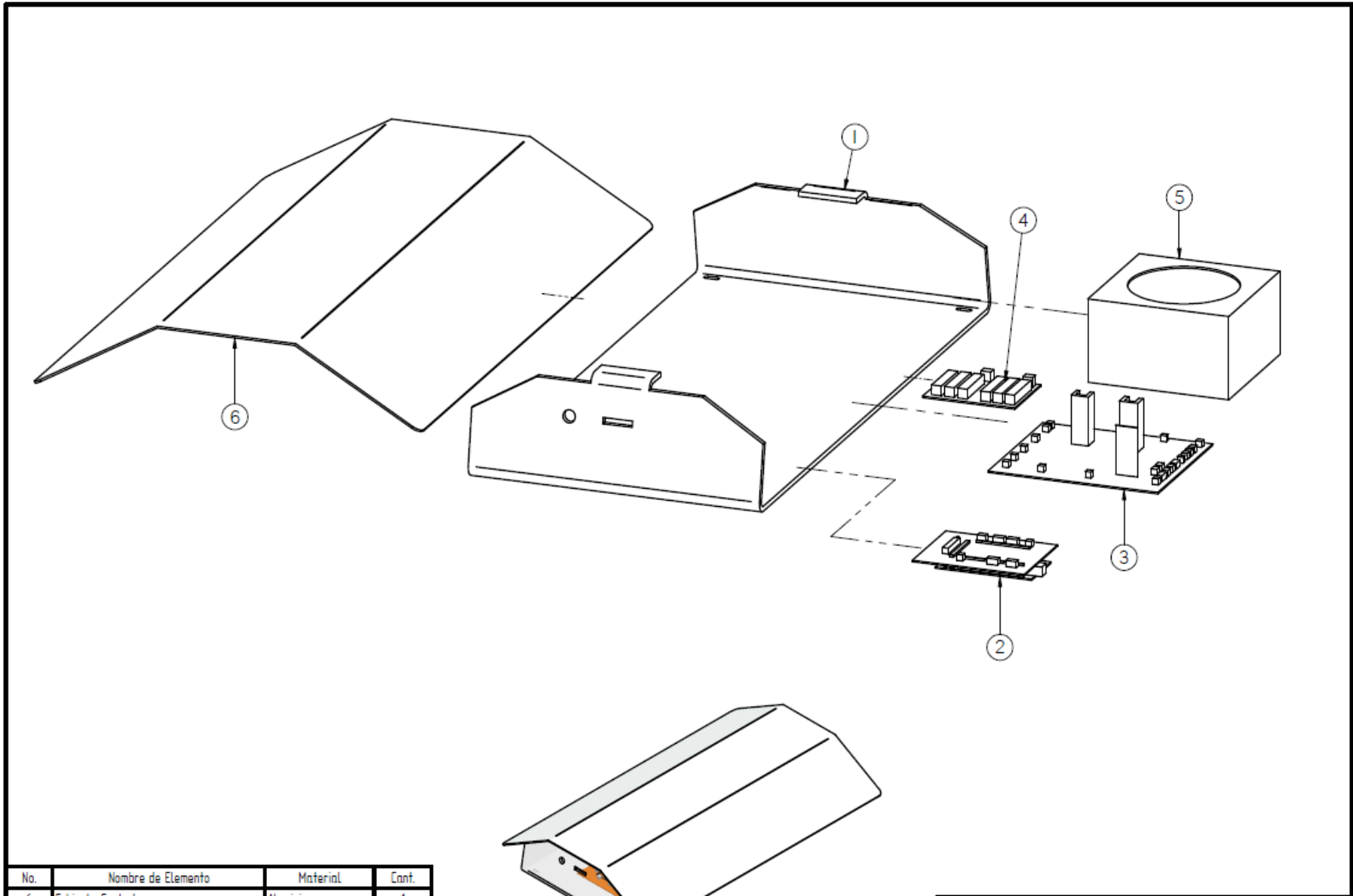
- NOTAS:
-  Ubicar el "Soporte Central Panel" (10) en el centro del "Marco Panel" (2) y soldarlo
 -  Atornillar la "Camisa Superior Doble" (12) al "Soporte Central Panel" (10)
 -  Montar Los "Rodamientos" (13) en la "Camisa Superior Doble" (12)
 -  Ubicar el ensamble que se tiene en el "Módulo Vertical" completamente ensamblado con anterioridad e introducir el "Eje Superior" (11) en la punta del "Eje Vertical", pasando a través de los rodamientos
 -  Montar el "Motor Superior" (15) en el "Soporte Motor Superior" (14), acoplar éste subconjunto al "Eje Superior" y atornillarlo al "Soporte Central Panel" (10)
 -  Montar el "Potenciómetro" (17) en el "Soporte Potenciómetro Superior" (16), acoplar éste subconjunto al "Eje Superior" y atornillarlo al "Soporte Central Panel" (10)
 -  Montar Los "Rodamientos" (18) en la "Camisa Superior Doble" (12)

Nombre	Fecha	 
Dibujó:	R.Gómez	
Director:	J.Miranda	
Escala:	Nombre de Br.: <i>Módulo Superior</i>	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
1:2	Nombre de Parte: <i>Módulo Superior</i>	



NOTAS:
 NT Montar el "Panel Solar" (I) en el "Marco Panel" y asegurarlo con "Tornillos", "Tuercas" y "Arandelas" M6

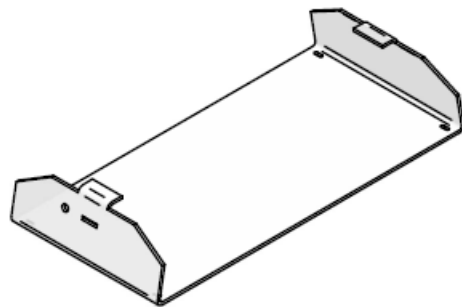
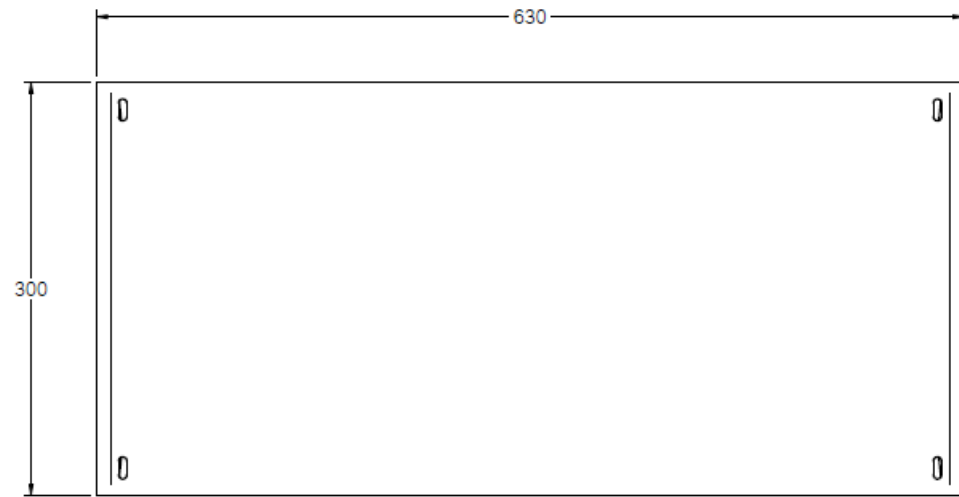
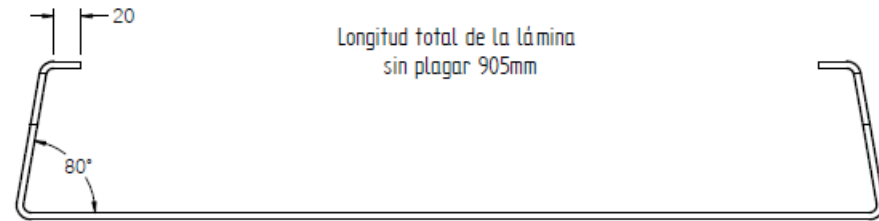
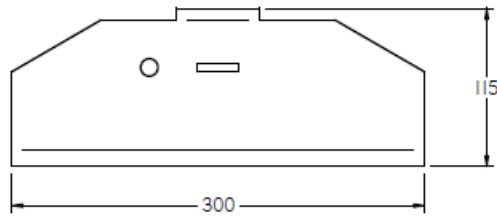
Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R.Gómez		
Director:	J.Miranda		
Escala:	Nombre de Grupo:	Módulo Superior	
1:4	Nombre de Parte:	Módulo Superior	
			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 14 de 14



1:10

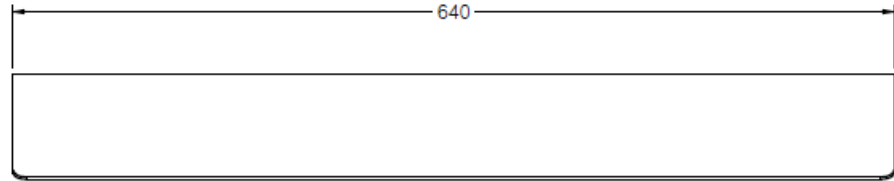
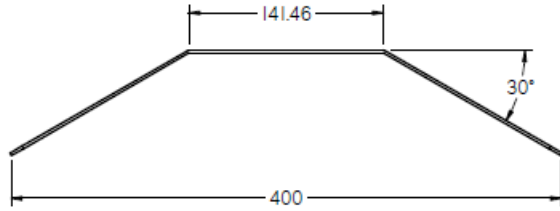
No.	Nombre de Elemento	Material	Cant.
6	Cubierta Controles	Aluminio	1
5	Fuente		1
4	Disipador		1
3	Placa Base		1
2	Placa Arduino		1
1	Placa Base Controles	Acrilico	1

Nombre	Fecha		
Dibujó:	R.Gómez		
Director	J.Miranda		
Escala:	O.Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo de Control y Disipación		
Nombre de Parte:	Módulo de Control y Disipación		
1:5			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD Lámina: 1 de 6

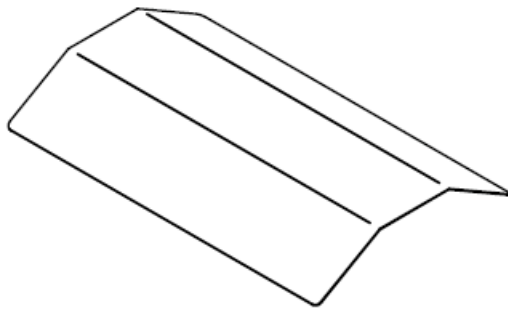
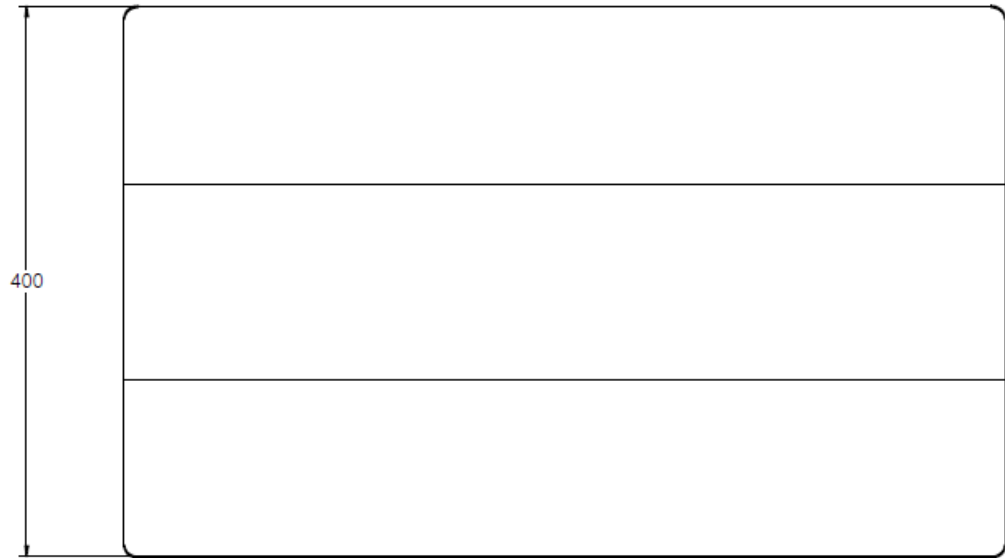


1:10

	Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez			
Director:	J. Miranda			
Escala:	Módulo de Control y Disipación		DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD	
1:5	Placa Base Controles			
			Lámina: 2 de 6	

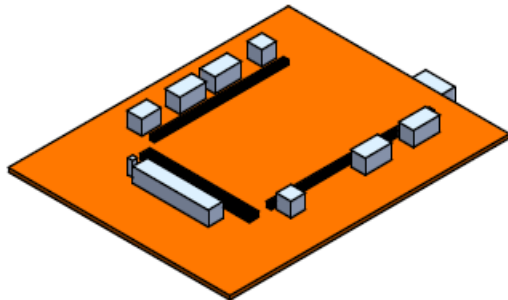
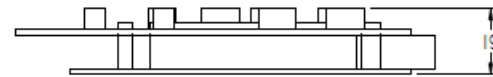
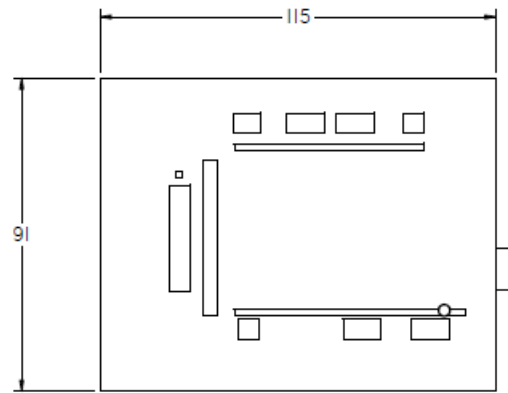


Longitud total de la lámina
sin plagar 425mm



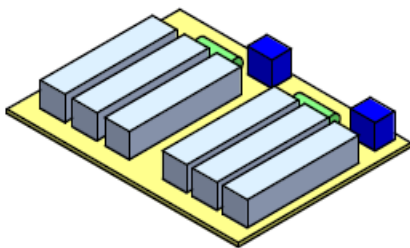
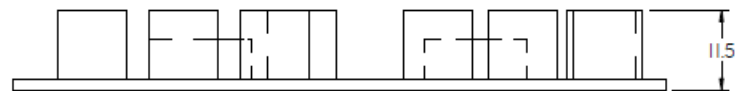
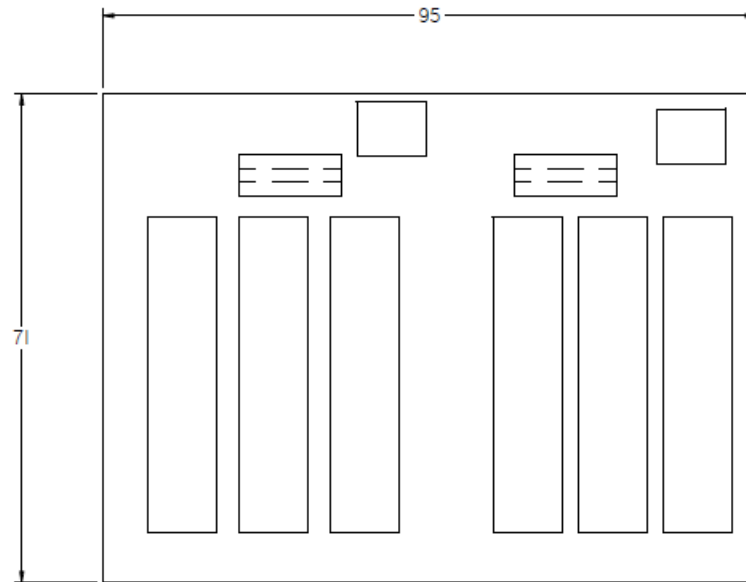
1:10

	Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez			
Director:	J. Miranda			
	O. Gelvez			
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo de Control y Disipación</i>			DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
3:1	Nombre de Parte: <i>Cubierta Controles</i>			



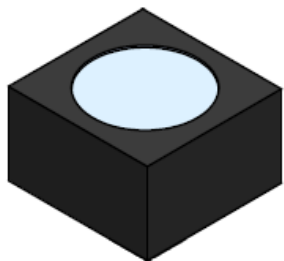
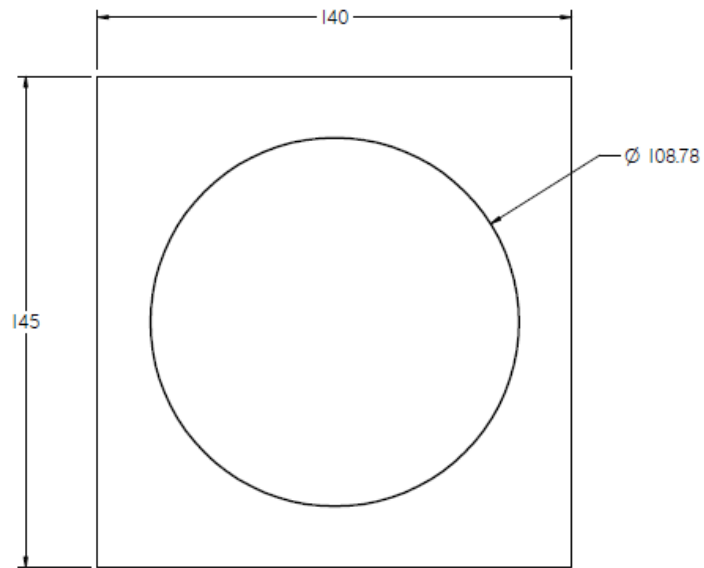
12

	Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R. Gómez				
Director:	J. Miranda				
	O. Gelvez				
Escala:	Nombre de Grupo: <i>Módulo de Control y Disipación</i>				
1:2	Nombre de Parte: <i>Placa Arduino</i>				
					DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
					Lámina: 4 de 6



12

	Nombre	Fecha	Universidad Industrial de Santander		
Dibujó:	R.Gómez				
Director:	J.Miranda				
	O.Gelvez				
Escala:	Módulo de Control y Disipación				
	Disipador				
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD					
Lámina: 5 de 6					



1:5

Nombre	Fecha	 	
Dibujó:	R. Gómez		
Director:	J. Miranda		
Escalón:	D. Gelvez		
Nombre de Grupo:	Módulo de Control y Disipación		
Nombre de Parte:	Fuente		
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD			Lámina: 6 de 6

Anexo B. GESTIÓN DE RECURSOS

GESTIÓN DE RECURSOS			
DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
Panel Fotovoltaico 20w	2	\$ 300,000.00	\$ 600,000.00
Motoreductor 80 rpm	4	\$ 72,000.00	\$ 288,000.00
Motoreductor 30 rpm	2	\$ 30,000.00	\$ 60,000.00
Baquelita Generica 20x15 cm	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
Baquelita 15x10 cm	2	\$ 3,000.00	\$ 6,000.00
Resistencias	20	\$ 100.00	\$ 2,000.00
Puente H L298N	2	\$ 10,000.00	\$ 20,000.00
Diodos N40	16	\$ 100.00	\$ 1,600.00
Potenciómetros	20	\$ 800.00	\$ 16,000.00
Capacitores 100 nF	4	\$ 50.00	\$ 200.00
Conector "mallet"	60	\$ 300.00	\$ 18,000.00
Cable UTP	5	\$ 2,000.00	\$ 10,000.00
CI DS1307	1	\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
Pantalla LCD 16 pines	1	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
Caja de plástico genérica	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
Alambre de estaño	2	\$ 5,000.00	\$ 10,000.00
Pasta para soldar	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Cable BUS	10	\$ 2,000.00	\$ 20,000.00
Paquete de engranajes de plástico	2	\$ 6,000.00	\$ 12,000.00
Tornillería General (Con Arandela y Tuerca)	50	\$ 1,500.00	\$ 75,000.00
Resistencia de alto Vatiaje	8	\$ 300.00	\$ 2,400.00
Interruptores	10	\$ 300.00	\$ 3,000.00
Diodos Leds	10	\$ 100.00	\$ 1,000.00
Fuente estandar de computador 350W	1	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00
Arduino Mega	1	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00
Ventiladores 12V	2	\$ 5,000.00	\$ 10,000.00
Pegante instantaneo	1	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
Acrilicos	2	\$ 100,000.00	\$ 200,000.00
Servomotor para pruebas	1	\$ 80,000.00	\$ 80,000.00
Motor pasa a paso para pruebas	1	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00
Ajuste de Banco(Seguetas,Lijas,Limas,etc)	1	\$ 8,000.00	\$ 8,000.00
Material 1020 - General	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
Rodamientos (Valor promedio)	8	\$ 26,500.00	\$ 212,000.00
Pintura	1	\$ 150,000.00	\$ 150,000.00
Perfilería General	1	\$ 150,000.00	\$ 150,000.00
Valor Hora Torno CNC	5	\$ 80,000.00	\$ 400,000.00
Valor Hora Torno Convencional	7	\$ 50,000.00	\$ 350,000.00
Valor Hora Centro De Mecanizado CNC	9	\$ 100,000.00	\$ 900,000.00
Valor Hora Corte Por Hilo CNC	3	\$ 200,000.00	\$ 600,000.00
Herramientas de Corte (valor Promedio)	12	\$ 60,000.00	\$ 720,000.00
Transporte	4	\$ 50,000.00	\$ 200,000.00
		TOTAL	\$ 5,520,900.00

Anexo C. PROGRAMAS DE MECANIZADO

%	X14.3 M8	O1102 (BASE NIVELADOR)
O1101 (ESFERA TORNILLO NIVELADOR)	X3.575	(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-11 HORA- 20:50)
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-11 HORA- 20:50)	G1 Z-.592	G21 G40 G80 G99 G97
G21 G40 G80 G99 G97	G3 X5.663 Z-.942 R6.647	G28 U0.
G28 U0.	G1 X7.662	G28 W0.
G28 W0.	G0 Z1.	T0000
T0000	X3.888	
	G1 X1.888	(CNGP-432)
	Z-.441	T0101
	G3 X3.975 Z-.644 R6.647	G0Z0.M4 S700
	G1 X5.975	X34.M8
(VNGP331K)	G0 Z1.	G1X-1.5F0.04
G0 T1212	X2.2	Z2.
G97 S800 M04	G1 X-.2	G28U0. M9
G0 G54 Z1.	Z-.4	G0Z100.M5
X12.7 M8	X.406	
G1Z-13.F0.1	G3 X2.288 Z-.467 R6.647	(CENTRO BROCA NO. 4)
G0X15.	G1 X4.287	G0 T0505
Z1.	G0Z0.5	G97 S600 M03
X2.763	X-1.	G0 G54 Z5.
G1X12.7Z-3.969F0.1	G1 Z-.4 F0.004	X0. M8
G0X15.	X-.794	Z2.
G28 U0.M9	G3 X12.5 Z-7.047 R6.647	G99 G1 Z-8. F0.3
G28 W0.M05	X8.898 Z-11.597 R6.647	G0 Z5.
M01	G2 X8.3 Z-12.352 R1.103	M9
	G1 Z-13.026	G28 U0.
	X10.3	G28 W0.
(VNGP331K)	G0 X15.1	M05
G0 T1212	G28 U0.M9	M01
G97 S1200 M04	G28 W0.M05	
G0 G54 Z-9.313	M30	
X13.5	%	
G1X8.3Z-13.026F0.08		(BROCA 10.0 MM)
X9.	<hr/>	G0 T0303
G0X15.		G97 S600 M03
Z1.	%	G0 G54 Z5.

X0. M8	X-11.515 Z-.218 F.007	X22.607 Z-3.564
G83 Z-8.9 R-4 Q3000 P1000 F0.08	G2 X-12.5 Z-2.65 R6.25	G2 X24.193 Z-4.785 R1.603
M9	X-11.4 Z-5.213 R6.25	G1 X24.707 Z-4.934
G28 U0.	G1 X-10.693 Z-4.86	X29.707
G28 W0.	G1Z3.F1.	G0 Z1.591
M05	M9	X17.753
M01	G28 U0.	G1 Z.591F0.03
	G28 W0.	X19.966 Z-.516
(BB155 INSERT - BB155)	M05	X20.607 Z-3.564
G0 T0404	T0600	G2 X22.193 Z-4.785 R1.603
G97 S800 M03	M01	G1 X27.603 Z-6.347
G0 G54 Z3.		G3 X30. Z-8.423 R2.397
X-11.4	(TOOL - 12 OFFSET - 12)	G1 Z-15.2
G99 G1 Z-5.214 F.02	(VNGP331K INSERT -	X35.
G2 X-1.984 Z-8.821 R6.25	VNGP331K)	M9
G1 Z3.F1.	G0 T1212	G28 U0.
G28 U0.	G97 S800 M04	G28 W0.
G28 W0.	G0 G54 Z1.854	M05
M05	X28.153 M8	T1200
T0400	G1 Z.854 F.08	M01
M01	Z-5.929	
	X29.603 Z-6.347	T1010 (A4G0305M03U04GMN)
(ROSCADO INT INSERT -	G3 X32. Z-8.423 R2.397	G0 Z-13.8 M03 S1200
SEGSE)	G1 Z-15.2	X34. M8
G0 T0606	X37.	G50 S1200
G97 S800 M03	G0 Z1.854	G96 S600
G0 G54 Z3.097	X24.307	G1 X26. F.03
X-13.356 M8	G1 Z.854	G1 X32. F.1
G1 Z1.097 F.5	Z-4.818	Z-12.8
X-11.515 Z-.218 F.008	X28.553 Z-6.044	G1 X30. F.03
G2 X-12.5 Z-2.65 R6.25	X33.553	G1 X28. Z-13.8
X-11.4 Z-5.213 R6.25	G0 Z1.854	G1 X-2
G1 X-10.693 Z-4.86	X20.46	G1 X0 Z-13.
G1Z3.F1.	G1 Z.854	G0 X32.
X-13.356	Z.237	M9
G1 Z1.097	X21.966 Z-.516	G28 U0.M9

G0 Z60. M5	M05	G3 X40. Z-1.397 R.397
M00	M01	G1 Z-34.397
		Z-37.8
T0101(CNGP-432)	T0303(BROCA 10. MM)	X40.707 Z-37.446
G0Z10.5	G0Z5.M3S500	G28 U0.M9
G0X10.	X0.M8	G0Z100.M05
M0(PIEZA A TOPE)	G83Z-42.R-3.Q3000F0.06	M01
G0Z13.	G28 U0.M9	
G28U0	G0Z100.M05	(BB3116)
G28W0	M01	G0 T0404
M99		G97 S700 M03
%	(CNMG432MN)	G0 G54 Z1.
	G0 T0101	X-10. M8
	G97 S800 M04	G71 U1. R.2
%	G0 G54 Z1.	G71 P100 Q102 U0. W0. F.03
O1103 (CAMISA SUPERIOR DOBLE)	X45. M8	N100 G0 X-19.
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-11 HORA- 20:50)	G71 U3. R.2	N102 G1 Z-35.5
G21 G40 G80 G99 G97	G71 P100 Q102 U1.4 W0. F.05	G0 Z1.
G28 U0.	N100 G0 X38.	G28 U0.M9
G28 W0.	G1 Z-.465	G0Z100.M05
T0000	X39.535 Z-1.232	M01
	G3 X40. Z-1.794 R.794	
	G1 Z-38.5	(GT030Q-10)
	N102 X46.	G0 T0606
	G0 Z1.	G97 S600 M03
(CENTRO BROCA NO. 4)	G28 U0.M9	G0 G54 Z1.
G0 T0505	G0Z100.M05	X-18.5 M8
G97 S600 M03	M01	Z-8.176
G0 G54 Z5.		G1 X-20.27 F.02
X0. M8	(VNGP331K)	G0 X-18.27
Z2.	G0 T1212	G1 X-21.94
G99 G1 Z-8. F0.06	G97 S800 M04	G0 X-18.5
G0 Z5.	G0 G54 Z.884	Z-7.598
M9	X37.768 M8	G1 X-21.94
G28 U0.	G1 Z-.116 F.02	X-21.824 Z-7.656
G28 W0.	X39.768 Z-1.116	G0 X-18.5

Z-8.754	Z-4.709	X-22.
G1 X-21.94	G1 X-21.94	Z-13.
X-21.824 Z-8.696	X-21.824 Z-4.766	X-21.923 Z-12.961
G0 X-18.5	G0 X-18.5	G0 X-17.186
Z-7.02	Z-11.644	G0Z5.
G1 X-21.94	G1 X-21.94	G28 U0.M9
X-21.824 Z-7.078	X-21.824 Z-11.586	G0Z100.M05
G0 X-18.5	G0 X-18.5	M01
Z-9.332	Z-4.131	
G1 X-21.94	G1 X-21.94	(BB3116)
X-21.824 Z-9.274	X-21.824 Z-4.188	G0 T0404
G0 X-18.5	G0 X-18.5	G97 S600 M03
Z-6.442	Z-12.222	G0 G54 Z2.
G1 X-21.94	G1 X-21.94	X-17. M8
X-21.824 Z-6.5	X-21.824 Z-12.164	Z-12.
G0 X-18.5	G0 X-18.5	X-20.2
Z-9.91	Z-3.553	G1 Z-33. F0.03
G1 X-21.94	G1 X-21.94	X-18.8
X-21.824 Z-9.852	X-21.824 Z-3.61	G0Z10.
G0 X-18.5	G0 X-18.5	Z-12.
Z-5.864	Z-12.8	X-21.4
G1 X-21.94	G1 X-21.94	G1 Z-33. F0.03
X-21.824 Z-5.922	X-21.824 Z-12.742	X-18.8
G0 X-18.5	G0 X-18.5	G0Z10.
Z-10.488	Z-2.975	Z-12.
G1 X-21.94	G1 X-21.94	X-22.
X-21.824 Z-10.43	X-21.824 Z-3.032	G1 Z-33. F0.02
G0 X-18.5	G0 X-18.5	X-18.8
Z-5.287	Z-13.707	G0Z10.
G1 X-21.94	X-17.186	G28 U0.M9
X-21.824 Z-5.344	G1 X-18.6 Z-13.	G0Z100.M05
G0 X-18.5	X-22.	M01
Z-11.066	X-21.923 Z-12.961	
G1 X-21.94	G0 X-17.186	(TRONZADOR 3MM)
X-21.824 Z-11.008	Z-2.068	G0 T1010
G0 X-18.5	G1 X-18.6 Z-2.775 F.01	G97 S600 M03

G0 G54Z-38.	M5	G1 X33.077
X41.M8		G0 Z3.
G1X38. F.01	T0606(BROCA 7.0 MM)	X21.206
G0X45.	G0Z0.5M3S1000	G1 Z1.
Z-35.515	X0.M8	Z-10.
G1 X42.828	G83Z-16.R-2.Q3000P1000F0.2	X25.342
X40. Z-36.929	G0Z2.M9	X29.342
G3 X39.941 Z-37. R.1	M5	G0 Z3.
G1 X38. Z-37.971		X17.471
G3 X37.859 Z-38. R.1	T0808(MACHO DE 8X1.25)	G1 Z1.
G1 X-1.	G0Z0.5M3S200	Z-9.904
X1.Z-36.	X0	G2 X18.413 Z-10. R1.206
G0 X42.1	G84Z-14.R-4K2F1.25	G1 X21.606
G28 U0.M9	G28U0	X25.606
G28 W0.M05	G28W0	G0 Z3.
M30	G80	X13.735
%		G1 Z1.
	(TOOL - 1 OFFSET - 1)	Z-.232
	(T0101 INSERT - CNMG432MN)	X16. Z-1.365
%	G0 T0101	Z-8.794
O1105 (O1105 PERILLA	G97 S600 M04	G2 X17.871 Z-9.969 R1.207
NIVELADOR)	G0 G54 Z3.	G1 X21.871
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	X28.677 M8	M9
S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	G99 G1 Z1. F.06	G28 U0.
11 HORA- 20:50)	Z-10.433	G28 W0.
G21 G40 G80 G99 G97	G3 X32. Z-13.294 R3.294	M05
G28 U0.	G1 Z-15.444	T0100
G28 W0.	Z-27.95	M01
G54	X32.413	
T0000	X36.413	(TOOL - 12 OFFSET - 12)
	G0 Z3.	(VNGP331K INSERT -
T0505(CENTRO BROCA #4)	X24.942	VNGP331K)
G0Z0.5M3S600	G1 Z1.	G0 T1212
X0.M8	Z-10.	G97 S900 M04
G83Z-9R-2.Q2000P1000F0.3	X25.413	G0 G54 Z1.591
G0Z2.M9	G3 X29.077 Z-10.557 R3.294	X10.553 M8

G1 Z.591 F.03	X0. Z-22.5	N44 G3 X-1.027 R3.237
X14. Z-1.132	G0 X32.828	N46 G2 X-13.291 Y-11.912 R9.763
Z-8.397	M9	N48 G3 X-14.571 Y-10.307 R3.237
G2 X17.206 Z-10. R1.603	G28 U0.	N50 G2 X-17.6 Y2.964 R9.763
G1 X24.206	G28 W0.	N52 G3 X-17.143 Y4.966 R3.237
G3 X30. Z-12.897 R2.897	M05	N54 G2 X-8.656 Y15.608 R9.763
G1 Z-15.047	T1000	N56 G3 X-6.806 Y16.499 R3.238
Z-24.95	M30	N58 G2 X0. Y19.262 R9.763
X32.828 Z-23.536	%	N60 G3 X2.857 Y22.12 R2.858
M9		N62 G1 X-2.857
G28 U0.		N64 Z-6.25
G28 W0.	%	N66 G3 X0. Y19.262 R2.857
M05	O1106 (PERILLA NIVELADOR)	N68 G2 X6.806 Y16.499 R9.762
T1200	(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	N70 G3 X8.656 Y15.608 R3.237
M01	S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	N72 G2 X17.143 Y4.966 R9.763
	11 HORA- 20:50)	N74 G3 X17.6 Y2.964 R3.238
(TOOL - 10 OFFSET - 10)	N10 G21	N76 G2 X14.571 Y-10.307 R9.763
(A4G0305M03U04GMP INSERT -	N12 G91 G28 Z0	N78 G3 X13.291 Y-11.912 R3.237
A4G0305M03U04GMP)	N14 G28 X0 Y0	N80 G2 X1.027 Y-17.818 R9.763
G0 T1010	N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N82 G3 X-1.027 R3.237
G97 S900 M03	(HEC375S4 TOOL - 2 DIA. OFF.	N84 G2 X-13.291 Y-11.912 R9.763
G0 G54 Z-19.336	- 2 LEN. - 2 DIA. - 9.525)	N86 G3 X-14.571 Y-10.307 R3.237
X34. M8	N18 T2 M6	N88 G2 X-17.6 Y2.964 R9.763
G1 X28.634 F.03	N20 G0 G90 G57 X-2.857 Y22.12	N90 G3 X-17.143 Y4.966 R3.237
G0 X34.	A0. S2400 M3	N92 G2 X-8.656 Y15.608 R9.763
Z-21.218	N22 G43 H2 Z20. M8	N94 G3 X-6.806 Y16.499 R3.238
G1 X24.836	N24 Z-2.	N96 G2 X0. Y19.262 R9.763
G0 X34.	N26 G1 Z-4.125 F200.	N98 G3 X2.857 Y22.12 R2.858
Z-23.1	N28 G3 X0. Y19.262 R2.857	N100 G1 X-2.857
G1 X18.	N30 G2 X6.806 Y16.499 R9.762	N102 Z-8.375
G0 X34.	N32 G3 X8.656 Y15.608 R3.237	N104 G3 X0. Y19.262 R2.857
Z-15.986	N34 G2 X17.143 Y4.966 R9.763	N106 G2 X6.806 Y16.499 R9.762
G1 X29.97 Z-17.4	N36 G3 X17.6 Y2.964 R3.238	N108 G3 X8.656 Y15.608 R3.237
G3 X21.215 Z-21.831 R6.406	N38 G2 X14.571 Y-10.307 R9.763	N110 G2 X17.143 Y4.966 R9.763
X4.187 Z-23.048 R30.406	N40 G3 X13.291 Y-11.912 R3.237	N112 G3 X17.6 Y2.964 R3.238
G1 X-1.	N42 G2 X1.027 Y-17.818 R9.763	

N114 G2 X14.571 Y-10.307 R9.763	N170 G3 X-6.806 Y16.499 R3.238	N42 M5
N116 G3 X13.291 Y-11.912 R3.237	N172 G2 X0. Y19.262 R9.763	N44 G91 G28 Z0. M9
N118 G2 X1.027 Y-17.818 R9.763	N174 G3 X2.857 Y22.12 R2.858	N46 G28 X0. Y0. A0.
N120 G3 X-1.027 R3.237	N176 G0 Z20. M5	N48 M01
N122 G2 X-13.291 Y-11.912 R9.763	N178 G91 G28 Z0. M9	(BROCA 3.3MM TOOL - 3 DIA. OFF. - 3 LEN. - 3 DIA. - 3.3)
N124 G3 X-14.571 Y-10.307 R3.237	N180 G28 X0. Y0. A0.	(AGUJEROS 3-3 CENTRALES)
N126 G2 X-17.6 Y2.964 R9.763	N182 M30	N50 T3 M6
N128 G3 X-17.143 Y4.966 R3.237	%	N52 G0 G90 G57 X-8.5 Y13.4 A0. S800 M3
N130 G2 X-8.656 Y15.608 R9.763	%	N54 G43 H3 Z10. M8
N132 G3 X-6.806 Y16.499 R3.238	O1107 (PLATINA CENTRAL SOPORTE PANEL)	N56 G98 G83 Z-6.5 R1. Q.3 F40.
N134 G2 X0. Y19.262 R9.763	(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10- 11 HORA- 20:50)	N58 X8.5
N136 G3 X2.857 Y22.12 R2.858	N10 G21	N60 X0. Y11.
N138 G1 X-2.857	N12 G91 G28 Z0	N62 Y-11.
N140 Z-10.5	N14 G28 X0 Y0	N64 X8.5 Y-13.4
N142 G3 X0. Y19.262 R2.857	N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N66 X-8.5
N144 G2 X6.806 Y16.499 R9.762	(SPOTDRILL 3/16X90° TOOL - 9 DIA. OFF. - 9 LEN. - 9 DIA. - 4.76)	N68 G80
N146 G3 X8.656 Y15.608 R3.237	N18 T9 M6	(AGUJEROS 3-3 EXTREMOS)
N148 G2 X17.143 Y4.966 R9.763	N20 G0 G90 G57 X0. Y21.4 A0.	N70 X0. Y21.4
N150 G3 X17.6 Y2.964 R3.238	S1000 M3	N72 G98 G83 Z-4.763 R1. Q.3 F40.
N152 G2 X14.571 Y-10.307 R9.763	N22 G43 H9 Z10. M8	N74 Y-21.4
N154 G3 X13.291 Y-11.912 R3.237	N24 G98 G81 Z-2.1 R2. F40.	N76 G80
N156 G2 X1.027 Y-17.818 R9.763	N26 X8.5 Y13.4	N78 M5
N158 G3 X-1.027 R3.237	N28 X-8.5	N80 G91 G28 Z0. M9
N160 G2 X-13.291 Y-11.912 R9.763	N30 X0. Y11.	N82 G28 X0. Y0. A0.
N162 G3 X-14.571 Y-10.307 R3.237	N32 Y-11.	N84 M01
N164 G2 X-17.6 Y2.964 R9.763	N34 X8.5 Y-13.4	(BROCA 4MM TOOL - 4 DIA. OFF. - 4 LEN. - 4 DIA. - 4.)
N166 G3 X-17.143 Y4.966 R3.237	N36 X-8.5	N86 T4 M6
N168 G2 X-8.656 Y15.608 R9.763	N38 X0. Y-21.4	N88 G0 G90 G57 X0. Y11. A0. S800 M3
	N40 G80	N90 G43 H4 Z10. M8
		N92 G98 G83 Z-7. R1. Q.4 F60.
		N94 Y-11.

N96 G80	N46 G1 Z3.802	N118 G1 Z-5.043
N98 M5	N48 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N120 G2 X4.015 Y13.399 R14.675
N100 G91 G28 Z0. M9	N50 G1 Z3.31	N122 G1 Z-5.534
N102 G28 X0. Y0. A0.	N52 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N124 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675
N104 M30	N54 G1 Z2.819	N126 G1 Z-6.026
%	N56 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N128 G2 X4.015 Y13.399 R14.675
	N58 G1 Z2.328	N130 G1 Z-6.517
	N60 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N132 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675
	N62 G1 Z1.836	N134 G1 Z-7.009
	N64 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N136 G2 X4.015 Y13.399 R14.675
%	N66 G1 Z1.345	N138 G1 Z-7.5
O1110 (CARAS ROTACIÓN	N68 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N140 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675
PUNTA EJE)	N70 G1 Z.853	N142 G0 Z20.
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	N72 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N144 Y-4.28
S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	N74 G1 Z.362	N146 Z6.75
11 HORA- 20:50)	N76 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N148 G1 Z6.259
N10 G21	N78 G1 Z-.129	N150 G3 X4.015 Y-13.399
N12 G91 G28 Z0	N80 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	R14.675
N14 G28 X0 Y0	N82 G1 Z-.621	N152 G1 Z5.767
N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N84 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N154 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675
(HEC250S4 TOOL - 1 DIA. OFF.	N86 G1 Z-1.112	N156 G1 Z5.276
- 1 LEN. - 1 DIA. - 6.35)	N88 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N158 G3 X4.015 Y-13.399
N18 T1 M6	N90 G1 Z-1.603	R14.675
N20 G0 G90 G54 X4.015 Y13.399	N92 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N160 G1 Z4.784
A0. S2400 M3	N94 G1 Z-2.095	N162 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675
N22 G43 H1 Z20. M8	N96 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N164 G1 Z4.293
N24 Z6.75	N98 G1 Z-2.586	N166 G3 X4.015 Y-13.399
N26 G1 Z6.259 F100.	N100 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	R14.675
N28 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N102 G1 Z-3.078	N168 G1 Z3.802
N30 G1 Z5.767	N104 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N170 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675
N32 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N106 G1 Z-3.569	N172 G1 Z3.31
N34 G1 Z5.276	N108 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N174 G3 X4.015 Y-13.399
N36 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N110 G1 Z-4.06	R14.675
N38 G1 Z4.784	N112 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N176 G1 Z2.819
N40 G2 X4.015 Y13.399 R14.675	N114 G1 Z-4.552	N178 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675
N42 G1 Z4.293	N116 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675	N180 G1 Z2.328
N44 G3 X-4.037 Y4.28 R14.675		

N182 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N184 G1 Z1.836 N186 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N188 G1 Z1.345 N190 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N192 G1 Z.853 N194 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N196 G1 Z.362 N198 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N200 G1 Z-.129 N202 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N204 G1 Z-.621 N206 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N208 G1 Z-1.112 N210 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N212 G1 Z-1.603 N214 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N216 G1 Z-2.095 N218 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N220 G1 Z-2.586 N222 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N224 G1 Z-3.078 N226 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N228 G1 Z-3.569 N230 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N232 G1 Z-4.06 N234 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N236 G1 Z-4.552	N238 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N240 G1 Z-5.043 N242 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N244 G1 Z-5.534 N246 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N248 G1 Z-6.026 N250 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N252 G1 Z-6.517 N254 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N256 G1 Z-7.009 N258 G2 X-4.037 Y-4.28 R14.675 N260 G1 Z-7.5 N262 G3 X4.015 Y-13.399 R14.675 N264 G0 Z20. N266 M5 N268 G91 G28 Z0. M9 N270 G28 X0. Y0. A0. N272 M30 % <hr/> % O1111 (SOPORTE MOTOR SUP) (RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10- 11 HORA- 20:50) N10 G21 N12 G91 G28 Z0 N14 G28 X0 Y0 N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90 (SPOTDRILL 3/16X90° TOOL - 9 DIA. OFF. - 9 LEN. - 9 DIA. - 4.76)	N18 T9 M6 N20 G0 G90 G57 X-19.587 Y0. A0. S1800 M3 N22 G43 H9 Z10. M8 N24 G98 G81 Z-2.38 R1. F60. N26 G80 N28 M5 N30 G91 G28 Z0. M9 N32 G28 X0. Y0. A0. N34 M01 (BROCA 9MM TOOL - 7 DIA. OFF. - 7 LEN. - 7 DIA. - 9.) N36 T7 M6 N38 G0 G90 G57 X-19.587 Y0. A0. S800 M3 N40 G43 H7 Z10. M8 N42 G98 G83 Z-6. R1. Q.5 F40. N44 G80 N46 M5 N48 G91 G28 Z0. M9 N50 G28 X0. Y0. A0. N52 M01 (HEC125S4 TOOL - 5 DIA. OFF. - 5 LEN. - 5 DIA. - 3.175) N54 T5 M6 N56 G0 G90 G57 X-17. Y9.5 A0. S1400 M3 N58 G43 H5 Z10. M8 N60 Z1. N62 G1 Z-.397 F40. N64 Y7.5 F20. N66 Z-.794 F40. N68 Y9.5 F20. N70 Z-1.191 F40. N72 Y7.5 F20. N74 Z-1.587 F40.
---	--	--

N76 Y9.5 F20.	N148 Y-1. F20.	N28 M5
N78 Z-1.984 F40.	N150 Z-1.587 F40.	N30 G91 G28 Z0. M9
N80 Y7.5 F20.	N152 Y1. F20.	N32 G28 X0. Y0. A0.
N82 Z-2.381 F40.	N154 Z-1.984 F40.	N34 M01
N84 Y9.5 F20.	N156 Y-1. F20.	(BROCA 9MM TOOL - 7 DIA.
N86 Z-2.778 F40.	N158 Z-2.381 F40.	OFF. - 7 LEN. - 7 DIA. - 9.)
N88 Y7.5 F20.	N160 Y1. F20.	N36 T7 M6
N90 Z-3.175 F40.	N162 Z-2.778 F40.	N38 G0 G90 G57 X-25.675 Y0. A0.
N92 Y9.5 F20.	N164 Y-1. F20.	S800 M3
N94 G0 Z10.	N166 Z-3.175 F40.	N40 G43 H7 Z10. M8
N96 Y-7.5	N168 Y1. F20.	N42 G98 G83 Z-6. R1. Q.5 F40.
N98 Z1.	N170 G0 Z10. M5	N44 G80
N100 G1 Z-.397 F40.	N174 G91 G28 Z0. M9	N46 M5
N102 Y-9.5 F20.	N176 G28 X0. Y0. A0.	N48 G91 G28 Z0. M9
N104 Z-.794 F40.	N178 M30	N50 G28 X0. Y0. A0.
N106 Y-7.5 F20.	%	N52 M01
N108 Z-1.191 F40.	<hr/>	(HEC125S4 TOOL - 5 DIA. OFF.
N110 Y-9.5 F20.	%	- 5 LEN. - 5 DIA. - 3.175)
N112 Z-1.587 F40.	O1112 (SOPORTE MOTOR SUP	N54 T5 M6
N114 Y-7.5 F20.	CARA LAT)	N56 G0 G90 G57 X-24.425 Y-8.5
N116 Z-1.984 F40.	(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	A0. S1400 M3
N118 Y-9.5 F20.	S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	N58 G43 H5 Z10. M8
N120 Z-2.381 F40.	11 HORA- 20:50)	N60 Z1.
N122 Y-7.5 F20.	N10 G21	N62 G1 Z-.397 F40.
N124 Z-2.778 F40.	N12 G91 G28 Z0	N64 X-26.925 F20.
N126 Y-9.5 F20.	N14 G28 X0 Y0	N66 Z-.794 F40.
N128 Z-3.175 F40.	N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N68 X-24.425 F20.
N130 Y-7.5 F20.	(SPOTDRILL 3/16X90° TOOL - 9	N70 Z-1.191 F40.
N132 G0 Z10.	DIA. OFF. - 9 LEN. - 9 DIA. - 4.76	N72 X-26.925 F20.
N134 X-9. Y1.)	N74 Z-1.587 F40.
N136 Z1.	N18 T9 M6	N76 X-24.425 F20.
N138 G1 Z-.397 F40.	N20 G0 G90 G57 X-25.675 Y0. A0.	N78 Z-1.984 F40.
N140 Y-1. F20.	S1800 M3	N80 X-26.925 F20.
N142 Z-.794 F40.	N22 G43 H9 Z10. M8	N82 Z-2.381 F40.
N144 Y1. F20.	N24 G98 G81 Z-2.38 R1. F60.	N84 X-24.425 F20.
N146 Z-1.191 F40.	N26 G80	N86 Z-2.778 F40.

N88 X-26.925 F20.	N10 G21	N68 G80
N90 Z-3.175 F40.	N12 G91 G28 Z0	N70 M5
N92 X-24.425 F20.	N14 G28 X0 Y0	N72 G91 G28 Z0. M9
N94 G0 Z10.	N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N74 G28 X0. Y0. A0.
N96 Y8.5	(SPOT DRILL 3/16" X 90° TOOL	N76 M01
N98 Z1.	- 9 DIA. OFF. - 9 LEN. - 9 DIA. -	(HEC250S4 TOOL - 1 DIA. OFF.
N100 G1 Z-.397 F40.	4.76)	- 1 LEN. - 1 DIA. - 6.35)
N102 X-26.925 F20.	N18 T9 M6	N78 T1 M6
N104 Z-.794 F40.	N20 G0 G90 G54 X25.937 Y-4.978	N80 G0 G90 G54 X26.875 Y-15.
N106 X-24.425 F20.	A0. S1200 M3	A0. S1200 M3
N108 Z-1.191 F40.	N22 G43 H9 Z10. M8	N82 G43 H1 Z10. M8
N110 X-26.925 F20.	N24 G98 G81 Z-1.75 R1. F60.	N84 Z1.
N112 Z-1.587 F40.	N26 X10.965 Y-8.99	N86 G1 Z-.25 F40.
N114 X-24.425 F20.	N28 X6.953 Y-23.961	N88 X28.531 Y-12.131 F80.
N116 Z-1.984 F40.	N30 X10.965 Y-30.91	N90 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913
N118 X-26.925 F20.	N32 X17.914 Y-34.922	N92 I0. J-3.825
N120 Z-2.381 F40.	N34 X32.885 Y-30.91	N94 X25.219 Y-12.131 R1.913
N122 X-24.425 F20.	N36 X26.875 Y-15.	N96 G1 X26.875 Y-15.
N124 Z-2.778 F40.	N38 G80	N98 G0 Z2.
N126 X-26.925 F20.	N40 M5	N100 Z1.
N128 Z-3.175 F40.	N42 G91 G28 Z0. M9	N102 G1 Z-.5 F40.
N130 X-24.425 F20.	N44 G28 X0. Y0. A0.	N104 X28.531 Y-12.131 F80.
N132 G0 Z10.	N46 M01	N106 G3 X26.875 Y-11.175
N134 M5	(BROCA 4.2MM TOOL - 4 DIA.	R1.913
N136 G91 G28 Z0. M9	OFF. - 4 LEN. - 4 DIA. - 4.2)	N108 I0. J-3.825
N138 G28 X0. Y0. A0.	N48 T4 M6	N110 X25.219 Y-12.131 R1.913
N140 M30	N50 G0 G90 G54 X25.937 Y-4.978	N112 G1 X26.875 Y-15.
%	A0. S900 M3	N114 G0 Z2.
	N52 G43 H4 Z10. M8	N116 Z1.
	N54 G98 G83 Z-5. R1. Q.3 F50.	N118 G1 Z-.75 F40.
	N56 X10.965 Y-8.99	N120 X28.531 Y-12.131 F80.
	N58 X6.953 Y-23.961	N122 G3 X26.875 Y-11.175
	N60 X10.965 Y-30.91	R1.913
	N62 X17.914 Y-34.922	N124 I0. J-3.825
	N64 X32.885 Y-30.91	N126 X25.219 Y-12.131 R1.913
	N66 X26.875 Y-15.	N128 G1 X26.875 Y-15.

%
O1114 (SOPORTE MOTOR
CARA LAT OP2)
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN
S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-
11 HORA- 20:50)

N130 G0 Z2.	N194 G0 Z2.	N258 G0 Z2.
N132 Z1.	N196 Z1.	N260 Z1.
N134 G1 Z-1. F40.	N198 G1 Z-2. F40.	N262 G1 Z-3. F40.
N136 X28.531 Y-12.131 F80.	N200 X28.531 Y-12.131 F80.	N264 X28.531 Y-12.131 F80.
N138 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N202 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N266 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913
N140 I0. J-3.825	N204 I0. J-3.825	N268 I0. J-3.825
N142 X25.219 Y-12.131 R1.913	N206 X25.219 Y-12.131 R1.913	N270 X25.219 Y-12.131 R1.913
N144 G1 X26.875 Y-15.	N208 G1 X26.875 Y-15.	N272 G1 X26.875 Y-15.
N146 G0 Z2.	N210 G0 Z2.	N274 G0 Z2.
N148 Z1.	N212 Z1.	N276 Z1.
N150 G1 Z-1.25 F40.	N214 G1 Z-2.25 F40.	N278 G1 Z-3.25 F40.
N152 X28.531 Y-12.131 F80.	N216 X28.531 Y-12.131 F80.	N280 X28.531 Y-12.131 F80.
N154 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N218 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N282 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913
N156 I0. J-3.825	N220 I0. J-3.825	N284 I0. J-3.825
N158 X25.219 Y-12.131 R1.913	N222 X25.219 Y-12.131 R1.913	N286 X25.219 Y-12.131 R1.913
N160 G1 X26.875 Y-15.	N224 G1 X26.875 Y-15.	N288 G1 X26.875 Y-15.
N162 G0 Z2.	N226 G0 Z2.	N290 G0 Z2.
N164 Z1.	N228 Z1.	N292 Z1.
N166 G1 Z-1.5 F40.	N230 G1 Z-2.5 F40.	N294 G1 Z-3.5 F40.
N168 X28.531 Y-12.131 F80.	N232 X28.531 Y-12.131 F80.	N296 X28.531 Y-12.131 F80.
N170 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N234 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N298 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913
N172 I0. J-3.825	N236 I0. J-3.825	N300 I0. J-3.825
N174 X25.219 Y-12.131 R1.913	N238 X25.219 Y-12.131 R1.913	N302 X25.219 Y-12.131 R1.913
N176 G1 X26.875 Y-15.	N240 G1 X26.875 Y-15.	N304 G1 X26.875 Y-15.
N178 G0 Z2.	N242 G0 Z2.	N306 G0 Z2.
N180 Z1.	N244 Z1.	N308 Z10.
N182 G1 Z-1.75 F40.	N246 G1 Z-2.75 F40.	N310 M5
N184 X28.531 Y-12.131 F80.	N248 X28.531 Y-12.131 F80.	N312 G91 G28 Z0. M9
N186 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N250 G3 X26.875 Y-11.175 R1.913	N314 G28 X0. Y0. A0.
N188 I0. J-3.825	N252 I0. J-3.825	N316 M30
N190 X25.219 Y-12.131 R1.913	N254 X25.219 Y-12.131 R1.913	%
N192 G1 X26.875 Y-15.	N256 G1 X26.875 Y-15.	

%	N54 Y-30.311	(ABOCARDADO)
O1117 (AGUJEROS PLATO	N56 X35. Y0.	N18 T11 M6
SOPORTE EJE)	N58 G80	N20 G0 G90 G54 X0. Y0. A0.
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	N60 M5	S1600 M3
S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	N62 G91 G28 Z0. M9	N22 G43 H11 Z50.
11 HORA- 20:50)	N64 G28 X0. Y0. A0.	N24 Z.5
N10 G21	N66 M01	N26 G1 Z-1. F80.
N12 G91 G28 Z0	(BROCA 8.MM TOOL - 14 DIA.	N28 X.568 Y.984
N14 G28 X0 Y0	OFF. - 14 LEN. - 14 DIA. - 8.)	N30 G3 X0. Y1.313 R.656
N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N68 T4 M6	N32 I0. J-1.313
(SPOTDRILL 3/16X90° TOOL - 9	N70 G0 G90 G57 X-51.423	N34 X-.568 Y.984 R.657
DIA. OFF. - 9 LEN. - 9 DIA. - 4.76	Y61.284 A0. S900 M3	N36 G1 X0. Y0.
)	N72 G43 H4 Z10. M8	N38 Z-2.
N18 T9 M6	N74 G98 G83 Z-5.5 R0. Q.4 F40.	N40 X.568 Y.984
N20 G0 G90 G57 X-17.5 Y30.311	N76 Y-61.284	N42 G3 X0. Y1.313 R.656
A0. S1800 M3	N78 X80. Y0.	N44 I0. J-1.313
N22 G43 H9 Z10.	N80 G80	N46 X-.568 Y.984 R.657
N24 G98 G81 Z-2. R5. F60.	N82 M5	N48 G1 X0. Y0.
N26 Y-30.311	N84 G91 G28 Z0. M9	N50 Z-3.
N28 X35. Y0.	N86 G28 X0. Y0. A0.	N52 X.568 Y.984
N30 X80.	N88 M30	N54 G3 X0. Y1.313 R.656
N32 X-51.423 Y61.284	%	N56 I0. J-1.313
N34 Y-61.284		N58 X-.568 Y.984 R.657
N36 G80		N60 G1 X0. Y0.
N38 M5		N62 Z-4.
N40 G91 G28 Z0.	%	N64 X.568 Y.984
N42 G28 X0. Y0. A0.	O1118 (5-8 PIÑON	N66 G3 X0. Y1.313 R.656
N44 M01	POTENCIOMETRO)	N68 I0. J-1.313
(BROCA 6.35MM TOOL - 13	(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN	N70 X-.568 Y.984 R.657
DIA. OFF. - 13 LEN. - 13 DIA. -	S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-	N72 G1 X0. Y0.
6.35)	11 HORA- 20:50)	N74 Z-5.
N46 T3 M6	N10 G21	N76 X.568 Y.984
N48 G0 G90 G57 X-17.5 Y30.311	N12 G91 G28 Z0	N78 G3 X0. Y1.313 R.656
A0. S900 M3	N14 G28 X0 Y0	N80 I0. J-1.313
N50 G43 H3 Z10. M8	N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N82 X-.568 Y.984 R.657
N52 G98 G83 Z-5.5 R0. Q.4 F40.	(HEC125S4 TOOL - 11 DIA.	N84 G1 X0. Y0.
	OFF. - 11 LEN. - 11 DIA. - 3.175)	

N86 Z-6.
N88 X.568 Y.984
N90 G3 X0. Y1.313 R.656
N92 I0. J-1.313
N94 X-.568 Y.984 R.657
N96 G1 X0. Y0.
N98 Z-7.
N100 X.568 Y.984
N102 G3 X0. Y1.313 R.656
N104 I0. J-1.313
N106 X-.568 Y.984 R.657
N108 G1 X0. Y0.
N110 Z-8.
N112 X.568 Y.984
N114 G3 X0. Y1.313 R.656
N116 I0. J-1.313
N118 X-.568 Y.984 R.657
N120 G1 X0. Y0.
N122 G0 Z5.
N124 Z50.
N126 M5
N128 G91 G28 Z0.
N130 G28 X0. Y0. A0.
N132 M30
%

%

O1119 (5-7 PIÑON
POTENCIOMETRO)
(RICARDO A. GOMEZ G. - JUAN
S. MIRANDA F. - FECHA- 10-10-
11 HORA- 20:50)
N10 G21
N12 G91 G28 Z0
N14 G28 X0 Y0

N16 G0 G17 G40 G49 G80 G90
(HEC125S4 TOOL - 11 DIA.
OFF. - 11 LEN. - 11 DIA. - 3.175)
(ABOCARDADO)
N18 T11 M6
N20 G0 G90 G54 X0. Y0. A0.
S1200 M3
N22 G43 H11 Z50.
N24 Z.5
N26 G1 Z-1. F60.
N28 X.547 Y.947 F80.
N30 G3 X0. Y1.263 R.632
N32 I0. J-1.263
N34 X-.547 Y.947 R.632
N36 G1 X0. Y0.
N38 Z-2. F60.
N40 X.547 Y.947 F80.
N42 G3 X0. Y1.263 R.632
N44 I0. J-1.263
N46 X-.547 Y.947 R.632
N48 G1 X0. Y0.
N50 Z-3. F60.
N52 X.547 Y.947 F80.
N54 G3 X0. Y1.263 R.632
N56 I0. J-1.263
N58 X-.547 Y.947 R.632
N60 G1 X0. Y0.
N62 Z-4. F60.
N64 X.547 Y.947 F80.
N66 G3 X0. Y1.263 R.632
N68 I0. J-1.263
N70 X-.547 Y.947 R.632
N72 G1 X0. Y0.
N74 Z-5. F60.
N76 X.547 Y.947 F80.
N78 G3 X0. Y1.263 R.632

N80 I0. J-1.263
N82 X-.547 Y.947 R.632
N84 G1 X0. Y0.
N86 Z-6. F60.
N88 X.547 Y.947 F80.
N90 G3 X0. Y1.263 R.632
N92 I0. J-1.263
N94 X-.547 Y.947 R.632
N96 G1 X0. Y0.
N98 Z-7. F60.
N100 X.547 Y.947 F80.
N102 G3 X0. Y1.263 R.632
N104 I0. J-1.263
N106 X-.547 Y.947 R.632
N108 G1 X0. Y0.
N110 Z-8. F60.
N112 X.547 Y.947 F80.
N114 G3 X0. Y1.263 R.632
N116 I0. J-1.263
N118 X-.547 Y.947 R.632
N120 G1 X0. Y0.
N122 G0 Z5.
N124 Z50.
N126 M5
N128 G91 G28 Z0.
N130 G28 X0. Y0. A0.
N132 M30
%

Anexo D. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

```

//Programa principal para control y medición del proyecto de grado "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COLECTOR FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD"
//Programa para manejar y medir datos de un sistema de colector solar con 2 paneles fotovoltaicos con seguimiento en 3 modos.
//Realizado por: Juan Sebastián Miranda Fernández - Ricardo Andrés Gómez Galvis
//Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica 2011

// Incluir librerías necesarias para funcionar:

#include <Wire.h> //Transmitir y recibir datos del DS1307
#include <EEPROM.h> //Almacenar y leer datos de la memoria EEprom
#include <LiquidCrystal.h> //Usar pantalla LCD

//Definir función para el reloj
#define DS1307_I2C_ADDRESS 0x68

//Definición de variables

const int botonmodo=41; //pin del boton de pulso para el modo de operación
int anoeeprom=0; //variable para limpiar memoria cuando se inicie un nuevo año.
int modoprev; // modo de operación previo.
int modo=2; // modo de operacion: 1. fotoceldas vs ecuaciones P1:foto P2:ec. 2. 1 grado vs 2 grados P1:1grado P2:2grados. Modo 3: Fotoceldas vs ecuaciones 2 grados de libertas P1: fotoceldas P2:ec.
int contadorlcd=1; //contador para cambiar lo que se muestra en la pantalla lcd
int contadorpulsosbotonmodo = 2; // contador del numero de veces que se ha presionado el boton de modo
int estadobotonmodo = 0; // estado actual del boton de modo
int previoestadobotonmodo = 0; // estado previo del boton de modo
int segundosprev=1; //segundos anteriores a la entrada de pantalla lcd
double panell,panel2; // energía captada por los paneles
double contadordatos=0; //contador para el número de datos capturados en el tiempo de medición, se usa para promediar
int contadorescritura=1000; // contador para escribir datos parciales tomados en el muestreo de los paneles
int minutoanterior; // minuto anterior
double segundosop; // contador para promediar los datos de los paneles
double panellprom, panel2prom; // promedios de datos de la energía captada
int tiempomuestreo=300; // tiempo de muestreo en seg
int muestreoprevio; // tiempo de muestreo previo

const int botondatos = 51; // Pin del boton para tomar datos
const int leddatos = 13; // led para indicar que se estan tomando datos
int estadocaptura = 0; // estado de la captura de datos
int salida; // señal de salida de los pines PWM
int gananciae=120; //ganancia de los motores pequeños
int gananciaa=20; //ganancia de los motores grandes

```

```

int maximo=160; //maxima señal de salida motores grandes
int maximo2=220; //maxima señal de salida motores pequeños
int tiempopulso=25; //tiempo de pulso de los motores
int setpoint2; //setpoint para diferentes situaciones
int azimutp1; // azimut del panel 1
int azimutp2; // azimut del panel 2

int azimutoriginal; //azimut original para cuando pasa de 180 a -180 en
cierta poca del año
//delta de potenciometros para calibrar el cero
int delpot1=5;
int delpot2=5;
int delpot3=6;
int delpot4=0;

int contadorpotenciometro=13; // contador para hallar el punto respectivo
a la caracterización de los potenciómetros

// caracterización de los potenciómetros

//grados que se miden
int potenciometrogrados[] = {-110, -90, -70, -50, -30, -10, 10,
int potenciometrogrados2[] = {-283, -232, -180, -128, -77, -
25, 25, 77, 128, 180, 232, 283, 335, 386};
// 0 en 574
//Voltaje medido de los potenciómetros
int ponteciometrovoltaje[] = {1023, 938, 851, 767, 689, 612, 537,

//Calibración de fotoceldas
const int sensorPin0 = A8; // pin de la fotocelda 1
const int sensorPin1 = A9; // pin de la fotocelda 2

const int sensorPin2 = A10; // pin de la fotocelda 3
const int sensorPin3 = A11; // pin de la fotocelda 4

//Declaración de las fotoceldas
int Fotocelda0 = 0;
int Fotocelda1 = 0;

int Fotocelda2=0;
int Fotocelda3=0;

// definir máximos y mínimos de las fotoceldas para la calibración en el
encendido del sistema
int Fotomin0 = 1023; // minimum sensor value
int Fotomax0 = 0; // maximum sensor value
int Fotomin1 = 1023; // minimum sensor value
int Fotomax1 = 0; // maximum sensor value

int Fotomin2 = 1023; // minimum sensor value
int Fotomax2 = 0; // maximum sensor value
int Fotomin3 = 1023; // minimum sensor value
int Fotomax3 = 0; // maximum sensor value

```

```

// Declaración de potenciómetros

int potenciometro1; //potenciometro altura solar panel con fotoceldas
int potenciometro2; //potenciometro altura solar panel sin fotoceldas
int potenciometro3; //potenciometro azimuth solar panel con fotoceldas
int potenciometro4; //potenciometro azimuth solar panel sin fotoceldas

//Declaración de errores
int errorfoto; //error panel con fotoceldas altura solar
int error2; //error
int errorprev=0; //error anterior en el eje azimuth panel con fotoceldas .
int sentido=2; // sentido de giro predeterminado del azimuth para el panel
con fotoceldas

//declaración de variables para el manejo de horas
int hour;
double horatot;
int minute;
int second;
int month;
int dayOfWeek;
int dayOfMonth;
int year;
int diasmes[12] = {31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31};

int diaprev; //dia anterior al actual

// declaración de variables para el cálculo de la posición del sol por ec
uaciones
double
tetaz, decli, hora, dia, azimuth, durdi, horas, minutos, alfa, durdia, alfaleje;
double latitud=0.12; //para bucaramanga

//Configurar pines digitales para pantalla lcd.
LiquidCrystal lcd(30, 31, 33, 35, 37, 39);

//Respecto a la función del DS1307:

// Convierte números normales decimales a BCD (binario decimal codificado
)
byte decToBcd(byte val)
{
    return ( (val/10*16) + (val%10) );
}

// Convierte BCD (binario decimal codificado) a números normales decimale
s
byte bcdToDec(byte val)

```

```

{
    return ( (val/16*10) + (val%16) );
}

//Relativo al manejo del DS1307

void setDateDs1307(byte second,          // 0-59
                  byte minute,          // 0-59
                  byte hour,            // 1-23
                  byte dayOfWeek,       // 1-7
                  byte dayOfMonth,      // 1-28/29/30/31
                  byte month,           // 1-12
                  byte year)            // 0-99
{
    Wire.beginTransaction(DS1307_I2C_ADDRESS);
    Wire.send(0);
    Wire.send(decToBcd(second));        // 0 a bit 7 inicia el reloj
    Wire.send(decToBcd(minute));
    Wire.send(decToBcd(hour));

    Wire.send(decToBcd(dayOfWeek));
    Wire.send(decToBcd(dayOfMonth));
    Wire.send(decToBcd(month));
    Wire.send(decToBcd(year));
    Wire.endTransmission();
}

// Establece la fecha y el tiempo del ds1307
void getDateDs1307(byte *second,
                  byte *minute,
                  byte *hour,
                  byte *dayOfWeek,
                  byte *dayOfMonth,
                  byte *month,
                  byte *year)
{
    // Resetea el registro puntero
    Wire.beginTransaction(DS1307_I2C_ADDRESS);
    Wire.send(0);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(DS1307_I2C_ADDRESS, 7);

    *second      = bcdToDec(Wire.receive() & 0x7f);
    *minute      = bcdToDec(Wire.receive());
    *hour        = bcdToDec(Wire.receive() & 0x3f);
    *dayOfWeek   = bcdToDec(Wire.receive());
    *dayOfMonth  = bcdToDec(Wire.receive());
    *month       = bcdToDec(Wire.receive());
    *year        = bcdToDec(Wire.receive());
}

```

```

//Iniciar Setup de el programa.

void setup() {
  byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  // Configurar la iniciación de la pantalla lcd.
  lcd.begin(16, 2);
  // pin de led indicador de toma de datos en modo salida
  pinMode(leddatos, OUTPUT);
  // iniciar el pin 51 como entrada digital:
  pinMode(botondatos, INPUT);

  // Iniciar el pin de modo como entrada:
  pinMode(botonmodo, INPUT);

  // Calibración:
  //analogWrite pone en movimiento el panel en el eje deseado y sentido
deseado para capturar valores de las fotoceldas.

  // calibracion de fotoceldas: altura solar:

  // Conseguir un punto de inicio:
  potenciometrol=analogRead(A0);
while (potenciometrol > 270)

{
  analogWrite(8, 0);

delay(1);
  analogWrite(9, 250);
  delay(10);
  analogWrite(9, 0);
  delay(20);
  potenciometrol=analogRead(A0);
}
  analogWrite(9, 0);

//calibracion desde un punto de inicio extremo al otro
potenciometrol=analogRead(A0);
while (potenciometrol < 850)
{

delay(1);
  analogWrite(8, 250);

  Fotocelda0 = analogRead(sensorPin0);

  // graba el máximo valor del sensor
  if (Fotocelda0 > Fotomax0) {

```

```

    Fotomax0 = Fotocelda0;
}

// graba el mínimo valor del sensor
if (Fotocelda0 < Fotomin0) {
    Fotomin0 = Fotocelda0;
}

    Fotocelda1 = analogRead(sensorPin1);

// graba el máximo valor del sensor
if (Fotocelda1 > Fotomax1) {
    Fotomax1 = Fotocelda1;
}

// graba el mínimo valor del sensor
if (Fotocelda1 < Fotomin1) {
    Fotomin1 = Fotocelda1;
}
    delay(10);
    analogWrite(8, 0);
delay(15);

potenciometro1=analogRead(A0);
}

//Ubica el panel en la mitad de su recorrido
while (potenciometro1 > 650)

{
    analogWrite(8, 0);

delay(1);
    analogWrite(9, 250);
    delay(10);
    analogWrite(9, 0);
    delay(20);
    potenciometro1=analogRead(A0);
}

    analogWrite(9, 0);
    analogWrite(8, 0);

//Calibración de fotoceldas: azimut.

//Ubicar el panel en un extremo del recorrido

    potenciometro3=analogRead(A2);
while (potenciometro3 > 200)

```

```

{
  analogWrite(4, 0);

delay(1);
  analogWrite(5, 200);
  delay(20);
  analogWrite(5, 0);
  delay(10);
  potenciometro3=analogRead(A2);
}
  analogWrite(5, 0);

//Empezar calibración
potenciometro3=analogRead(A2);
while (potenciometro3 < 700)
{

delay(1);
  analogWrite(4, 200);

  Fotocelda2 = analogRead(sensorPin2);

// graba el máximo valor del sensor
  if (Fotocelda2 > Fotomax2) {
    Fotomax2 = Fotocelda2;
  }

  // graba el mínimo valor del sensor
  if (Fotocelda2 < Fotomin2) {
    Fotomin2 = Fotocelda2;
  }

  Fotocelda3 = analogRead(sensorPin3);

// graba el máximo valor del sensor
  if (Fotocelda3 > Fotomax3) {
    Fotomax3 = Fotocelda3;
  }

  // graba el mínimo valor del sensor
  if (Fotocelda3 < Fotomin3) {
    Fotomin3 = Fotocelda3;
  }
  delay(10);
  analogWrite(4, 0);
delay(15);

```

```

potenciometro3=analogRead(A2);
}

//Ubicar el panel en aproximadamente la mitad del recorrido.
while (potenciometro3 > 540)

{
  analogWrite(4, 0);

  delay(1);
  analogWrite(5, 200);
  delay(10);
  analogWrite(5, 0);
  delay(20);
  potenciometro3=analogRead(A2);
}

analogWrite(5, 0);
  analogWrite(4, 0);

//Finaliza el setup.

}

void loop() {

//Capturar hora, minutos y segundos del DS1307

byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;

  getDateDs1307(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month,
&year);

// Calcular día juliano
dia=0;
for (int i=1; i <= month-1; i++){
  dia=dia+diasmes[i];
}
}

```

```

dia=dia+dayOfMonth;

//Calcular la declinación
decli=asin(.4*sin(6.283/365*(dia-82)));

// Calcular hora en fracción
minutos=minute;
horas=hour+minutos/60;

//Calculo de ángulos para el posicionamiento por ecuaciones
hora=(12-horas)*3.1416/12;
tetaz=acos(sin(decli)*sin(latitud)+cos(decli)*cos(latitud)*cos(hora));
alfa=1.5707-tetaz;
alfaleje=1.5707-acos(cos(latitud)*cos(hora));
azimut=acos((sin(alfa)*sin(latitud)-
sin(decli))/(cos(alfa)*cos(latitud)));
//Azimut negativo para horas de la tarde
if (hora < 0)
{
azimut=-azimut;
}

//Establecer azimut para el paso de 180 a -180 entre Marzo y Septiembre
azimutoriginal=azimut;
if (azimut<=-90 && azimut>=-180)
{
azimut=360+azimut;
}

// Leer el estado del boton de modo
estadobotonmodo = digitalRead(botonmodo);

// comparar el estado actual del boton con el estado previo
if (estadobotonmodo!=previoestadobotonmodo) {
// si el estado cambió a alto, incrementar el contador
if (estadobotonmodo == HIGH) {
delay(10);
estadobotonmodo = digitalRead(botonmodo);
//aseguramiento que esté oprimido el botón
if (estadobotonmodo == HIGH)
{contadorpulsosbotonmodo++;
}
}
}

}

//guardar el estado actual del boton como estado previo para el próximo ciclo

```

```

    previoestadobotonmodo = estadobotonmodo;
//devolver el modo del boton
    if (contadorpulsosbotonmodo > 3) {
        contadorpulsosbotonmodo=1;
    }

modo=contadorpulsosbotonmodo;

// Operar según el modo

switch (modo) {
//CASO 1: PANEL 1 AZIMUT FIJO EN 90° Y ALTURA SOLAR POR FOTOCELDA, PAN
EL 2 ALTURA SOLAR POR ECUACIONES Y AZIMUT FIJO EN 90°
    case 1:

//posicionamiento al este de los paneles, azimut de 90°

//azimut en el panel 1

azimutp1=90;

//Establecer un contador para hallar los puntos cercanos en los vectores
de caracterización de los potenciometros
contadorpotenciometro=13;

//Hallar los puntos caracterizados mas cercanos
potenciometro3 = analogRead(A2)+deltapot3;
    while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro3)
    {
        contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
    }

//Hacer un map para pasar la lectura del potenciómetro a grados usando la
caracterización.
potenciometro3=map(potenciometro3,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
, ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro+1]);
//Establecer el error
error2=-azimutp1+potenciometro3;

//control, valida que el error sea significativo y que la hora sea entre
las 6 a y las 6 pm

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(5, 0);
salida=error2*gananciaa;
if (salida>maximo2)
{

```

```

    salida=maximo2;
  }
  delay(1);
  analogWrite(4, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(4, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
  error2=abs(error2);
  salida=error2*gananciaa;
analogWrite(4, 0);
  if (salida>maximo2)
  {
    salida=maximo2;
  }
}
delay(1);
  analogWrite(5, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(5, 0);
}
}

//azimut en el panel 2, azimut 0

azimutp2=90;

contadorpotenciometro=13;

potenciometro4 = analogRead(A3)+deltapot4;
  while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro4)
  {
    contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
  }
potenciometro4=map(potenciometro4,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
, ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro+1]);
error2=-azimutp2+potenciometro4;
//control

if(abs(error2)>1 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

if (error2>0)
{
  //manecillas del reloj
  analogWrite(7, 0);

```

```

salida=error2*gananciaa;
if (salida>maximo2)
{
  salida=maximo2;
}
delay(1);
analogWrite(6, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(6, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
  error2=abs(error2);
  salida=error2*gananciaa;
analogWrite(6, 0);
  if (salida>maximo2)
  {
    salida=maximo2;
  }
delay(1);
  analogWrite(7, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(7, 0);
}
}

```

```

//Altura solar del panel 2

```

```

//Establecer el angulo de altura solar proveniente de las ecuaciones como s
etpoint.

```

```

setpoint2=90-alfaleje*180/3.1416;
//Establecer altura solar para horas de la tarde como negativa.
if (hora < 0)
{
  setpoint2=-setpoint2;
}

```

```

contadorpotenciometro=13;

```

```

potenciometro2 = analogRead(A1)+deltapot2;
  while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro2)
  {
    contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
  }
potenciometro2=map(potenciometro2,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
,
  ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],

```

```

potenciometrogrados[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro+1]);
error2=setpoint2-potenciometro2;
  //panel 2

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(11, 0);
salida=error2*gananciae;
if (salida>maximo)
{
  salida=maximo;
}
delay(1);
  analogWrite(10, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(10, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
  error2=abs(error2);
  salida=error2*gananciae;
analogWrite(10, 0);
  if (salida>maximo)
  {
    salida=maximo;
  }
delay(1);
  analogWrite(11, salida);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(11, 0);
}

}

//Control del panel con fotoceldas en altura solar

//Leer las fotoceldas
Fotocelda0 = analogRead(sensorPin0);
  Fotocelda1 = analogRead(sensorPin1);

  // Aplicar la calibración
Fotocelda1 = map(Fotocelda1, Fotomin1, Fotomax1,Fotomin0, Fotomax0);
//Establecer error
errorfoto=Fotocelda1-Fotocelda0;

//Leer potenciómetro
potenciometrol=analogRead(A0)+deltapot1;
//Evaluar si la condiciones aplican para control

```

```

if (potenciometrol > 210 && potenciometrol < 890 && abs(errorfoto) > 4)
{
  //Control
  if (errorfoto < 0)
  {
    analogWrite(8, 0);

    delay(1);
    analogWrite(9, 190);
    delay(tiempopulso/3);
    analogWrite(9, 0);
  }
  else
  {
    analogWrite(9, 0);

    delay(1);
    analogWrite(8, 190);
    delay(tiempopulso/3);
    analogWrite(8, 0);
  }
}

// Rectificar rango de operacion del panel, para que no intente moverse m
as alla de sus límites

if (potenciometrol < 210 )
{
  delay(1);
  analogWrite(8, 180);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(8, 0);
}

if (potenciometrol > 890 )
{
  delay(1);
  analogWrite(9, 180);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(9, 0);
}

break;

```

```
//CASO 2: PANEL 1 AZIMUT FIJO EN 90° Y ALTURA SOLAR POR ECUACIONES, PAN  
EL 2 ALTURA SOLAR Y AZIMUT POR ECUACIONES  
case 2:
```

```
//azimut en el panel 1
```

```
azimutpl=90;
```

```
contadorpotenciometro=13;
```

```
potenciometro3 = analogRead(A2)+deltapot3;  
while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro3)  
{  
  contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;  
}  
potenciometro3=map(potenciometro3,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome  
tro] , ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],  
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro],  
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro+1]);  
error2=-azimutpl+potenciometro3;  
//control  
  
if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))  
{  
  
if (error2>0)  
{  
  //manecillas del reloj  
  analogWrite(5, 0);  
  salida=error2*gananciaa;  
  if (salida>maximo2)  
  {  
    salida=maximo2;  
  }  
  delay(1);  
  analogWrite(4, salida);  
  delay(tiempopulso);  
  analogWrite(4, 0);  
}  
  //contra manecillas del reloj  
else
```

```

    {
      error2=abs(error2);
      salida=error2*gananciaa;
      analogWrite(4, 0);
      if (salida>maximo2)
      {
        salida=maximo2;
      }
      delay(1);
      analogWrite(5, salida);
      delay(tiempopulso);
      analogWrite(5, 0);
    }
  }

```

```
//azimut en el panel 2
```

```
azimutp2=azimut*180/3.1416;
```

```
contadorpotenciometro=13;
```

```

potenciometro4 = analogRead(A3)+deltapot4;
while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro4)
{
  contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
}
potenciometro4=map(potenciometro4,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
, ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro+1]);
error2=-azimutp2+potenciometro4;
//control

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(7, 0);
salida=error2*gananciaa;
if (salida>maximo2)
{
  salida=maximo2;
}
}
}

```

```

    delay(1);
    analogWrite(6, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(6, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
    error2=abs(error2);
    salida=error2*gananciaa;
analogWrite(6, 0);
    if (salida>maximo2)
    {
        salida=maximo2;
    }
}
delay(1);
    analogWrite(7, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(7, 0);
}
}

//Altura solar en el panel 1

setpoint2=90-alfaleje*180/3.1416;
if (hora < 0)
{
    setpoint2=-setpoint2;
}

contadorpotenciometro=13;

potenciometrol = analogRead(A0)+deltapotl;
while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometrol)
{
    contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
}
potenciometrol=map(potenciometrol,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
, ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro+1]);
error2=-setpoint2+potenciometrol;
//panel 2

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

```

```

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(9, 0);
salida=error2*gananciae;
if (salida>maximo)
{
salida=maximo;
}
delay(1);
analogWrite(8, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(8, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
error2=abs(error2);
salida=error2*gananciae;
analogWrite(8, 0);
if (salida>maximo)
{
salida=maximo;
}
delay(1);
analogWrite(9, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(9, 0);
}
}

//Altura solar en el panel 2
setpoint2=90-alfa*180/3.1416;

contadorpotenciometro=13;

potenciometro2 = analogRead(A1)+deltapot2;
while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro2)
{
contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
}
potenciometro2=map(potenciometro2,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro] , ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro+1]);
error2=setpoint2-potenciometro2;
//panel 2

```

```

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{
  if (error2>0)
  {
    //manecillas del reloj
    analogWrite(11, 0);
    salida=error2*gananciae;
    if (salida>maximo)
    {
      salida=maximo;
    }
    delay(1);
    analogWrite(10, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(10, 0);
  }
  //contra manecillas del reloj
  else
  {
    error2=abs(error2);
    salida=error2*gananciae;
    analogWrite(10, 0);
    if (salida>maximo)
    {
      salida=maximo;
    }
    delay(1);
    analogWrite(11, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(11, 0);
  }
}

```

```
break;
```

```
//CASO 3: PANEL 1 AZIMUT Y ALTURA SOLAR POR FOTOCELDAS, PANEL 2 ALTURA SOLAR Y AZIMUT POR ECUACIONES
```

```
case 3:
```

```
//alinear panel con azimut en 0, para establecer un punto de inicio antes del control
```

```
if (modoprev==2 && modo==3)
```

```
{
potenciometro3=analogRead(A2)+deltapot3;

```

```

error2=-potenciometro3+574;

while (abs(error2)>20)
{

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(5, 0);
salida=error2*gananciaa;
if (salida>maximo2)
{
salida=maximo2;
}
delay(1);
analogWrite(4, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(4, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
error2=abs(error2);
salida=error2*gananciaa;
analogWrite(4, 0);
if (salida>maximo2)
{
salida=maximo2;
}
delay(1);
analogWrite(5, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(5, 0);
}

potenciometro3=analogRead(A2)+deltapot3;
error2=-potenciometro3+574;
}

}
//Control
//azimut en el panel 1

//Leer las fotoceldas
Fotocelda2 = analogRead(sensorPin2);
Fotocelda3 = analogRead(sensorPin3);

Fotocelda3 = map(Fotocelda3, Fotomin3, Fotomax3,Fotomin2, Fotomax2);

errorfoto=Fotocelda3-Fotocelda2;

```

```

potenciometro3=analogRead(A2)+deltapot3;

if (potenciometro3 > 160 && potenciometro3 < 890 && abs(errorfoto)>9)
{
if (errorfoto<0)

{
    analogWrite(4, 0);

    delay(1);
    analogWrite(5, maximo2);
    delay(tiempopulso/4);
    analogWrite(5, 0);
}
else
{
    analogWrite(5, 0);

    delay(1);
    analogWrite(4, maximo2);
    delay(tiempopulso/4);
    analogWrite(4, 0);
}
}

// Rectificar rango de operacion del panel con fotoceldas (azimut)

if (potenciometro3 < 160 )
{
    delay(1);
    analogWrite(4, 250);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(4, 0);
}

if (potenciometro3 > 890 )
{
    delay(1);
    analogWrite(5, 250);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(5, 0);
}

//azimut en el panel 2
azimutp2=azimut*180/3.1416;

```

```
contadorpotenciometro=13;
```

```
potenciometro4 = analogRead(A3)+deltapot4;
  while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro4)
  {
    contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
  }
potenciometro4=map(potenciometro4,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro] , ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados2[contadorpotenciometro+1]);
error2=-azimutp2+potenciometro4;
//control

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{
  if (error2>0)
  {
    //manecillas del reloj
    analogWrite(7, 0);
    salida=error2*gananciaa;
    if (salida>maximo2)
    {
      salida=maximo2;
    }
    delay(1);
    analogWrite(6, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(6, 0);
  }
  //contra manecillas del reloj
  else
  {
    error2=abs(error2);
    salida=error2*gananciaa;
    analogWrite(6, 0);
    if (salida>maximo2)
    {
      salida=maximo2;
    }
    delay(1);
    analogWrite(7, salida);
    delay(tiempopulso);
    analogWrite(7, 0);
  }
}
}
```

```
// control con fotoceldas panel 1 altura solar
```

```

Fotocelda0 = analogRead(sensorPin0);
Fotocelda1 = analogRead(sensorPin1);
  // apply the calibration to the sensor reading
Fotocelda1 = map(Fotocelda1, Fotomin1, Fotomax1, Fotomin0, Fotomax0);

errorfoto=Fotocelda1-Fotocelda0;
potenciometrol=analogRead(A0)+deltapot1;

if (potenciometrol> 210 && potenciometrol<920 && abs(errorfoto)>4)
{
  if (errorfoto<0)

  {
    analogWrite(8, 0);

    delay(1);
    analogWrite(9, 190);
    delay(tiempopulso/3);
    analogWrite(9, 0);
  }
  else
  {
    analogWrite(9, 0);

    delay(1);
    analogWrite(8, 190);
    delay(tiempopulso/3);
    analogWrite(8, 0);
  }
}

// Rectificar rango de operacion del panel on fotoceldas

if (potenciometrol < 210 )
{
  delay(1);
  analogWrite(8, 180);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(8, 0);
}

if (potenciometrol > 890 )
{
  delay(1);
  analogWrite(9, 180);
  delay(tiempopulso);
  analogWrite(9, 0);
}

```

```

//altura solar en el panel 2

setpoint2=90-alfa*180/3.1416;

contadorpotenciometro=13;

potenciometro2 = analogRead(A1)+deltapot2;
  while (ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro] < potenciometro2)
  {
    contadorpotenciometro= contadorpotenciometro-1;
  }
potenciometro2=map(potenciometro2,ponteciometrovoltaje[contadorpotenciome
tro]
,
ponteciometrovoltaje[contadorpotenciometro+1],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro],
potenciometrogrados[contadorpotenciometro+1]);
error2=setpoint2-potenciometro2;
//panel 2

if(abs(error2)>2 && 6*3.1416/12 > abs(hora))
{

if (error2>0)
{
//manecillas del reloj
analogWrite(11, 0);
salida=error2*gananciae;
if (salida>maximo)
{
salida=maximo;
}
delay(1);
analogWrite(10, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(10, 0);
}
//contra manecillas del reloj
else
{
error2=abs(error2);
salida=error2*gananciae;
analogWrite(10, 0);
if (salida>maximo)
{
salida=maximo;
}
}
delay(1);
analogWrite(11, salida);
delay(tiempopulso);
analogWrite(11, 0);
}
}

```

```

    }

    break;

}

// Recolección de datos de los paneles

panel1 = analogRead(A14);
panel2 = analogRead(A15);

//Pasar datos a Vatios
panel1=panel1*panel1/2950;
panel2=panel2*panel2/2950;
//Hora en decimal
horatot=hora+minutos/60;
//Leer el estado de captura para saber si se escriben los datos
estadocaptura = digitalRead(botondatos);

segundosop=millis()/1000;

// Entrar a la fase de escritura en la memoria EEPROM si se cumplen las c
ondiciones
if (6*3.1416/12 > abs(hora)  && estadocaptura == HIGH)
{
//Reiniciar el contador de datos si el día varía
if (diaprev != dia)
    {contadordatos=0;
    muestreoprevio=segundosop-tiempomuestreo;

    }
//Escribir datos cada vez que pasa un intervalo de tiempo de muestreo
if (segundosop>=(muestreoprevio+tiempomuestreo))
{
    muestreoprevio=segundosop;
//Promediar las lecturas de los paneles.
    panel1prom= ((panel1prom*contadordatos+panel1)/(contadordatos+1));
    panel2prom= ((panel2prom*contadordatos+panel2)/(contadordatos+1));
//Escribir los promedios en la memoria EEPROM, se guarda el valor multipl
icando por diez ya que los datos que se almacenan en la EEPROM solo van d
e 0 a 255.
//Se escribe en el espacio de la memoria EEPROM correspondiente al día par
a el panel 1, para el panel 2 se escribe en el espacio correspondiente al
día mas 365.
    EEPROM.write(dia, panel1prom*10);
    EEPROM.write(dia+365, panel2prom*10);
//Escribir lecturas de los paneles de cada intervalo de tiempo, por si se
desea consultar después

    EEPROM.write((contadordatos+1000), panel1);

```

```

EEPROM.write((contadordatos+2000), panel2);

//Actualizar las variables para la escritura
diaprev=dia;
contadordatos=contadordatos+1;

//Iluminar led de toma de datos, en la placa del arduino
    digitalWrite(leddatos, HIGH);

}
else
//apagar led de datos
{
digitalWrite(leddatos, LOW);
}

}

else {
//Mantener apagado el led de datos si la hora no es de día
    digitalWrite(leddatos, LOW);
}

}

//Mostrar datos en pantalla lcd cada 6 segundos diversos datos.
if ((second % 6 ==0) && (segundosprev!=second) )
{

    segundosprev=second;
    //limpiar la pantalla lcd
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("                ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("                ");
    // seleccionar que se va a mostrar
    switch (contadorlcd)

    {
        //MOSTAR HORA, MODO DE OPERACIÓN Y FECHA
        case 1:
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("Modo ");
            lcd.setCursor(5, 0);
            lcd.print(modos);

            lcd.setCursor(0, 1);

            if (hour < 10)
            {

                lcd.print("0");
                lcd.setCursor(1, 1);

```

```

lcd.print(hour, DEC);

}
else

{
lcd.print(hour, DEC);
}

    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(3, 1);
    if (minute < 10)
    {lcd.print("0");
    lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(minute, DEC);
}
else
{

lcd.print(minute, DEC);
}

    lcd.setCursor(6, 1);
    if (dayOfMonth < 10)
    {lcd.print("0");
    lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(dayOfMonth, DEC);
}
else
{
    lcd.print(dayOfMonth, DEC);
}

    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.print("-");
    lcd.setCursor(9, 1);
    if (month < 10)
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(month, DEC);
}
else
{
    lcd.print(month, DEC);
}

    lcd.setCursor(11, 1);

lcd.print("-");

    lcd.setCursor(12, 1);

```

```

    lcd.print("20");
    lcd.setCursor(14, 1);
    if (year < 10)
    {lcd.print("0");
    lcd.setCursor(15, 1);
    lcd.print(year, DEC);
    }
    else
    {
        lcd.print(year, DEC);
    }

    break;
    //MOSTRAR LECTURAS INSTANTANEAS DE LOS PANELES
    case 2:

        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("PNL1");
        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.print("PNL2");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("INST");
        lcd.setCursor(5, 1);
        lcd.print(panell, DEC);
        lcd.setCursor(10, 1);
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(11, 1);
        lcd.print(panel2, DEC);

        break;

        case 3:
        //MOSTRAR LOS PROMEDIOS DE LECTURA DE LOS PANELES
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("PNL1");
        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.print("PNL2");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("PROM");
        lcd.setCursor(5, 1);
        lcd.print(panellprom, DEC);
        lcd.setCursor(10, 1);
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(11, 1);
        lcd.print(panel2prom, DEC);

        break;
    }

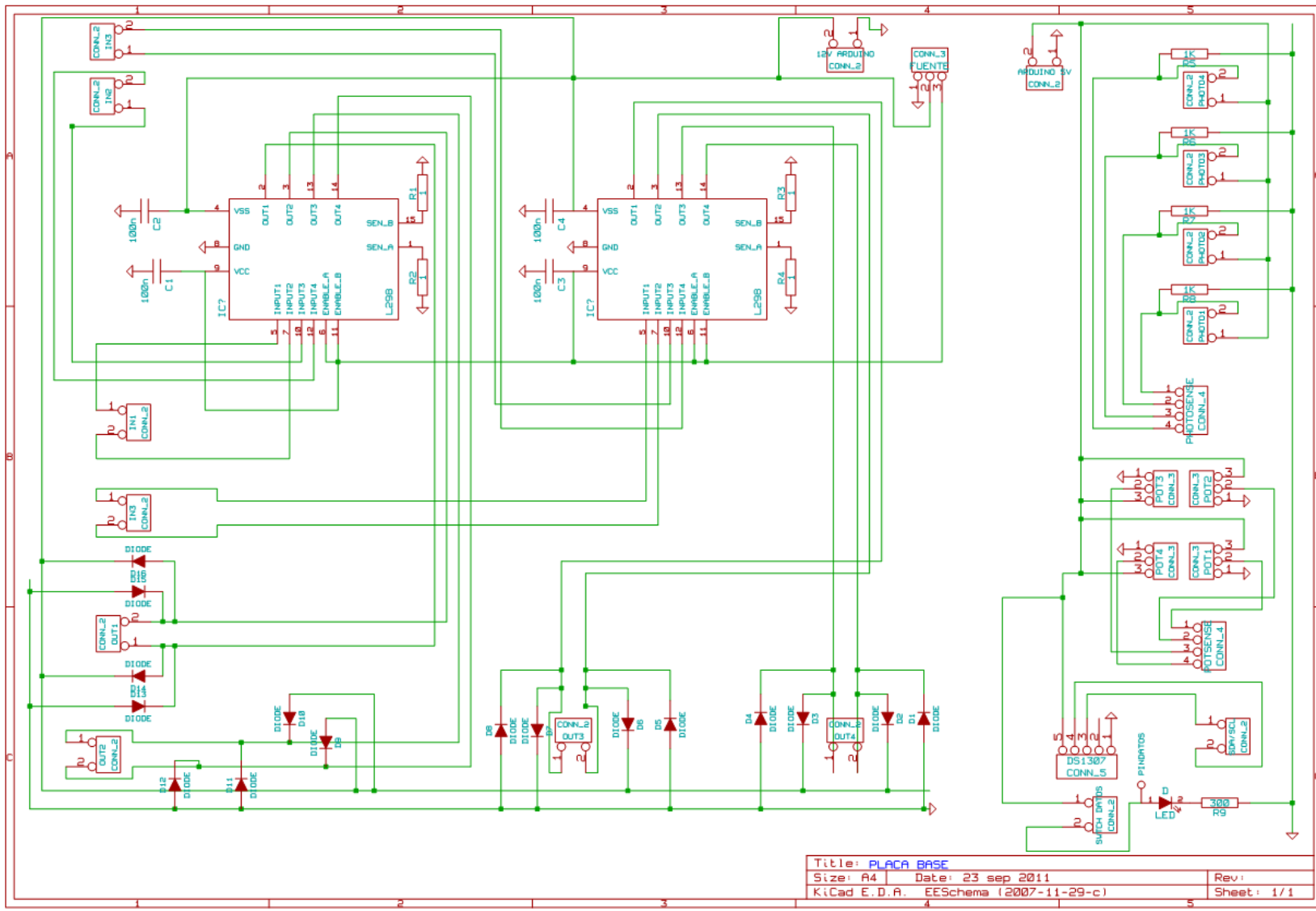
    //Sumar contador lcd para cambiar el display
    contadorlcd++;
}

```

```
// evitar que el contador lcd pase de 3
if (contadorlcd>3)
{
    contadorlcd=1;
}
//Modo previo de operación.
modoprev=modo;

}
```

Anexo E. PLANO ESQUEMÁTICO



Title: PLACA BASE		
Size: A4	Date: 23 sep 2011	Rev:
K:\Cad E.D.A. EESchema (2007-11-29-c)		Sheet: 1/1

Anexo F. DATASHEET PUENTE H L298N



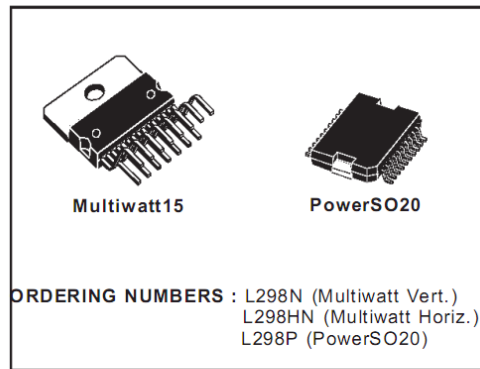
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

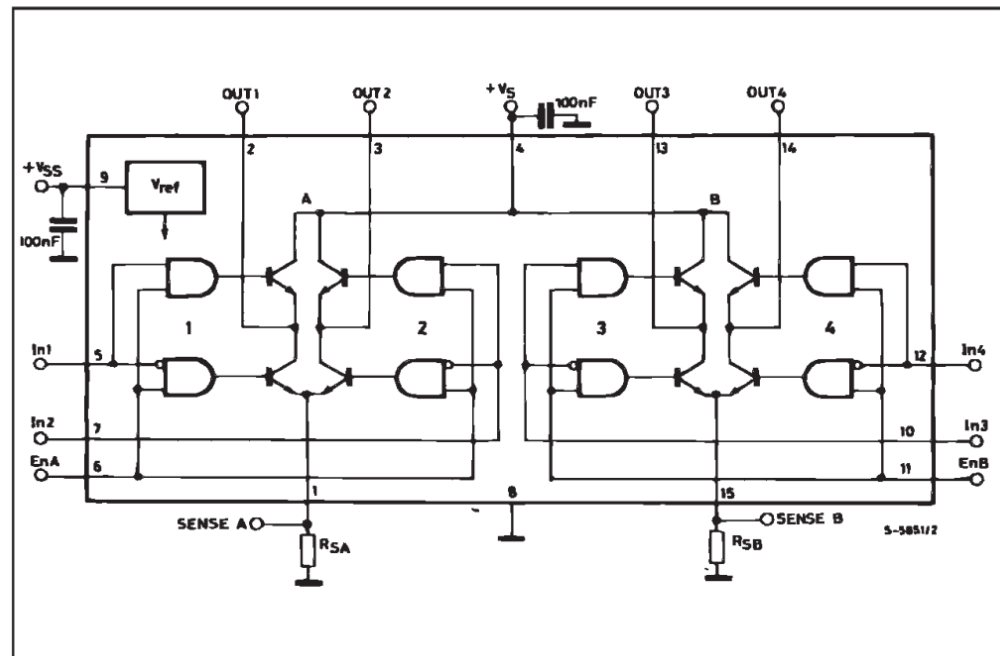
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

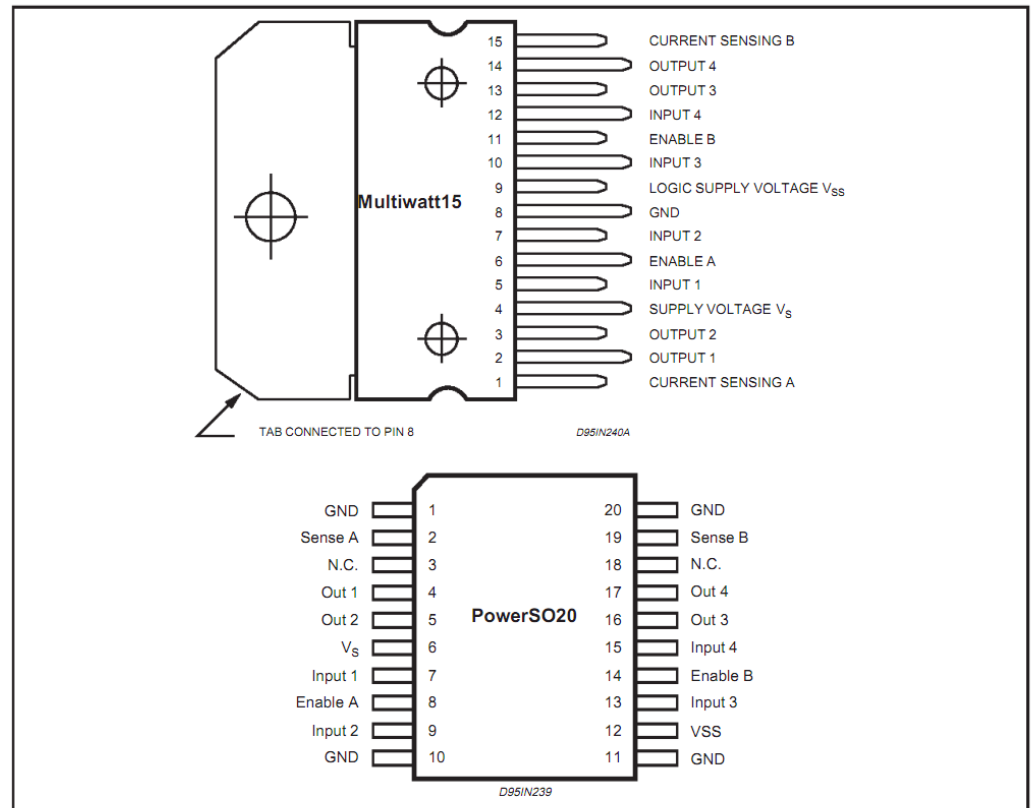


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	$^\circ C/W$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H V _{en} = L V _i = X		24 7	36 12	mA mA
					6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			–10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			–10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

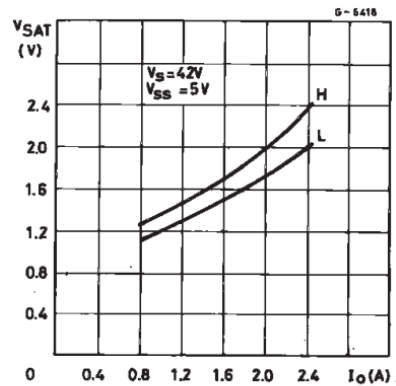
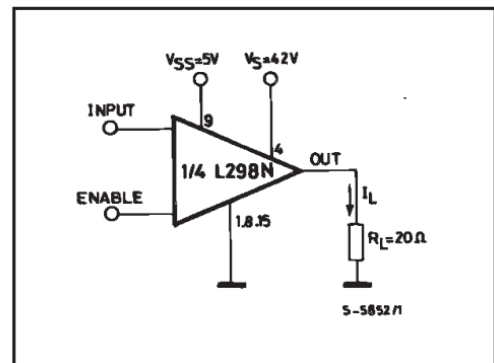


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

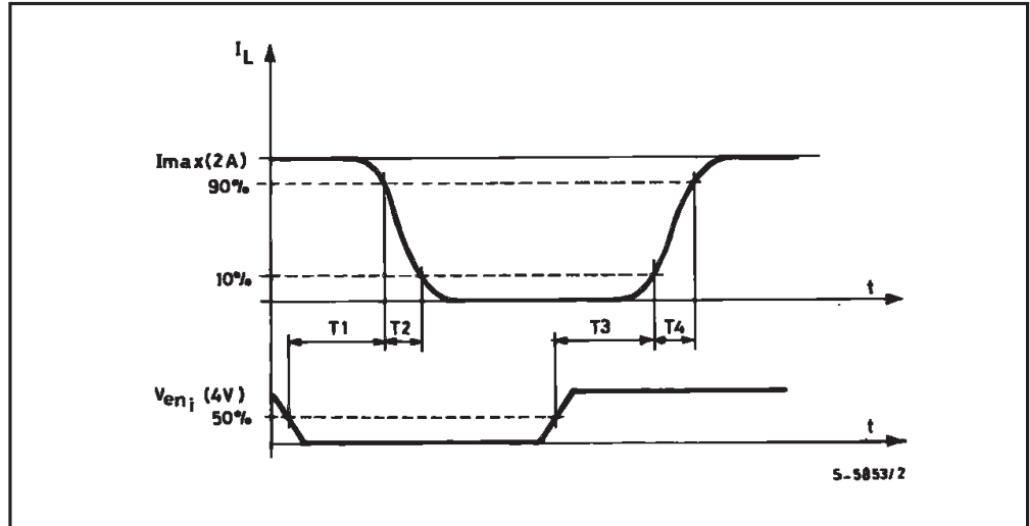
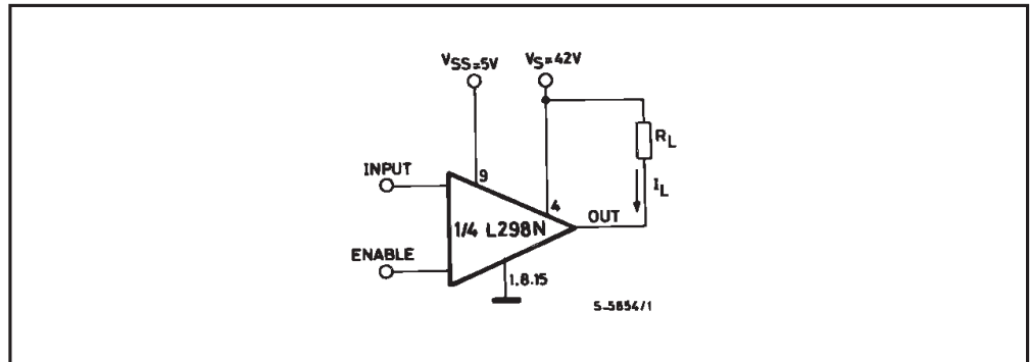


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = L

L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

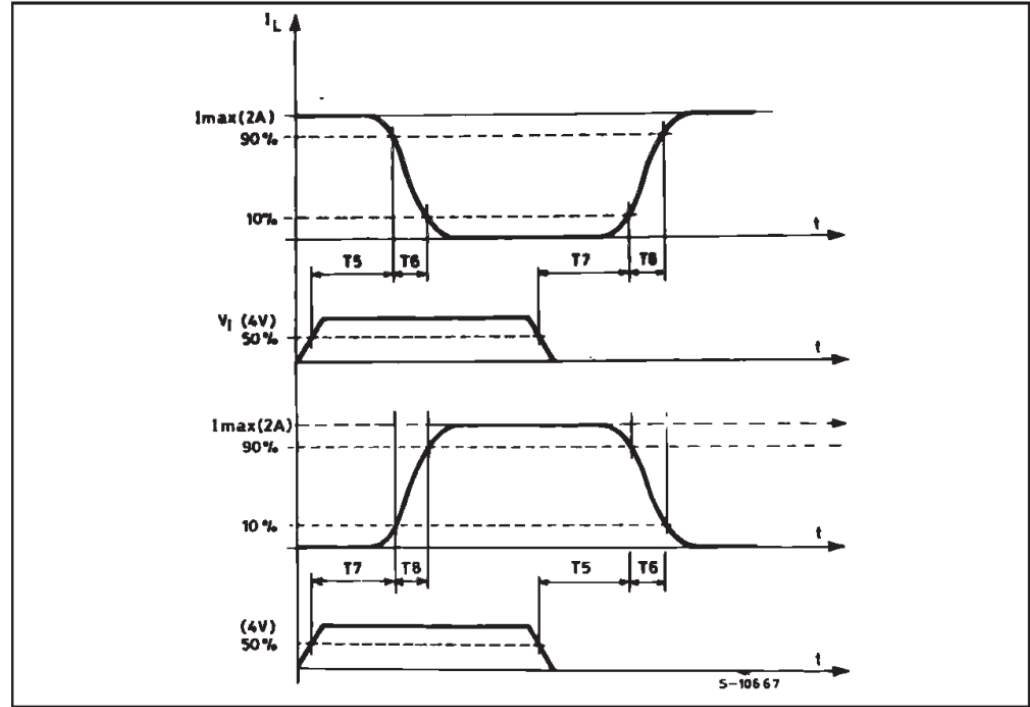


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

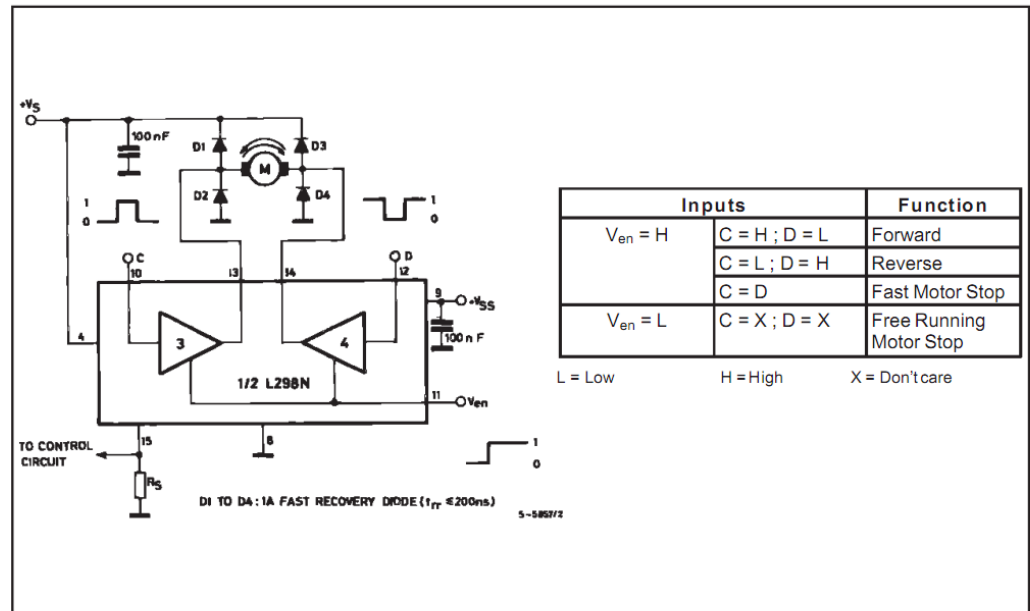
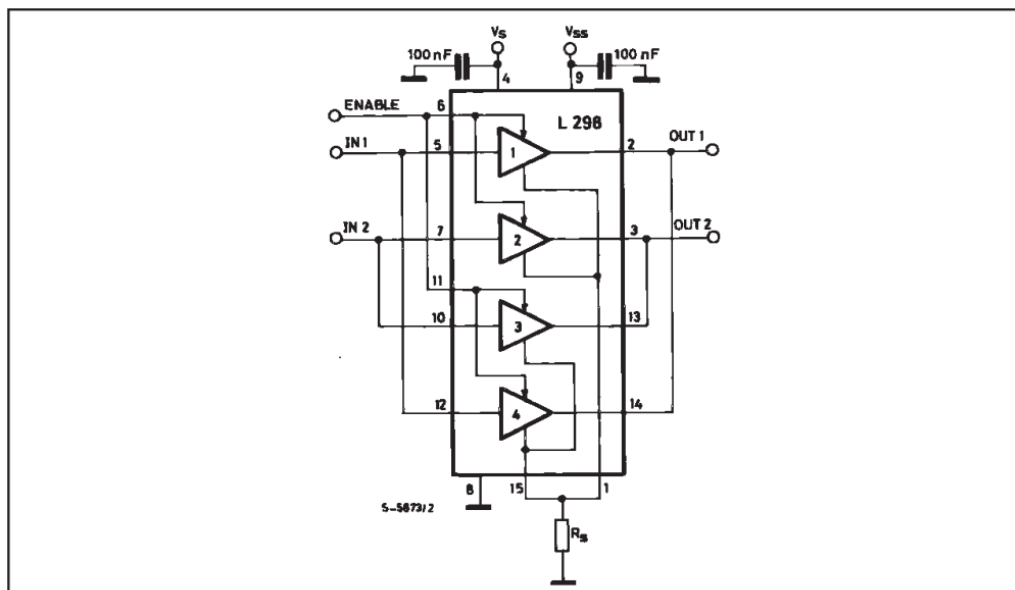


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $In1$; $In2$; EnA and $In3$; $In4$; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($tr \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

L298

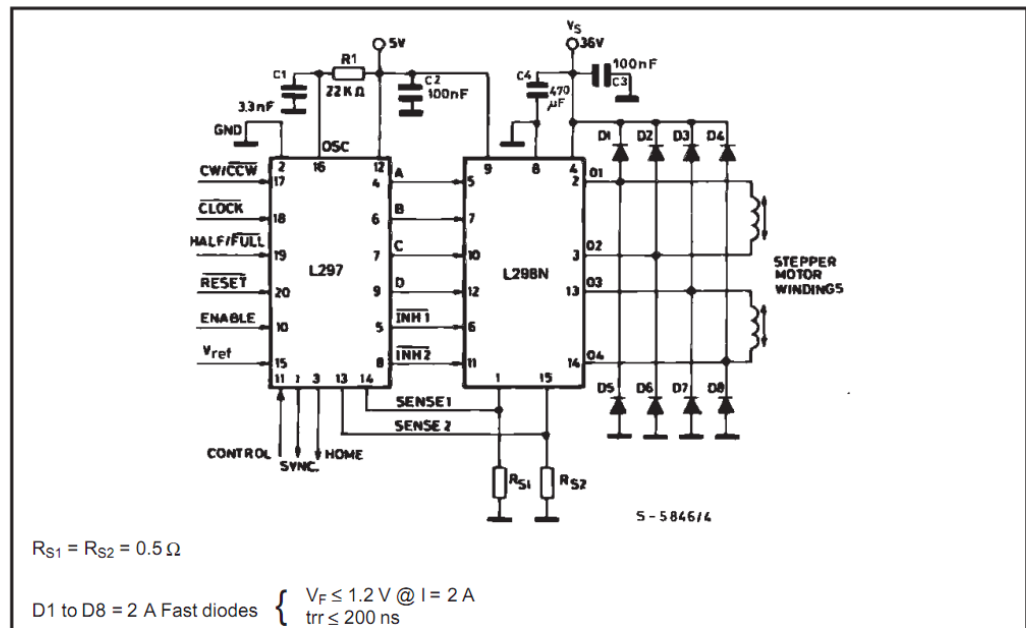
This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

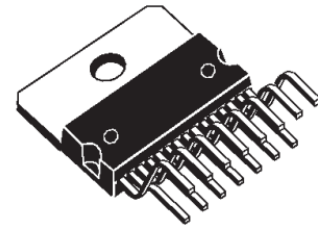
This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.



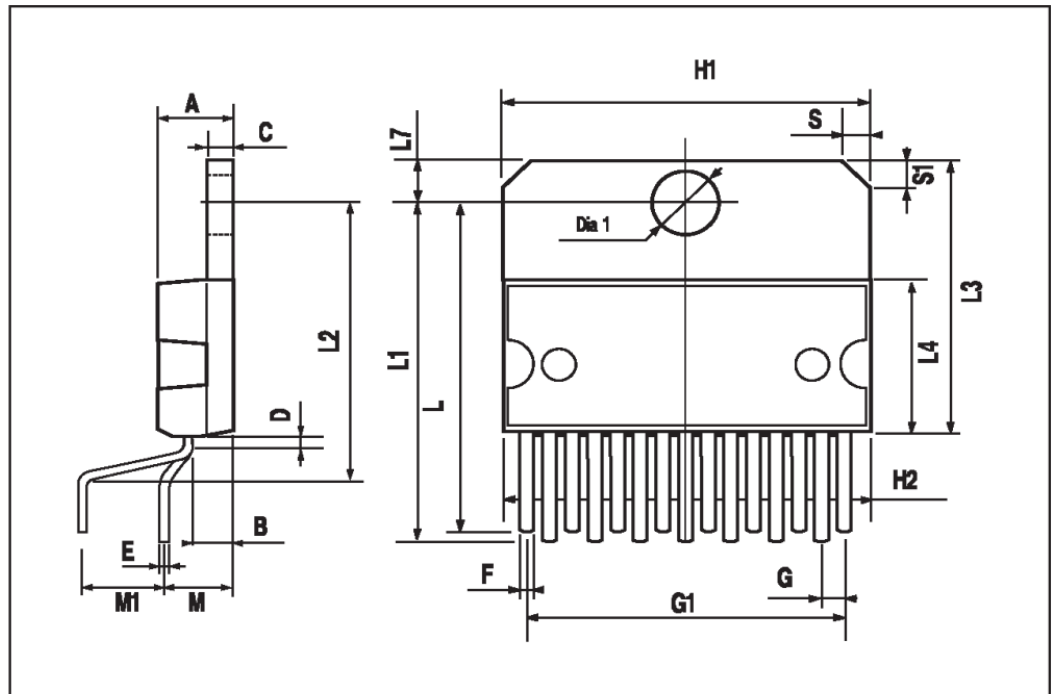
L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

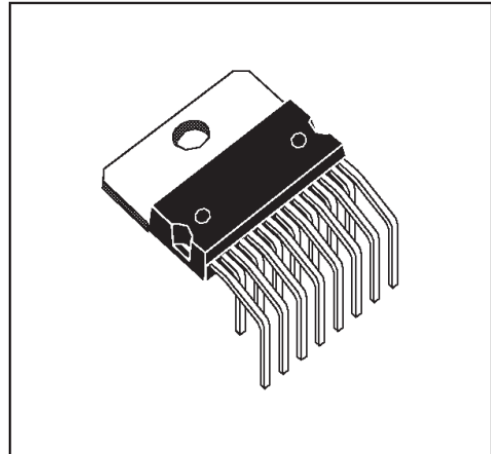


Multiwatt15 V

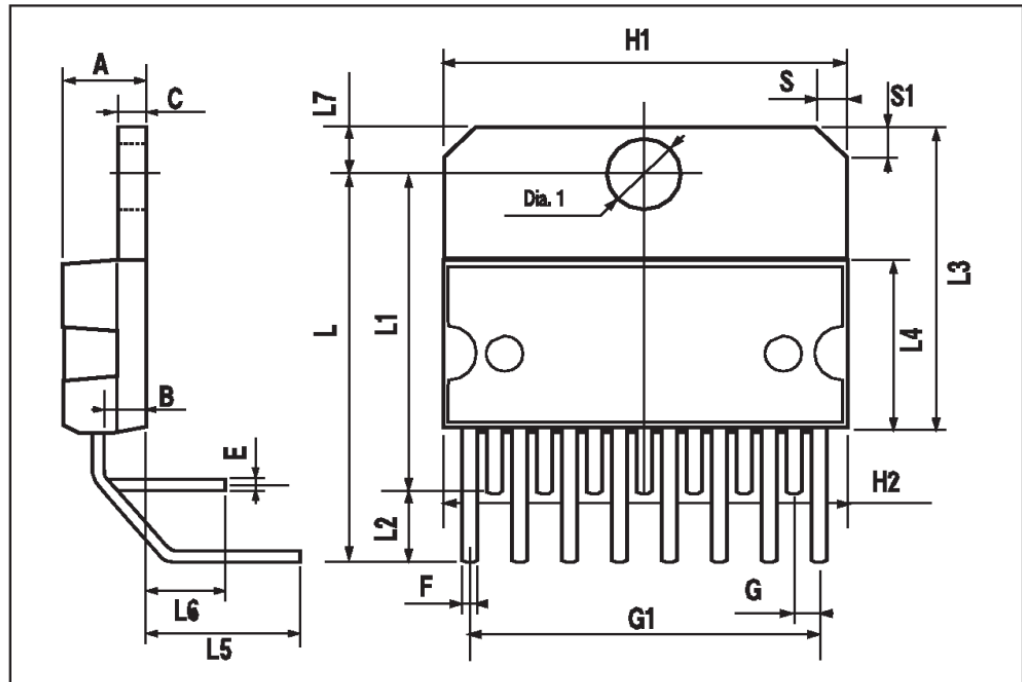


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H

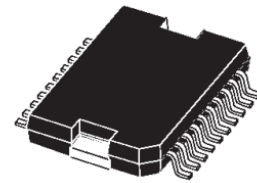


L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

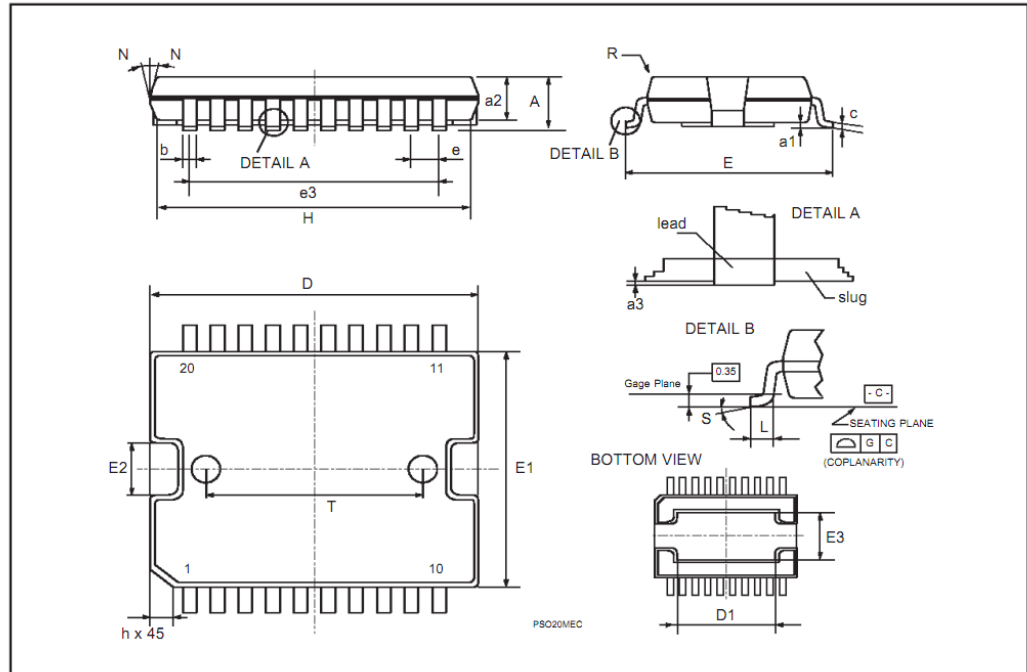
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.
<http://www.st.com>



Anexo G. DATASHEET RELOJ DE TIEMPO REAL DS1307

FEATURES

- Real-time clock (RTC) counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap-year compensation valid up to 2100
- 56-byte, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

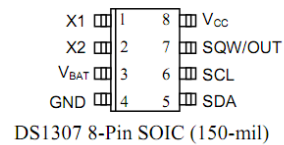
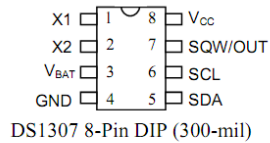
ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

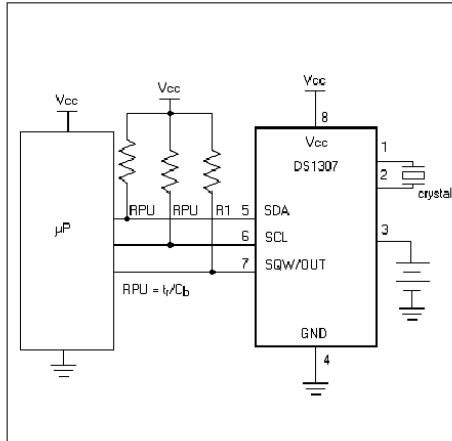
PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

V _{CC}	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Connection
V _{BAT}	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

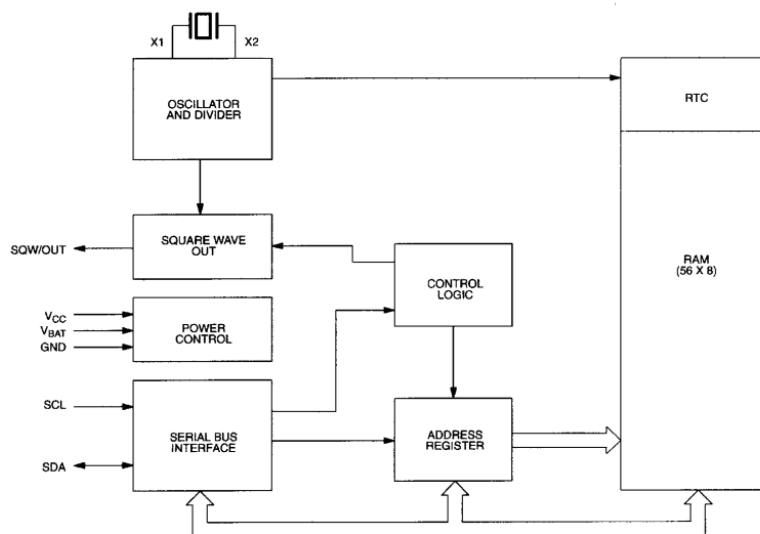
TYPICAL OPERATING CIRCUIT



OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V_{CC} falls below $1.25 \times V_{BAT}$ the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When V_{CC} falls below V_{BAT} the device switches into a low-current battery backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V_{CC} when V_{CC} is greater than $V_{BAT} + 0.2V$ and recognizes inputs when V_{CC} is greater than $1.25 \times V_{BAT}$. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



SIGNAL DESCRIPTIONS

V_{CC}, GND – DC power is provided to the device on these pins. V_{CC} is the +5V input. When 5V is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3V battery is connected to the device and V_{CC} is below 1.25 x V_{BAT}, reads and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V_{CC} falls below V_{BAT} the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at V_{BAT}.

V_{BAT} – Battery input for any standard 3V lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.0V and 3.5V for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V_{BAT} nominal. A lithium battery with 48mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at 25°C. UL recognized to ensure against reverse charging current when used in conjunction with a lithium battery.

See “Conditions of Acceptability” at <http://www.maxim-ic.com/TechSupport/OA/ntrl.htm>.

SCL (Serial Clock Input) – SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

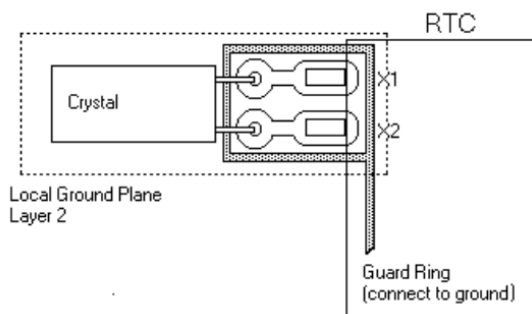
SDA (Serial Data Input/Output) – SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

SQW/OUT (Square Wave/Output Driver) – When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pull-up resistor. SQW/OUT will operate with either Vcc or Vbat applied.

X1, X2 – Connections for a standard 32.768kHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5pF.

For more information on crystal selection and crystal layout considerations, please consult Application Note 58, “Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks.” The DS1307 can also be driven by an external 32.768kHz oscillator. In this configuration, the X1 pin is connected to the external oscillator signal and the X2 pin is floated.

RECOMMENDED LAYOUT FOR CRYSTAL



CLOCK ACCURACY

The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. See Application Note 58, “Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks” for detailed information.

Please review Application Note 95, “Interfacing the DS1307 with a 8051-Compatible Microcontroller” for additional information.

RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multi-byte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

DS1307 ADDRESS MAP Figure 2

00H	SECONDS
	MINUTES
	HOURS
	DAY
	DATE
	MONTH
	YEAR
07H	CONTROL
08H	RAM
3FH	56 x 8

CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The RTC registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. Bit 7 of register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to a 1, the oscillator is disabled. When cleared to a 0, the oscillator is enabled.

Please note that the initial power-on state of all registers is not defined. Therefore, it is important to enable the oscillator (CH bit = 0) during initial configuration.

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

On a 2-wire START, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to re-read the registers in case of an update of the main registers during a read.

DS1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3

		BIT7							BIT0		
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS						00-59
	0	10 MINUTES			MINUTES						00-59
	0	12 24	10 HR A/P	10 HR	HOURS						01-12 00-23
	0	0	0	0	0	DAY					1-7
	0	0	10 DATE		DATE						01-28/29 01-30 01-31
	0	0	0	10 MONTH	MONTH						01-12
			10 YEAR			YEAR					
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0			

CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

OUT (Output control): This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0.

SQWE (Square Wave Enable): This bit, when set to a logic 1, will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave.

RS (Rate Select): These bits control the frequency of the square wave output when the square wave output has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

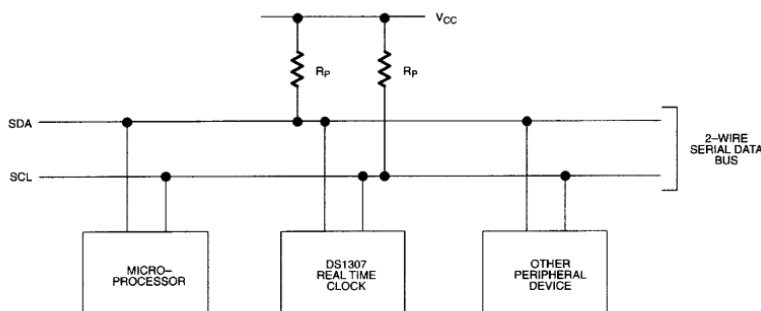
SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	4.096kHz
1	0	8.192kHz
1	1	32.768kHz

2-WIRE SERIAL DATA BUS

The DS1307 supports a bi-directional, 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are referred to as slaves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-wire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is shown in Figure 4.

TYPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION Figure 4



Figures 5, 6, and 7 detail how data is transferred on the 2-wire bus.

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

Bus not busy: Both data and clock lines remain HIGH.

Start data transfer: A change in the state of the data line, from HIGH to LOW, while the clock is HIGH, defines a START condition.

Stop data transfer: A change in the state of the data line, from LOW to HIGH, while the clock line is HIGH, defines the STOP condition.

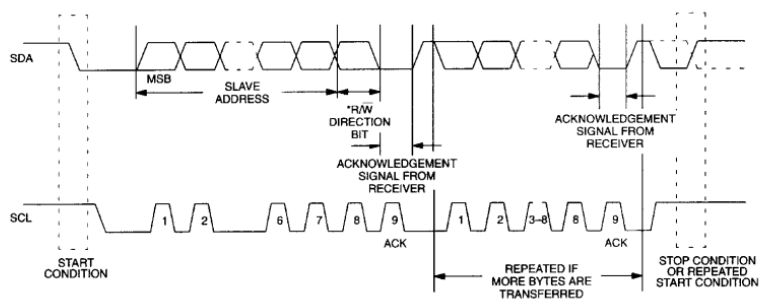
Data valid: The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between START and STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit. Within the 2-wire bus specifications a regular mode (100kHz clock rate) and a fast mode (400kHz clock rate) are defined. The DS1307 operates in the regular mode (100kHz) only.

Acknowledge: Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

DATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS Figure 5



Depending upon the state of the $\overline{R/\overline{W}}$ bit, two types of data transfer are possible:

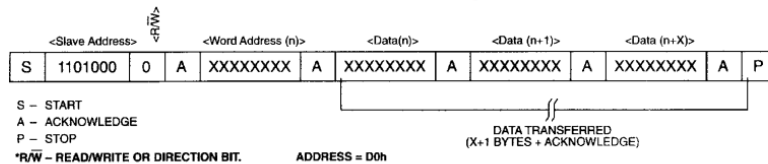
1. **Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.
2. **Data transfer from a slave transmitter to a master receiver.** The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. This is followed by the slave transmitting a number of data bytes. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a “not acknowledge” is returned.

The master device generates all of the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

The DS1307 may operate in the following two modes:

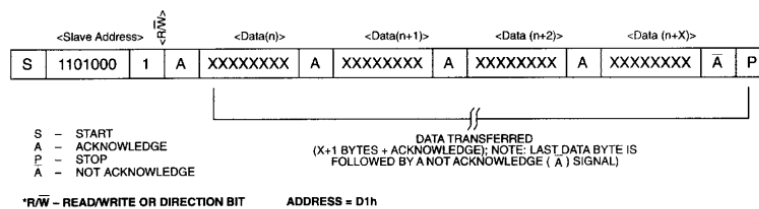
1. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and *direction bit (See Figure 6). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7 bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit ($\overline{R/\overline{W}}$) which, for a write, is a 0. After receiving and decoding the address byte the device outputs an acknowledge on the SDA line. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a register address to the DS1307. This will set the register pointer on the DS1307. The master will then begin transmitting each byte of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The master will generate a stop condition to terminate the data write.

DATA WRITE – SLAVE RECEIVER MODE Figure 6



2. **Slave transmitter mode (DS1307 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the *direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS1307 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (See Figure 7). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit ($\overline{R/\overline{W}}$) which, for a read, is a 1. After receiving and decoding the address byte the device inputs an acknowledge on the SDA line. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS1307 must receive a “not acknowledge” to end a read.

DATA READ – SLAVE TRANSMITTER MODE Figure 7



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds DIP See JPC/JEDEC Standard J-STD-020A for Surface Mount Devices

* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

Range	Temperature	V _{CC}
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V _{CC1}
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V _{CC1}

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V _{IH}	2.2		V _{CC} + 0.3	V	
Logic 0	V _{IL}	-0.5		+0.8	V	
V _{BAT} Battery Voltage	V _{BAT}	2.0		3.5	V	

*Unless otherwise specified.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage (SCL)	I _{L1}			1	μA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I _{LO}			1	μA	
Logic 0 Output (I _{OL} = 5mA)	V _{OL}			0.4	V	
Active Supply Current	I _{CCA}			1.5	mA	7
Standby Current	I _{CCS}			200	μA	1
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I _{BAT1}		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I _{BAT2}		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V _{PF}	1.216 x V _{BAT}	1.25 x V _{BAT}	1.284 x V _{BAT}	V	8

*Unless otherwise specified.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

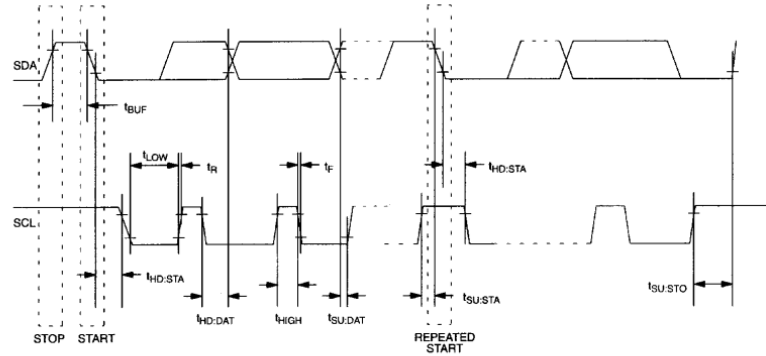
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	f_{SCL}	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t_{BUF}	4.7			μs	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD:STA}$	4.0			μs	3
LOW Period of SCL Clock	t_{LOW}	4.7			μs	
HIGH Period of SCL Clock	t_{HIGH}	4.0			μs	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU:STA}$	4.7			μs	
Data Hold Time	$t_{HD:DAT}$	0			μs	4,5
Data Set-up Time	$t_{SU:DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t_R			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t_F			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU:STO}$	4.7			μs	
Capacitive Load for each Bus Line	C_B			400	pF	6
I/O Capacitance ($T_A = 25^\circ C$)	$C_{I/O}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance ($T_A = 25^\circ C$)			12.5		pF	

*Unless otherwise specified.

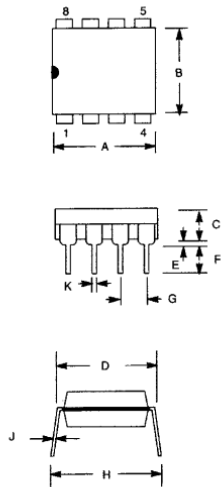
NOTES:

1. I_{CCS} specified with $V_{CC} = 5.0V$ and SDA, SCL = 5.0V.
2. $V_{CC} = 0V$, $V_{BAT} = 3V$.
3. After this period, the first clock pulse is generated.
4. A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IHMIN} of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
5. The maximum $t_{HD:DAT}$ has only to be met if the device does not stretch the LOW period (t_{LOW}) of the SCL signal.
6. C_B – Total capacitance of one bus line in pF.
7. I_{CCA} – SCL clocking at max frequency = 100kHz.
8. V_{PF} measured at $V_{BAT} = 3.0V$.

TIMING DIAGRAM Figure 8

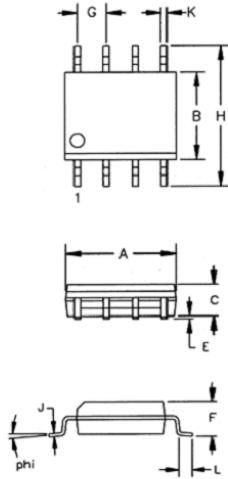


**DS1307 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN DIP MECHANICAL DIMENSIONS**



PKG DIM	8-PIN	
	MIN	MAX
A IN.	0.360	0.400
MM	9.14	10.16
B IN.	0.240	0.260
MM	6.10	6.60
C IN.	0.120	0.140
MM	3.05	3.56
D IN.	0.300	0.325
MM	7.62	8.26
E IN.	0.015	0.040
MM	0.38	1.02
F IN.	0.120	0.140
MM	3.04	3.56
G IN.	0.090	0.110
MM	2.29	2.79
H IN.	0.320	0.370
MM	8.13	9.40
J IN.	0.008	0.012
MM	0.20	0.30
K IN.	0.015	0.021
MM	0.38	0.53

**DS1307Z 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN SOIC (150-MIL) MECHANICAL DIMENSIONS**



PKG	8-PIN (150 MIL)	
	DIM	MIN
A IN.	0.188	0.196
MM	4.78	4.98
B IN.	0.150	0.158
MM	3.81	4.01
C IN.	0.048	0.062
MM	1.22	1.57
E IN.	0.004	0.010
MM	0.10	0.25
F IN.	0.053	0.069
MM	1.35	1.75
G IN.	0.050 BSC	
MM	1.27 BSC	
H IN.	0.230	0.244
MM	5.84	6.20
J IN.	0.007	0.011
MM	0.18	0.28
K IN.	0.012	0.020
MM	0.30	0.51
L IN.	0.016	0.050
MM	0.41	1.27
phi	0°	8°

56-G2008-001