



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS

AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE
SEGUIMIENTO SOLAR AUTÓNOMO DE DOS EJES PARA UN PANEL
FOTOVOLTAICO**

RUBISEL ARREOLA GÓMEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis titulada: “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar autónomo de dos ejes para un panel fotovoltaico” realizada por el alumno: Rubisel Arreola Gómez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

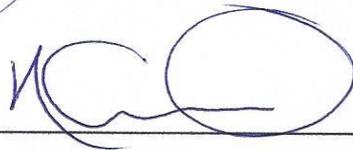
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR



DR. MARTINIANO CASTRO POPOCA

ASESOR



DR. ÁNGEL BRAVO VINAJA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Programa de Hidrociencias por permitirme realizar mis estudios de Maestría.

Al CONACyT por el financiamiento de mis estudios de Maestría.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco por su amistad, confianza, apoyo y consejos durante todo este proceso.

Al Dr. Martiniano Castro Popoca y al Dr. Ángel Bravo Vinaja por su colaboración en la revisión de este trabajo.

A David Reyes Muñoz por todas las invaluable aportaciones durante la realización de este proyecto.

Al Ing. Abraham Cortés Hernández por su apoyo para la construcción del prototipo.

A Marco Deheza, Pedro Ríos, José Juan, Carlos Flores y Don Narciso por su amistad y su ayuda incondicional.

¡Muchas gracias!

DEDICATORIA

A mis padres Elisa Gómez Vargas y Froylán Arreola Rentería, porque ustedes siempre son mi motor para superarme, y porque en todo momento me han brindado su ayuda moral y económica.

A Gaby por ser amor de mi vida, porque sin ti simplemente no hubiera logrado concluir ésta fase de mis estudios, y a Sofía/Froylán porque has llegado a darme una nueva razón para vivir y superarme.

A mis hermanos Rey, Miguel, Froylán, Yasmín, Azucena, Rodrigo y Alcocer porque sé que en todo momento puedo contar con ustedes.

A mis primos Isaura y Alonso, porque hemos compartido lejos del hogar muchas aventuras.

A mis amigos Salvador “Chato”, Elías “Gavi”, Vero, Adrián “pelón”, Cristóbal, Ely “panquecito”, Hortencia “Tenchis” e Israel porque gracias a ustedes siempre hay manera de sobrellevar el estrés.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
I. PROBLEMÁTICA	3
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES	5
2.3. HIPÓTESIS GENERAL.....	6
2.4. HIPÓTESIS PARTICULARES.....	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
3.1 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	8
3.2. LA ELECTRICIDAD	8
3.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	11
3.3.1 El desarrollo de la energía fotovoltaica	11
3.3.2. Ventajas de la energía fotovoltaica.....	12
3.3.3. Desventajas de la tecnología fotovoltaica	13
3.3.4. El efecto fotoeléctrico (base de las células fotovoltaicas).....	13
3.3.5. Material principal de las células fotovoltaicas	15

3.3.6. Otros materiales usados en la fabricación de células fotovoltaicas	18
3.3.7. Paneles solares fotovoltaicos	18
3.3.8. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas	19
3.3.9. Equipos que componen las instalaciones solares fotovoltaicas	21
3.4. SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR.....	23
3.4.1. Cinemática del seguimiento del sol	24
3.4.2. Movimiento y control del seguidor	25
3.5. CÁLCULO DE LA POSICIÓN DEL SOL	26
3.6. METODOLOGÍA DE DISEÑO	26
IV. METODOLOGÍA	28
4.1. DISEÑO	28
4.2. DISEÑO DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN.....	28
4.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA	29
V. RESULTADOS	31
5.1. RESULTADOS DEL DISEÑO	31
5.1.1. Identificación de la necesidad básica.....	31
5.1.2. Definición de los problemas esenciales	31
5.1.3. Definición de los sistemas y estructuras.....	36
5.1.3.1. Establecimiento de las funciones principales.....	37
5.1.3.2. Establecimiento de las subfunciones	47
4.1.3.3. Elección de los principios de solución de las subfunciones	52

5.1.4. Descripción de las estructuras de soporte.....	55
5.1.5. Descripción del sistema de captación de energía	57
5.1.6. Descripción del sistema del control de movimiento.....	58
5.1.7. Descripción del sistema de transmisión.....	58
5.1.8. Descripción del concepto final	60
5.2. RESULTADOS DEL DISEÑO DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	62
5.2.1. Estructuras de soporte.....	62
5.2.1.1. Estructura de soporte principal.....	62
5.2.1.2. Estructura de soporte del panel solar.....	62
5.2.1.3. Gabinete	63
5.2.2. Sistema de captación de energía.....	63
5.2.2.1. Subsistema de medición de energía	65
5.2.2.2. Construcción de la caja de sensores	66
5.2.2.3. Determinación de las ecuaciones de funcionamiento de los sensores de corriente de los paneles	67
5.2.3. Sistema de control del movimiento	69
5.2.3.1. Software de seguimiento solar	69
5.2.3.2. Control.....	71
5.2.3.3. Motores.....	73
5.2.3.4. Topes de seguridad.....	73

5.2.3.5. Guardamotor y Breakers	74
5.2.4. Sistema de transmisión	74
5.3. COSTOS GENERALES	78
5.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....	79
VI. CONCLUSIONES	84
VII. RECOMENDACIONES.....	85
VII. LITERATURA CITADA	86
VIII ANEXOS.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Función principal de los sistemas y estructuras.	38
Cuadro 2.	Criterios de diseño.....	41
Cuadro 3.	Valoración de los criterios de diseño	42
Cuadro 4.	Evaluación de las alternativas de las estructuras.....	44
Cuadro 5.	Evaluación de las alternativas de los sistemas	45
Cuadro 6.	Determinación de la función criterio para las estructuras	46
Cuadro 7.	Determinación de la función criterio para los sistemas.....	46
Cuadro 8.	Alternativas de solución	47
Cuadro 9.	Principios de solución de las subfunciones del sistema de captación de energía y almacenamiento.....	53
Cuadro 10.	Principios de solución de las subfunciones del sistema de control del movimiento	54
Cuadro 11.	Principios de solución de las subfunciones del sistema de transmisión.....	55
Cuadro 12.	Características del panel solar	64
Cuadro 13.	Características de las baterías.....	64
Cuadro 14.	Coordenadas extremas de México.....	71
Cuadro 15.	Características del motor	73
Cuadro 16.	Datos de la relación de transmisión obtenida.....	76
Cuadro 17.	Costos generales del proyecto.	78
Cuadro 18.	Resultados generales de la evaluación del panel con seguidor cada 60, 30 y 5 min	81

Cuadro 19. Rendimiento de energía de los paneles respecto a la ISR 83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Uso de la energía por fuente, desde 1965 hasta 2100.....	3
Figura 2.	Localización del proyecto	7
Figura 3.	Funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.....	14
Figura 4.	Estructura de una célula fotovoltaica	15
Figura 5.	Tipos de células fotovoltaicas: a) monocristalino, b) policristalino, c) amorfo.....	16
Figura 6.	Componentes de una instalación solar fotovoltaica aislada.....	20
Figura 7.	Sistema solar fotovoltaico con conexión a la red eléctrica	20
Figura 8.	Seguidor solar hidráulico instalado en Vilalba (Lugo), con una superficie porta-paneles de 345 m ² y una potencia de 42 kW	22
Figura 9.	Configuración de ejes más utilizados en la práctica: a) montaje polar, b) montaje azimut-elevación	25
Figura 10.	Metodología de diseño	27
Figura 11.	Panel fotovoltaico fijo (izquierda) y seguidor solar (derecha).....	29
Figura 12.	Requerimientos principales	32
Figura 13.	Dimensiones del área destinada para la operación del seguidor en una estación meteorológica	34
Figura 14.	Sistemas y estructuras del seguidor solar	37
Figura 15.	Concepto de un sistema de captación de energía solar	48
Figura 16.	Diagrama del sistema de captación de energía: 1)panel solar, 2) amperímetro, 3) voltímetro, 4) control de carga y 5) batería.....	49
Figura 17.	Concepto de un sistema de cálculo de movimiento	49

Figura 18.	Esquema general del sistema de control de movimiento	51
Figura 19.	Sistema de transmisión de potencia mecánico por medio de engranes.....	51
Figura 20.	Tren de engranes simples	51
Figura 21.	Esquema del sistema de transmisión	52
Figura 22.	Estructura de soporte principal.....	56
Figura 23.	Estructura de soporte de panel solar.....	56
Figura 24.	Sistema de captación de energía.....	57
Figura 25.	Subsistema de medición de la energía captada	58
Figura 26.	Sistema de control de movimiento	59
Figura 27.	Sistema de transmisión.....	60
Figura 28.	Concepto final del DSSF.....	61
Figura 29.	Estructuras de soporte: a) soporte principal, b) soporte del panel FV y c) gabinete	63
Figura 30.	Componentes del sistema de captación de energía: a) panel solar, b) regulador de carga	65
Figura 31.	Baterías.....	65
Figura 32.	Caja de sensores. Abierta (izquierda) y cerrada (derecha).....	66
Figura 33.	Gráfica y ecuación de funcionamiento del sensor 1 (S1).....	68
Figura 34.	Gráfica y ecuación de funcionamiento del sensor 2 (S2).....	69
Figura 35.	Interfaz	70
Figura 36.	Archivo con los datos de salida.....	70

Figura 37.	Control. Abierto (izq.) y cerrado (der.), 1) placa base, 2) microcontrolador, 3) teclado matricial, 4) display, 5) reloj, 6) leds, 7) fase de potencia, 8) conector terminal de red, 9) grabador de memoria USB, 10) conectores y 11) carcasa	72
Figura 38.	Topes de seguridad.....	74
Figura 39.	Guardamotor (izquierda) y Breakers (derecha).....	74
Figura 40.	Cajas de transmisión ensambladas y montadas.....	76
Figura 41.	a) Cople motor-transmisión, b) soporte para el motor y c)acoplamiento soporte principal-transmisión.....	77
Figura 42.	Acoplamiento transmisión-soporte del panel.....	77
Figura 43.	Comparación de potencias generadas por el panel fijo (S1) y el panel con seguidor (S2), movimiento cada 60, 30 y 5 minutos.....	79
Figura 44.	Energía horaria generada por el panel fijo (S1) y el DSSF (S2) a cada 60, 30 y 5 min en comparación con la capacidad nominal de los paneles.	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Código completo del software de posicionamiento solar desarrollado, en lenguaje de programación Visual Basic 6.0.	89
Anexo 2.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Marzo del 2012.	94
Anexo 3.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Septiembre del 2012.	95
Anexo 4.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Junio del 2012.	96
Anexo 5.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Diciembre del 2012.	97
Anexo 6.	Comportamiento de la altura solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Norte.	98
Anexo 7.	Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Norte.	98
Anexo 8.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Sur el día 21 de Marzo del 2012.	99
Anexo 9.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Sur el día 21 de Septiembre del 2012.	100
Anexo 10.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Sur el día 21 de Junio del 2012.	101
Anexo 11.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Sur el día 21 de Diciembre del 2012.	102

Anexo 12.	Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Sur.	103
Anexo 13.	Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Sur.	103
Anexo 14.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Este el día 21 de Marzo del 2012.	104
Anexo 15.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Este el día 21 de Septiembre del 2012.	105
Anexo 16.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Este el día 21 de Junio del 2012.	106
Anexo 17.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Este el día 21 de Diciembre del 2012.	107
Anexo 18.	Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Este.	108
Anexo 19.	Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Este.	108
Anexo 20.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Marzo del 2012.	109
Anexo 21.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Septiembre del 2012.	110
Anexo 22.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Junio del 2012.	111

Anexo 23.	Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Diciembre del 2012.....	112
Anexo 24.	Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Oeste.....	113
Anexo 25.	Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Oeste.	113
Anexo 26.	Diagrama electrónico de la placa base.	114
Anexo 27.	Diagrama electrónico de la fase de potencia.	115
Anexo 28.	Código resumido del software desarrollado, en lenguaje de programación C.....	116
Anexo 29.	Datos de salida del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).....	123
Anexo 30.	Comparación entre los datos de salida (elevación) del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).	124
Anexo 31.	Comparación entre los datos de salida (azimut) del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).	124
Anexo 32.	Anexos del 32.1 al 32.38 dibujos de los elementos que conforman el DSSF	125

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR AUTÓNOMO DE DOS EJES PARA UN PANEL FOTOVOLTAICO

RESUMEN

RUBISEL ARREOLA GÓMEZ, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2014.

Entre las fuentes de energías renovables, la energía solar es la más importante, debido a su abundancia, sostenibilidad y completamente libre de costo. Además utilizando un colector solar con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 30-45% mayor que para el mismo colector solar estático. Se diseñó y construyó un sistema de seguimiento autónomo y capaz de seguir el movimiento de sol, el cual se acoplo a un panel fotovoltaico para mejorar la eficiencia en la captura de energía. Se evaluó el funcionamiento del dispositivo en términos energéticos, se realizaron tres pruebas de evaluación programándolo para que se oriente al sol a cada 60, 30 y 5 min, y se compararon los resultados con el rendimiento energético de un panel fotovoltaico fijo. El software desarrollado fue funcional para la totalidad del territorio de la República Mexicana y durante todo el año. El mejor rendimiento energético se obtuvo cuando el seguidor solar se orientó al sol cada 60 minutos, la energía generada fue de 27.98 % más respecto al panel fijo, con un gasto energético para su funcionamiento de 1.3 % de la ganancia final de energía. Comparando la producción de energía del sistema con la radiación solar global (ISR, por sus siglas en ingles), éste aprovecho un 13.27% de la energía disponible, y un 2.93% más respecto al panel fijo.

Palabras clave: energía solar, energía fotovoltaica, seguidor solar, microcontrolador, seguimiento en dos ejes

DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF ONE STANDALONE SOLAR
TRACKING SYSTEM OF TWO-AXES FOR ONE PHOTOVOLTAIC PANEL

ABSTRACT

RUBISEL ARREOLA GÓMEZ, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2014.

Among the renewable energy sources, solar energy is the most important, because of its abundance, sustainability and completely free of cost. Also using a solar collector with tracking system, the total energy received on a clear day can be about 30-45% higher than for the same solar collector static. It was designed and built an autonomous system, able to follow the movement of the sun, which was coupled to a photovoltaic panel to improve efficiency in energy capture. The device's energy performance was evaluated by three evaluation tests, programming the device to orient to the sun every 60, 30 and 5 min and the results were compared with the energetic performance of a fixed FV panel. The developed software was functional for the entire territory of Mexico and throughout the year. The best energy efficiency was obtained when the solar tracker was oriented to the sun every 60 minutes, the power generated was 27.98 % compared to the fixed panel, with an energy expenditure for operation of 1.3 % of the final energy gain . Comparing energy production of the system with the global solar radiation (ISR), he took advantage of a 13.27 % of the available energy, and 2.93 % on the fixed panel.

Keywords: solar energy, photovoltaic energy, solar tracker, microcontroller, two-axis tracking

I. PROBLEMÁTICA

En el contexto mundial, de acuerdo con el modelo de tendencias propuesto por Chefurka (2007), los combustibles fósiles aportan la mayor parte de la composición actual de la energía mundial, pero declinan rápidamente en el transcurso de la segunda mitad del siglo. Se espera que final del siglo, el aporte del petróleo y el gas es casi nulo, y los jugadores dominantes son, en orden, la hidroenergía, las energías renovables, el carbón y la energía nuclear (Figura 1).

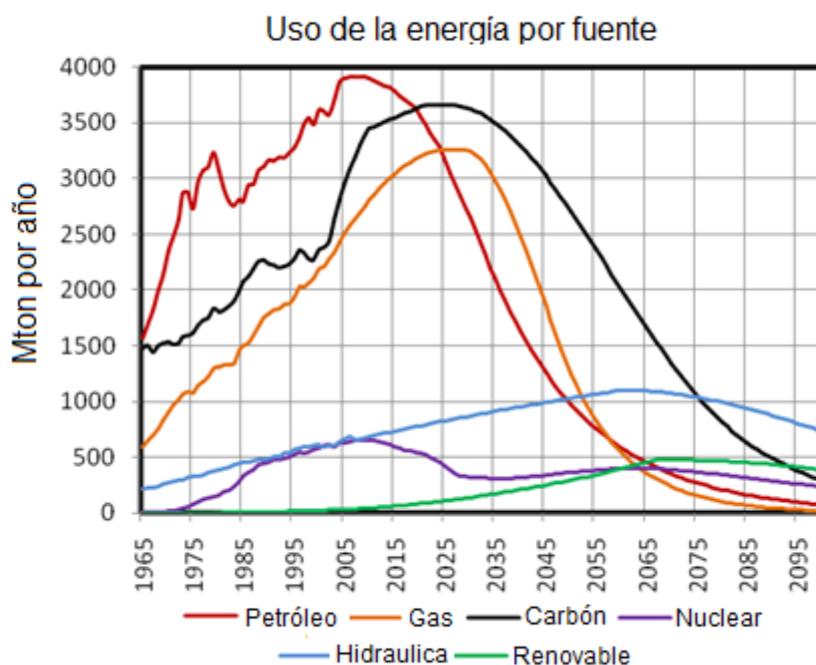


Figura 1. Uso de la energía por fuente, desde 1965 hasta 2100.

La importancia que puede adquirir la energía no convencional en México se observa por ejemplo, si consideramos que en el país existen 190,432 localidades con menos de 5,000 habitantes, de las cuales el 6.9 % (13,140 localidades) no cuentan con energía eléctrica, lo que representa una población aproximada de 2,236,295 personas que carecen de éste servicio (INEGI, 2010).

Entre las fuentes de energías renovables, la energía solar es la más importante, debido a su abundancia y sostenibilidad. Independientemente de la intermitencia de la luz solar, la energía

solar está ampliamente disponible y completamente libre de costo (Kroposki y DeBlasio, 2000).

Los sistemas fotovoltaicos (FV) son sistemas de energía solar que producen electricidad directamente de la luz solar, estos producen energía limpia y confiable sin consumir combustibles fósiles y se puedan usar en una amplia gama de aplicaciones (Castellanos, 1980).

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar deben recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar, esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares por lo tanto, una colección óptima solo puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol (López, 1985). Utilizando un colector con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 35 % mayor que para el mismo colector estático (Mosher *et al.*, 1977, López, 1985), o hasta de 40 % (Naaijer, 1985).

Las dos orientaciones más comunes de un sistema que sigue la trayectoria del sol para conseguir el mayor rendimiento posible de las radiaciones solares que inciden sobre una superficie o punto específico, son: en un eje para seguir al sol de este a oeste y en dos ejes que garantizan seguir siempre al sol de forma directa. El sistema de dos ejes es el mejor para aprovechar al máximo la radiación solar en todo momento, este sistema de seguimiento aprovecha tanto la radiación directa como la difusa (Madrid, 2009).

Abu-Khader *et al.* (2008) reportan un incremento global de alrededor de 30-45 % en la potencia de salida para el sistema de seguimiento solar en eje norte-sur (N-S), comparado con un sistema FV fijo; además encontraron que el seguimiento solar en el eje N-S es el óptimo. Por su parte Huang *et al.* (2011) encontraron que en un día soleado un seguidor de un eje puede obtener un 35.6 % más de energía respecto a un sistema FV fijo.

Kacira *et al.* (2004) investigaron experimentalmente el efecto del seguimiento solar de dos ejes en la ganancia de energía comparada con panel fijo en Sanliurfa Turquía, y encontraron que la ganancia promedio diaria es de un 29.3 % en la radiación solar y un 34.6 % en la generación de potencia para un día particular de julio.

Se han propuesto varios métodos de ingeniería para lograr un seguimiento continuo del sol utilizando seguidores de un eje en bucle abierto (Kalogirou, 1996), de dos ejes en bucle cerrado (Lynch and Salameh, 1990) y de dos ejes en bucle abierto (Park *et al.*, 1996). Existen diferentes controladores para implementar los sistemas de control, por ejemplo: matriz lógica programable (PAL) (Abouzeid, 2001), controlador lógico programable (PLC) (Abdallah and Nijmeh, 2004), PC (Yousef, 1999) y microprocesadores (Koyuncu and Balasubramanian, 1991).

No hay referencias bibliográficas acerca de la eficiencia de los seguidores solares en México, por lo cual el objetivo del presente trabajo fue el diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar de dos ejes, implementando un sistema de control por microprocesador para un panel fotovoltaico automatizado, que fuera funcional para la totalidad del territorio mexicano.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo autónomo de seguimiento solar para un panel fotovoltaico, con el fin de mantener el panel perpendicular a los rayos solares y hacerlo más eficiente.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Revisar sobre los diferentes dispositivos de seguimiento solar para paneles fotovoltaicos.

- Diseñar y construir un dispositivo discreto para seguir el movimiento de sol, el cual se acoplara a un panel fotovoltaico para mejorar su eficiencia en la captura de energía.
- Comparar y evaluar el funcionamiento del dispositivo con respecto a un panel solar fijo en términos energéticos, con base en definir el intervalo de tiempo entre movimientos tanto azimutal como cenital.

2.3. HIPÓTESIS GENERAL

El dispositivo autónomo de seguimiento solar para un panel fotovoltaico, mantiene el panel perpendicular a los rayos solares y lo hace más eficiente.

2.4. HIPÓTESIS PARTICULARES

- El diseño y la construcción del dispositivo cumplen con las normas establecidas de diseño mecánico, construcción y seguridad; que toman en cuenta una selección eficiente de materiales y disponibilidad de los mismos en el mercado local.
- Al evaluar el funcionamiento del dispositivo adaptándole un panel solar, observamos que la captación de energía solar por el panel se incrementa notablemente con respecto a un panel con orientación fija.
- La ganancia energética propiciada por el uso del dispositivo es mayor que el gasto energético del mismo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, el cual está ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, y se encuentra en la latitud: 19°27'38" N, longitud: 98°54'01" W, y altitud: 2250 m.s.n.m (Figura 2).

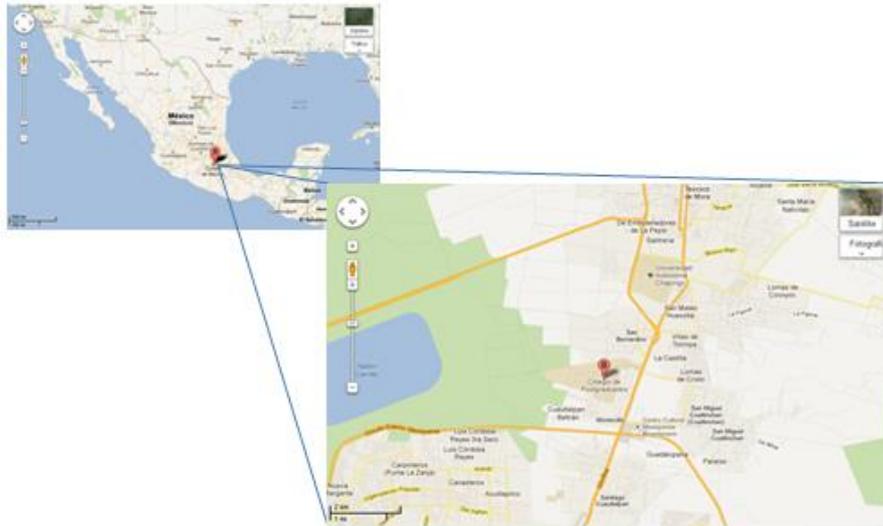


Figura 2. Localización del proyecto

En esta región la incidencia de radiación solar es del orden de los $5.5 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ según (SEI, 2007; Castellanos, 1980). La abundancia de radiación solar en la zona nos proporciona un recurso valioso que promete un buen campo de desarrollo tecnológico energético.

Se construyó un sistema mecánico-electrónico que permite optimizar el proceso de captación de energía solar para su conversión en energía eléctrica, orientando de manera automática paneles solares hacia la región de mayor incidencia de radiación.

Utilizando un colector con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 35% mayor que para el mismo colector estático (Mosher *et al*, 1977). Mediante

algunos ajustes el sistema podrá usarse además, en otros sistemas que requieran la propiedad de heliotropismo, tales como: concentradores, estufas, secadores y medidores de radiación directa.

3.1 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Los gases que hay en la atmosfera terrestre retienen el 47 % de la energía que llega hasta la superficie de la tierra. A pesar de ello, llegan hasta nosotros 0.7 trillones de kWh, que es una energía 4000-7000 veces superior a la que consumimos diariamente los humanos (Madrid, 2009).

Mediante unas modernas instalaciones es posible conseguir captar la energía del sol de varias formas:

1. **Instalaciones solares térmicas.** Con ellas se consigue captar el calor de sol, que se emplea para calefacción de casas y edificios, calentamiento de agua para necesidades industriales y domesticas (tales como duchas, piscinas, lavabos, etc.).Donde aproximadamente, el 75-80 % del consumo energético de una vivienda o edificio se va en la calefacción y el calentamiento de agua (Madrid, 2009).
2. **Instalaciones solares fotovoltaicas.** Con ellas se consigue captar la luz del sol y convertirla directamente en electricidad, que se puede emplear en las mismas aplicaciones que tiene en la actualidad.
3. **Instalaciones solares termoeléctricas.** Son una combinación de las dos anteriores, ya que a partir de la energía recibida del sol, producen calor y electricidad.

3.2. LA ELECTRICIDAD

La electricidad es una forma de energía, que se produce por el movimiento de los electrones dentro de un material. Recordemos que los átomos se integran por:

- Núcleo. Ocupa el centro del átomo y contiene los protones (partícula cargadas positivamente) y los neutrones (partículas sin carga).
- Periferia. Formada por varias orbitas concéntricas respecto al núcleo, por donde se mueven los electrones (partículas cargadas negativamente).

Los átomos tienen la misma cantidad de electrones que de protones, que se atraen manteniendo el equilibrio atómico, y haciendo que su carga total sea nula.

Los electrones se mantienen en sus orbitas atómicas debido a la atracción de los protones del núcleo. Sin embargo, en ciertos cuerpos llamados conductores (los metales como el cobre, hierro, etc.), los electrones situados en la órbita exterior (la más alejada del núcleo) se pueden escapar con facilidad. Es decir necesitan poca energía para salir de su órbita y escapar. Los electrones pueden pasar de un átomo a otro, creando una nube electrónica que se mueve, que es la base de la corriente eléctrica.

En los materiales denominados aislantes (como los plásticos, la madera, etc.), incluso los electrones en la última orbita, están fuertemente ligados al átomo y no se pueden mover, por lo que no crean corrientes eléctricas. Es decir, oponen una resistencia enorme al paso de la corriente.

Algunas de las magnitudes que se relacionan con la electricidad son:

- **Intensidad de la corriente (I).** Es la cantidad de la carga eléctrica (electrones) que pasa por un conductor en la unidad de tiempo. La unidad de intensidad es el Amperio (A), y se mide con el amperímetro.
- **Voltaje (V).** Es la diferencia del potencial existente entre dos puntos del circuito eléctrico. Se mide en voltios (V), se mide por medio del voltímetro.

- **Resistencia (R).** Es la mayor o menos dificultad que opone un material u objeto a la paso de la corriente eléctrica. Que se mide en ohmios (Ω).
- **Carga eléctrica (Q).** Es la cantidad de electricidad que tiene un cuerpo por exceso de electrones o por defecto de ellos. Si se mide la carga eléctrica del electrón resultaría muy pequeña, por lo que se prefiere una carga eléctrica más realista. Así tenemos el Culombio (C), que tiene la carga correspondiente a 6.3 trillones de electrones (Madrid, 2009).
- **Potencia (W).** Es la capacidad que tiene un objeto o aparato determinado para transformar la energía eléctrica en otras formas de energía (normalmente calor o movimiento). La potencia se mide en vatios (Watts) en un aparato llamado potenciómetro.

La fórmula de la potencia eléctrica es:

$$P=V \times I$$

Dónde:

P= Potencia (Vatios)

V= Voltaje (Voltios)

I= Intensidad (Amperios)

- **Energía.** Es la potencia que se consume o genera por unidad de tiempo, y se mide en kWh (kilovatios-hora).

Su fórmula es:

$$E=P \times t$$

Dónde:

E= Energía (kilovatios-hora)

P= Potencia (kilovatios)

t= tiempo (horas)

3.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se caracteriza por funcionar a base de paneles solares que captan las radiaciones luminosas del sol y las transforman en una corriente eléctrica.

Estos paneles especiales están compuestos por células o celdas fotovoltaicas, que transforman de la energía luminosa (fotones) en electricidad (electrones en movimiento), donde ocurre el efecto fotoeléctrico.

3.3.1 El desarrollo de la energía fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de energía solar que producen electricidad directamente de la luz solar. Los sistemas fotovoltaicos (FV, en inglés PV) producen energía limpia y confiable sin consumir combustibles fósiles y pueden ser usados en una amplia gama de aplicaciones.

Las investigaciones en la tecnología fotovoltaica comenzaron hace más de cien años. En 1873 el científico británico Willoughby Smith observó que el selenio era sensible a la luz. Smith concluyó que la capacidad del selenio de conducir la electricidad aumentaba en proporción directa con su exposición a la luz. En 1880, Charles Fritts desarrolló la primera celda eléctrica solar con base en selenio. La celda producía electricidad sin consumir ninguna sustancia material y sin generar calor.

En 1905 Albert Einstein ofreció su explicación del efecto fotoeléctrico, antes de esto no había una amplia aceptación de la fotovoltaica como fuente de energía.

A principios de la década de los 50 los laboratorios Bell comenzaron la búsqueda de una vía confiable para energizar los sistemas de comunicación remotos. Los científicos de la Bell descubrieron que el silicio, el segundo elemento más abundante en la Tierra, era sensible a la luz y cuando se le trataba con ciertas impurezas generaba una tensión eléctrica (voltaje) considerable. En 1954 la Bell desarrolló una celda con base en silicio que alcanzaba 6 % de eficiencia.

3.3.2. Ventajas de la energía fotovoltaica

Las celdas de silicio fabricadas a partir de una tonelada de arena pueden producir tanta electricidad como quemar 500 000 toneladas de carbón (Madrid, 2009).

Los sistemas fotovoltaicos ofrecen varias ventajas sobre las fuentes convencionales de energía:

- **Fiabilidad:** Los arreglos fotovoltaicos impiden las fallas de energía costosa en situaciones donde resulta crítica una operación continua.
- **Durabilidad:** La mayoría de los módulos FV están garantizados por los fabricantes para producir energía durante 25 años y se pueden mantener generando más allá de ese intervalo de tiempo.
- **Bajos costos de mantenimiento:** Como los sistemas FV solo necesitan inspecciones periódicas y mantenimiento ocasional, este costo resulta usualmente menor que con los sistemas convencionales que funcionan con combustibles.
- **No hay costo por combustible:** Como no se requieren fuentes de combustible, no hay costos asociados con la adquisición, almacenamiento o transporte de combustible.
- **Reducción de la contaminación sonora:** Los sistemas fotovoltaicos operan silenciosamente y con movimientos mínimos.

A principios de la década del 60 los sistemas FV habían sido instalados en la mayoría de los satélites y naves espaciales.

Hoy día las aplicaciones incluyen comunicaciones, refrigeración, riego de cultivos, purificación de aguas, iluminación, vigilancia ambiental, navegación aérea y marítima, redes de servicios públicos de electricidad y otras aplicaciones residenciales y comerciales.

3.3.3. Desventajas de la tecnología fotovoltaica

La fotovoltaica tiene algunas desventajas cuando se compara con los sistemas de energía convencional:

- Costo inicial: Cada instalación fotovoltaica se debe evaluar desde una perspectiva económica y comparada con las alternativas existentes. Pero a medida que el costo inicial de los sistemas FV decrece y el costo de las fuentes convencionales aumenta, estos sistemas resultaran más competitivos económicamente.
- Variabilidad de la radiación solar disponible: El estado del tiempo puede afectar gravemente la energía de salida de cualquier sistema energético basado en el Sol; tales variaciones del lugar requieren de modificaciones en el diseño del sistema.
- Almacenamiento de energía: Algunos sistemas FV utilizan baterías para almacenar la energía, con lo que se incrementa el tamaño, el costo y la complejidad del sistema.
- Aumento de la eficiencia: El uso eficiente de la energía fotovoltaica necesita un enfoque de alta eficiencia para el consumo de energía.
- Educación: Los sistemas fotovoltaicos presentan una tecnología nueva y casi desconocida, muy pocas personas entienden su valor y posibilidades. Esta falta de información retrasa el crecimiento de la tecnología y el mercado.

3.3.4. El efecto fotoeléctrico (base de las células fotovoltaicas)

En la Figura 3 se observa el principio del funcionamiento de esta transformación. Entre ambos extremos hay unos materiales llamados semiconductores. Los más conocidos son el silicio, el germanio y el arseniuro de galio. Estos materiales si están a 0 K son aislantes, pero si reciben energía (luminosa en este caso), se encuentran más cerca de los conductores y pueden

producir corrientes de electrones. Eso es exactamente lo que ocurre en las células fotovoltaicas, que suelen estar hechas de silicio.

Como se ve en la Figura 3, un material semiconductor (el silicio), es expuesto a los rayos solares, que contienen energía luminosa (fotones). Estos fotones aportan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio. Si la energía que aportan es suficiente para vencer la fuerza que mantiene los electrones unidos al átomo, estos electrones se liberan y llegan a formar una corriente de electrones (electricidad) (Madrid, 2009).

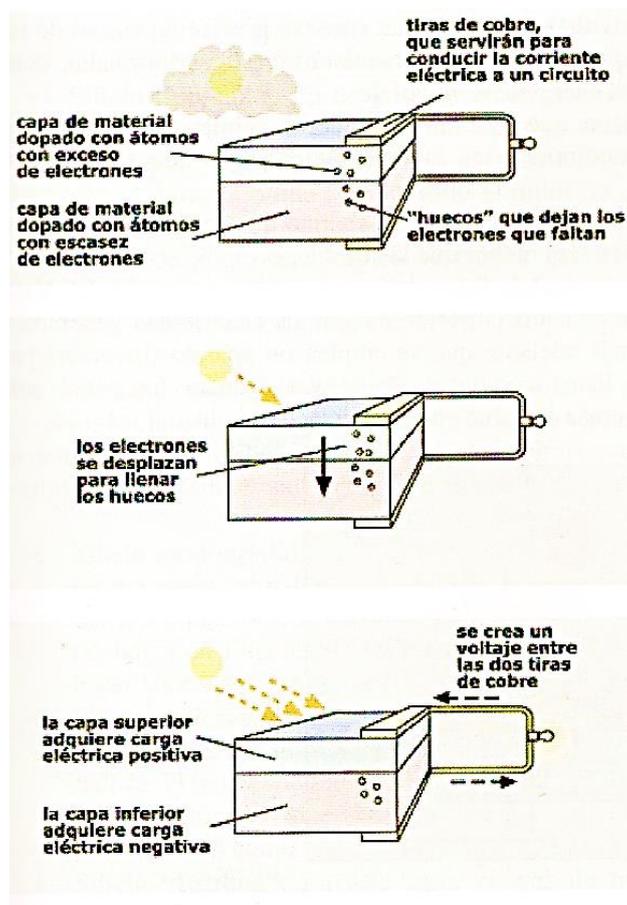


Figura 3. Funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.

Como en estado puro el silicio no es muy fotoconductor, se le dopa con átomos de fósforo, que tienen cinco electrones en su capa externa. Así tenemos una mezcla que tiene un excedente de cargas negativas. Este material es llamado comúnmente como “tipo n” (Figura 4). El material “tipo p” es silicio dopado con boro, que tiene tres electrones en su capa

externa, por lo que se produce un excedente de cargas positivas. Al estar dos zonas dopadas en contacto, se produce un diodo, ya que los electrones excedentes de la capa n son atraídos por las cargas positivas de la capa p. esto da origen a una corriente eléctrica (Madrid, 2009).

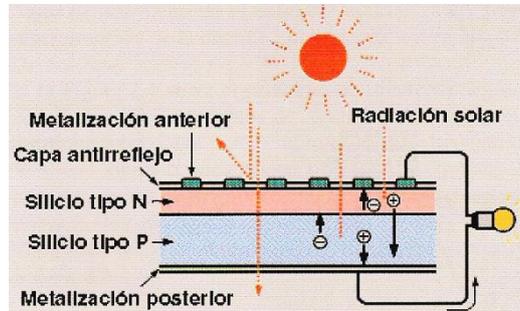


Figura 4. Estructura de una célula fotovoltaica

Hay que tener en cuenta que el rendimiento de las células de silicio es bajo (13 a 25 %). El **rendimiento** es la energía luminosa que realmente se transforma en electricidad.

Como la corriente que genera una célula fotovoltaica es muy pequeña (1.1 a 1.7 V), casi siempre se agrupan las células para conseguir una corriente mayor, a este arreglo se le denomina **panel solar fotovoltaico**. Y la electricidad que se genera es de tipo continua, por lo que en ocasiones se necesita de un aparato (inversor) para transformarla en alterna (Madrid, 2009).

3.3.5. Material principal de las células fotovoltaicas

El material que se utiliza para la construcción de células fotovoltaicas es el silicio, es un elemento muy abundante en la corteza terrestre pero no se encuentra como tal, sino combinado con el oxígeno formando óxido de silicio (SiO_2).

En la naturaleza encontramos la Cuarzita que es un mineral que contiene un 90 por ciento de óxido de silicio. Por ello, para obtener el silicio se parte de dicho mineral hasta conseguir silicio de diversos grados de pureza. Así tenemos:

- Silicio tipo metalúrgico. Es un producto con el 99 por ciento de pureza, y se obtiene a partir de la Cuarzita. El adecuado para usos industriales, entrando a formar parte de aleaciones. Pero aun no es suficiente ese grado de pureza para conseguir células fotovoltaicas. Se necesita una pureza mayor.
- Silicio tipo solar. Para hacer silicio de grado solar se parte del metalúrgico. Éste silicio se pasa a gas (triclorosilano) por un proceso químico. Después se extrae de dicho gas un silicio de elevadísima pureza (solo partes por millón de impurezas), que se le conoce como polisilicio.

Dentro del silicio de grado solar existen varios tipos comerciales como son (Figura 5):



Figura 5. Tipos de células fotovoltaicas: a) monocristalino, b) policristalino, c) amorfo

- Silicio monocristalino. Es el mejor y más caro. La mayoría de las células fotovoltaicas actuales están hechas de este tipo de silicio. El proceso fabricación resumido es el siguiente: el silicio se purifica, se funde y se cristaliza en lingotes. Los lingotes obtenidos se cortan muy finamente para hacer las células monocristalinas (de color uniforme, azul o casi negro).
- Silicio policristalino. Tiene menor rendimiento que el silicio monocristalino, pero es más barato, por lo que está imponiendo su utilización, ya que reduce el costo del kilovatio solar. Se le llama policristalino por que la cristalización es aleatoria, en vez de seguir un patrón homogéneo de cristalización como ocurre con el monocristalino.

- Silicio Ribbon. En este caso, en vez de tomar un lingote de silicio y cortarlo finamente en obleas, lo que se hace es estirar silicio fundido. Por lo demás, este tipo de células función igual que las anteriores.

Estos tres tipos de silicio cristalizado se cortan en espesores de aproximadamente 200 μm . también existen células de película mucho más delgada (5 μm aprox.), que tienen un menor rendimiento, pero son más baratas y fáciles de colocar en tejados.

- Silicio amorfo. Es más barato y tiene menor rendimiento que el silicio cristalino. La célula amorfa consta de: una unión p-i-n, una capa transparente de óxido en la parte superior, una capa de metal de contacto y reflectora, y un sustrato final flexible. La capa de silicio amorfo se deposita sobre un sustrato (acero, vidrio, plástico, etc.) a una temperatura de 200-300 °C. Estas bajas temperaturas (relativamente ablando) hacen posible la utilización de sustratos de menos costo. Cuando las temperaturas de deposición son muy altas se necesitan sustratos de materiales caros (resistentes a altas temperaturas). El silicio amorfo tiene una elevada capacidad de absorción de la luz, por lo que se puede poner en capas extra-delgadas (1 μm), pero la propia intensidad lumínica ocasiona su degradación progresiva, con lo que va bajando su rendimiento a lo largo del tiempo. Cuando el silicio amorfo es nuevo tiene un rendimiento del 12 por ciento, aproximadamente (Madrid, 2009).
- Micro-silicio. Se trata de células de silicio en capas muy delgadas (5 μm aprox.), con lo que se pueden reducir los costos respecto a las de mayor grosor, mejorando los rendimientos. Además, tienen la ventaja de que se degradan poco con la luz, por lo que duran más, manteniendo todas sus características.

3.3.6. Otros materiales usados en la fabricación de células fotovoltaicas

Además de las células de silicio, existen otras tales como:

1. Células CIGS. Estas células solares fotovoltaicas de cobre, indio, galio y diselenuro, son de capas muy delgadas. Debido a su rendimiento alto y a su bajo costo, es posible que en el futuro veamos muchos paneles fotovoltaicos a base de estos materiales. Dentro de las células de capa extra-delgada, las CIGS tiene un elevado coeficiente de absorción, absorbiendo el 99 de los fotones que inciden sobre la superficie. Su costo es bajo pero su proceso de fabricación es difícil y muy caro de inversión. Además la capa de cadmio es un problema, ya que está considerado como material tóxico por la Unión Europea.
2. Células de telurio de cadmio. Estas células de telurio de cadmio también son de capa ultra-delgada. Están formadas por una capa tipo “p” de telurio de cadmio, otra capa tipo “n” de CdS, una de óxido conductor transparente (que está conectada con un contacto eléctrico) y una sustrato de vidrio. Es una tecnología en desarrollo pero su fabricación no es difícil. La desventaja es que los materiales son caros, y el cadmio, aunque en estas células no representa ningún peligro, está considerado como toxico.

3.3.7. Paneles solares fotovoltaicos

También llamados módulos o colectores, son la unión de células fotovoltaicas en serie, encapsuladas (por ejemplo en plástico transparente) para protegerlas y con un marco metálico para su montaje.

Los paneles (o módulos, como también se les llama) son las unidades básicas de los sistemas de generación de electricidad a partir de energía solar.

Los módulos solares se pueden conectar:

- En serie. Por ejemplo si tenemos un módulo de 12 V y 1.5 A y lo conectamos en serie con otro módulo de las mismas características tendremos un conjunto de 2 módulos de 24 V y 1.5 A (se suman los voltajes y se mantienen las intensidades).
- En paralelo. Si tenemos los dos módulos del ejemplo anterior y los conectamos en paralelo, tendremos un conjunto de 12 V y 3 A (se mantienen los voltajes y se suman la intensidades de corriente).(Madrid, 2009)

El armazón o marco de los módulos debe ser a la vez resistente y ligero. Se suele hacer de aluminio con resinas para hacerlo hermético.

La cubierta del panel suele ser de cristal templado, resistente a impactos, transparente, deja pasar las radiaciones solares (en más de 92 %) (Madrid, 2009).

Los paneles solares se deben orientar al sol, según la hora, día, mes, año y lugar geográfico, si se dispone de sistemas de inclinación variable. Cuando los paneles son fijos se escoge una orientación media, la más adecuada para la zona. Usualmente la inclinación fija tiene un costo inferior a la variable.

Los paneles se deben instalar en zonas sin sombras (siempre que sea posible). Tampoco deben hacer sombra entre ellos. Se deben mantener siempre limpios de hojas, ramas, polvo, suciedad, etc. Su fijación al suelo debe ser firme, ya que tienen que permanecer fijos en el sitio más de 25 años (su vida útil).

3.3.8. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

1. Instalaciones solares fotovoltaicas aisladas. Son las que se construyen para dar suministro de electricidad a casas o instalaciones aisladas donde no llega la red de distribución eléctrica (Figura 6). Se utilizan en los casos donde está muy alejada la red eléctrica o donde ni siquiera existe. Por ejemplo en un señalamiento de carretera, que se puede operar con un pequeño panel fotovoltaico, o una pequeña

estación meteorológica en lo alto de una montaña, donde no es económico tender un cable hasta la red eléctrica (Madrid, 2009).

2. Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica. En este caso la instalación está cerca de una red de distribución, por lo que la electricidad producida se puede integrar a la red y obtener un ingreso (Figura 7). Por ejemplo, una casa que tiene una instalación fotovoltaica, y en las horas más soleadas tiene un exceso de producción que puede enviar a la red eléctrica, en hora punta, y obtener un beneficio económico (Madrid, 2009).

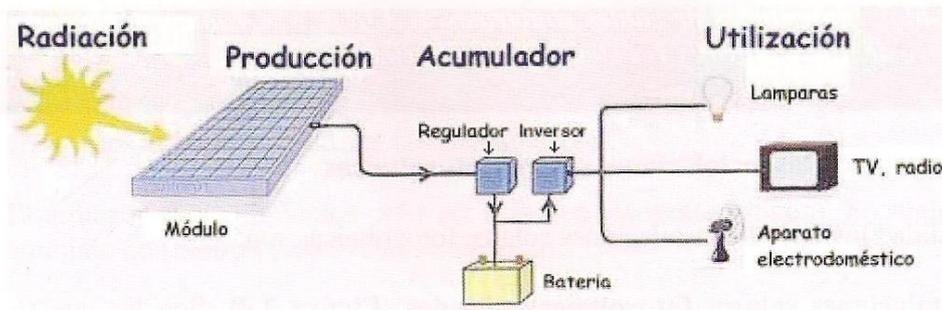


Figura 6. Componentes de una instalación solar fotovoltaica aislada

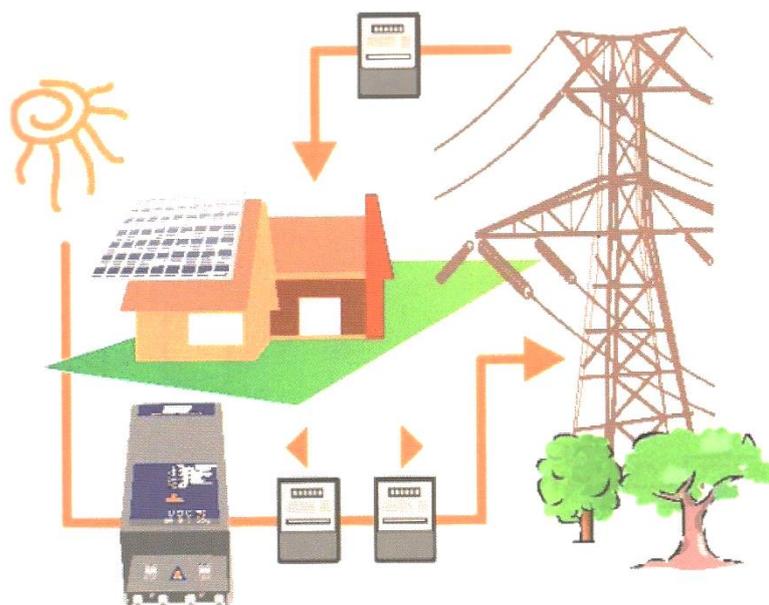


Figura 7. Sistema solar fotovoltaico con conexión a la red eléctrica

3. Centrales solares fotovoltaicas. También se les conoce como “huertos solares”. Su única finalidad es vender electricidad a la red eléctrica. Este tipo de instalaciones suelen ser muy grandes para optimizar la producción.

Por ejemplo, en Amaraleja, Portugal; se encuentra el mayor huerto solar del mundo (Madrid, 2009), y sus características son las siguientes:

- Horas de sol en la zona: 3000 h año⁻¹.
- Zona ocupada por el huerto: 320 hectáreas.
- Zona circundante: plantaciones de olivos y encinos.
- Paneles instalados: 262,000 de silicio policristalino.
- Potencia máxima: 46 MW (megavatios).
- Sistema de seguimiento del sol: dos ejes.
- Viviendas a las que puede abastecer de electricidad: 30,000.
- Inversión: 260 millones de euros.
- Propietario: Acciona solar.

3.3.9. Equipos que componen las instalaciones solares fotovoltaicas

Básicamente se componen de los siguientes elementos:

- Módulos o paneles fotovoltaicos, que son los que reciben las radiaciones solares y las convierten en una corriente eléctrica continua.
- Regulador de carga, para regular el paso de la electricidad desde los módulos a los puntos de consumo o la batería, garantizando una larga vida útil para la misma. Téngase en cuenta que en las instalaciones solares fotovoltaicas, las baterías están sometida a ciclos de carga y descarga constantes, por lo que sufren mucho si la regulación no es buena. El regulador controla la tensión (V) y la corriente (I),

indica la siguiente información: indicación de batería en proceso de carga, indicación de batería cargada totalmente, y protección contra carga excesiva. Puede contar con sensor de temperatura para que la carga se desarrolle correctamente.

- Baterías, son almacenamientos de energía, que están sometidas a continuos ciclos de carga y descarga.
- Inversor (también llamado convertidor), que transforma la corriente continua recibida de los paneles en corriente alterna, donde la mayoría de los aparatos modernos (televisores, computadoras, hornos microondas, etc.) funcionan con corriente alterna. Estos inversores deben llevar protección contra sobrecarga del sistema, exceso de temperatura, batería baja e inversión de polaridad.
- Sistema de seguimiento solar, en la figura 8 se muestra un sistema de seguimiento solar, para aprovechar al máximo las radiaciones durante todo el día. Los sistemas de giro pueden ser mecánicos o hidráulicos (Madrid, 2009). Los sistemas de seguimiento solar encarecen el costo de la instalación pero aumentan mucho su rendimiento.
- Cargas CD, son aparatos, motores y equipos alimentados con corriente directa.
- Cargas CA, son aparatos, motores, y equipos alimentados con corriente alterna



Figura 8. Seguidor solar hidráulico instalado en Vilalba (Lugo), con una superficie portapaneles de 345 m² y una potencia de 42 kW

3.4. SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR

La primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de la energía solar es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar. Esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares y, por lo tanto, una colección óptima solo puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol (López, 1985).

En los sistemas prácticos, sin embargo, una solución estática puede resultar suficiente para determinadas aplicaciones. Naturalmente, en este caso, la energía colectada no es la máxima posible, pero puede resultar un valor aceptable si se da al colector una determinada inclinación, que depende de la latitud del lugar. Con ajustes estacionales de esta inclinación se consiguen algunas mejoras.

Si se utiliza un colector con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 35% mayor que para el mismo colector estático (López, 1985). Un incremento de esa magnitud compensaría sobradamente la energía requerida para el seguimiento.

Por lo tanto, es un sistema que sigue la trayectoria del sol para conseguir el mayor rendimiento posible de las radiaciones solares que inciden sobre una superficie o punto específico. Las dos orientaciones más comunes son:

1. Un eje para seguir al sol de este a oeste.
2. Dos ejes que garantizan seguir siempre al sol de forma directa.

Con este sistema de seguimiento se aprovecha tanto la radiación directa como la difusa.

El sistema de dos ejes es el mejor para aprovechar al máximo la radiación solar en todo momento (Madrid, 2009).

Estos sistemas se utilizan usualmente en:

- Huertos solares fotovoltaicos para producción de energía eléctrica.
- Centrales termoelectricas: generan electricidad a base de concentrar las radiaciones del sol. De éstos hay tres tipos:
 - Centrales con colectores cilíndrico-parabólicos.
 - Centrales con sistema central de recepción y distribución de las radiaciones.
 - Discos parabólicos Sterling.
- Sistemas de concentración solar para climatización.
- Sistemas de concentración solar para la producción de vapor para usos industriales.

3.4.1. Cinemática del seguimiento del sol

Una superficie colectora se orienta al sol cuando un vector perpendicular a la misma, es paralelo a los rayos solares. Así, para mantener un colector apuntado en todo momento, es necesario un giro del mismo alrededor de dos ejes. Sin embargo, salvo para los sistemas que utilizan sistemas ópticos de concentración con punto focal, es posible emplear sistemas de seguimiento de un solo eje, que si bien no presentan un rendimiento de colección óptimo pueden representar una condición aceptable entre la energía total captada a lo largo de un día (o de un año) y la complejidad, costo y consumo de energía de un sistema de seguimiento de dos ejes.

Las configuraciones de dos ejes más comunes en la práctica están representadas esquemáticamente en la figura 9. El montaje polar posee un eje de giro paralelo al de la tierra (figura 9a), y otro horizontal, perpendicular a éste (Figura 9b). Este montaje es muy apropiado para pequeños colectores por su sencillez de movimientos: el giro alrededor de eje polar es de

velocidad prácticamente uniforme e igual a la del reloj y el giro alrededor del eje horizontal solo se necesita para corregir la variaciones de la declinación solar, por lo que bien puede hacerse únicamente una vez al día, o incluso, solo algunas veces al año, si no se requiere gran precisión.

Sin embargo, el montaje polar, que requiere un eje inclinado móvil, no es apropiado para sistemas pesados. En el caso de los grandes espejos de una central térmica solar o de los paneles de una fotovoltaica, por ejemplo, el montaje más utilizado es el llamado de “acimut-elevación” (Figura 9b) que tiene un eje vertical y otro horizontal perpendicular a él. Esta configuración permite gran robustez mecánica sin grandes complicaciones de la estructura y de los mecanismos de giro.



Figura 9. Configuración de ejes más utilizados en la práctica: a) montaje polar, b) montaje acimut-elevación

3.4.2. Movimiento y control del seguidor

Una vez decidida la configuración y conocidas las ecuaciones del movimiento, el paso siguiente en el diseño de un sistema de seguimiento es la elección del sistema de movimiento y control que mueva el colector y lo mantenga continuamente apuntando al sol.

Para el movimiento pueden elegirse muy diversos medios, que pueden ser hidráulicos (Bawa *et al*, 1978; Farber *et al*, 1978), mecánicos (Gupta *et al*, 1978), electromecánicos, etc. Pueden utilizarse por ejemplo, simples sistemas de relojería para pequeños montajes del eje polar. Sin

embargo, el empleo de un motor eléctrico y un reductor de velocidad por cada eje de giro es el sistema más habitual.

3.5. CÁLCULO DE LA POSICIÓN DEL SOL

Existen diversos métodos para calcular el movimiento de sol respecto a un punto en la superficie terrestre, el método que se utilizó en este trabajo fue de acuerdo al algoritmo propuesto por Walraven (1978).

3.6. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Cross (2002) define metodología de diseño como “el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio; su objetivo central está desarrollado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de como los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevo métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño”.

El objetivo final de una metodología de diseño es obtener un producto útil que satisfaga ciertas necesidades, como por ejemplo, que sea seguro, eficiente, económico y de manufactura práctica (Mott, 2006).

A lo largo de la historia se han desarrollado una gran cantidad de modelos, métodos y teorías de diseño; sin embargo, retomando los puntos principales de la mayoría de ellos se propone utilizar la metodología de diseño mostrada en la Figura 10 propuesta inicialmente por (Bastida y Rabelo, 2009).

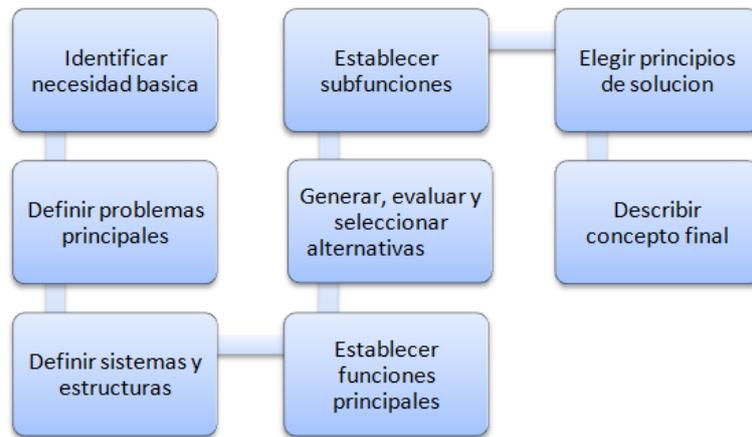


Figura 10. Metodología de diseño

IV. METODOLOGÍA

4.1. DISEÑO

De acuerdo a la metodología propuesta por Bastida y Rabelo(2009), se comienza con la identificación de una necesidad, que se debe expresar de la manera más clara y concreta posible, ya que de este modo es más fácil definir cuáles son los problemas principales a los que nos enfrentamos para satisfacer dicha necesidad. Una vez definidos los problemas que habrá que solucionar se proponen y definen los sistemas y estructuras que conformaran la máquina que se diseñara para satisfacer la necesidad básica, lo cual implica establecer la función básica que desempeñaran, para lo cual se debe realizar un proceso de generación, evaluación y selección de alternativas. Enseguida se establecen subfunciones y se eligen sus principios de solución. Finalmente se describe el concepto final y se procede al diseño de detalle.

4.2. DISEÑO DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN

El diseño de detalle se realizó a partir de la necesidad de especificar completa, y detalladamente los elementos recomendados para la manufactura del producto. En esta etapa se obtuvieron los planos finales de la maquina por lo que se tomó en cuenta los métodos de diseño para el ensamble y la manufactura.

Esta etapa permitió conocer mediante cálculos las características, así como el dimensionamiento de los sistemas y/o componentes del Dispositivo de Seguimiento Solar Fotovoltaico (DSSF). Fue necesario para el diseño de algunos sistemas, proponer variables a criterio para poder utilizar las diferentes ecuaciones que permiten hacer los cálculos requeridos. Debido a esto se puede observar que el diseño es un proceso iterativo que permite retroalimentar y hacer las modificaciones que se requieran, ya sea por restricciones propias para el diseño o por cuestiones de fabricación, estética, seguridad, normas, etc.

4.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Se construyó una caja de sensores para medir la corriente (I_{cc}) de salida del panel fijo y del móvil, se utilizaron sensores tipo ACS712 (marca Allegro MicroSystems Inc., Massachusetts, USA). Los sensores se calibraron comparando los datos obtenidos por un multímetro convencional tipo FU0233 (marca Fulgore) y por un datalogger tipo CR1000 (marca Campbell Scientific, Utah, USA), para obtener las ecuaciones de funcionamiento de los sensores.

Se probó el DSSF (Figura 11), con tres intervalos de tiempo discretos cada 5, 30 y 60 minutos de programación, se registraron los valores de tiempos de operación de motores con un circuito de adquisición de datos que se integró al Control, y se midió los valores de corriente con los sensores que se registró en el datalogger tipo CR1000, marca Campbell Scientific, Utah, USA, y el panel de referencia fijo se colocó con una inclinación de 34° con respecto al horizonte.



Figura 11. Panel fotovoltaico fijo (izquierda) y seguidor solar (derecha).

Para calcular los valores de potencia que se generó por los paneles (DSSF y fijo), se consideraron valores de voltaje constantes de 22.3 V (V_{ca}), según las especificaciones del fabricante del panel solar.

V. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DEL DISEÑO

A continuación se muestran cada uno de los pasos de la metodología de diseño que se propuso.

5.1.1. Identificación de la necesidad básica

Actualmente la operación de orientar la superficie captadora perpendicularmente a los rayos solares en un sistema fotovoltaico implica una serie de actividades que son realizadas por la fuerza del hombre con ayuda de instrumentos y equipos simples.

La necesidad identificada queda definida en el enunciado siguiente: contar con un **sistema de posicionamiento automático** con el cual la superficie captadora del panel solar en un sistema fotovoltaico se oriente perpendicularmente a los rayos solares; que tenga las dimensiones **apropiadas** para su fácil traslado e instalación en espacios reducidos; con una **firmeza estructural** que garantice el soporte del peso de sus componentes; que tenga una **elevada estabilidad** que impida el vuelco; una **total autonomía** que permita trabajar al sistema sin otra fuente de energía; y que sea **económicamente viable**.

5.1.2. Definición de los problemas esenciales

La definición de los problemas esenciales consiste en especificar las características relevantes de los sistemas y estructuras con los que deberá contar el seguidor solar, en función de los requerimientos principales, que derivan de la identificación de la necesidad básica.

En la Figura 12 se muestran los requerimientos principales que se consideran como los más importantes para garantizar el buen funcionamiento del seguidor solar, y que deben ser cubiertos en el diseño del mismo.



Figura 12. Requerimientos principales

A continuación se explica en qué consiste cada uno de los requerimientos que se plantearon; además, para la satisfacción de dichos requerimientos es preciso especificar los problemas esenciales que conllevan para así poder elegir el principio de solución adecuado.

Requerimiento 1. Posicionamiento automático.

Con el término “posicionamiento automático” se hace referencia a la necesidad de contar con un mecanismo que sirva para que la superficie captadora del panel solar en un sistema fotovoltaico se oriente perpendicularmente a los rayos solares desde el alba hasta el ocaso del sol para cada día, esto para aumentar su eficiencia en la generación de energía eléctrica.

Problemas esenciales.

Una máquina que tenga la capacidad de controlar sus movimientos automáticamente, implica lógicamente el diseño de varios subsistemas y estructuras, los cuales deben funcionar de manera independiente y al mismo tiempo relacionarse entre sí; como son:

- Estructuras de soporte.

- Control del movimiento.
- Transmisión de potencia.

Requerimiento 2. Dimensiones apropiadas.

Con el término “dimensiones apropiadas” se hace referencia a las dimensiones globales (ancho, largo y alto) que debe tener el seguidor solar para que al momento de instalarlo no cause problemas por exceso de dimensiones. Como se planea probar el dispositivo dentro de una estación meteorológica, las dimensiones del seguidor estarán limitadas al área destinada para la operación del mismo.

Problemas esenciales.

El seguidor solar debe estar diseñado para trabajar de manera unitaria donde las dimensiones estarán limitadas por el área destinada para la operación del mismo (Figura 13).

Ancho. La limitación del ancho del seguidor solar está condicionada por el área destinada para la operación del seguidor solar.

Largo. La limitación del largo del seguidor solar también está condicionada por el área destinada para la operación del seguidor solar.

Alto. Las características de funcionamiento del seguidor solar no representan una limitación técnica importante en lo que respecta a la altura del seguidor solar, debido a que éste trabaja al aire libre, por lo tanto, la altura está condicionada en su totalidad por garantizar la estabilidad de la estructura. Se recomienda una altura no mayor a 200 cm.

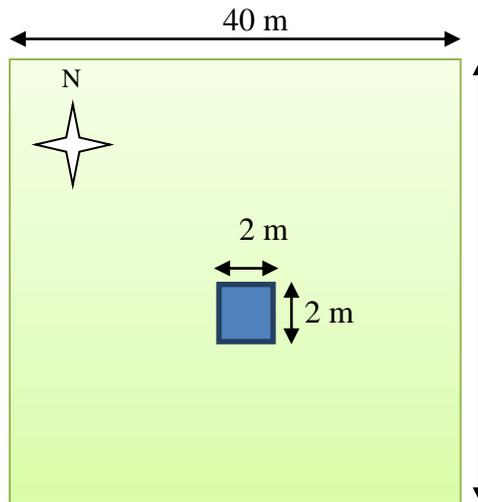


Figura 13. Dimensiones del área destinada para la operación del seguidor en una estación meteorológica

Requerimiento 3. Firmeza estructural.

Con el término “firmeza estructural” se hace referencia a que se debe garantizar la solidez y robustez del seguidor solar, de modo que soporte el peso de todos los componentes de los sistemas y estructuras, para así asegurar su estabilidad estructural.

Problemas esenciales.

Para garantizar la firmeza estructural, es preciso diseñar unas estructuras de soporte construidas de un material apropiado; además, el método de ensamble de las partes de dichas estructuras es también un punto a considerar.

- Material de construcción de las estructuras de soporte. Las estructuras de soporte llevarán el peso del seguidor en si, por lo cual deben estar construidas con un material probado para resistir las fuerzas de flexión, tensión y compresión a las que estarán sometidas.
- Método de ensamble de las estructuras de soporte. Será útil contar con unas estructuras construidas de un material altamente resistente si el método de unión empleado fuese inapropiado; por ello es importante que se elija un

método acorde a las características de diseño, que fortalezca las uniones de las partes en lugar de debilitarlas.

Requerimiento 4. Elevada estabilidad.

Con el término “elevada estabilidad” se hace referencia a que la estabilidad estructural del seguidor debe ser tal que se eviten volcaduras que ocasionen daños a las personas o equipos que se encuentren próximos a él, o a los mismos componentes del sistema.

Problemas esenciales.

Es necesario diseñar el seguidor solar de tal manera que los componentes de mayor peso se ubiquen en la parte inferior de seguidor para que así el centro de masa se encuentre lo más bajo posible, con lo cual se garantizara una alta estabilidad.

- Bajo centro de masa. Los componentes de mayor peso deben de ir colocados a menor altura, ya que si se procediera de manera contraria las probabilidades de volcadura aumentarían de manera drástica. Por ello, la disposición de los componentes debe ser tal que, como mínimo, el 60 % del peso del seguidor solar se encuentre por debajo de su línea media.

Requerimiento 5. Elevada autonomía.

Con el término “elevada autonomía” se hace referencia a que el tiempo de trabajo del seguidor debe maximizarse, contando para ello con el menor número de interrupciones posibles, las cuales en su mayoría se deben a falta de energía para su movimiento.

Problemas esenciales.

Para garantizar una elevada autonomía es necesario considerar un factor principal: la fuente de energía del seguidor debe ser la adecuada.

- Fuente de energía adecuada. La fuente de energía encargada de suministrar potencia para los movimientos internos del seguidor, debe ser adecuada, entendiendo por este término que debe suministrar potencia en todo momento,

de manera constante y sin variaciones bruscas que puedan afectar el funcionamiento de los componentes de los subsistemas y estructuras.

Requerimiento 6. Económicamente viable.

Con el término “económicamente viable” se hace referencia a que la construcción del seguidor debe tener límites económicos razonables.

Problemas esenciales:

Básicamente se hace necesario el empleo de materiales de bajo costo pero de alta confiabilidad; así mismo, los componentes que conformen los sistemas deben ser lo más económicos posibles garantizando se excelente desempeño y funcionamiento.

- Bajo costo de construcción. En la medida de lo posible, la construcción del seguidor deberá ser lo más económicamente posible, sin descuidar características como fiabilidad, durabilidad y desempeño.

5.1.3. Definición de los sistemas y estructuras

Para cubrir los requerimientos principales identificados y los problemas esenciales que estas conllevan es necesario, primeramente, definir los sistemas y estructuras que conformarán el seguidor, así como el tipo de los mismos; seguido por el establecimiento de la función principal de cada uno de ellos, de donde se derivan subfunciones para las cuales se darán principios de solución.

Es necesario definir los sistemas y estructuras que conformaran el seguidor, para lo cual es necesario considerar los problemas esenciales identificados con anterioridad, porque son las prioridades a solucionar. Para ello se proponen los sistemas y estructuras mostrados en la Figura 14.

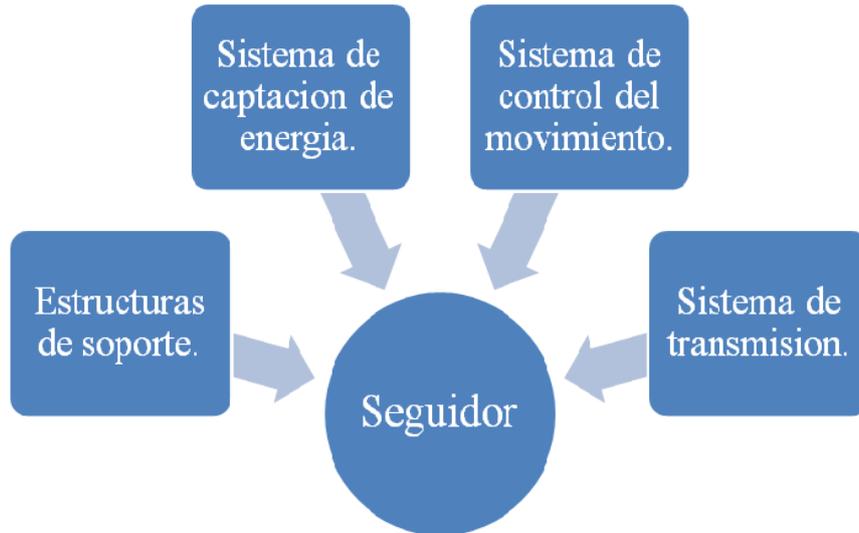


Figura 14. Sistemas y estructuras del seguidor solar

5.1.3.1. Establecimiento de las funciones principales

A continuación se define la función principal de cada sistema y estructura que cumplirá en el seguidor. Dicha función principal debe ser lo suficientemente importante como para justificar su existencia (Cuadro 1).

Las funciones principales mencionadas engloban subfunciones que se describen a detalle más adelante.

A) Generación de alternativas.

Antes de definir las subfunciones de cada sistema y estructura es necesario determinar su configuración, ya que existen diferentes propuestas que pueden realizar la misma función principal, pero que difieren tanto en sus componentes como en su forma de operación. De esta manera se explicará de forma breve dos alternativas para cada uno de los sistemas y estructuras, realizando posteriormente la selección y justificación de la solución elegida.

Cuadro 1. Función principal de los sistemas y estructuras.

SISTEMA O ESTRUCTURA	FUNCIÓN PRINCIPAL
Estructuras de soporte.	Brindar firmeza estructural al seguidor, soportar los sistemas, y ofrecer puntos de unión y agarre de los mismos.
Sistema de captación de energía y almacenamiento.	Captar y almacenar energía fotovoltaica, tanto para el funcionamiento del seguidor como para el aprovechamiento externo que se quiera dar a ésta.
Sistema de control del movimiento.	Obtener los valores (ángulos) que determinaran el movimiento (horizontal y vertical) del panel solar, y mediante la fase de potencia lograr el accionamiento de los motores.
Sistema de transmisión.	Transmitir la potencia de cada uno de los motores al soporte del panel solar, para realizar el movimiento del mismo de acuerdo a los requerimientos.

Estructuras de soporte (E).

- Alternativa 1: Placas de acero. El uso de placas de acero para construir las estructuras de soporte garantiza el cumplimiento de la función principal de las mismas, porque la sujeción de los sistemas y estructuras se asegura, debido fundamentalmente a que la cantidad de material al cual se pueden anclar los elementos es mucho mayor. Sin embargo, el uso de placas de acero con un grosor inadecuado, trae consigo un incremento importante en el peso del seguidor.

- Alternativa 2: Perfiles estructurales. El uso de perfiles estructurales asegura reducir el peso de las estructuras, en comparación con la utilización de placas; sin embargo, los elementos de los sistemas y estructuras tienen menos puntos de anclaje, por lo cual encontrar una correcta ubicación de los mismos se dificulta; a pesar de esto la función principal también se cumple satisfactoriamente, con el uso de perfiles de dimensiones adecuadas.

Sistema de captación de energía y almacenamiento (S1).

- Alternativa 1: Un panel solar. El uso de un solo panel solar para la captación de energía garantiza el funcionamiento de la máquina si éste tiene la potencia y dimensiones adecuadas. Debido a su tamaño y peso reducidos los elementos de la máquina serán los mínimos requeridos. Sin embargo, en determinado caso que la energía captada y almacenada sea mínima debido a nublados prolongados u otros factores, ésta no será suficiente para la operación de la máquina por lo que la autonomía disminuye.
- Alternativa 2: Varios paneles solares. Al utilizar un módulo de paneles solares tanto el peso como dimensiones se incrementan al compararse con la alternativa anterior, además de requerirse una mayor capacidad y cantidad de elementos para su funcionamiento. Pero al captar y almacenar una mayor cantidad de energía se incrementaría notablemente la autonomía de la máquina.

Sistema de control del movimiento (S2).

- Alternativa 1: En tiempo real. Realizar en tiempo real el cálculo de los datos a utilizar para el posicionamiento del panel o paneles implica el diseño y elaboración de varios subsistemas requeridos para dicho propósito, mediante dicho método la máquina podrá ser capaz de ser configurada manualmente por el usuario y utilizada en cualquier parte del país sin necesidad de configuraciones o actualizaciones externas.

Pero invariablemente el uso de este método incrementa los costos de la maquina debido a la tecnología empleada.

- Alternativa 2: Tablas de datos. Al utilizar un método de lectura de tablas de datos para el posicionamiento de panel o paneles se requieren menos elementos que en el cálculo en tiempo real, lo que economiza los costos de la máquina. Pero este método tiene el inconveniente de que solo funciona para un lugar en particular y debe ser configurado por el diseñador quedando cerrado a modificaciones y requerirá actualización cada vez que la maquina se mueva de lugar.

Sistema de transmisión (S3).

- Alternativa 1: Tren de engranajes. Para la transmisión de potencia de los motores a los ejes motrices del panel o paneles podemos utilizar un conjunto de engranes que son utilizados en general para transmitir elevadas potencias con aumentos o reducciones de velocidad importantes, también tiene la propiedad de mantener o invertir el sentido de giro. Este sistema resulta costoso inicialmente y difícil de construir pero aumenta significativamente durabilidad, estabilidad y seguridad al operar.
- Alternativa 2: Tren de poleas. También podemos utilizar un sistema compuesto por poleas y bandas generalmente utilizado para transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes con una gran reducción o aumento de la velocidad de giro sin tener que recurrir a diámetros excesivamente grandes o pequeños, éste puede mantener o invertir el sentido de giro de los ejes. Normalmente los ejes tienen que ser paralelos, pero el sistema también puede emplearse con ejes que se cruzan en ángulos inferiores o iguales a 90° . Ésta alternativa resulta más económica y fácil de construir que el tren de engranajes pero disminuye la durabilidad, estabilidad y seguridad al operar.

B) Evaluación de alternativas.

La evaluación de las alternativas generadas se realiza mediante un análisis cuantitativo, para lo cual se hace uso del método denominado función de criterio (Vargas y López, 2006).

Debido a que la necesidad básica identificada al principio de la metodología de diseño, queda cubierta con las alternativas de los sistemas y estructuras propuestas, es necesario definir ciertos criterios técnicos y económicos (Cuadro 2) para evaluar las alternativas planteadas y seleccionar las más adecuadas.

Cuadro 2. Criterios de diseño

Criterio	Justificación
Bajos costos de construcción.	Debe darse prioridad a que los costos de construcción sean lo más reducidos posibles para que la factibilidad de adquisición sea elevada.
Bajos costos de operación.	La economía de operación depende de los insumos para su funcionamiento, de la eficiencia energética de la máquina.
Mantenimiento mínimo.	Mientras menos componentes móviles existan el mantenimiento y sus costos se reducirán considerablemente.
Estable y seguro de operar.	La estabilidad de la estructura determinara en gran medida la seguridad de la máquina, por tanto se debe garantizar un alto valor de estabilidad.
Facilidad de operación.	Se busca reducir el número de componentes y controles para que sea sencillo operar la máquina.

Los criterios (C_i) se evalúan de acuerdo al criterio del diseñador, para lo cual se plantean valores en función de su importancia (Cuadro 3), y se realiza la justificación de las razones consideradas para otorgar cada calificativo. Estos criterios se cuantificaran en un intervalo de 0 a 1, bajo el siguiente razonamiento:

$C_i=0$; importancia mínima.

$C_i=1$; importancia máxima.

En los Cuadros 4 y 5 se valoran las alternativas generadas (A_j) y se predicen sus características de acuerdo a los criterios de diseño, asignándoles valores de 0 a 1, bajo el siguiente razonamiento:

- $A_j=0$; Alternativa con desventaja.
- $A_j=1$; Alternativa con ventaja.

Cuadro 3. Valoración de los criterios de diseño

Criterio (C)	Valor (N_i)	Justificación
1. Bajos costos de construcción.	0.9	De los costos de construcción depende principalmente el costo total de la máquina, por lo que se seleccionaran alternativas que minimicen dichos costos.
2. Bajos costos de operación.	1.0	Los costos de operación son el criterio principal para el diseño de la máquina, por lo que se le asigna un valor de 1, priorizando así la selección de alternativas que minimicen dichos costos.
3. Mantenimiento mínimo.	0.6	Se elegirán alternativas que se

		<p>traduzcan en un menor mantenimiento de los componentes de la máquina, lo cual evidentemente reducirá los costos por dicho concepto.</p>
<p>4. Estable y seguro de operar.</p>	<p>0.7</p>	<p>Las alternativas que representen un aumento significativo en la estabilidad de las maquina serán priorizadas, además de que se valorara aquellas que ofrezcan mayor seguridad de trabajo.</p>
<p>5. Facilidad de operación.</p>	<p>0.8</p>	<p>La cantidad de controles debe ser mínima sin descuidar el control de las funciones principales; un menor número de componentes significa mayor facilidad de operación.</p>

Cuadro 4. Evaluación de las alternativas de las estructuras

Criterio	E		Razonamiento
	A1	A2	
C1	0.6	0.8	El costo de construcción es menor utilizando perfiles estructurales debido a que son más baratos.
C2	0.7	0.9	La economía de operación es menor si se emplean perfiles estructurales debido a que se emplea menos energía para su movimiento.
C3	0.8	0.7	El mantenimiento es mínimo si se emplean placas de acero ya que sus uniones serian soldadas.
C4	0.9	0.8	La estabilidad y seguridad al operar aumentan utilizando placas de acero ya que la resistencia a la deformación es mayor.
C5	0.7	0.8	La facilidad de operación aumenta utilizando perfiles estructurales debido a su ligereza y uniones móviles.

Dónde: C_j= Criterios de diseño 1, 2,...5, E=Estructuras de soporte, A1 =Alternativas de solución 1 y A2 =Alternativas de solución 2.

Cuadro 5. Evaluación de las alternativas de los sistemas

Criterio	S1		S2		S3		Razonamiento
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
C1	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.8	El costo de construcción es menor utilizando un Sistema de captación de energía y almacenamiento de un solo panel, un sistema de control del movimiento por medio de tablas de datos y un sistema de transmisión mediante un tren de poleas.
C2	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	La economía de operación es menor utilizando un Sistema de captación de energía y almacenamiento de un solo panel, un sistema de control del movimiento por cualquiera de las dos alternativas y un sistema de transmisión mediante un tren de poleas.
C3	0.8	0.6	0.9	0.7	0.9	0.6	El mantenimiento es mínimo utilizando un Sistema de captación de energía y almacenamiento de un solo panel, un sistema de control del movimiento en tiempo real y un sistema de transmisión mediante un tren de engranajes.
C4	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	La estabilidad y seguridad al operar aumentan utilizando un Sistema de captación de energía y almacenamiento de un solo panel, un sistema de control del movimiento por cualquiera de las dos alternativas y un sistema de transmisión mediante un tren de engranajes.
C5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	La facilidad de operación aumenta utilizando un Sistema de captación de energía y almacenamiento por cualquiera de las dos opciones, un sistema de control del movimiento por cualquiera de las dos opciones y un sistema de transmisión mediante un tren de engranajes.

Dónde: C_j = Criterio de diseño 1, 2,...5, S1 = Sistema de captación de energía y almacenamiento, S2 = Sistema de control del movimiento, S3 = Sistema de transmisión, A1 =Alternativas de solución 1 y A2 =Alternativas de solución 2.

Finalmente, en los Cuadros 6 y 7 se agrupan los resultados anteriores con el propósito de aplicar la función de criterio (ecuación 1). Al tener la función de criterio, se hace una comparación entre propuestas y se elige la que posea el mayor valor numérico, que será la que se considera más óptima.

La función de criterio (F_c) es la siguiente:

$$F_c = \sum C_i A_j \quad (1)$$

Dónde:

- C_i es el valor numérico del i-ésimo criterio.
- A_j es el valor numérico de la j-ésima alternativa para cada criterio.

Cuadro 6. Determinación de la función criterio para las estructuras

Criterio	C_i	E A1	$C_i * E A1$	E A2	$C_i * E A2$
C1	0.9	0.6	0.54	0.8	0.72
C2	1.0	0.7	0.7	0.9	0.9
C3	0.6	0.8	0.48	0.7	0.42
C4	0.7	0.9	0.63	0.8	0.56
C5	0.8	0.7	0.56	0.8	0.64
Función criterio		---	2.91	---	3.24

Dónde: C_j = Criterios de diseño 1, 2,...5, C_i = valor numérico del i-ésimo criterio, E = Estructuras de soporte, A1 =Alternativas de solución 1 y A2 =Alternativas de solución 2.

Cuadro 7. Determinación de la función criterio para los sistemas

Criterio	Ci	S1A1	Ci* S1A1	S1A2	Ci* S1A2	S2A1	Ci* S2A1	S2A2	Ci* S2A2	S3A1	Ci* S3A1	S3A2	Ci* S3A2
C1	0.9	0.8	0.72	0.7	0.63	0.7	0.63	0.8	0.72	0.6	0.54	0.8	0.72
C2	1.0	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
C3	0.6	0.8	0.48	0.6	0.36	0.9	0.54	0.7	0.42	0.9	0.54	0.6	0.36
C4	0.7	0.8	0.56	0.7	0.49	0.9	0.63	0.9	0.63	0.9	0.63	0.7	0.49
C5	0.8	0.8	0.64	0.8	0.64	0.8	0.64	0.8	0.64	0.9	0.72	0.8	0.64
Función criterio	---	---	3.3	---	2.82	---	3.24	---	3.21	---	3.13	---	3.01

Dónde: C_j = Criterio de diseño 1, 2,...5, C_i = valor numérico del i-ésimo criterio, S1 = Sistema de captación de energía y almacenamiento, S2 = Sistema de control del movimiento, S3 = Sistema de transmisión, A1 = Alternativas de solución 1 y A2 = Alternativas de solución 2.

De acuerdo a los resultados de los Cuadros 6 y 7, es posible determinar cuáles son las alternativas que mejor cumplen con las condiciones de trabajo, en concordancia con los criterios de selección previamente definidos, las cuales se muestran resaltadas en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Alternativas de solución

Sistemas y estructuras		Alternativas	
		A1	A2
E	Estructuras de soporte.	Placas de acero.	Perfiles estructurales.
S1	Sistema de captación de energía y almacenamiento	Un panel solar.	Varios paneles solares.
S2	Sistema de control del movimiento	En tiempo real.	Tablas de datos.
S3	Sistema de transmisión	Tren de engranajes.	Tren de poleas.

5.1.3.2. Establecimiento de las subfunciones

Según lo mostrado en el Cuadro 8, el seguidor solar está compuesto por tres sistemas además de estructuras de soporte. Se entiende por sistema a un conjunto de elementos relacionados

entre sí y que constituyen una unidad; y por estructura a un conjunto de piezas que sirven para sujetar o sustentar algo.

De acuerdo a la definición de sistema, es lógico pensar que los sistemas del seguidor tendrán un gran número de componentes, que desarrollaran muchas subfunciones, mientras que las estructuras estarán compuesta por piezas cuyo objetivo generalmente es desempeñar una única función, no por ello significa que tiene una importancia menor que los mismos.

A continuación se establecen las subfunciones que realizara cada uno de los tres sistemas que conforman el seguidor, necesarias para que se cumplan los requerimientos establecidos previamente.

a) Sistema de captación de energía y almacenamiento.

El concepto del Sistema de captación de energía y almacenamiento solar se presenta en la Figura 15. Le llamamos captación de energía solar al proceso de conversión directa de la energía solar en electricidad, donde se incluyó el sistema de medición, control y almacenamiento de la energía captada.

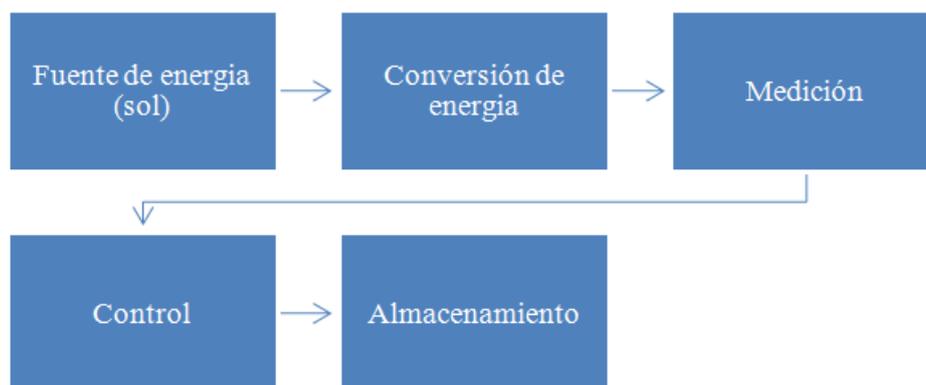


Figura 15. Concepto de un sistema de captación de energía solar

Con base en la alternativa elegida, en la Figura 16 se presenta un diagrama general del sistema, y las subfunciones que desarrollaran sus componentes son:

- Proporcionar energía eléctrica a la máquina.

- Medir la energía captada.
- Gestionar la energía disponible y proporcionar energía eléctrica para otras aplicaciones.
- Almacenar la energía no utilizada.

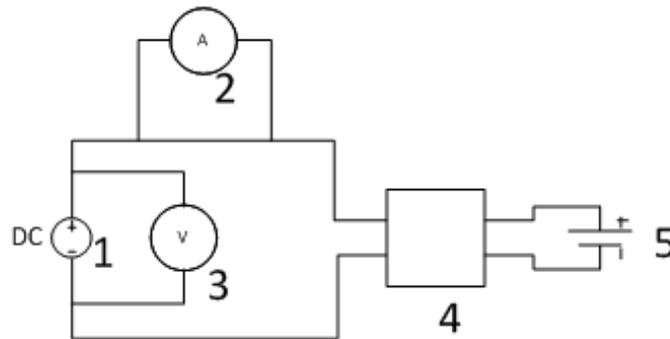


Figura 16. Diagrama del sistema de captación de energía: 1) panel solar, 2) amperímetro, 3) voltímetro, 4) control de carga y 5) batería

b) Sistema de control del movimiento.

Un sistema de control del movimiento se observa conceptualmente en la Figura 17. Donde se incluyó en el sistema la parte de fase de potencia y motores. Se puede denominar cálculo a todas aquellas operaciones (en su mayoría matemáticas) que tienen por objetivo el alcance de cierto dato o información y que requieren el desarrollo de un proceso previo a la obtención de ese resultado.



Figura 17. Concepto de un sistema de cálculo de movimiento

De acuerdo con la alternativa elegida de establecer un sistema de control del movimiento en tiempo real, en la Figura 18 se presenta un esquema general del mismo.

En concordancia con el concepto y esquema general del sistema se pueden determinar las subfunciones que desarrollaran los componentes del mismo, las cuales son:

- Capturar los datos requeridos (año, zona horaria, latitud y longitud) por el sistema para el cálculo de la posición del sol.
- Realizar el cálculo de la posición del sol, arrojando como datos de salida la elevación o altura solar y el azimut (en grados sexagesimales).
- Convertir los datos de salida de la fase de cálculo en señales (pulsos) utilizables para el accionamiento de los motores.
- El movimiento de los ejes motrices y en consecuencia del panel solar.
- Sistema de transmisión.

El concepto de un sistema de transmisión de potencia mecánico por medio de engranes se presenta en la Figura 19. Se le llama transmisión al conjunto de elementos que sirven para comunicar fuerza y movimiento desde una fuente de potencia hasta su punto de aplicación.

Recibe el nombre de tren de engranes el conjunto de éstos que se encuentran endentados entre sí, ya sea directamente o por medio de cadenas. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de engranaje; el engrane “M” (motor) hace girar a los engranes “m” (movidos) notándose que en cada paso se invierte el sentido de giro.

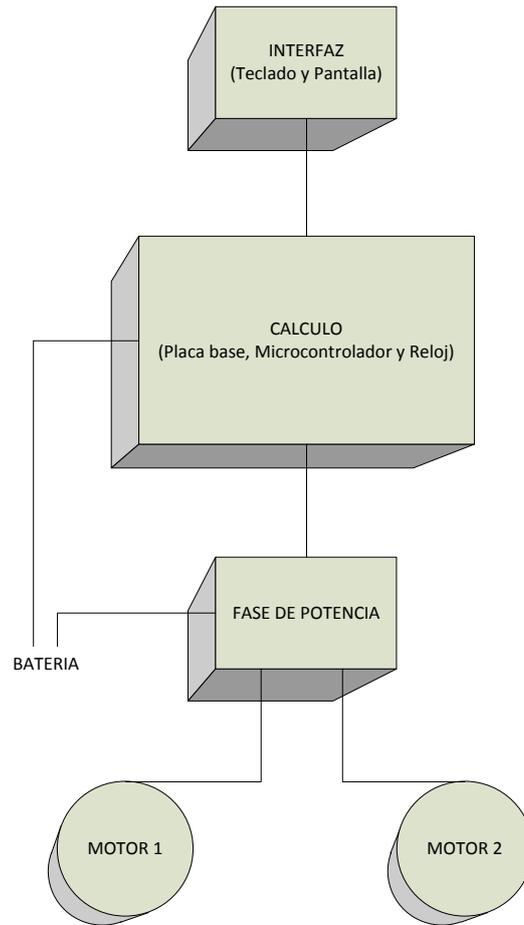


Figura 18. Esquema general del sistema de control de movimiento



Figura 19. Sistema de transmisión de potencia mecánico por medio de engranes

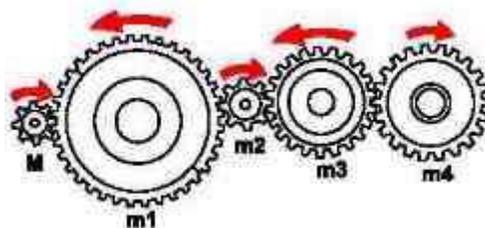


Figura 20. Tren de engranes simples

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en la Figura 21 se presenta un esquema general del sistema de transmisión del seguidor, en el cual se observa que el sistema de transmisión está compuesto por eje motriz (motor), ruedas dentadas dobles, ejes de apoyo, eje útil y chavetas.

Cabe señalar que en el seguidor se utilizaran dos sistemas de transmisión exactamente iguales, uno para el movimiento horizontal y otro para el vertical del panel solar.

Las subfunciones que desarrollaran los componentes anteriores son:

- Transmitir la potencia mecánica del eje motriz al eje útil.
- Estabilizar el eje útil en una posición determinada.

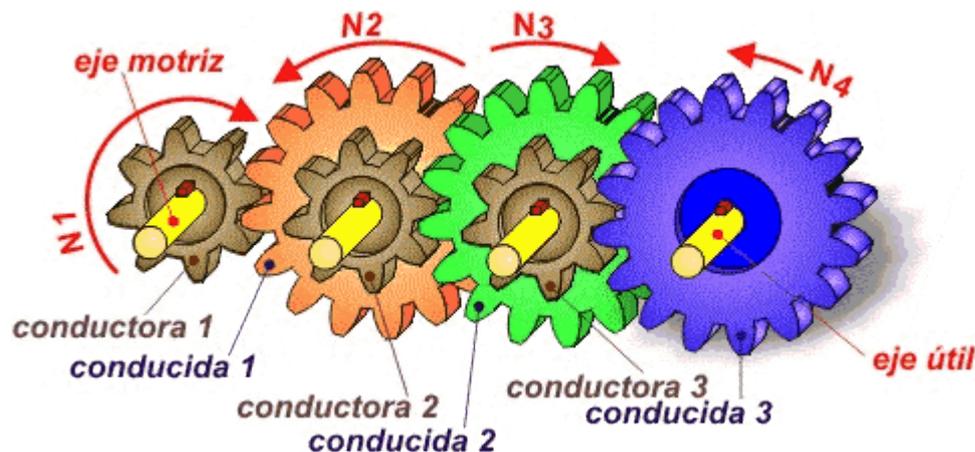


Figura 21. Esquema del sistema de transmisión

4.1.3.3. Elección de los principios de solución de las subfunciones

En los Cuadros 9, 10 y 11 se presentan, para cada subfunción, dos componentes que satisfacen la realización de la misma, ya que sus principios de solución cumplen con los requerimientos principales de diseño, es decir, cubren la necesidad básica identificada. Se remarcan las soluciones seleccionadas y una breve justificación del porqué de su elección.

a) Sistema de captación de energía y almacenamiento

En el Cuadro 9 se observan los principios de solución propuestos para las subfunciones del sistema de control de captación de energía y almacenamiento.

Cuadro 9. Principios de solución de las subfunciones del sistema de captación de energía y almacenamiento.

Subfunción	Solución 1	Solución 2	Justificación
Proporcionar energía eléctrica al seguidor solar.	Panel solar de silicio policristalino.	Panel solar de silicio monocristalino.	Es más económico, y cumple con la necesidad de energía requerida.
Medir la energía captada.	Multímetro.	Sensores de amperaje.	Se puede automatizar la captura de datos.
Gestionar la energía disponible y proporcionar energía eléctrica para otras aplicaciones.	Regulador de carga de una etapa.	Regulador de carga de dos etapas.	Incorporan un microprocesador. Controlan las dos funciones, tanto la carga como la descarga de la batería.
Almacenar la energía no utilizada.	Batería con capacidad de 6 Ah.	Batería con capacidad de 12 Ah.	Pueden almacenar una cantidad mayor de energía utilizable para aplicaciones externas.

b) Sistema de control del movimiento

En el Cuadro 10 se observan los principios de solución propuestos para las subfunciones del sistema de control del movimiento.

Cuadro 10. Principios de solución de las subfunciones del sistema de control del movimiento

Subfunción	Solución 1	Solución 2	Justificación
Capturar los datos externos requeridos por el sistema de configuración del DSSF.	Teclado y display.	PC; reprogramando el MCU.	Tiene mayor movilidad y no se requiere personal altamente capacitado para su operación.
Realizar el cálculo de variables y parámetros.	Autómata Programable	Microcontrolador (MCU). PIC18F4553	Más económico, consume menos energía y tiene mayor movilidad.
Convertir las señales de salida de la fase de cálculo en señales (pulsos) utilizables para el accionamiento de los motores.	Circuito electrónico de potencia unidireccional.	Circuito electrónico de potencia bidireccional.	Tiene casi el mismo costo pero éste permite invertir la polaridad de las salidas con lo que los motores podrán rotar en el sentido horario y antihorario.
El movimiento de los ejes motrices y en consecuencia del panel solar.	Motores eléctricos de corriente continua, con caja de transmisión.	Servomotores	Más económicos, mismo torque, su eje gira más de 180° y puede adaptársele un circuito de control.

c) Sistema de transmisión

En el Cuadro 11 se observan los principios de solución propuestos para las subfunciones del sistema de transmisión.

Cuadro 11. Principios de solución de las subfunciones del sistema de transmisión

Subfunción	Solución 1	Solución 2	Justificación
Trasmitir la potencia mecánica del eje motriz al eje útil.	Ruedas dentadas simples.	Ruedas dentadas dobles.	Ocupa menos espacio.
Estabilizar el eje útil en una posición determinada.	Mediante la caja de transmisión.	Trinquete bidireccional accionado por solenoides.	Más económico ya que no es necesario ningún componente extra, solo debe tenerse cuidado con el peso del panel solar para no sobrecargar la caja de transmisión.

5.1.4. Descripción de las estructuras de soporte

Las estructuras de soporte principal y del panel solar deben servir para brindar firmeza estructural al seguidor, soportar los sistemas, y ofrecer puntos de unión y agarre de los mismos. Su diseño fue con base en los requerimientos principales así como los problemas esenciales planteados con anterioridad. Se usaron perfiles estructurales de un material y dimensiones adecuadas, método de ensamble apropiado (tornillería), firmeza estructural, elevada estabilidad y costos razonables. En las Figuras 22 y 23 se muestra el diseño propuesto para dichas estructuras.

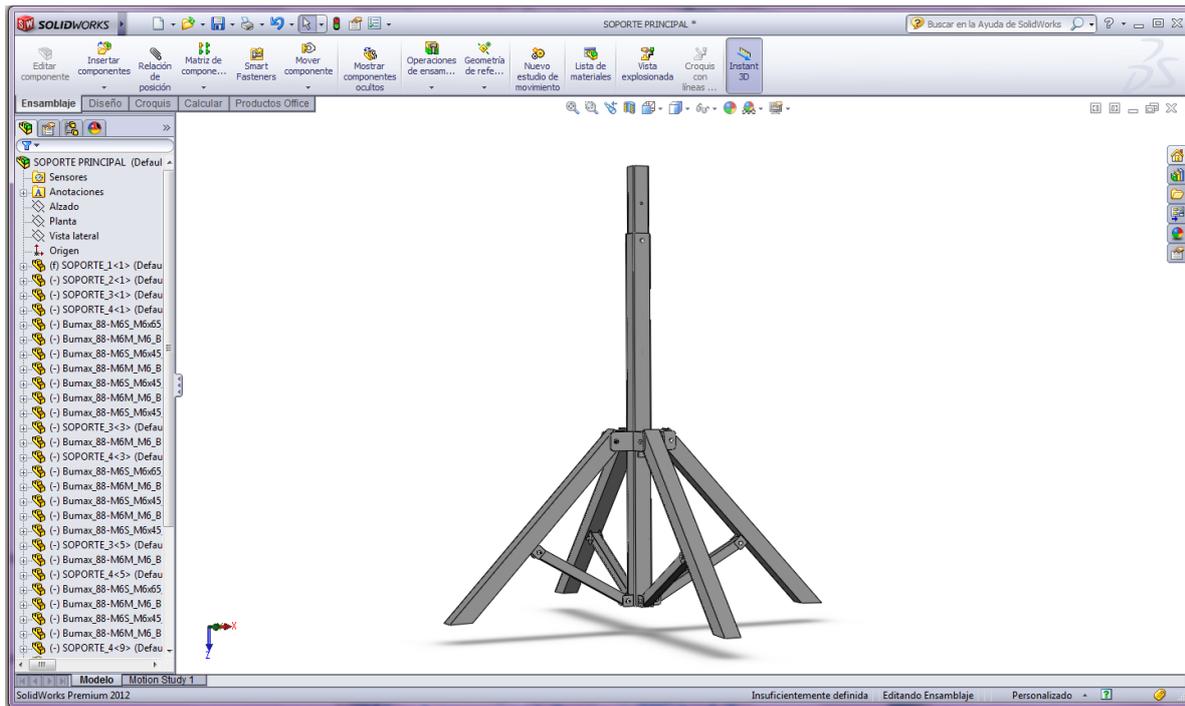


Figura 22. Estructura de soporte principal

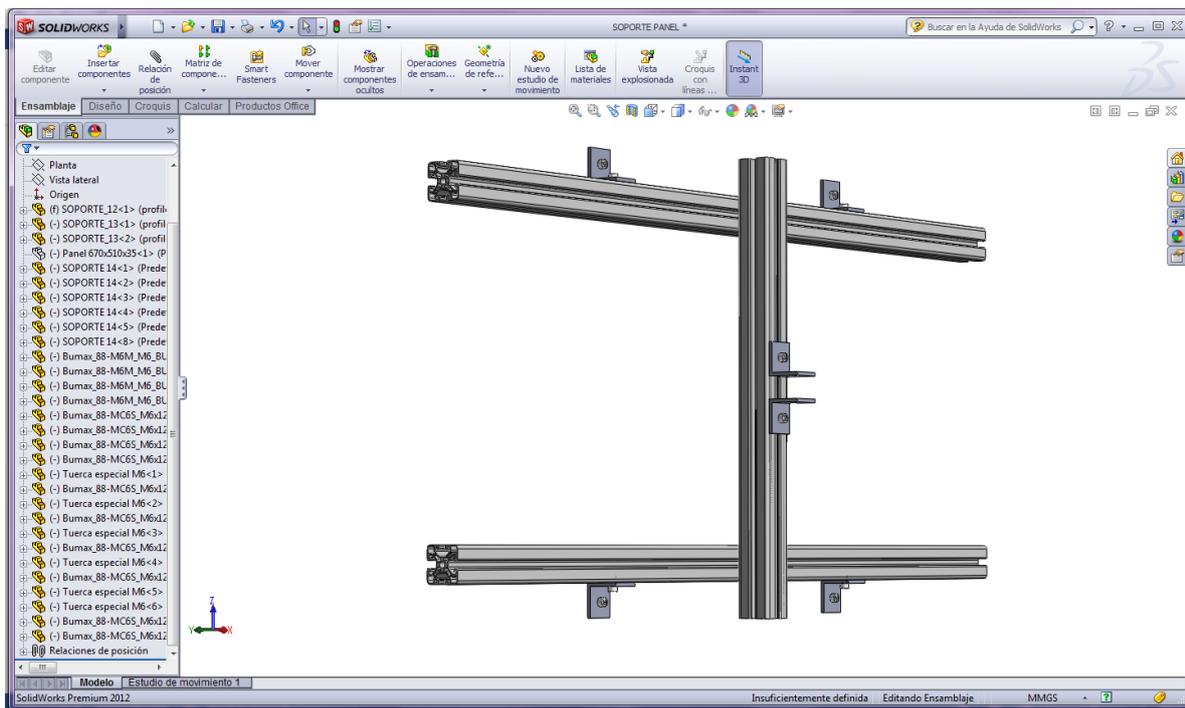


Figura 23. Estructura de soporte de panel solar

5.1.5. Descripción del sistema de captación de energía

El sistema de captación de energía y almacenamiento (Figuras 24y 25) sirve para captar y almacenar energía fotovoltaica, tanto para el funcionamiento del seguidor como para el aprovechamiento externo que se quiera dar a ésta. Su diseño fue con base en dimensiones apropiadas (del panel fotovoltaico principalmente), elevada autonomía (baterías adecuadas), y viabilidad económica entre otros requerimientos y problemas esenciales.

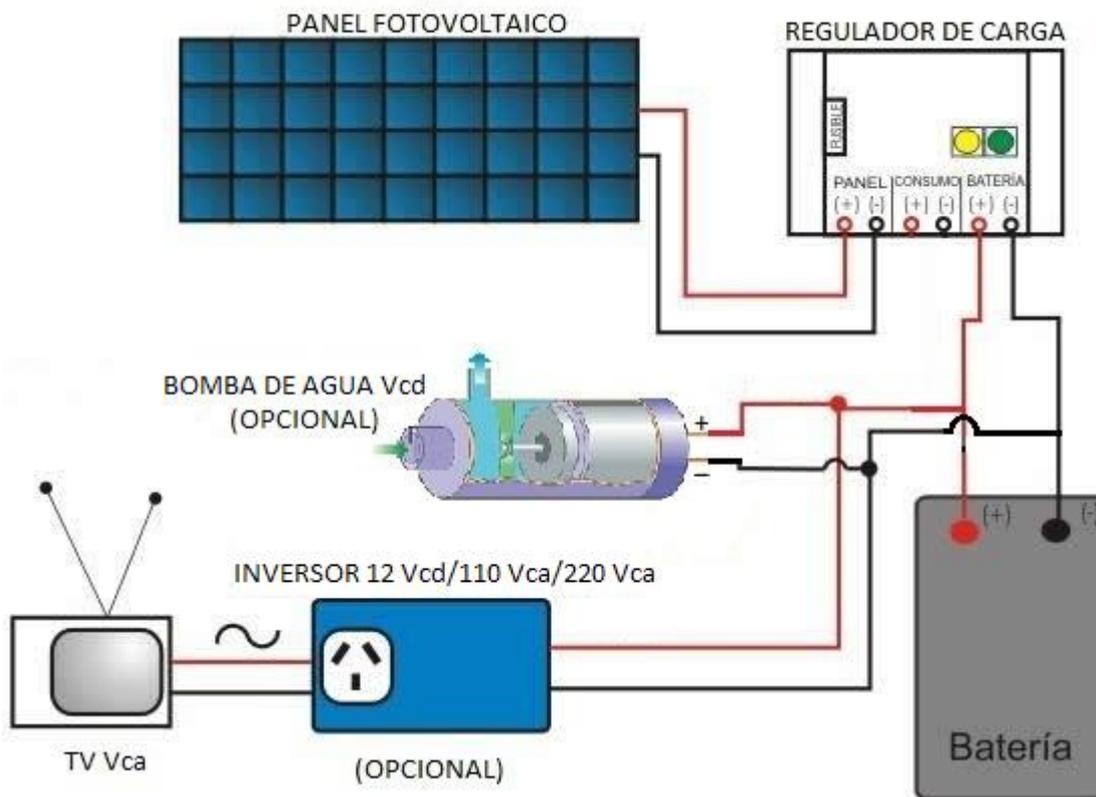


Figura 24. Sistema de captación de energía

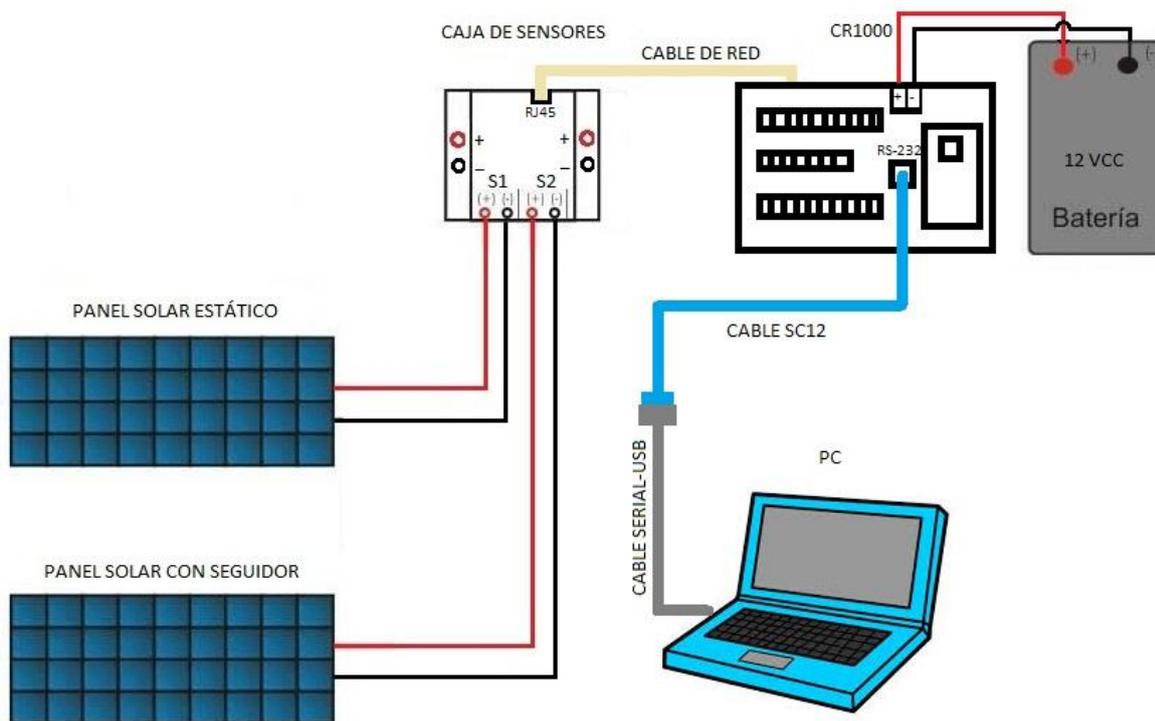


Figura 25. Subsistema de medición de la energía captada

5.1.6. Descripción del sistema del control de movimiento

El sistema de control del movimiento (Figura 26) sirve para obtener los valores (ángulos) que determinaran el movimiento (horizontal y vertical) del panel solar, y mediante la fase de potencia se logra el accionamiento de los motores. El requerimiento principal del sistema es el de posicionamiento automático (del panel) con sus respectivos problemas esenciales. También se toman en cuenta las dimensiones adecuadas (de la caja de control principalmente), tener una elevada autonomía, bajo consumo energético, y bajos costos de construcción hasta donde es posible.

5.1.7. Descripción del sistema de transmisión

El sistema de transmisión (Figura 27) sirve para transmitir la potencia de cada uno de los motores a los engranes motrices del soporte del panel solar, para realizar el movimiento del mismo de acuerdo a los requerimientos. El posicionamiento automático, dimensiones

apropiadas, firmeza estructural y viabilidad económica son los requerimientos que se tomaron en cuenta para el diseño de este sistema.

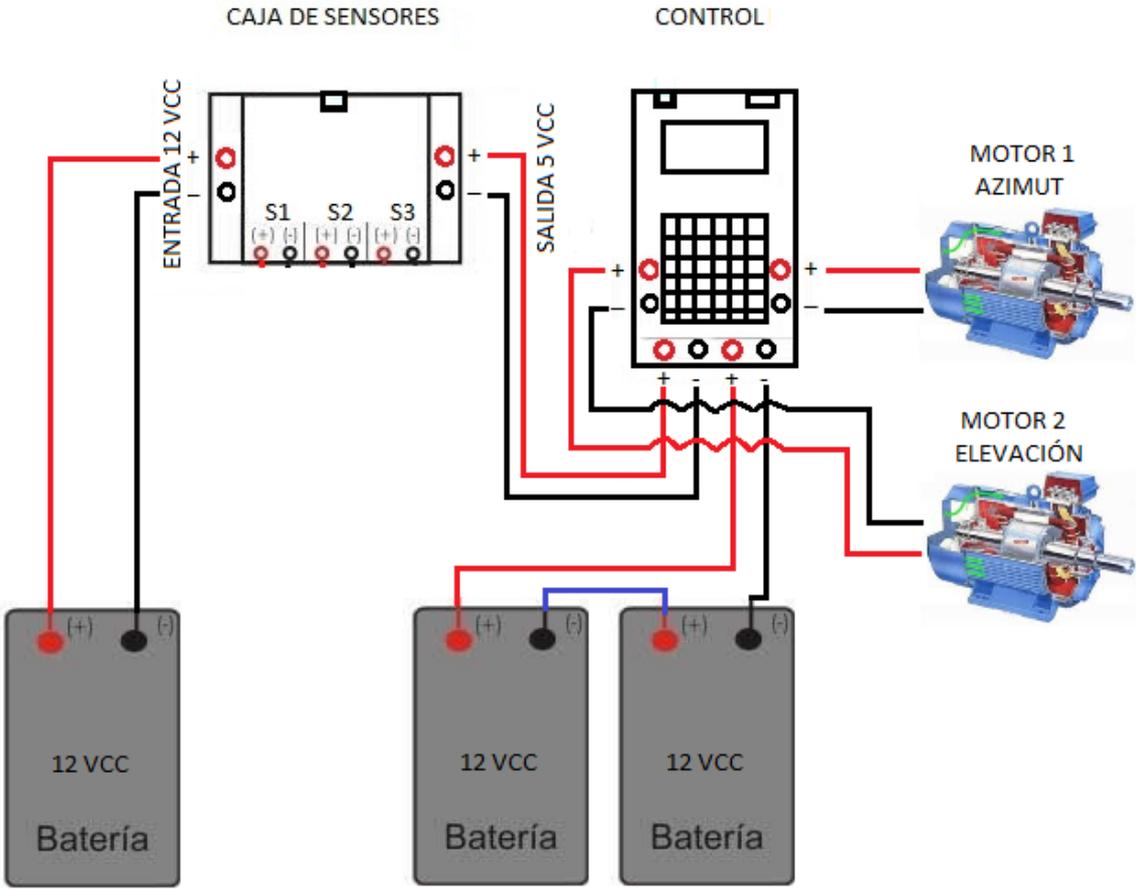


Figura 26. Sistema de control de movimiento

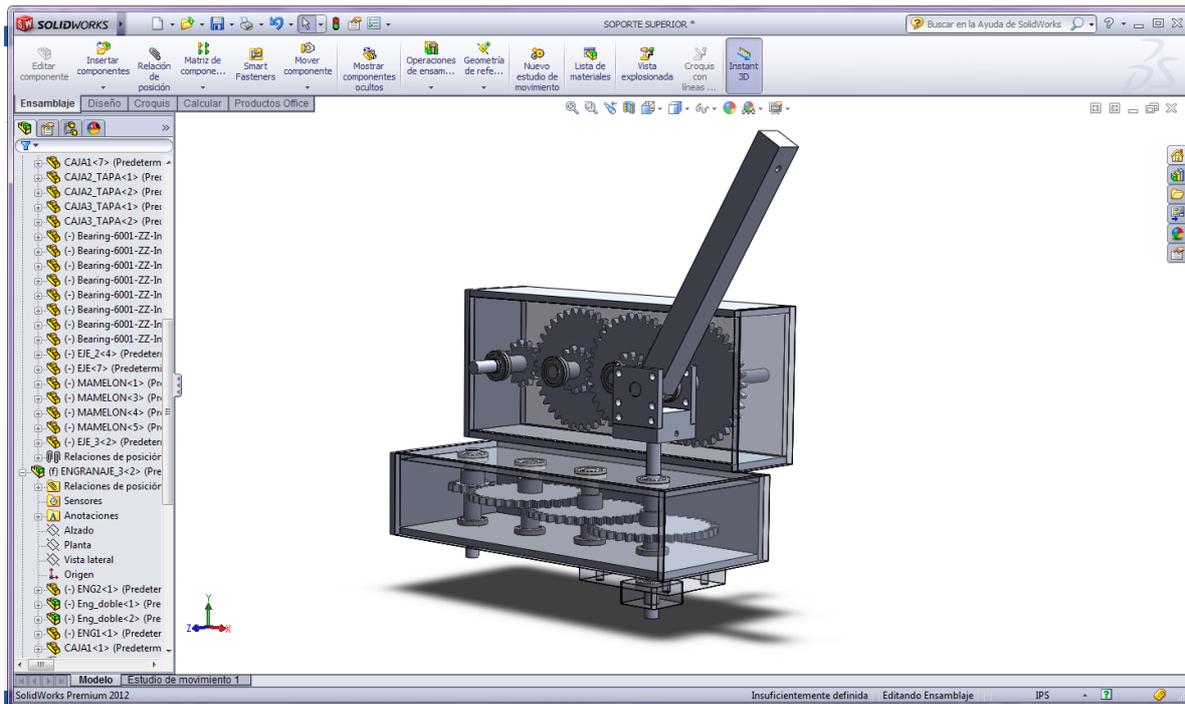


Figura 27. Sistema de transmisión

5.1.8. Descripción del concepto final

El concepto final del seguidor solar llamado Dispositivo de Seguimiento Solar Fotovoltaico (DSSF), toma en cuenta prácticamente todos los requerimientos principales así como problemas esenciales que se plantearon en la metodología de diseño. El DSSF se compone de tres sistemas, un subsistema, y dos estructuras de soporte. Como se puede ver en la Figura 28, la estructura principal va a soportar la totalidad de sistemas y estructuras. Primeramente sostiene a la caja (gabinete) del sistema de control del movimiento, luego en la parte superior se le acopló el sistema de transmisión, quien a su vez soporta y mueve a la estructura de soporte del panel, y por último el sistema de captación de energía y almacenamiento está distribuido principalmente en la estructura de soporte del panel y la caja del sistema control del movimiento. Cabe señalar que el subsistema de medición de la energía captada se relaciona con el sistema de captación de energía y almacenamiento por lo que también se incluye en la caja del sistema de control principalmente. Otro punto importante es que los motores pertenecientes al sistema de control del movimiento estarán soportados por el sistema

de transmisión. Por lo que el DSSF no se puede mirar como partes separadas, sino como un sistema general.

El diseño de detalle de los componentes de cada sistema y estructura se desarrolla tanto en el capítulo siguiente como en los planos del Anexo32.1 al 32.38

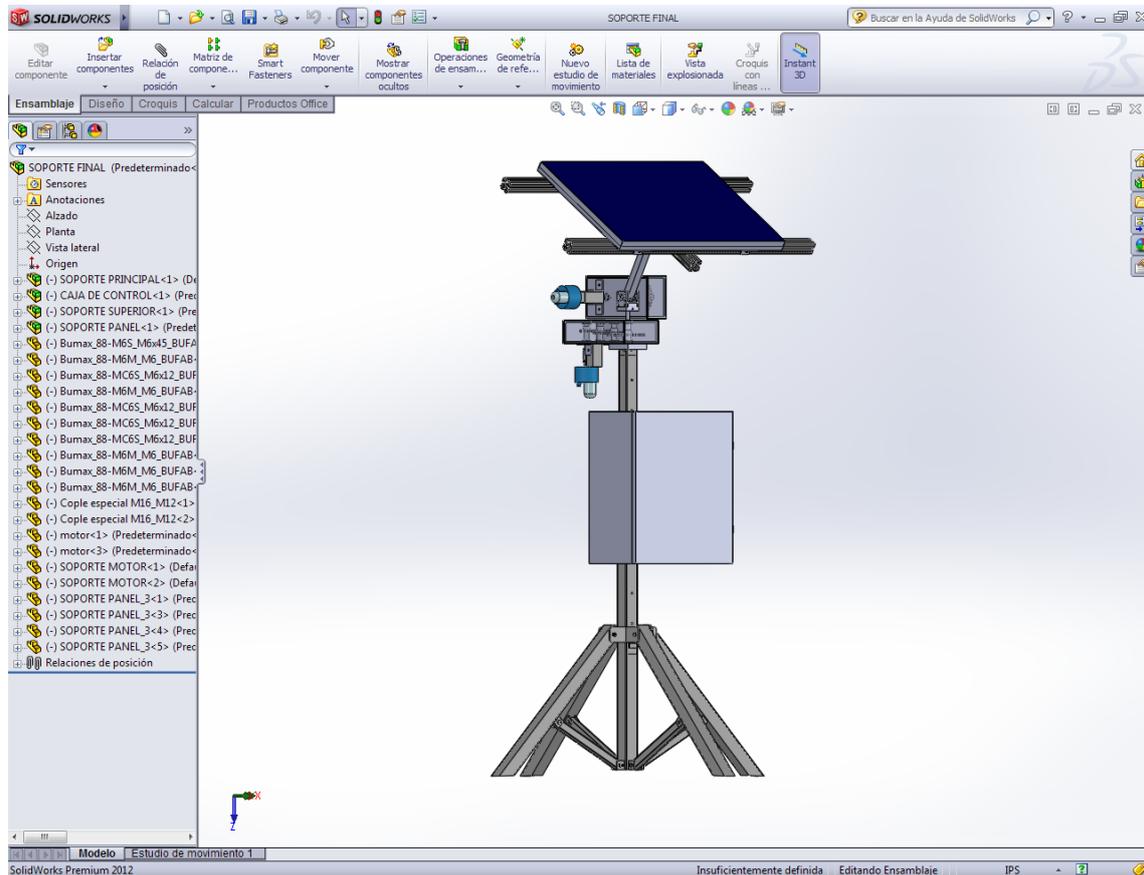


Figura 28. Concepto final del DSSF

5.2. RESULTADOS DEL DISEÑO DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

5.2.1. Estructuras de soporte

5.2.1.1. Estructura de soporte principal

Para la construcción de la estructura principal (Figura 29a), se propuso utilizar un perfil de acero 1018 PTR de 2" soportado por cuatro patas iguales también de PTR 2", las cuales son plegables para una mejor movilidad. Se utilizaron cuatro piezas también de PTR de 1" para dar tensión a las patas del soporte principal. Y se diseñó una pieza de solera de acero 1018 de 2" x 1/4" que sirve para unir las cuatro patas y permite además el desplazamiento que produce el pliegue de las mismas. Para la unión de todas las partes se utilizaron tornillos, tuercas y rondanas. Además se utilizó un perfil igualmente de PTR 1 3/4" para elevar o bajar el dispositivo según se requiera. Las dimensiones y características a detalle se muestran en el plano del Anexo 32.11.

5.2.1.2. Estructura de soporte del panel solar

Para construir esta estructura (Figura 29b) que tiene forma de H girada 90 grados, se propuso utilizar aluminio anodizado perfil tipo 8 40x40E de 19/16" x 19/16". Las piezas de éste perfil se unieron mediante unos elementos igualmente de aluminio en forma de L de 1 1/2" x 1 1/2", tornillos y tuercas especiales. Las dimensiones y características a detalle se muestran en el plano del Anexo 32.31.

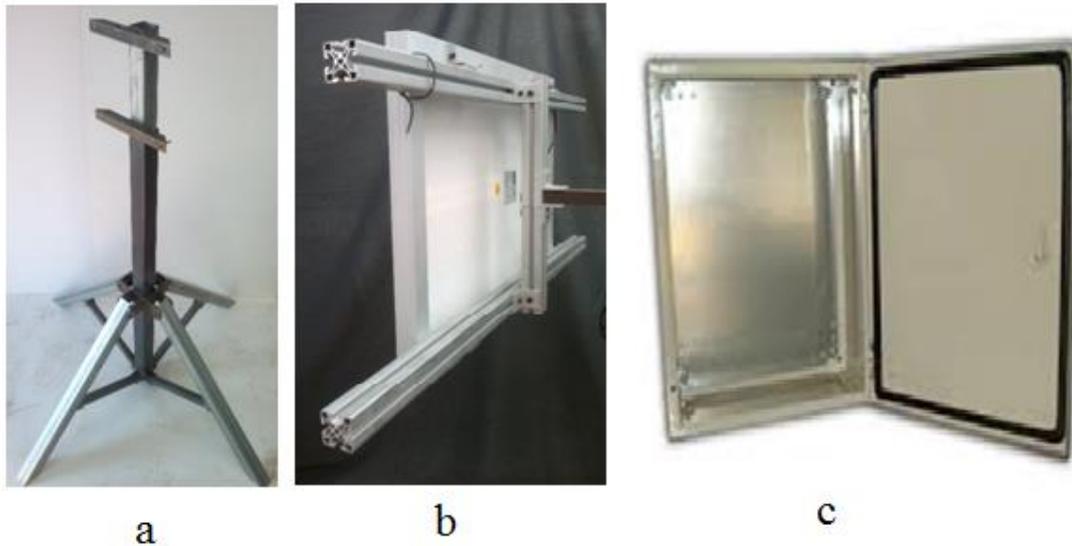


Figura 29. Estructuras de soporte: a) soporte principal, b) soporte del panel FV y c) gabinete

5.2.1.3. Gabinete

Este componente (Figura 29c) protegerá y contendrá la mayoría de los elementos electrónicos del DSSF, se utilizó un gabinete marca SBE TECh, de material lamina de acero dulce galvanizado pintado, de dimensiones 500x400x250 mm

5.2.2. Sistema de captación de energía

Uno de los elementos principales del DSSF es el panel solar (Figura 30a) modelo DS-A1-45 (marca DASOL). Sus características se muestran en el Cuadro 12.

El DSSF también cuenta con un regulador de carga (Figura 30b) marca ENESOL, el cual tiene una entrada para el panel solar y salidas para la batería o baterías y para las cargas (aparatos eléctricos de corriente directa).

Y se utilizaron tres baterías modelo UN12-12 (marca ENESOL) (Figura 31) encargadas de almacenar la energía eléctrica generada por el panel solar, para después utilizarla tanto para el accionamiento de los sistemas y por consiguiente del panel, como para las aplicaciones que se

le quieran dar a dicha energía (corriente directa). Las características de las baterías se muestran en el Cuadro 13.

Opcionalmente se le puede incluir un inversor de corriente para poder utilizar la energía captada en aparatos de corriente alterna.

Cuadro 12. Características del panel solar

Potencia máxima (Pmax)	45W
Corriente a Pmax (Imp)	2.50 A
Voltaje a Pmax (Vmp)	18.0 V
Corriente en corto circuito (Icc)	2.73 A
Voltaje en circuito abierto (Vca)	22.3 V
Tolerancia de potencia	±5%
Peso	5.0 kg
Dimensiones	670x510x35mm

Cuadro 13. Características de las baterías

Voltaje	12 V
Corriente	12 Ah
Ciclo de uso	14.5~14.9V
Uso en modo de espera	13.6~13.8V
Corriente inicial	Menor a 3ª
Dimensiones	15x9.5x9.5 cm



Figura 30. Componentes del sistema de captación de energía: a) panel solar, b) regulador de carga



Figura 31. Baterías

5.2.2.1. Subsistema de medición de energía

Este subsistema tiene la finalidad específica de medir y comparar la energía captada por el panel solar con seguidor y un panel exactamente igual pero estático. Por lo que este subsistema solo funcionara o se requerirá para evaluar el sistema de seguimiento solar, aunque la mayoría de los componentes seguirán funcionando siempre que el seguidor este en operación ya que son parte de otros sistemas.

El subsistema está conformado por dos paneles solares con las características citadas el Cuadro12, una batería con las características descritas en el Cuadro13, una caja de sensores

cuya fabricación se describe a continuación, un datalogger tipo CR1000 (marca Campbell Scientific), una PC portátil, un cable de red, un cable tipo SC12 (marca Campbell Scientific) y un cable convertidor Serial-USB.

5.2.2.2. Construcción de la caja de sensores

Como el DSSF se debe evaluar con precisión, se construyó un dispositivo para medir la corriente (I_{cc}) de salida tanto del panel fijo como del móvil y tener la posibilidad de almacenar dichos datos externamente para su posterior análisis. Por lo que a continuación se describe brevemente el proceso seguido para construir dicho aparato que se denominó “caja de sensores” (Figura 32).

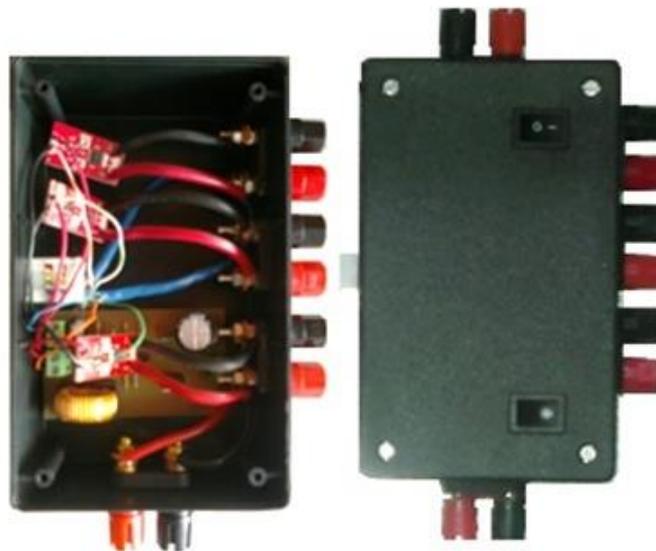


Figura 32. Caja de sensores. Abierta (izquierda) y cerrada (derecha)

Primero se concibió una idea general del funcionamiento del aparato, posteriormente se adquirieron los componentes principales del sistema, los cuales se enumeran a continuación:

1. Carcaza de plástico (1 pieza)
2. Sensor de corriente (2 piezas).
3. Circuito puente H para motores en DC (1 pieza).

4. Conector o terminal de red RJ45 (1 pieza).
5. Fuente conmutada (1 pieza).
6. Conector (4 piezas).
7. Switch eléctrico (2 piezas).

Luego se procedió al ensamblado y conexión de los componentes, siguiendo los siguientes pasos.

1. Soldado del puente H y conectores secundarios en la fuente conmutada.
2. Calibración de la fuente conmutada para obtener 5.06 volts en la salida, se utiliza una batería de 12 volts y 12 Ah para la alimentación.
3. Instalación de conectores principales en la carcasa de plástico.
4. Acoplamiento de la terminal de red RJ45.
5. Conexión de los sensores de corriente a los conectores principales.
6. Instalación de la fuente conmutada.
7. Instalación de los switches, uno para encender la fuente conmutada y otro para switchear la energía hacia el Control.
8. Interconexión de todos los componentes.
9. Acomodo final, puesta de tapa y tornillos.

Por último se realizaron pruebas de continuidad y resistencia para ver que todas las conexiones estén correctas y que no haya falsos contactos.

5.2.2.3. Determinación de las ecuaciones de funcionamiento de los sensores de corriente de los paneles

Para conocer las corrientes (I_{cc}) tanto del panel fijo como del móvil se realizaron mediciones a lo largo de un día con ayuda de un multímetro convencional marca Fulgore tipo FU0233. Posteriormente se relacionaron las corrientes obtenidas con los voltajes (V_{ca}) medidos por los

sensores y así se pudieron obtener las ecuaciones de funcionamiento de los sensores S1 y S2, donde el primero se utiliza para medir las corrientes del panel fijo y el segundo para monitorear el panel con seguidor solar. Las Figuras 33 y 34 muestran los resultados de este procedimiento. Dichas ecuaciones se utilizan posteriormente en la evaluación del dispositivo.

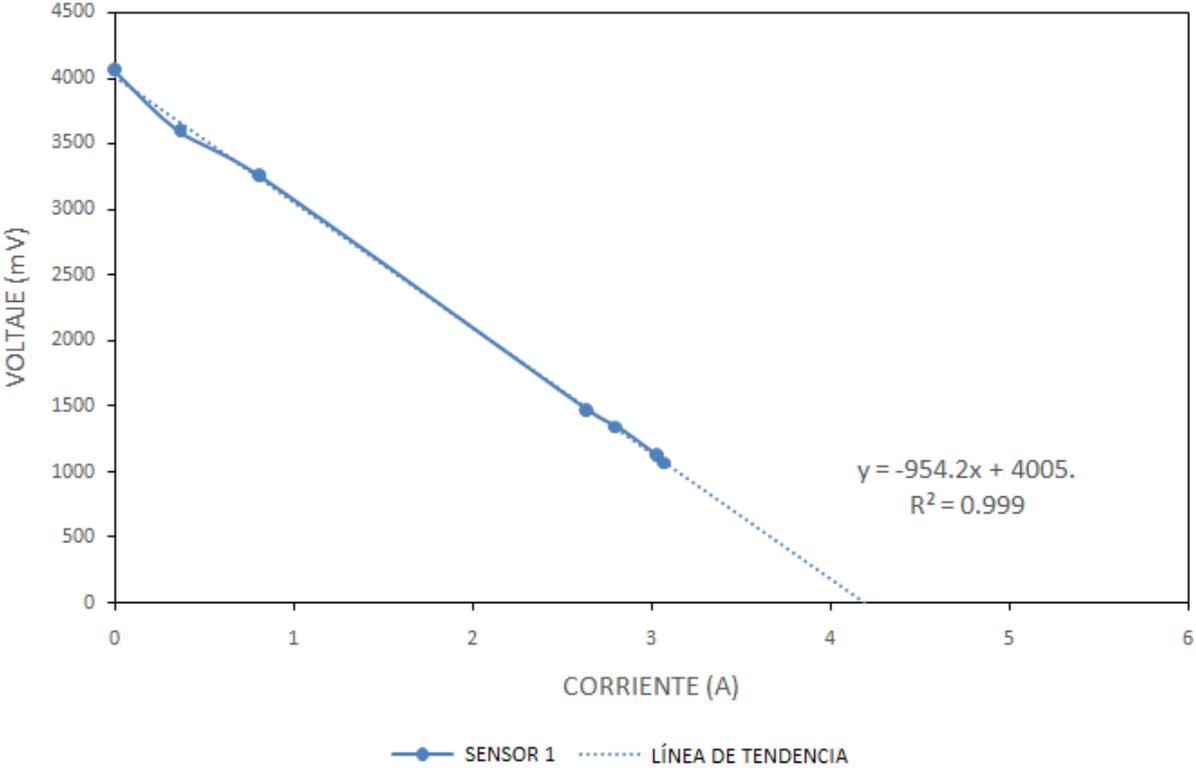


Figura 33. Gráfica y ecuación de funcionamiento del sensor 1 (S1)

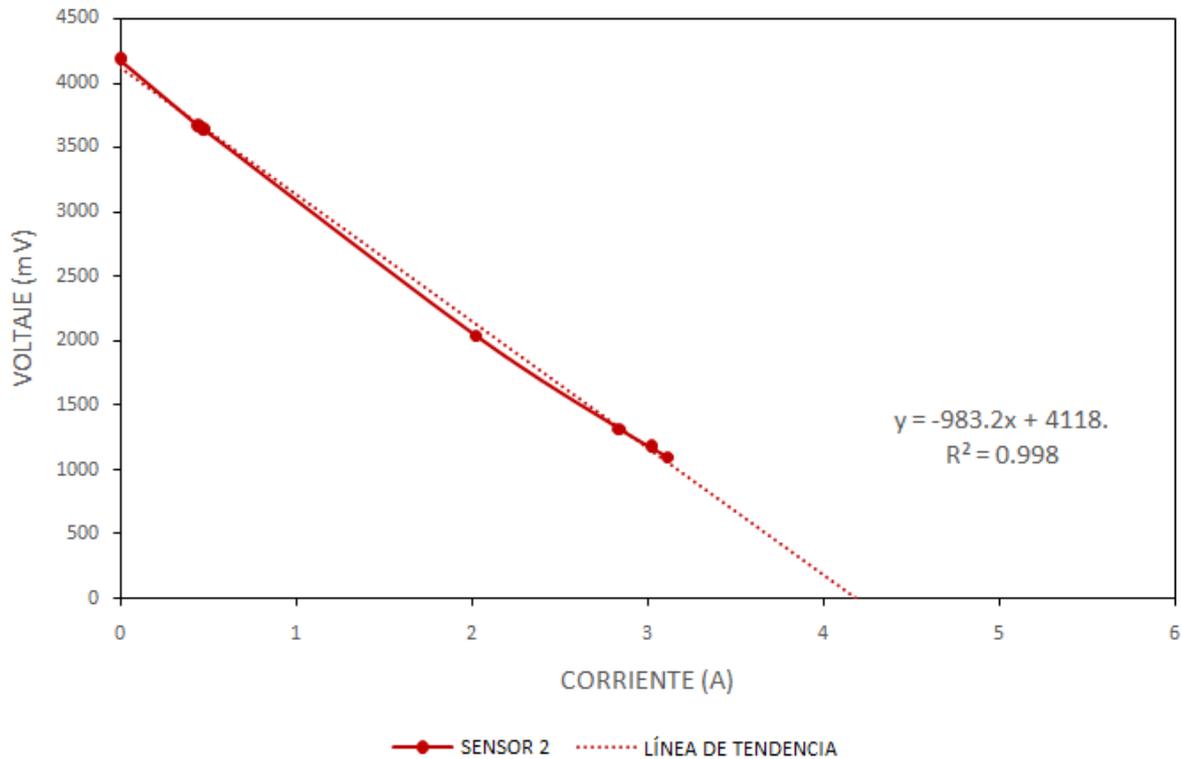


Figura 34. Gráfica y ecuación de funcionamiento del sensor 2 (S2)

5.2.3. Sistema de control del movimiento

5.2.3.1. Software de seguimiento solar

Para determinar la orientación (azimut y elevación solar) de panel por medio del DSSF, se calculó el movimiento del sol respecto a un punto en la superficie terrestre, de acuerdo al algoritmo propuesto por Walraven (1978). El algoritmo que originalmente está codificado en lenguaje de programación FORTRAN, se convirtió al lenguaje Visual Basic 6.0.

Se realizaron diversos ajustes al algoritmo para calcular el movimiento del sol desde la salida hasta la puesta del sol durante todos los días del año. Los ajustes incluyen: la determinación de los años bisiestos, el cálculo del día de la semana, la activación del horario de verano, el ajuste de las coordenadas azimutales ($N=0^\circ$ y $S=180^\circ$), que el software solamente genere valores de azimut y elevación positivos entre alba y el ocaso del sol, entre otros. La interfaz de la aplicación requiere los siguientes datos de entrada: año, zona horaria, latitud y longitud

El Cuadro 14 muestra las longitudes máximas y mínimas de la República Mexicana que se determinaron con ayuda del software Google Eart. Con las coordenadas límites y las fechas de equinoccios y solsticios se ejecutó el programa creado, y se compararon los resultados con el software proporcionado en la página web “<http://www.sunearthtools.com/>” quien también utiliza las ecuaciones con que han sido creadas las tablas del American Ephemeris y el Nautical Almanac (Anexos 2 al 25).

Cuadro 14. Coordenadas extremas de México

Norte	Sur	Este	Oeste
32°43'6.49" N	14°32'27.00" N	21°12'5.86" N	29° 8'46.87" N
114°43'16.44" O	92°13'7.65" O	86°42'36.99" O	118°27'24.00" O

5.2.3.2. Control

Se desarrolló un dispositivo de control para realizar las siguientes funciones: recabar los datos de entrada para el programa, realizar las mismas operaciones de cálculo que el software para accionar los motores que moverán el panel FV, mostrar resultados y guardarlos en una unidad de almacenamiento externa tipo USB. A este dispositivo se le denominó “Control”. Los componentes principales del Control son: placa base (Anexo 1), microcontrolador (PIC18F4553), teclado matricial, display, reloj, leds, fase de potencia (2 Puentes H electromecánicos un circuito integrado UNL2803) (Anexo 27), conector o terminal de red (RJ45), grabador de memorias USB, conectores (4 piezas), carcasa de plástico (Figura 37).

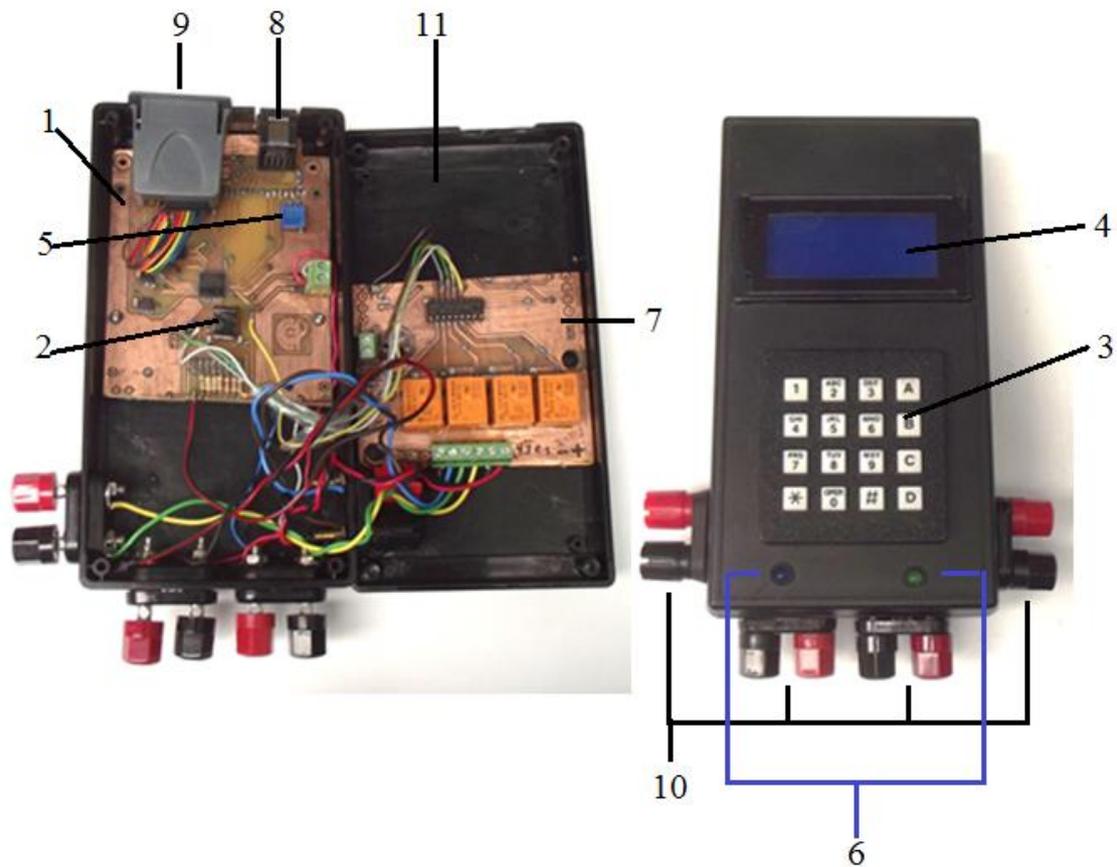


Figura 37. Control. Abierto (izq.) y cerrado (der.), 1) placa base, 2) microcontrolador, 3) teclado matricial, 4) display, 5) reloj, 6) leds, 7) fase de potencia, 8) conector terminal de red, 9) grabador de memoria USB, 10) conectores y 11) carcasa

Se convirtió y adaptó el código en Visual Basic 6.0. (Anexo 1) al lenguaje de programación C (Anexo 28), mediante el software PIC C Compiler, para grabarlo en el microcontrolador con el software PIC-PROG II y el dispositivo “Módulo cargador/programador de microcontroladores PICs, para puerto USB”. Debido a que el microcontrolador del control tiene una capacidad de procesamiento de 8 bits, se produjo un error de 0-3 grado en el cálculo de las variables altura y azimut, respecto a los datos obtenidos en Visual Basic 6.0 con un sistema operativo de 32 bits. Se consideró el error como aceptable debido a que no provocara pérdidas significativas en la captación de energía (Anexos 29 al 31).

5.2.3.3. Motores

Una vez que se tiene el sistema para introducir los datos de entrada, realizar el cálculo del movimiento del sol, y la fase de potencia. Se procedió a la selección de los motores que con ayuda del sistema de transmisión se encargaran de mover y orientar el panel fotovoltaico en la dirección del sol. Las especificaciones técnicas de los motores se encuentran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Características del motor

Fabricante	Beijing Fenglong Greenhouse Technology Co., Ltd.
Modelo	ERU-B2
Aplicación	Roof & Sidewall Roll up
Voltaje de trabajo	DC 24V
Potencia	100 W
Velocidad de revolución	3.6 r/min
Torque de salida máximo	100 Nm
Dimensiones exteriores	265L*140W*170H(mm)
Peso	3.4 Kg

5.2.3.4. Topes de seguridad

Se instalaron dos switches de contacto conectados al motor que se encarga de la elevación solar; para evitar que la barra que sostiene el soporte del panel gire más de lo debido y provoque ruptura de elementos o mal funcionamiento del sistema de control y del sistema de transmisión (Figura 38).

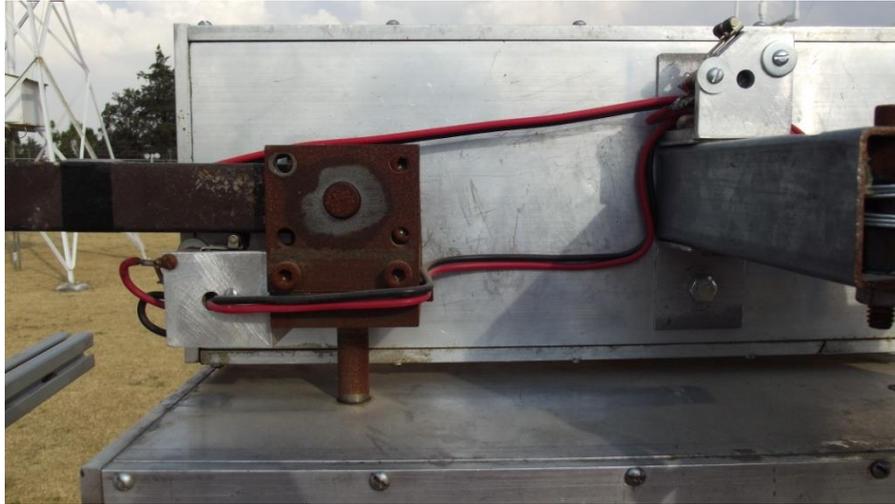


Figura 38. Topes de seguridad

5.2.3.5. Guardamotor y Breakers

Cuenta con un guardamotor tipo MS116-10 (marca ABB, Zurich, Suiza) y dos Breakers tipo WMZS2B07 (marca EATON, Ohio, USA) para interrumpir las corrientes de entrada y de salida del Control, con el fin de realizar operaciones de mantenimiento y en éste caso durante la evaluación del sistema de seguimiento solar (Figura 39).

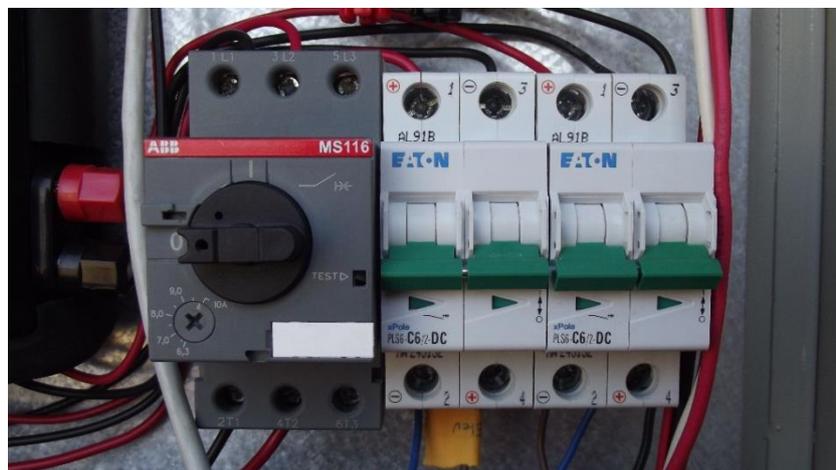


Figura 39. Guardamotor (izquierda) y Breakers (derecha)

5.2.4. Sistema de transmisión

Para el tipo de motor y con una la velocidad de revolución del eje motriz, se prosiguió al cálculo del sistema de engranes que constituirán el sistema de transmisión. Este sistema se

integró por dos cajas de transmisión exactamente iguales, por lo que en esta sección solo se muestra el proceso de construcción para una de ellas.

Primero se determinó la relación de transmisión necesaria para que al accionar el motor durante 1 segundo la caja de transmisión produzca aproximadamente 1 grado de giro en el eje útil. Se utilizó la siguiente fórmula para realizar el cálculo en el software Excel de Microsoft y con ayuda del complemento Solver se pudo realizar la optimización del sistema de ecuaciones.

$$N4 = N1 \left(\frac{ZaZcZe}{ZbZdZf} \right)$$

Dónde:

N4 = revoluciones por minuto del eje útil.

N1 = revoluciones por minuto del eje motriz.

Za, Zc, Ze = número de dientes de los engranes conductores.

Zb, Zd, Zf = número de dientes de los engranes conducidos.

De esta manera se obtuvo la relación de transmisión que se muestra en el Cuadro 16.

Lo que quiere decir que con 0.1695216 rpm se obtienen 1.01712963 grados por cada segundo de accionamiento del motor.

Ya teniendo la relación de transmisión se siguió con el diseño y construcción de cada uno de los componentes de la caja de transmisión, o en su caso, la selección de los componentes que ya se venden comercialmente como rodamientos, pernos y tornillería, cuyas especificaciones se muestran más detalladamente en los Anexos 32.13 al 32.34.

El resultado de este proceso se muestra en la Figura 40, donde se observan las cajas ya ensambladas y colocadas en la estructura principal del seguidor solar.

Así mismo se diseñó y construyó de otros elementos sustanciales para el funcionamiento del sistema, como son los coples motor-transmisión (Figura 41a), soportes para motor (Figura 41b) y el acoplamiento soporte principal-transmisión (Figura 41c). Y el acoplamiento transmisión-

soporte del panel (Figura42). Cuyas especificaciones se muestran con más detalle en los Anexos 32.7 al 32.9.

Cuadro 16. Datos de la relación de transmisión obtenida

za	13	dientes
zb	36	dientes
zc	13	dientes
zd	36	dientes
ze	13	dientes
zf	36	dientes
N1	3.6	rpm
N4	0.1695216	rpm

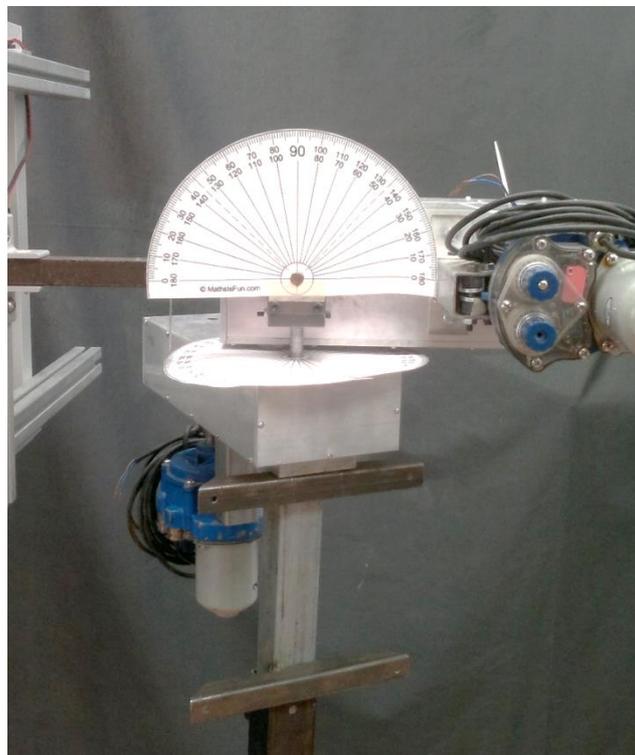


Figura 40. Cajas de transmisión ensambladas y montadas

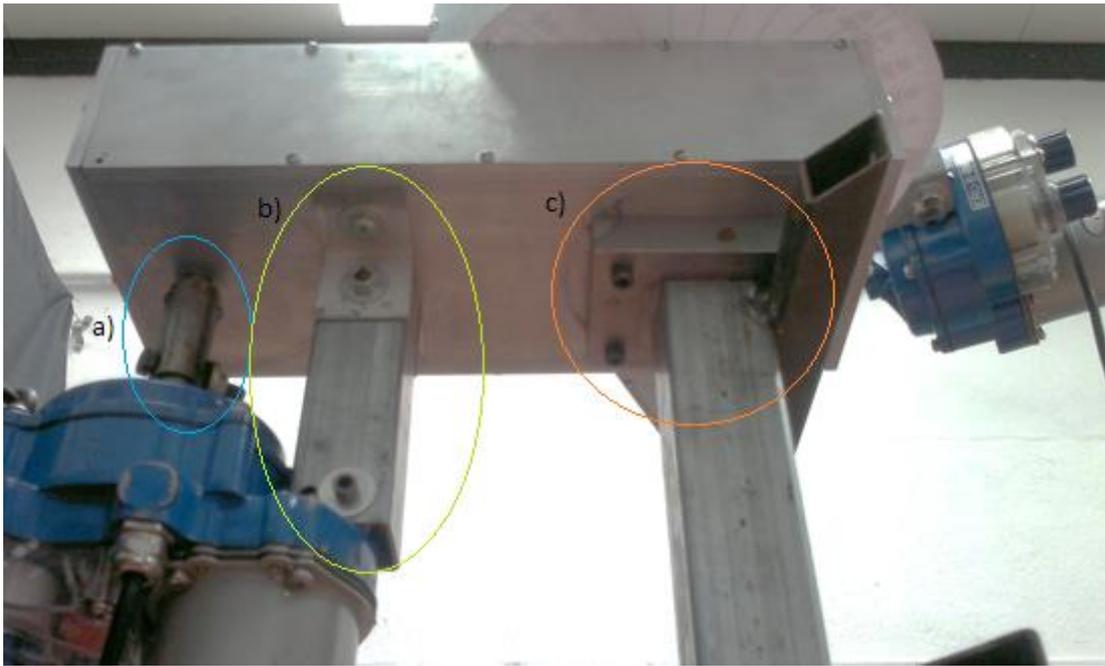


Figura 41. a) Cople motor-transmisión, b) soporte para el motor y c)acoplamiento soporte principal-transmisión

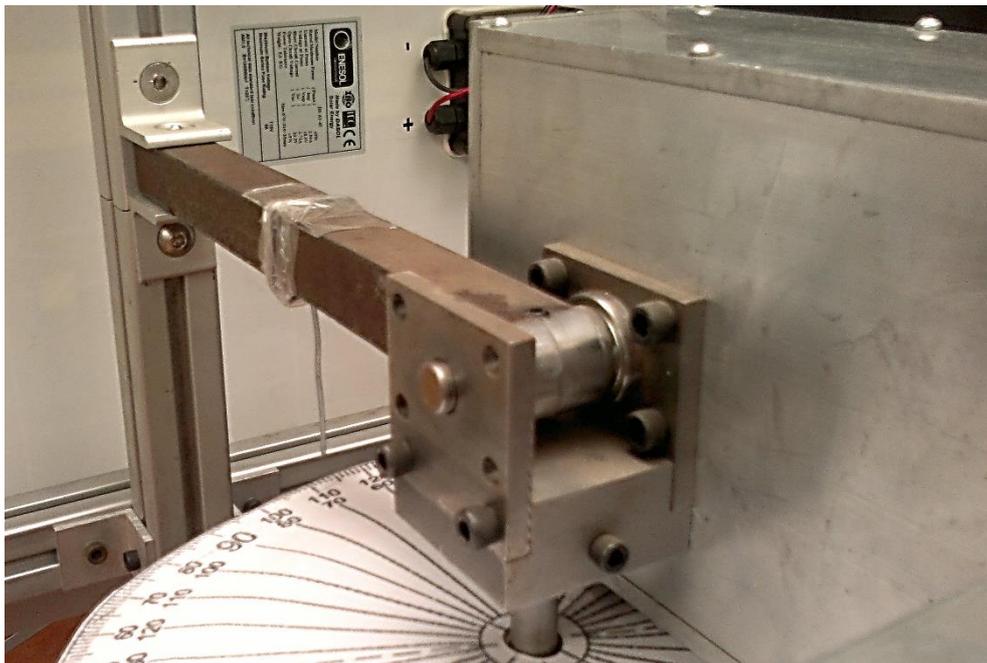


Figura 42. Acoplamiento transmisión-soporte del panel

5.3. COSTOS GENERALES

En el Cuadro 17 se enlistan los principales materiales utilizados en el proyecto de investigación y su costo aproximado.

Cuadro 17. Costos generales del proyecto.

Componente	Unidad	Costo unitario	Costo total
Estructura principal	1	850	850
Estructura del panel	1	700	700
Gabinete	1	800	800
Panel fotovoltaico 45 W	2	1200	2400
Motor eléctrico 24 VCD	2	2300	4600
Caja de transmisión	2	2500	5000
Control	1	3500	3500
Caja de sensores	1	950	950
Batería 12 VCD	3	440	1320
Controlador de carga	1	260	260
Guardamotor	1	450	450
Breaker	2	400	800
TOTAL			21630

Nota. Los precios están dados en pesos mexicanos al día 24 de Marzo del 2014. Algunos materiales como el datalogger, la PC portátil y cables especiales no se consideraron ya que se contaba con ellos con anterioridad.

5.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA

A continuación se presentan las comparaciones en término de eficiencia del DSSF en comparación con el panel fotovoltaico fijo, en todos los casos. El primero resultado observar que entre las 11:00 y 14:00 las curvas de captación de energía de los paneles con seguidor y fijo se aproximan (Figura 43). Los resultados son congruentes con los reportados por Gonzales (2006), quien reporta que durante las horas cercanas al medio día solar las curvas de producción de energía un panel fijo y el seguidor se aproximan.

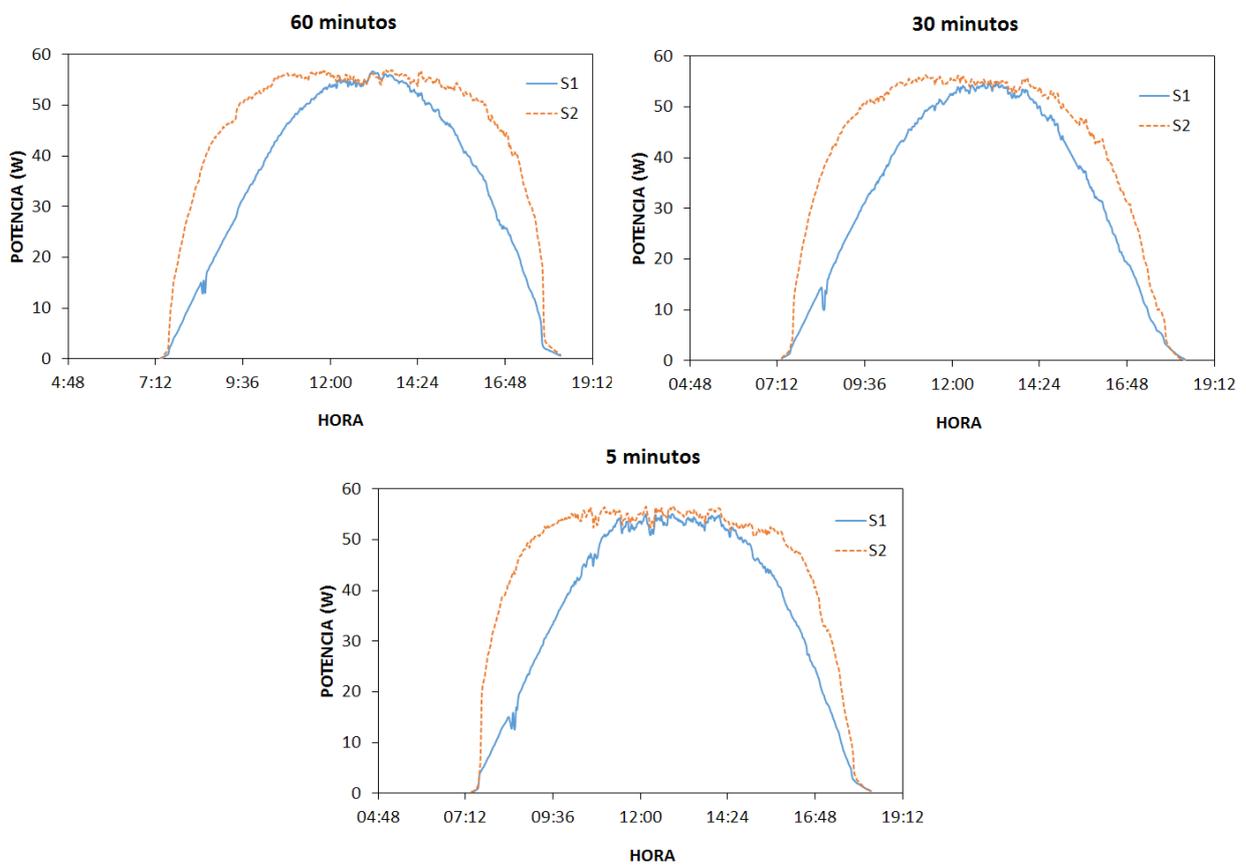


Figura 43. Comparación de potencias generadas por el panel fijo (S1) y el panel con seguidor (S2), movimiento cada 60, 30 y 5 minutos.

La corriente de corto circuito máxima medida por los sensores fue de 2.89 A, la cual es superior con 0.16 A a la indicada en la etiqueta de especificaciones del fabricante del panel solar, esto puede deberse a que las condiciones climáticas durante la evaluación fueron diferentes a las condiciones de prueba normalizada (STC Standar Test Conditions), que son de 1000 W m^{-2} de radiación y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura en la celda (SEI, 2007). Esta diferencia no afecta en gran medida los resultados.

Del Cuadro 0 se observa que la energía total diaria consumida es muy similar en las tres pruebas, lo que quiere decir que a pesar de que los intervalos de movimiento del DSSF son diferentes, éste consumirá casi la misma cantidad de energía. El consumo total diario solo variara a lo largo del año dependiendo de ascensión recta y declinación solar. También se observa que el DSSF obtuvo una mayor ganancia final de energía si se mueve cada 60 minutos, seguido del que se orienta cada 30 y 5 minutos, con valores de 27.98, 26.81 y 26.27 % respectivamente, respecto al panel fijo.

La disminución en la captación de energía al disminuir el intervalo de operación del sistema puede deberse a diversos factores como: el incremento en la temperatura de las celdas debido un aumento en la radiación solar incidente sobre ellas y por consiguiente una disminución en el voltaje de salida, a un incremento en la temperatura ambiente, cuestiones relacionadas a los límites Intensidad de corriente-Voltaje de operación del panel solar, o a otros factores como sombras, humedad relativa, partículas suspendidas en la atmosfera, velocidad del viento, etc. (SEI, 2007).

Cuadro 18. Resultados generales de la evaluación del panel con seguidor cada 60, 30 y 5 min

Variable	60 min		30 min		5 min	
	DSSF	Fijo	DSSF	Fijo	DSSF	Fijo
Potencia generada promedio (W)	-	35.34	-	33.02	-	35.65
Energía generada promedio (Wh d ⁻¹)	-	388.79	-	363.18	-	392.15
Potencia generada promedio (W)	45.34	-	41.98	-	45.13	-
Energía generada promedio (Wh d ⁻¹)	498.73	-	461.73	-	496.44	-
Ganancia bruta energía (%)	28.28	-	27.14	-	26.59	-
Energía total diaria consumida(Wh d ⁻¹)	1.50	-	1.53	-	1.61	-
Energía total diaria consumida (%)	0.30	-	0.33	-	0.32	-
Energía total diaria utilizable (Wh d ⁻¹)	497.23	-	460.20	-	494.83	-
Energía total diaria utilizable (%)	99.70	-	99.67	-	99.68	-
Ganancia energética final(Wh d ⁻¹)	109.95	-	98.56	-	104.29	-
Ganancia energética final (%)	27.98	-	26.81	-	26.27	-

Abu-Khader *et al.* (2008) reportan un incremento global de alrededor de 30-45 % en la potencia de salida para el sistema de seguimiento solar en eje norte-sur (N-S), al comparar con un sistema FV fijo; mientras que Huang *et al.* (2011) encontraron que en un día soleado un seguidor de un eje puede obtener un 35.6 % más de energía respecto a un sistema FV fijo; y Kacira *et al.* (2004) encontraron que la ganancia promedio diaria es de un 29.3 % en la radiación solar y un 34.6 % en la generación de potencia para un día particular de julio en Sanliurfa Turquía de un seguidor solar de dos ejes respecto a un panel FV fijo. Estos resultados son mayores a los resultados obtenidos en esta investigación, lo cual puede deberse a el lugar y la época del año, a que los dispositivos utilizados en la medición de corrientes y

voltajes fueron diferentes, a los métodos de cálculo y debido a que los cálculos en el presente trabajo tomaron en cuenta un factor de corrección por temperatura (SEI, 2007).

Para la prueba de movimiento cada 60 minutos, el seguidor solar gasta 1.36 % de la ganancia final de energía para su operación, lo que significa que casi la totalidad de la energía producida dado la implementación del sistema de seguimiento solar. Es útil para otras aplicaciones.

De la Figura 44, se observa que el DSSF aumenta las horas de operación con un rendimiento mayor al nominal (45 W) de 5 h en el caso del panel fijo y hasta 8 h en el caso del panel con seguidor, estos valores pueden cambiar a lo largo del año.

Como se observa en el Cuadro 19, se determinó que el rendimiento energético del panel solar fijo con respecto a la radiación solar global (ISR) (1000 W m^{-2}) (SEI, 2007) es menor al rendimiento reportado en las especificaciones del fabricante del panel solar utilizado (12 %) (DASOL, 2012). Mientras que el panel con seguidor obtuvo 13.27 % de rendimiento en la prueba de movimiento cada 60 minutos, lo que indica que el sistema de seguimiento solar aumenta el rendimiento del panel en un 1.27 % del valor del rendimiento nominal de los paneles respecto a la ISR, y un 2.93 % respecto al rendimiento del panel fijo.

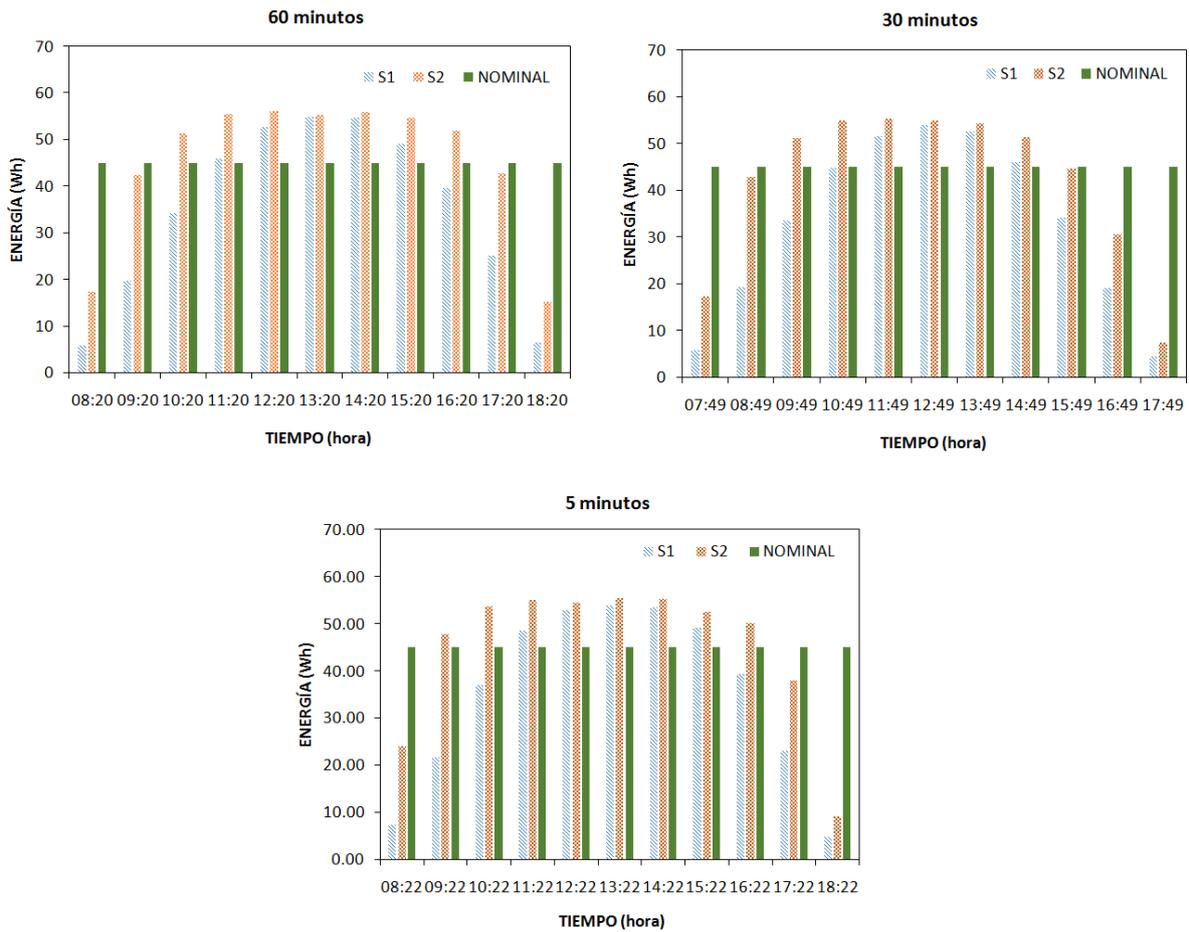


Figura 44. Energía horaria generada por el panel fijo (S1) y el DSSF (S2) a cada 60, 30 y 5 min en comparación con la capacidad nominal de los paneles.

Cuadro 19. Rendimiento de energía de los paneles respecto a la ISR

Rendimiento	60 min	30 min	5 min
S1	10.34	10.43	9.66
S2	13.27	13.21	12.28

Dónde: S1= panel fijo y S2= panel con seguidor

VI. CONCLUSIONES

- El software que se desarrolló resultó funcional para la totalidad del territorio de la República Mexicana y durante todo el año, ya que los datos de salida tanto de altura como azimut solar tienen una diferencia menor a 1 grado en la mayoría de los casos, respecto a los datos que proporciona el software de sunearthtools.com; esto permitió el adecuado diseño del DSSF.
- El DSSF que se construyó permitió seguir el movimiento de sol automáticamente en el eje horizontal y vertical, el cual se acopló a un panel fotovoltaico para mejorar su eficiencia en la captura de la energía solar.
- El mejor rendimiento energético se obtuvo cuando el seguidor solar se orientó al sol cada 60 minutos. Respecto a la energía generada por un panel fijo, el seguidor solar que se orientó cada 60 min produjo hasta un 27.98 % más de energía, con un gasto energético del 0.3 % de la energía total generada o lo que es igual a un 1.3 % de la ganancia energética final. Al comparar la producción de energía del sistema con la ISR, éste llega a aprovechar hasta un 13.27 % de la energía disponible, o en otros términos, un 2.93 % más respecto al panel fijo.

VII. RECOMENDACIONES

- De manera general se requiere hacer investigaciones sobre el seguimiento del sol en sistemas fotovoltaicos, probando nuevos materiales de los paneles solares, diseñar nuevos sistemas de transmisión, para hacer más eficiente el colector solar y minimizar costos, y así lograr un uso más generalizado de estos dispositivos.
- Probar otros intervalos tiempo del seguidor solar para definir el intervalo óptimo para cada lugar e incluso el tipo y tamaño de panel fotovoltaico.
- Evaluar económicamente el sistema de seguimiento solar para diferentes tamaños y tipos de paneles FV, para determinar con cual es más rentable.
- Hacer investigaciones sobre materiales y procesos de fabricación de los sistemas de seguimiento solar, minimizando costos y optimizando la captación de energía solar para hacer más rentables los sistemas FV.
- Evaluar el sistema desarrollado de seguimiento solar en otras aplicaciones relacionadas, como son: estufas solares, concentradores solares y en general que requieran la propiedad de heliotropismo.

VII. LITERATURA CITADA

- Abdallah, S., S. Nijmeh. 2004. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management* 45: 1931–1939.
- Abouzeid, M. 2001. Use of a reluctance stepper motor for solar tracking based on a programmable logic array (PLA) controller. *Renewable Energy* 23: 551–560.
- Abu-Khader, M. M., O. O. Badran and S. Abdallah. 2008. Evaluating multi-axes suntracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and sustainable energy reviews* 12: 864-873
- Bastida C., O. A., y Rabelo M., J. M. 2009. *Plataforma móvil multiusos para trabajos en invernaderos de producción de jitomate (Lycopersicum esculentum)*. Tesis Profesional de Ingeniero Mecánico Agrícola 2009. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México.
- Bawa, S., Sigh, F., and Marathe, B. R. 1978. *A Semi-Automatic Sun Tracking System for Concentrated Silicon Solar Cells*. New Delhi: Abstract No. 0228 ISEC.
- Castellanos, A. 1980. *La energía solar en México; situación actual y perspectivas*. Centro de Ecodesarrollo. México.
- Chefurka, P. 2007. Energía y población mundiales, tendencias hasta el 2100. *World energy and population*. Disponible en: <http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>. Consultado el 7 de Junio de 2012.
- Cross, N. 2002. *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos*. México. Limusa. ISBN 9681853024.
- DASOL. 2012. DS-A1-45 Solar Panel Datasheet. DASOL, Zhejiang, China.
- Farber, E. A., Ingley, H. A., and Morison, C. A. 1978. *The Design and Evaluation of*

- Hidraulic Solar Powered Tracking Device*. New Delhi: Abstract No. 1068. ISEC.
- Gonzales, M. 2006. Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos. *Ciencia y Desarrollo* 10: 43–46.
- Gupta, K. C., Mirakhur, R. K., and Sathe, A. P. 1978. *A Simple Solar Tracking System*. New Delhi: Abstract No. 0111. ISEC.
- Huang, B. J., W. L. Ding and Y. C. Huang. 2011. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar energy* 85: 1935-1944.
- INEGI. 2010. *Principales resultados de censo de población y vivienda*. 2010. Aguascalientes. INEGI.
- Kacira, M., M. Simsek, Y. Babur, S. Demirkol. 2004. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy* 29: 1265–1275.
- Kalogirou, S.A. 1996. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. *Solar Energy* 57 (6): 465–469.
- Koyuncu, B., K Balasubramanian. 1991. A microprocessor controlled automatic sun tracker. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 37 (4): 913–917.
- Kroposki B. and DeBlasio R.2000. Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource. pp. 1798-801.In: *IEEE power engineering society summer meeting*; 2000.
- Lynch, W.A., Z. M. Salameh. 1990. Simple electro-optically controlled dual axis sun tracker. *Solar Energy* 45 (2): 65–69.

- López, A. G. 1985. Sistemas de seguimiento del sol. pp. 96-101. In: Mompín P. J., Comp. *Energía solar fotovoltaica*. 2 ed. Barcelona, Marcombo Boixareu.
- Madrid, V. A. 2009. *Curso energía solar*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Mosher, D. M., R. E. Bose and R. J. Soukup. 1977. The advantages of sun tracking for planar silicon solar cells. *Solar Energy* 19: 91-97.
- Mott, R. L. 2006. *Diseño de elementos de máquinas*. 4 ed. México: Pearson Educación.
- Naaïjer G. J. 1985. Instalaciones solares fotovoltaicas para bombeo de agua. pp. 196-212. In: Mompín P. J., Comp. *Energía solar fotovoltaica*. 2. ed. Barcelona, Marcombo Boixareu.
- Park, K., J.H. Lee, S.H. Kim, Y. K. Kwak. 1996. Direct tracking control using time optimal trajectories. *Control Engineering Practice* 4 (9):1231–1240.
- SEI (Solar Energy International). 2007. *Fotovoltaica: Manual de diseño e instalación*. New Society Publishers. Gabriola Island, Canada.
- Vargas S., J. M., y López M., V. 2006. *Diseño de un remolque equipado con un sistema para facilitar la recolección y estiba de pacas rectangulares*. Tesis profesional Ingeniero Mecánico Agrícola 2006. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México.
- Yousef, H. A. 1999. Design and implementation of a fuzzy logic computer controlled sun tracking system. pp. 1030-1034 vol. 3 In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics* 1999. ISIE '99. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISIE.199.796768>

VIII ANEXOS

Anexo 1. Código completo del software de posicionamiento solar desarrollado, en lenguaje de programación Visual Basic 6.0.

```

1 *****PRINCIPAL*****
2 Option Explicit
3 Dim AZI, ELEV, DELYR, LEAP, SEC, T, TIME,
4 THETA, G, EL, EPS, SEL, A1, A2, RA, DECL, ST, S,
5 LONGI, H, LAT, PHI, A3 As Double
6 Dim hora, Ndia, Tdias, F, F2, VERA, NomDia As
7 Integer
8 Const TWOPI = 6.28318530717959
9 Const RAD = 1.74532925199433E-02
10 Private Sub Command1_Click()
11 -----TIEMPO Y HORARIO DE VERANO-----
12 DELYR = YEAR.Text - 1980
13 LEAP = Fix(DELYR / 4)
14 If DELYR = LEAP * 4 Then
15     Tdias = 366
16 Else
17     Tdias = 365
18 End If
19 VERA = 0
20 For Ndia = 1 To Tdias
21 If CheckVerano.Value = 1 Then
22 GoTo 20
23 End If
24 NomDia = DiaSem(Ndia, YEAR.Text, Tdias)
25 If Tdias = 365 Then
26     If (Ndia >= 91 And Ndia <= 97) And NomDia =
27     0 Then
28         VERA = 1
29     ElseIf (Ndia >= 274 And Ndia <= 280) And
30     NomDia = 0 Then
31         VERA = 0
32     End If
33     ElseIf Tdias = 366 Then
34         If (Ndia >= 92 And Ndia <= 98) And NomDia =
35         0 Then
36             VERA = 1
37         ElseIf (Ndia >= 275 And Ndia <= 281) And
38         NomDia = 0 Then
39             VERA = 0
40         End If
41     End If
42     20 VERA = VERA
43     Open "C:\ datosdia.txt" For Append As #1
44     Print #1, vbCr
45     Print #1, "AÑO" & vbTab & YEAR.Text
46     Print #1, "DIA" & vbTab & Ndia
47     Print #1, "HORA" & vbTab & "ALTURA" & vbTab
48     & "AZIMUT"
49     For hora = 0 To 23
50     T = hora + ((MIN.Text + (SEG.Text / 60)) / 60)
51     TIME = DELYR * 365 + LEAP + Ndia - 1 + T / 24
52     If DELYR = LEAP * 4 And Ndia < 61 Then
53         TIME = TIME - 1
54     End If
55     If DELYR < 0 And DELYR <> LEAP * 4 Then
56         TIME = TIME - 1
57     End If
58     -----LONGITUD DEL SOL-----
59     THETA = (360 * TIME / 365.25) * RAD
60     G = (-0.031271) - (0.000000453963) * TIME +
61     THETA

```

```

62 EL = 4.900968 + (0.000000367474) * TIME +
63 (0.033434 - (0.0000000023) * TIME) * Sin(G) +
64 0.000349 * Sin(2 * G) + THETA

65 -----ASCENSION RECTA Y DECLINACION-----

66 EPS = 0.40914 - 0.0000000062149 * TIME

67 SEL = Sin(EL)

68 A1 = SEL * Cos(EPS)

69 A2 = Cos(EL)

70 RA = atan2(A1, A2)

71 If RA < 0 Then

72   RA = RA + TWOPI

73 End If

74 A3 = SEL * Sin(EPS)

75 DECL = ArcSin(A3)

76 -----TIEMPO SIDERAL-----

77 ST = 1.759335 + TWOPI * (TIME / 365.25 -
78 DELYR) + 0.0000003694 * TIME

79 If ST >= TWOPI Then

80   ST = ST - TWOPI

81 End If

82 LONGI = LONGRAD.Text + (LONMIN.Text +
83 LONSEG.Text / 60) / 60

84 S = ST - LONGI * RAD + 1.0027379 * (ZONA.Text
85 - VERA + T) * 15 * RAD

86 If S >= TWOPI Then

87   S = S - TWOPI

88 End If

89 -----AZIMUT LOCAL Y ELEVACION-----

90 H = RA - S

91 LAT = LATGRAD.Text + (LATMIN.Text +
92 LATSEG.Text / 60) / 60

93 PHI = LAT * RAD

94 ELEV = ArcSin(Sin(PHI) * Sin(DECL) + Cos(PHI) *
95 Cos(DECL) * Cos(H))

96 AZI = ArcSin(Cos(DECL) * Sin(H) / Cos(ELEV)) /
97 RAD

98 If Sin(ELEV) >= (Sin(DECL) / Sin(PHI)) Then GoTo
99 10

100 If (AZI < 0) Then

101   AZI = AZI + 360

102 End If

103 AZI = 180 - AZI

104 10: ELEV = ELEV / RAD

105 'Cambio de coordenadas a N=0° S=180°

106 If AZI > 0 Then

107   AZI = 180 - AZI

108 Else

109   AZI = Abs(AZI) + 180

110 End If

111 'Para que solo nos de valores entre alba y el
112 ocaso del sol

113 If ELEV < 0 Then

114   ELEV = 0

115   AZI = 0

116 End If

117 Print #1, hora & vbTab & CInt(Val(ELEV)) &
118 vbTab & CInt(Val(AZI))

119 Next

120 Close #1

121 Next

122 Close #1

123 Close #1

124 MsgBox "Se ha creado el archivo"

```

```

125 End Sub
126 ++++++FUNCIONES+++++
127 -----arcoseno-----
128 Option Explicit
129 Public Function ArcSin(X As Double) As
130 Double
131     ArcSin = Atn(X / Sqr(-X * X + 1))
132 End Function
133 -----arcotan2-----
134 Option Explicit
135 Public Const PI As Double =
136 3.14159265358979
137 Public Function atan2(ByVal y As Double,
138 ByVal X As Double) As Double
139     If y > 0 Then
140         If X >= y Then
141             atan2 = Atn(y / X)
142         Elseif X <= -y Then
143             atan2 = Atn(y / X) + Pi
144         Else
145             atan2 = Pi / 2 - Atn(X / y)
146         End If
147     Else
148         If X >= -y Then
149             atan2 = Atn(y / X)
150         Elseif X <= y Then
151             atan2 = Atn(y / X) - Pi
152         Else
153             atan2 = -Atn(X / y) - Pi / 2
154         End If
155     End If
156 End Function
157 -----diasemana-----
158 Option Explicit
159 Dim ds As A, D, M, R1, R2a, R2b, R2c, R2, R3,
160 R4 As Integer
161 'ds = día de la semana
162 'A = Año
163 'D = Día del mes
164 'Mod = Módulo (operador %)
165 'M = modulo correspondiente al mes
166 Public Function DiaSem(Ndia As Integer, A
167 As Integer, Tdias As Integer) As Integer
168 If Tdias = 365 Then
169     If Ndia >= 1 And Ndia <= 31 Then
170         M = 0
171         D = Ndia - 0
172     Elseif Ndia >= 32 And Ndia <= 59 Then
173         M = 3
174         D = Ndia - 31
175     Elseif Ndia >= 60 And Ndia <= 90 Then
176         M = 3
177         D = Ndia - 59

```

```

178   Elself Ndia >= 91 And Ndia <= 120 Then
179   'abril
180       M = 6
181       D = Ndia - 90
182   Elself Ndia >= 121 And Ndia <= 151 Then
183       M = 1
184       D = Ndia - 120
185   Elself Ndia >= 152 And Ndia <= 181 Then
186       M = 4
187       D = Ndia - 151
188   Elself Ndia >= 182 And Ndia <= 212 Then
189       M = 6
190       D = Ndia - 181
191   Elself Ndia >= 213 And Ndia <= 243 Then
192       M = 2
193       D = Ndia - 212
194   Elself Ndia >= 244 And Ndia <= 273 Then
195       M = 5
196       D = Ndia - 243
197   Elself Ndia >= 274 And Ndia <= 304 Then
198   'octubre
199       M = 0
200       D = Ndia - 273
201   Elself Ndia >= 305 And Ndia <= 334 Then
202       M = 3
203       D = Ndia - 304
204   Elself Ndia >= 335 And Ndia <= 365 Then
205       M = 5
206       D = Ndia - 334
207   End If
208 End If
209 If Tdias = 366 Then
210     If Ndia >= 1 And Ndia <= 31 Then
211         M = 0
212         D = Ndia - 0
213     Elself Ndia >= 32 And Ndia <= 60 Then
214         M = 3
215         D = Ndia - 31
216     Elself Ndia >= 61 And Ndia <= 91 Then
217         M = 4
218         D = Ndia - 60
219     Elself Ndia >= 92 And Ndia <= 121 Then
220     'abril
221         M = 0
222         D = Ndia - 91
223     Elself Ndia >= 122 And Ndia <= 152 Then
224         M = 2
225         D = Ndia - 121
226     Elself Ndia >= 153 And Ndia <= 182 Then
227         M = 5
228         D = Ndia - 152
229     Elself Ndia >= 183 And Ndia <= 213 Then

```

```

230     M = 0
231     D = Ndia - 182
232     Elseif Ndia >= 214 And Ndia <= 244 Then
233         M = 3
234         D = Ndia - 213
235     Elseif Ndia >= 245 And Ndia <= 274 Then
236         M = 6
237         D = Ndia - 244
238     Elseif Ndia >= 275 And Ndia <= 305 Then
239 'octubre
240         M = 1
241         D = Ndia - 274
242     Elseif Ndia >= 306 And Ndia <= 335 Then
243         M = 4
244         D = Ndia - 305
245     Elseif Ndia >= 336 And Ndia <= 366 Then
246         M = 6
247         D = Ndia - 335
248     End If
249 End If
250 R1 = (A - 1) Mod 7
251 R2a = Int((A - 1) / 4)
252 R2b = Int((A - 1) / 100) + 1
253 R2c = Int((3 * R2b) / 4)
254 R2 = (R2a - R2c) Mod 7
255 'R2 = (((A - 1) / 4) - ((3 * (((A - 1) / 100) +
256 1))) / 4) Mod 7
257 R3 = M
258 R4 = D Mod 7
259 ds = (R1 + R2 + R3 + R4) Mod 7
260 DiaSem = ds
261 End Function

```

Anexo 2. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Marzo del 2012.

Equinoccio de Primavera Marzo 21

AÑO 2012

DIA 81

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	4	92	3.25	91.45	0.75	0.55
7	16	100	15.81	99.78	0.19	0.22
8	28	110	28.04	109.19	0.04	0.81
9	40	122	39.49	120.90	0.51	1.10
10	50	138	49.36	136.82	0.64	1.18
11	56	160	56.14	159.10	0.14	0.90
12	58	188	57.75	186.63	0.25	1.37
13	53	213	53.50	212.31	0.50	0.69
14	44	232	45.04	231.43	1.04	0.57
15	34	246	34.30	245.11	0.30	0.89
16	22	256	22.42	255.57	0.42	0.43
17	9	265	10.01	264.37	1.01	0.63
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 3. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Septiembre del 2012.

Equinoccio de Otoño Septiembre 21
AÑO 2012
DIA 265

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	7	94	6.15	93.49	0.85	0.51
8	19	102	18.64	102.02	0.36	0.02
9	31	112	30.70	111.87	0.30	0.13
10	42	125	41.83	124.41	0.17	0.59
11	52	143	51.08	141.67	0.92	1.33
12	57	167	56.75	165.43	0.25	1.57
13	57	195	56.91	193.03	0.09	1.97
14	51	218	51.48	217.12	0.48	0.88
15	42	236	42.36	234.68	0.36	1.32
16	31	248	31.29	247.40	0.29	0.60
17	19	258	19.26	257.34	0.26	0.66
18	6	267	6.77	265.89	0.77	1.11
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 4. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Junio del 2012.

Solsticio de verano Junio 21

AÑO 2012

DIA 173

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF ALTURAS	DIF AZIMUTS
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	5	65	4.49	64.93	0.51	0.07
7	17	72	16.23	72.22	0.77	0.22
8	29	79	28.45	79.07	0.55	0.07
9	42	86	40.95	86.08	1.05	0.08
10	54	95	53.56	94.26	0.44	0.74
11	67	107	65.98	106.27	1.02	0.73
12	78	136	77.08	133.33	0.92	2.67
13	79	210	79.81	205.62	0.81	4.38
14	70	248	70.28	246.96	0.28	1.04
15	57	263	58.10	262.09	1.10	0.91
16	45	272	45.52	271.17	0.52	0.83
17	32	279	32.95	278.45	0.95	0.55
18	20	286	20.61	285.27	0.61	0.73
19	8	293	8.67	292.35	0.67	0.65
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 5. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Norte el día 21 de Diciembre del 2012.

Solsticio de Invierno Diciembre 21

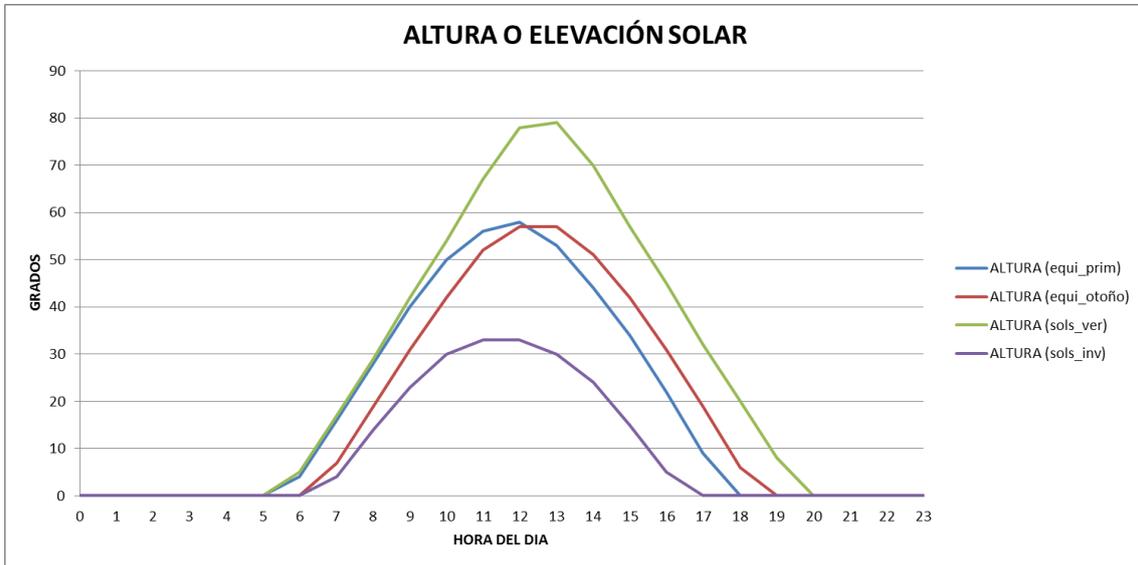
AÑO 2012

DIA 356

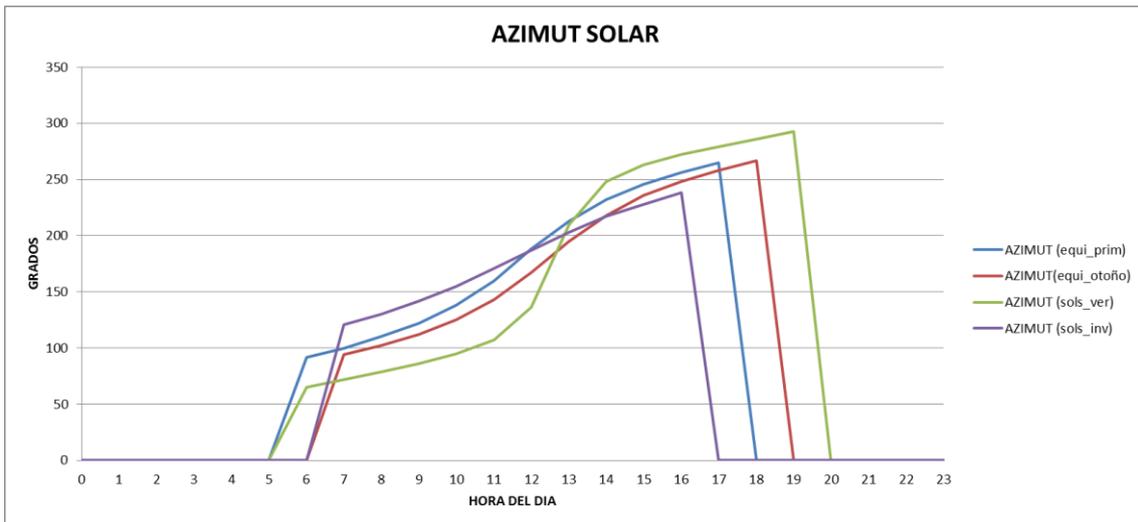
HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF ALTURAS	DIF AZIMUTS
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	4	121	3.31	120.71	0.69	0.29
8	14	130	13.60	129.93	0.40	0.07
9	23	142	22.47	141.01	0.53	0.99
10	30	155	29.23	154.33	0.77	0.67
11	33	171	33.14	169.76	0.14	1.24
12	33	187	33.58	186.23	0.58	0.77
13	30	203	30.49	202.06	0.49	0.94
14	24	217	24.35	215.94	0.35	1.06
15	15	228	15.93	227.54	0.93	0.46
16	5	238	5.94	237.17	0.94	0.83
17	0	0				
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 6. Comportamiento de la altura solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Norte.



Anexo 7. Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Norte.



Anexo 8. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Sur el día 21 de Marzo del 2012.

Equinoccio de Primavera Marzo 21

AÑO 2012

DIA 81

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	11	93	10.79	92.28	0.21	0.72
8	26	97	25.28	96.41	0.72	0.59
9	40	102	39.62	101.64	0.38	0.36
10	54	110	53.63	109.56	0.37	0.44
11	67	126	66.63	124.98	0.37	1.02
12	76	167	75.52	163.93	0.48	3.07
13	72	221	72.32	219.06	0.32	1.94
14	60	245	60.75	243.93	0.75	1.07
15	46	255	47.13	254.81	1.13	0.19
16	32	261	32.93	261.17	0.93	0.17
17	18	266	18.51	265.77	0.51	0.23
18	3	270	4.00	269.69	1.00	0.31
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: Sin DST

Anexo 9. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Sur el día 21 de Septiembre del 2012.

Equinoccio de Otoño Septiembre 21

AÑO 2012

DIA 265

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	0	90				
8	15	93	14.18	93.31	0.82	0.31
9	29	98	28.63	97.66	0.37	0.34
10	44	104	42.91	103.39	1.09	0.61
11	57	113	56.74	112.54	0.26	0.46
12	70	133	69.16	131.57	0.84	1.43
13	76	181	75.79	178.24	0.21	2.76
14	69	228	69.76	226.64	0.76	1.36
15	57	247	57.48	246.64	0.48	0.36
16	43	257	43.69	256.08	0.69	0.92
17	29	262	29.42	261.91	0.42	0.09
18	14	267	14.97	266.3	0.97	0.70
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 10. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Sur el día 21 de Junio del 2012.

Solsticio de verano Junio 21

AÑO 2012

DIA 173

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	4	67	3.33	66.64	0.67	0.36
8	17	70	16.80	69.46	0.20	0.54
9	31	71	30.48	71.09	0.52	0.09
10	45	71	44.23	71.28	0.77	0.28
11	59	69	57.91	68.91	1.09	0.09
12	72	58	71.07	59.32	0.93	1.32
13	81	11	80.74	15.64	0.26	4.64
14	75	308	75.38	309.31	0.38	1.31
15	62	293	62.77	293.2	0.77	0.20
16	48	289	49.19	289.17	1.19	0.17
17	35	289	35.44	288.65	0.44	0.35
18	21	290	21.73	289.81	0.73	0.19
19	7	292	8.17	292.2	1.17	0.20
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 11. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Sur el día 21 de Diciembre del 2012.

Solsticio de Invierno Diciembre 21

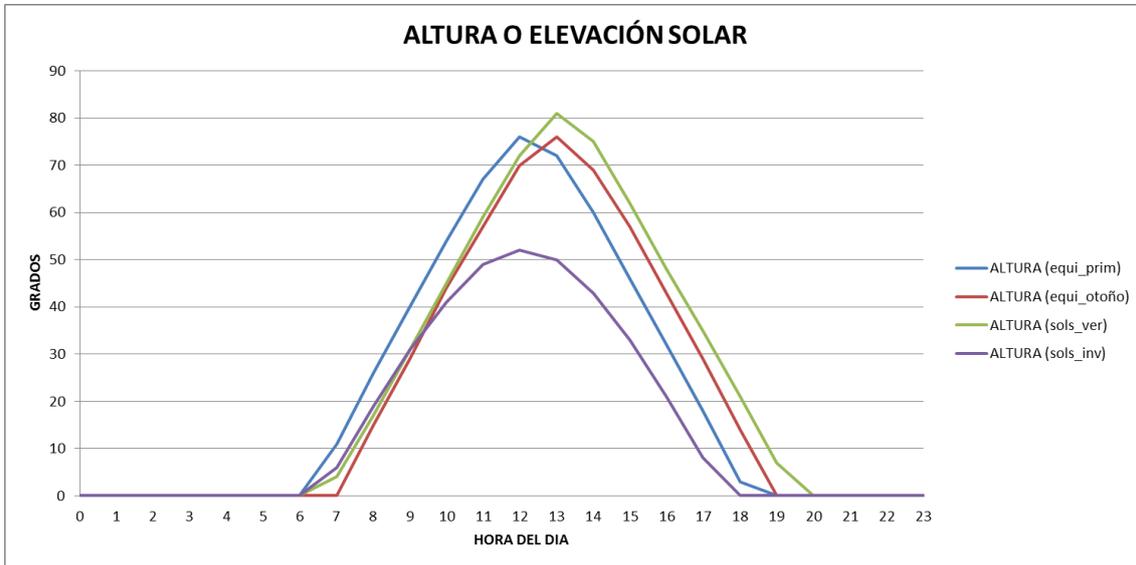
AÑO 2012

DIA 356

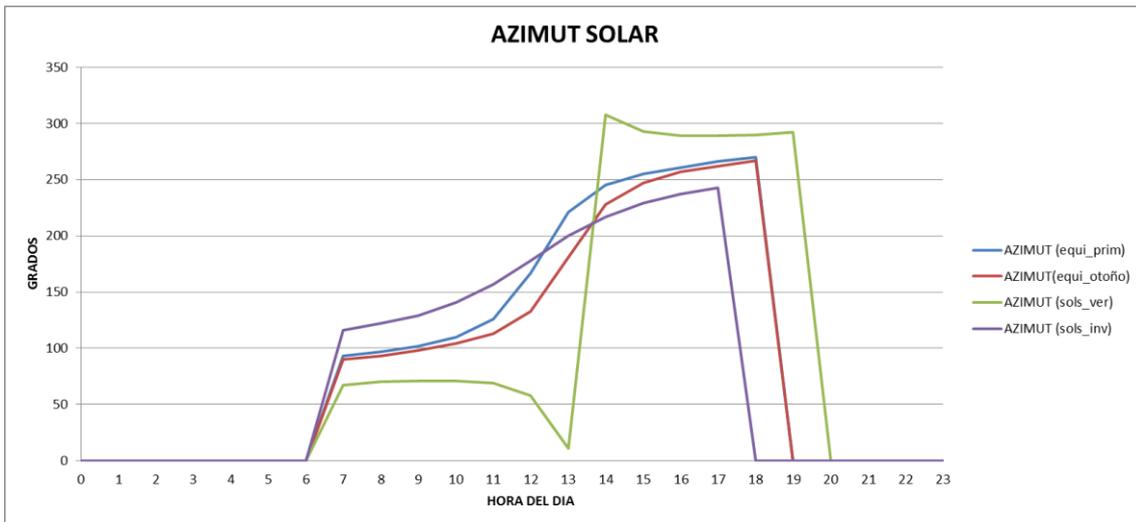
HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	6	116	5.91	116.10	0.09	0.10
8	19	122	18.64	121.41	0.36	0.59
9	31	129	30.53	129.05	0.47	0.05
10	41	141	40.90	140.21	0.10	0.79
11	49	157	48.61	156.32	0.39	0.68
12	52	178	51.98	177.27	0.02	0.73
13	50	200	49.90	198.93	0.10	1.07
14	43	217	43.09	216.36	0.09	0.64
15	33	229	33.23	228.61	0.23	0.39
16	21	237	21.64	236.98	0.64	0.02
17	8	243	9.07	242.77	1.07	0.23
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 12. Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Sur.



Anexo 13. Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Sur.



Anexo 14. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Este el día 21 de Marzo del 2012.

Equinoccio de Primavera Marzo 21

AÑO 2012

DIA 81

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	2	90	1.60	90.08	0.40	0.08
7	16	96	15.57	95.62	0.43	0.38
8	30	102	29.40	101.94	0.60	0.06
9	43	111	42.85	110.22	0.15	0.78
10	56	124	55.40	122.92	0.60	1.08
11	66	147	65.56	145.76	0.44	1.24
12	69	186	69.35	184.37	0.35	1.63
13	63	221	63.85	220.23	0.85	0.77
14	52	241	52.99	240.35	0.99	0.65
15	39	252	40.19	251.85	1.19	0.15
16	26	260	26.64	259.60	0.64	0.40
17	12	266	12.77	265.72	0.77	0.28
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 15. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Este el día 21 de Septiembre del 2012.

Equinoccio de Otoño Septiembre 21

AÑO 2012

DIA 265

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	5	92	4.87	91.43	0.13	0.57
8	19	97	18.81	97.11	0.19	0.11
9	33	104	32.55	103.81	0.45	0.19
10	46	113	45.83	112.89	0.17	0.11
11	58	128	57.97	127.37	0.03	0.63
12	67	155	67.01	153.81	0.01	1.19
13	68	196	68.55	194.01	0.55	1.99
14	61	227	61.36	225.75	0.36	1.25
15	49	244	49.89	243.15	0.89	0.85
16	36	254	36.87	253.49	0.87	0.51
17	22	261	23.23	260.74	1.23	0.26
18	8	267	9.32	266.63	1.32	0.37
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 16. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Este el día 21 de Junio del 2012.

Solsticio de verano Junio 21

AÑO 2012

DIA 173

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	11	69	10.71	68.85	0.29	0.15
8	24	73	23.92	72.86	0.08	0.14
9	38	76	37.40	76.09	0.60	0.09
10	52	79	51.04	78.53	0.96	0.47
11	65	80	64.78	79.77	0.22	0.23
12	79	76	78.50	76.51	0.50	0.51
13	86	305	86.58	311.31	0.58	6.31
14	73	281	73.40	281.07	0.40	0.07
15	59	281	59.64	280.47	0.64	0.53
16	45	282	45.93	282.28	0.93	0.28
17	32	285	32.34	285.03	0.34	0.03
18	18	289	18.95	288.53	0.95	0.47
19	5	293	5.87	292.89	0.87	0.11
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 17. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Este el día 21 de Diciembre del 2012.

Solsticio de Invierno Diciembre 21

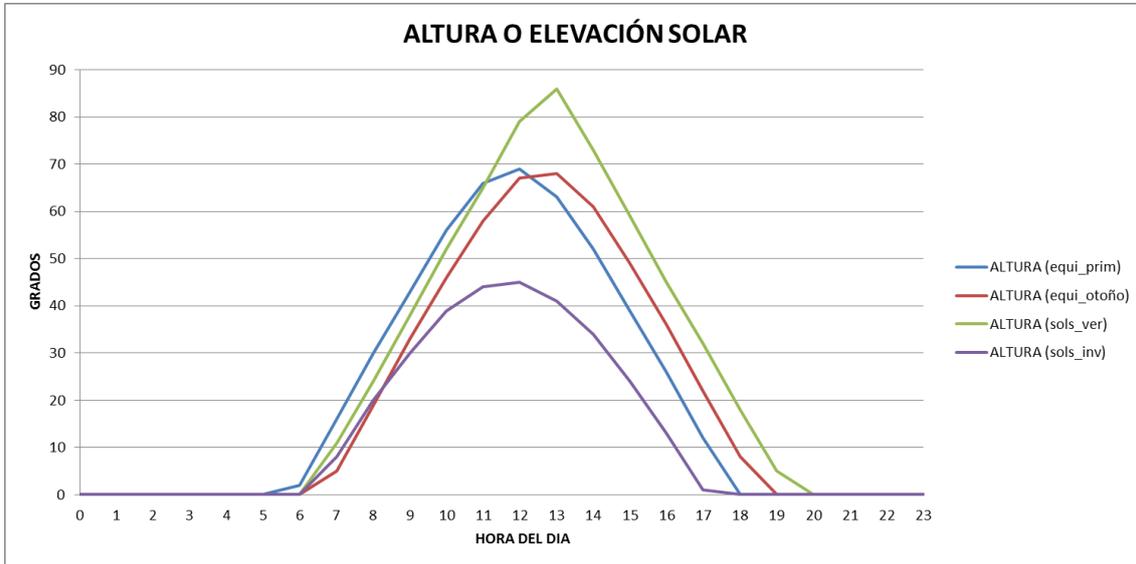
AÑO 2012

DIA 356

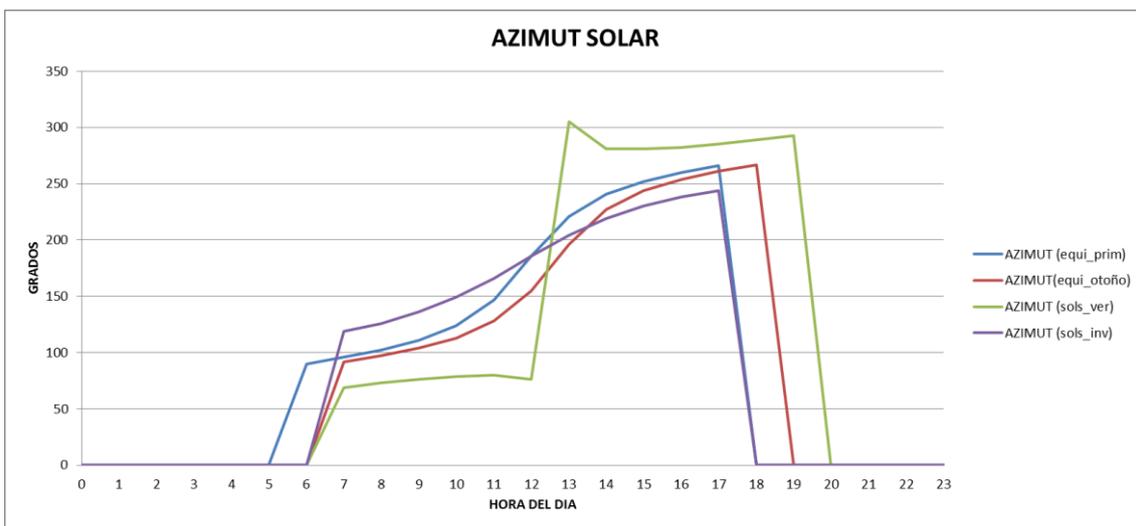
HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	8	119	7.50	118.77	0.50	0.23
8	20	126	19.31	126.02	0.69	0.02
9	30	136	29.92	135.68	0.08	0.32
10	39	149	38.53	148.68	0.47	0.32
11	44	166	44.02	165.50	0.02	0.50
12	45	186	45.22	184.79	0.22	1.21
13	41	204	41.80	203.21	0.80	0.79
14	34	219	34.61	218.17	0.61	0.83
15	24	230	24.91	229.42	0.91	0.58
16	13	238	13.63	237.79	0.63	0.21
17	1	244	1.40	244.14	0.40	0.14
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 18. Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Este.



Anexo 19. Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Este.



Anexo 20. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Marzo del 2012.

Equinoccio de Primavera Marzo 21

AÑO 2012

DIA 81

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	90	0.15	89.47	0.15	0.53
7	14	97	13.24	96.88	0.76	0.12
8	26	106	26.10	105.09	0.10	0.91
9	39	116	38.41	115.28	0.59	0.72
10	50	130	49.52	129.39	0.48	0.61
11	58	152	58.04	150.50	0.04	1.50
12	61	181	61.49	179.77	0.49	1.23
13	58	210	58.16	209.16	0.16	0.84
14	49	231	49.71	230.43	0.71	0.57
15	38	245	38.64	244.65	0.64	0.35
16	26	255	26.35	254.90	0.35	0.10
17	13	264	13.51	263.16	0.51	0.84
18	0	0				
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: sin DST

Anexo 21. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Septiembre del 2012.

Equinoccio de Otoño Septiembre 21

AÑO	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
DIA	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	0				
7	4	91	3.17	91.31	0.83	0.31
8	17	99	16.21	98.86	0.79	0.14
9	29	108	28.95	107.46	0.05	0.54
10	42	119	41.02	118.41	0.98	0.59
11	52	135	51.62	133.89	0.38	1.11
12	59	158	59.13	156.98	0.13	1.02
13	61	189	60.97	187.08	0.03	1.92
14	56	216	56.20	214.64	0.20	1.36
15	47	235	46.98	233.87	0.02	1.13
16	35	248	35.56	246.90	0.56	1.10
17	22	257	23.11	256.54	1.11	0.46
18	9	265	10.18	264.51	1.18	0.49
19	0	0				
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

Anexo 22. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la coordenada extrema Oeste el día 21 de Junio del 2012.

Solsticio de verano Junio 21

AÑO 2012

DIA 173

HORA	SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
0	0	0				
1	0	0				
2	0	0				
3	0	0				
4	0	0				
5	0	0				
6	0	63	0.11	62.98	0.11	0.02
7	13	70	12.11	69.75	0.89	0.25
8	25	76	24.62	75.80	0.38	0.20
9	38	82	37.46	81.58	0.54	0.42
10	51	88	50.50	87.74	0.50	0.26
11	64	96	63.58	95.68	0.42	0.32
12	77	113	76.34	111.49	0.66	1.51
13	84	197	84.20	190.41	0.20	6.59
14	74	253	74.46	252.20	0.46	0.80
15	61	266	61.59	265.76	0.59	0.24
16	48	274	48.50	273.26	0.50	0.74
17	35	280	35.49	279.30	0.49	0.70
18	22	285	22.69	285.09	0.69	0.09
19	9	292	10.25	291.22	1.25	0.78
20	0	0				
21	0	0				
22	0	0				
23	0	0				

Nota: con DST

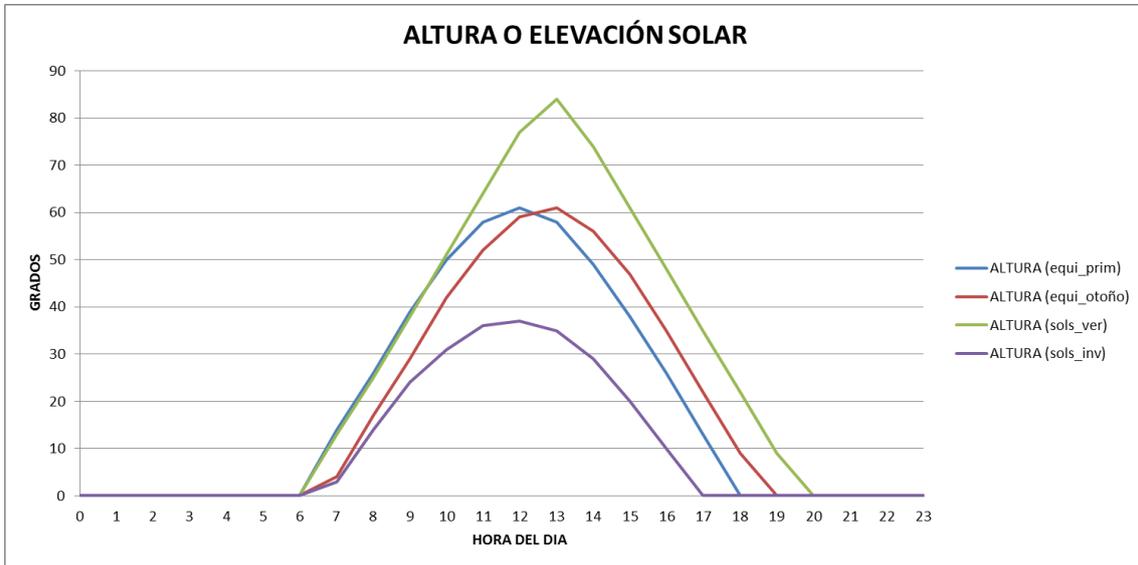
Anexo 23. Comparación entre el software desarrollado y el externo, para la
 coordenada extrema Oeste el día 21 de Diciembre del 2012.

Solsticio de Invierno Diciembre 21

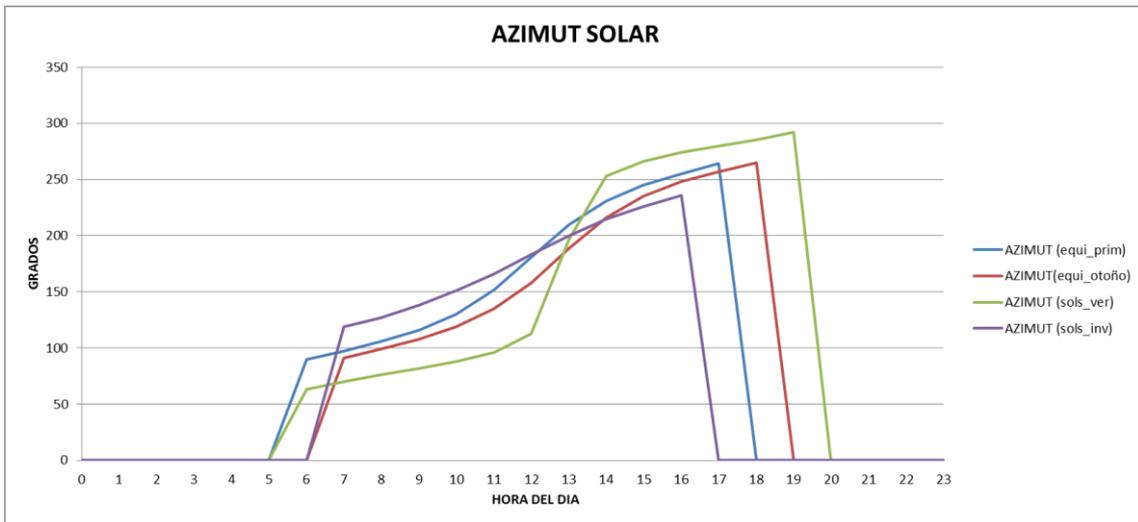
AÑO		SOFTWARE PROPIO		SOFTWARE EXTERNO		DIFERENCIAS	
2012		ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT
DIA							
356							
HORA	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	DIF. ALTURA	DIF. AZIMUT	
0	0	0					
1	0	0					
2	0	0					
3	0	0					
4	0	0					
5	0	0					
6	0	0					
7	3	119	2.36	118.60	0.64	0.40	
8	14	127	13.37	126.92	0.63	0.08	
9	24	138	23.12	137.16	0.88	0.84	
10	31	151	30.93	149.89	0.07	1.11	
11	36	166	35.95	165.25	0.05	0.75	
12	37	183	37.38	182.33	0.38	0.67	
13	35	200	34.93	199.11	0.07	0.89	
14	29	215	29.07	213.80	0.07	1.20	
15	20	226	20.66	225.82	0.66	0.18	
16	10	236	10.52	235.48	0.52	0.52	
17	0	0					
18	0	0					
19	0	0					
20	0	0					
21	0	0					
22	0	0					
23	0	0					

Nota: sin DST

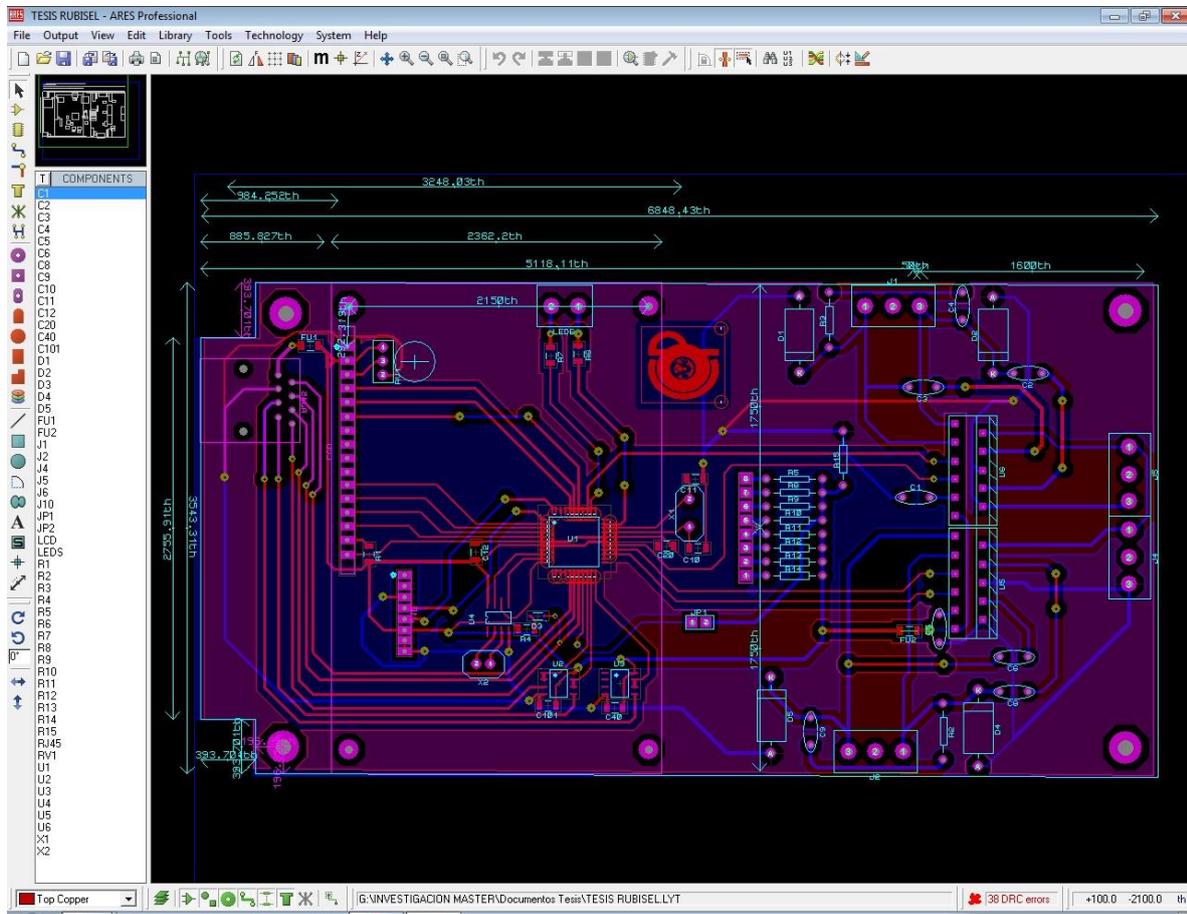
Anexo 24. Comportamiento de la altura o elevación solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Oeste.



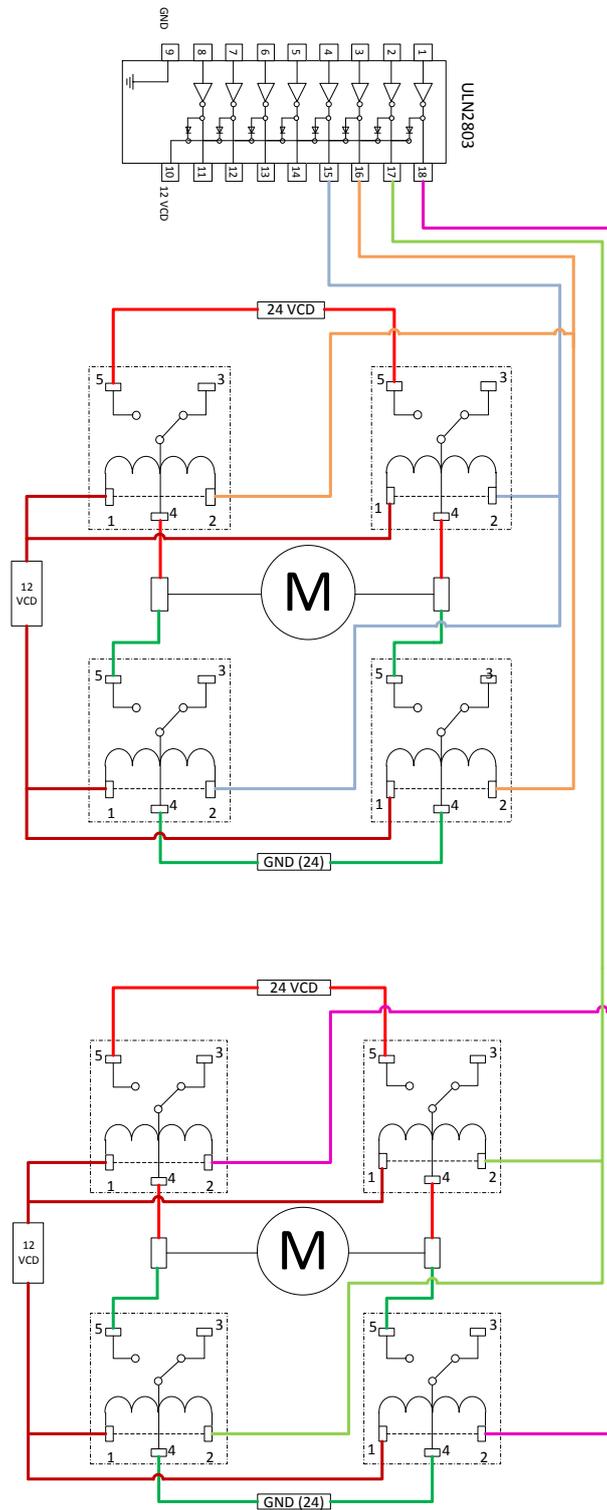
Anexo 25. Comportamiento del azimut solar en los días claves del año 2012, para la coordenada extrema Oeste.



Anexo 26. Diagrama electrónico de la placa base.



Anexo 27. Diagrama electrónico de la fase de potencia.



Anexo 28. Código resumido del software desarrollado, en lenguaje de programación C.

```

1 #include <18F4553.h>
2 #device adc=12
3 #FUSES NOWDT //No Watch Dog
4 Timer
5 #FUSES WDT128 //Watch Dog
6 Timer uses 1:128 Postscale
7 #FUSES XT //Speed Osc (< 4mhz)
8 #FUSES NOPROTECT //Code not
9 protected from reading
10 #FUSES BROWNOUT //Reset when
11 brownout detected
12 #FUSES BORV20 //Brownout reset
13 at 2.0V
14 #FUSES NOPUT //No Power Up
15 Timer
16 #FUSES NOCPD //No EE protection
17 #FUSES STVREN //Stack
18 full/underflow will cause reset
19 #FUSES NODEBUG //No Debug
20 mode for ICD
21 #FUSES NOLVP //No low voltage
22 prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
23 #FUSES NOWRT //Program
24 memory not write protected
25 #FUSES NOWRTD //Data EEPROM
26 not write protected
27 #FUSES IESO //Internal External
28 Switch Over mode enabled
29 #FUSES FCMEN //Fail-safe clock
30 monitor enabled
31 #FUSES PBADEN //PORTB pins are
32 configured as analog input channels on RESET
33 #FUSES NOWRTC //configuration
34 not registers write protected
35 #FUSES NOWRTB //Boot block not
36 write protected
37 #FUSES NOEBTR //Memory not
38 protected from table reads
39 #FUSES NOEBTRB //Boot block not
40 protected from table reads
41 #FUSES NOCPB //No Boot Block
42 code protection
43 #FUSES MCLR //Master Clear pin
44 enabled
45 #FUSES LPT1OSC //Timer1
46 configured for low-power operation
47 #FUSES PLL1 //No PLL PreScaler
48 #FUSES CPUDIV1 //No System Clock
49 Postscaler
50 #FUSES NOUSB DIV //USB clock
51 source comes from primary oscillator
52 #FUSES NOVREGEN //USB voltage
53 regulator disabled
54 #FUSES NOICPRT //ICPRT disabled
55 #use delay(clock=4000000)
56 #use
57 rs232(baud=9600,bits=8,parity=N,stop=1,xmi
58 t=pin_c6,rcv=pin_c7)
59 #include <ds1302.c>
60 #include <lcd.c>
61 #include <math.h>
62 //DEFINICION PARA EL ENSENDIDO DE LEDS
63 DE ESTADO
64 #define LEDV PIN_C0
65 #define LEDA PIN_C1
66 //DEFINICION PARA LOS MOTOREDUCTORES
67 #define DIRREJ1 PIN_C2/*
68 #define NODIRREJ1 PIN_E2/*
69 #define DIRREJ2 PIN_E1/*
70 #define NODIRREJ2 PIN_E0/*
71 //DEFINICION DE ENSENDIDO Y APAGADO

```

```

72 #define ON output_high
73 #define OFF output_low
74 //DECLARACION DE LAS VARIABLES A
75 OCUPAR
76 BYTE
77 day#0,daya#0,mth#0,year#0,yeara#0,hour,mi
78 na,min,sec,dow#0,nomdia#0;
79 int
80 leap,delyr,zona,vera,sonora,gradla,minla,segl
81 a,minlo,seglo,i,WRF,Tecla,banderaO,salida#0,
82 centenas#0,decenas#0,unidades#0,tiempo#0,
83 tiempoa#0,flash#0,operacion#0;
84 signed int16 DIFERA,DIFERE;
85 int16
86 yearf,ELEVR,AZIR,ELEVRA,AZIRA,ndia,tdias,AD
87 C[32],q#0,DTeclado#0,tcarga#0,ciclos#0,gradl
88 o#0;
89 int32 Fecha#0,ttemporal#0;
90 float
91 VS1#0,VS2#0,p#0,treal#0,tcargaA#0,tcargaE#
92 0;
93 float
94 T,TIME,THETA,G,EL,EPS,SEL,A1,A2,A3,RA,DEC
95 L,ST,S,LONGI,H,LAT,PHI,ELEV,AZI;
96 float RAD#0.017453292519943,
97 DOSPI#6.28318530717959;
98 //*****
99 //DECLARACION DE FUNCIONES
100 //CONFIGURACION DEL RELOJ
101 void set_clock() [...]
102 //CALCULO DEL TOTAL DE DIAS DEL AÑO
103 void FTDiasA() [...]
104 //CALCULO DEL HORARIO DEL VERANO
105 void FHVerano() [...]
106 //CALCULO DEL TIEMPO EN DECIMALES
107 void FTDecimal() [...]
108 //CALCULO DE LA DISTANCIA AL SOL
109 void FDSol() [...]
110 //CALCULO DE LA ASENCION RECTA Y
111 DECLINACION
112 void FARyD() [...]
113 //TIEMPO SIDERAL
114 void FTSideral() [...]
115 //AZIMUTH Y ELEVACION LOCAL
116 void FAyE() [...]
117 //IMPRESION AZIMUTH Y ELEVACION
118 void FImpresion() [...]
119 //LECTURA DEL CANAL ANALOGICO
120 void LecturaADC(int canal) [...]
121 //CALIBRACION PARA EL MOVIMIENTO
122 void CorreMotor() [...]
123 //MOVIMIENTO AUTOMATICO PARA SEGUIR
124 EL SOL
125 void FMovSolar() [...]
126 //PARA DAR FORMATO A LA FECHA ENTRE LA
127 FUNCION y EL RTC
128 void FormatoFecha() [...]
129 //FUNCION PARA GRABAR LA LECTURA DE
130 LOS 3 CANALES, FECHA Y HORA
131 void GRABA() [...]
132 //FUNCION DE ENCABEZADO DE
133 CONFIGURACION
134 void Encabezado() [...]
135 //FUNCION DE RESETEO DE VARIABLES
136 void Borrado() [...]
137 //FUNCION DE TRANSFORMACION DE TECLAS
138 void FTeclas(int16 TeclaADC)
139 //-----
140 //FUNCION MADRE

```

```

141 void main()
142 {
143 //CONFIGURACION INICIAL DEL MICRO
144 ELEVRA=0;
145 AZIRA=0;
146 i=0;
147 set_tris_d(0x00);
148 set_tris_e(0X00);
149 set_tris_c(0x00);
150 ON(LEDA);
151 OFF(LEDV);
152 delay_ms(1000);
153 setup_adc_ports(AN0_TO_AN3|VSS_VDD);
154 setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);
155 setup_psp(PSP_DISABLED);
156 setup_wdt(WDT_OFF);
157 setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
158 setup_timer_1(T1_DISABLED);
159 setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
160 setup_low_volt_detect(FALSE);
161 setup_oscillator(False);
162 setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
163 setup_vref(FALSE);
164 lcd_init();
165 delay_ms(500);
166 lcd_gotoxy(1,1);
167 printf(lcd_putc,"INICIANDO");
168 delay_ms(2000);
169 lcd_gotoxy(1,2);
170 printf(lcd_putc,"ESPERE");
171 delay_ms(2000);
172 lcd_gotoxy(17,1);
173 printf(lcd_putc,"...LISTO....");
174 delay_ms(2000);
175 lcd_gotoxy(17,2);
176 printf(lcd_putc," #SEG SOLAR# ");
177 delay_ms(2000);
178 OFF(LEDV);
179 delay_ms(2000);
180 OFF(LEDA);
181 //FIN DE CONFIGURACION
182 //*****
183 //INICIO DE LECTURA DE CONFIGURACION
184 DEL PROGRAMA
185 //*****
186 //SE HACE LECTURA SI ES MANUAL O
187 AUTOMATICO
188 Borrado();
189 do [...]
190 while(salida<1);
191 operacion = unidades;
192 printf(lcd_putc,"\fModo Oper: %u",
193 operacion);
194 delay_ms(2000);
195 if(operacion == 1)
196 {
197 //SE LEE EL DIA
198 Borrado();
199 do [...]
200 while(salida<1);
201 day = (decenas*10) + unidades;
202 printf(lcd_putc,"\fDia leído: %u",day);
203 daya=day;

```

```

204 delay_ms(2000);
205 //SE LEE EL MES
206 Borrado();
207 while(salida<1);
208 mth = (decenas*10) + unidades;
209 printf(lcd_putc,"\fMes leído: %u", mth);
210 delay_ms(2000);
211 //SE LEE EL AÑO
212 Borrado();
213 do [...]
214 while(salida<1);
215 year = (decenas*10) + unidades;
216 printf(lcd_putc,"\fAño leído: %u", year);
217 yearf=year+2000;
218 yeara=year;
219 delay_ms(2000);
220 //SE LEE EL DIA DE LA SEMANA
221 Borrado();
222 do [...]
223 while(salida<1);
224 dow = unidades;
225 printf(lcd_putc,"\fNOW Leído: %u", dow);
226 nomdia=dow;
227 delay_ms(2000);
228 //SE LEE LA HORA
229 Borrado();
230 do [...]
231 while(salida<1);
232 hour = (decenas*10) + unidades;
233 printf(lcd_putc,"\fHora Leída: %u", hour);
234 delay_ms(2000);
235 //SE LEE EL MINUTO
236 Borrado();
237 do [...]
238 while(salida<1);
239 min = (decenas*10) + unidades;
240 printf(lcd_putc,"\fMin Leído: %u", min);
241 delay_ms(2000);
242 mina=min;
243 //SE PONE POR DEFAULT LOS SEGUNDOS A
244 CERO
245 sec=0;
246 //SE LEE EL DIA JULIANO
247 Borrado();
248 do [...]
249 while(salida<1);
250 ndia = (int16)(centenas)*100 + (decenas*10)
251 + (unidades);
252 printf(lcd_putc,"\fJuliano Day: %Lu", ndia);
253 delay_ms(2000);
254 //SE CONFIGURA VERA
255 Borrado();
256 do [...]
257 while(salida<1);
258 vera = unidades;
259 printf(lcd_putc,"\fH. Vera Leído: %u", vera);
260 nomdia=dow;
261 delay_ms(2000);
262 //SE LEE LA ZONA HORARIA
263 Borrado();
264 do [...]
265 while(salida<1);

```

```

266 zona = unidades;
267 printf(lcd_putc, "\fZona Leida: %u", zona);
268 delay_ms(2000);
269 //SE LEE SI ESTA EN SONORA
270 Borrado();
271 do [...]
272 while(salida<1);
273 sonora = unidades;
274 printf(lcd_putc, "\fSonora: %u", sonora);
275 delay_ms(2000);
276 //SE LEE LA LATITUD
277 //GRADOS
278 Borrado();
279 do [...]
280 while(salida<1);
281 gradla = (centenas*100) + (decenas*10) +
282 unidades;
283 printf(lcd_putc, "\fGrados LA: %u", gradla);
284 delay_ms(2000);
285 //MINUTOS
286 Borrado();
287 do [...]
288 while(salida<1);
289 minla = (decenas*10) + unidades;
290 printf(lcd_putc, "\fMinutos LA: %u", minla);
291 delay_ms(2000);
292 //SEGUNDOS
293 Borrado();
294 do [...]
295 while(salida<1);
296 segla = (decenas*10) + unidades;
297 printf(lcd_putc, "\fSegundos LA: %u", segla);
298 delay_ms(2000);
299 //SE LEE LA LONGITUD
300 //GRADOS
301 Borrado();
302 do [...]
303 while(salida<1);
304 gradlo = (int16)(centenas)*100 +
305 (decenas*10) + (unidades);
306 printf(lcd_putc, "\fGrados LO: %Lu", gradlo);
307 delay_ms(2000);
308 //MINUTOS
309 Borrado();
310 do [...]
311 while(salida<1);
312 minlo = (decenas*10) + unidades;
313 printf(lcd_putc, "\fMinutos LO: %u", minlo);
314 delay_ms(2000);
315 //SEGUNDOS
316 Borrado();
317 do [...]
318 while(salida<1);
319 seglo = (decenas*10) + unidades;
320 printf(lcd_putc, "\fSegundos LO: %u", seglo);
321 delay_ms(2000);
322 //SE INGRESA EL TIEMPO DE MEDICION
323 Borrado();
324 do [...]
325 while(salida<1);
326 tiempo = (decenas*10) + unidades;
327 printf(lcd_putc, "\fMonitoreo: %u", tiempo);

```

```

328 delay_ms(2000);
329 //SE CONFIGURA EL RELOJ
330 rtc_init();
331 delay_ms(500);
332 set_clock();
333 //PRIMERA GRABACION E INICIO DE
334 MOTORES
335 FTDiasA();
336 FHVerano();
337 FTDecimal();
338 FDSol();
339 FARyD();
340 FTSideral();
341 FAyE();
342 FImpresion();
343 FMovSolar();
344 rtc_get_date( day, mth, year, dow);
345 rtc_get_time( hour, min, sec );
346 LecturaADC(1);
347 LecturaADC(2);
348 FormatoFecha();
349 printf(lcd_putc,"\f");
350 printf(lcd_putc,"GRABANDO");
351 GRABA();
352 printf(lcd_putc,"\f");
353 lcd_gotoxy(1,1);
354 printf(lcd_putc,"Fecha:%2u/%2u/%2u",day,m
355 th,year);
356 delay_ms(1000);
357 lcd_gotoxy(1,2);
358 printf(lcd_putc,"Hora:%2u:%2u:%2u",hour,mi
359 n,sec);
360 lcd_gotoxy(17,1);
361 printf(lcd_putc,"Vera %2u",vera);
362 lcd_gotoxy(17,2);
363 printf(lcd_putc,"dow %2u",dow);
364 delay_ms(1000);
365 }
366 //*****
367 //INICIO DEL CICLO DEL PROGRAMA
368 //*****
369 while(TRUE)
370 {
371 if(operacion==1)
372 {
373 rtc_get_date( day, mth, year, dow);
374 rtc_get_time( hour, min, sec );
375 if(yeara != year)
376 {
377 FTDiasA();
378 yeara = year;
379 ndia=1;
380 }
381 if(daya != day )
382 {
383 nomdia=dow;
384 ndia=ndia+1;
385 FHVerano();
386 daya = day;
387 }
388 if(min != mina)
389 {
390 tiempoa++;

```

```

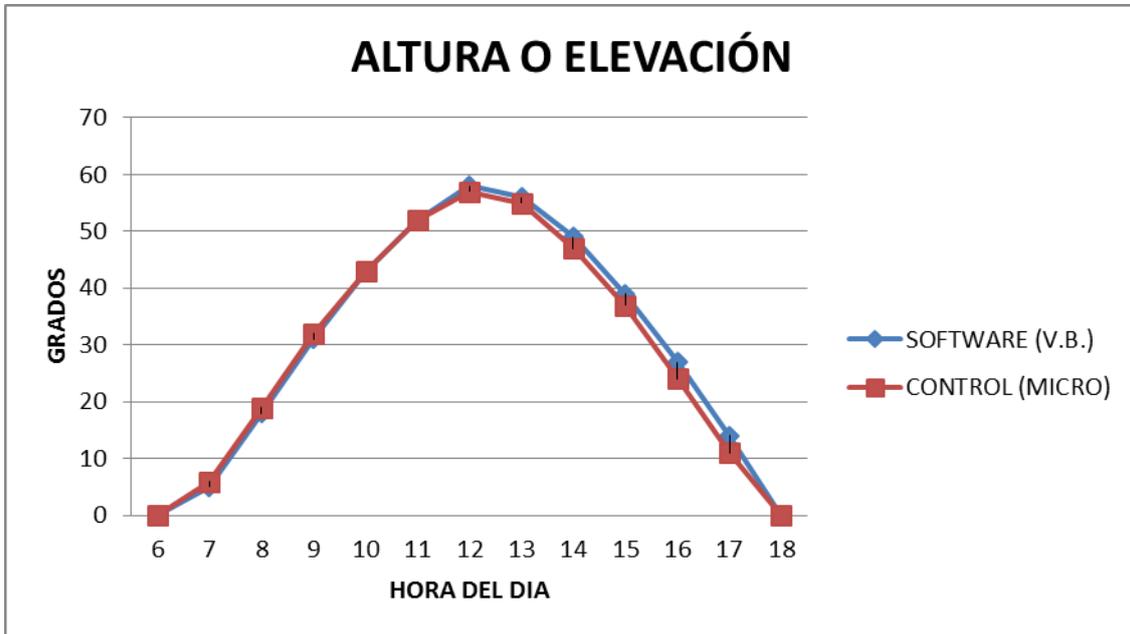
391  mina = min;
392  }
393  if(tiempoa >= tiempo)
394  {
395  tiempoa=0;
396  if(hour==2 && min == 0)
397  {
398  FHVerano();
399  }
400  mina=min;
401  FTDecimal();
402  FDSol();
403  FARyD();
404  FTSideral();
405  FAyE();
406  FImpresion();
407  FMovSolar();
408  rtc_get_date( day, mth, year, dow);
409  rtc_get_time( hour, min, sec );
410  LecturaADC(1);
411  LecturaADC(2);
412  FormatoFecha();
413  printf(lcd_putc,"\f");
414  printf(lcd_putc,"GRABANDO");
415  GRABA();
416  printf(lcd_putc,"\f");
417  lcd_gotoxy(1,1);
418  printf(lcd_putc,"Fecha:%2u/%2u/%2u",day,m
419  th,year);
420  delay_ms(1000);
421  lcd_gotoxy(1,2);
422  printf(lcd_putc,"Hora:%2u:%2u:%2u",hour,mi
423  n,sec);
424  delay_ms(1000);
425  lcd_gotoxy(17,1);
426  printf(lcd_putc,"Vera %2u",vera);
427  delay_ms(1000);
428  lcd_gotoxy(17,2);
429  printf(lcd_putc,"dow %2u",nomdia);
430  delay_ms(1000);
431  }
432  }
433  else
434  {
435  LecturaADC(0);
436  delay_ms(10);
437  FTeclas(DTeclado);
438  if(DTeclado==0) [...]
439  if(Tecla==1) [...]
440  else if(Tecla==2) [...]
441  else if(Tecla==3) [...]
442  else if(Tecla==4) [...]
443  else if(Tecla==16) [...]
444  }
445  }
446  //FIN DEL CICLO DEL PRORAMA
447  }

```

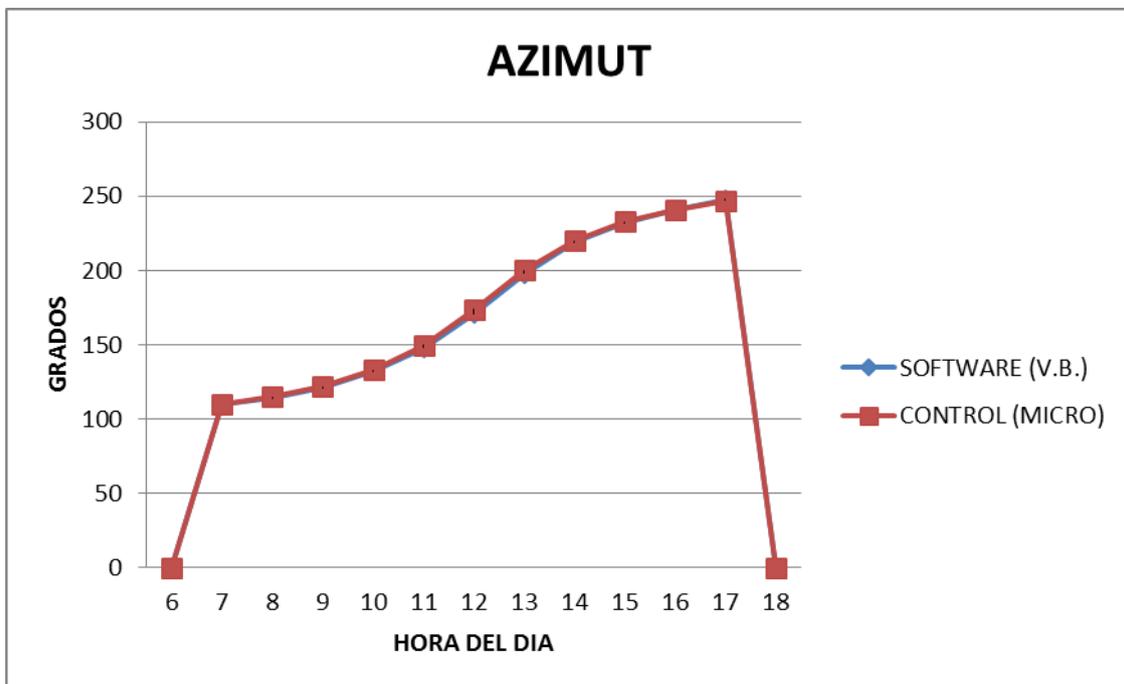
Anexo 29. Datos de salida del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).

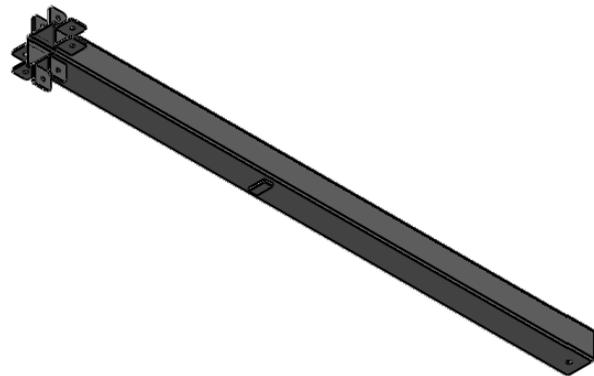
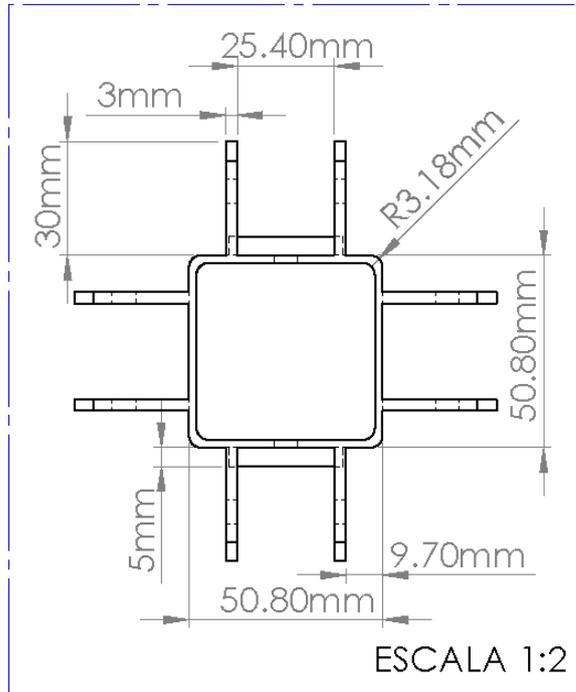
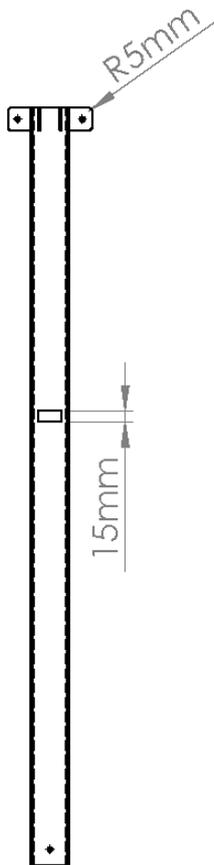
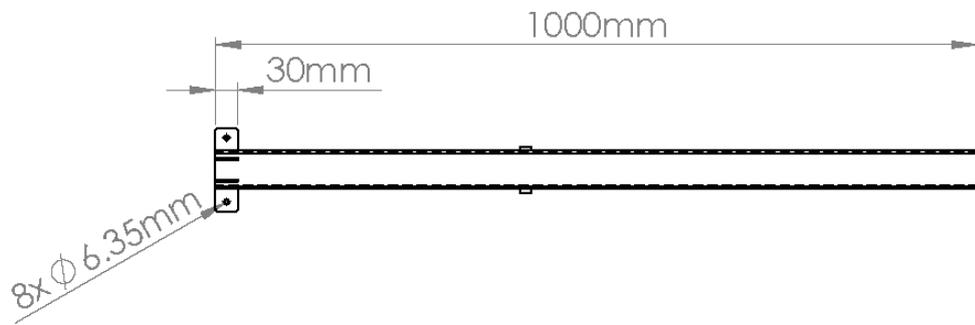
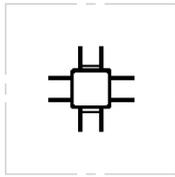
AÑO	2013			
DIA	30			
	SOFTWARE (V.B.)		CONTROL (MICRO)	
HORA	ALTURA	AZIMUT	ALTURA	AZIMUT
6	0	0	0	0
7	5	110	6	110
8	18	114	19	115
9	31	121	32	122
10	43	132	43	133
11	52	148	52	150
12	58	171	57	174
13	56	198	55	200
14	49	219	47	220
15	39	232	37	233
16	27	241	24	241
17	14	248	11	247
18	0	0	0	0

Anexo 30. Comparación entre los datos de salida (elevación) del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).

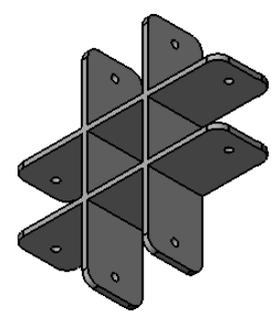
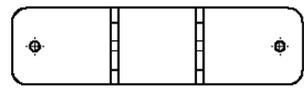
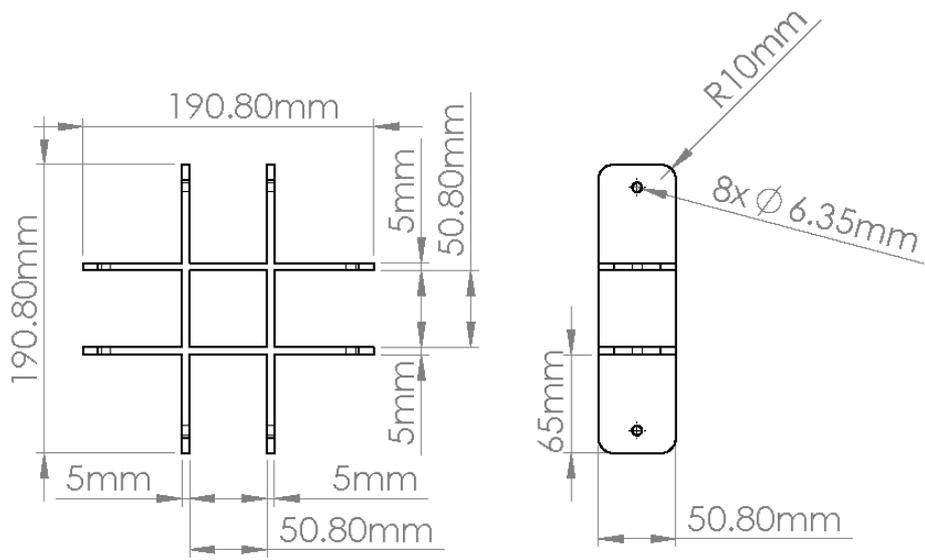


Anexo 31. Comparación entre los datos de salida (azimut) del software (P.C.) y el Control (microcontrolador).

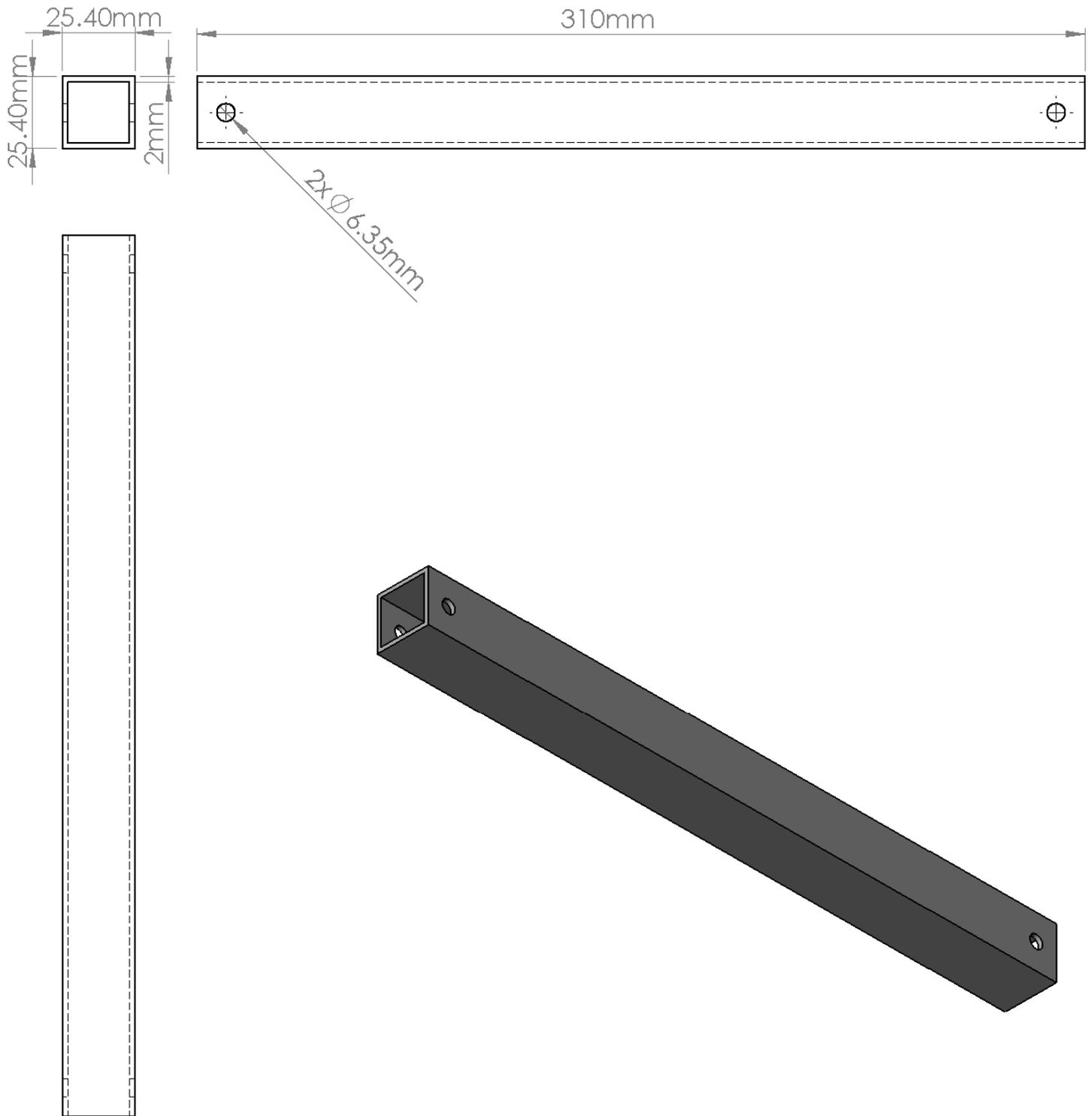




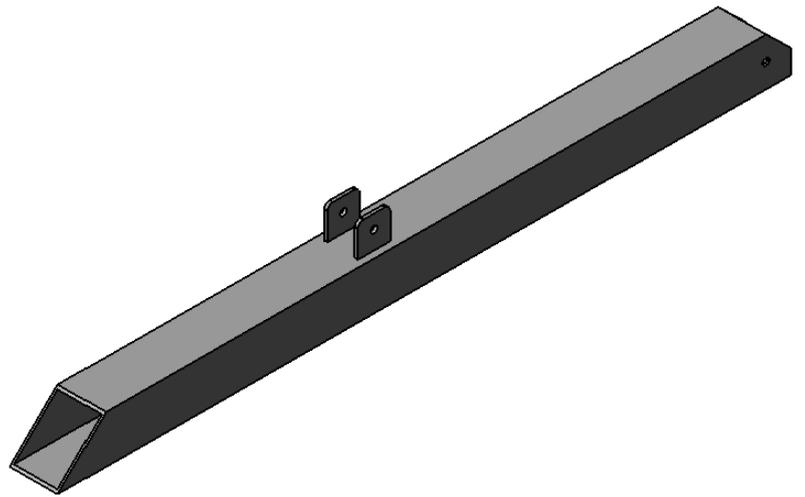
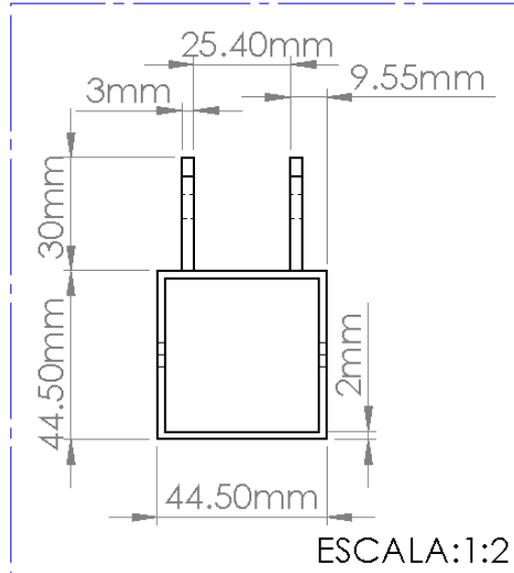
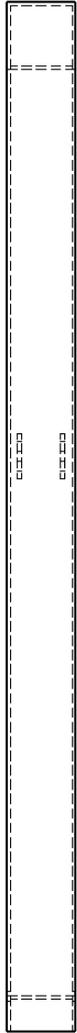
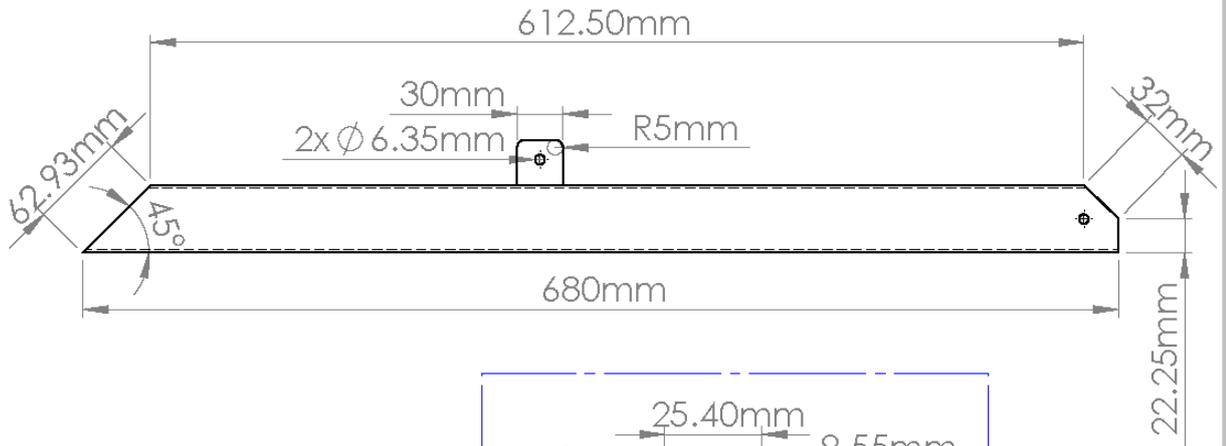
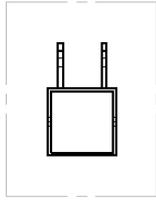
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
NOMBRE				FIRMA		FECHA		<h1>Anexo 32.1</h1>			
DIBUJ.				Rubiel Arreola							
VERIF.								<h2>Soporte principal_1</h2>			
APROB.				Abel Quevedo							
FABR.				Rubiel Arreola				N.º DE DIBUJO		A4	
CAUID.						MATERIAL:		ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1	
						Acero 1018					
						PESO:					



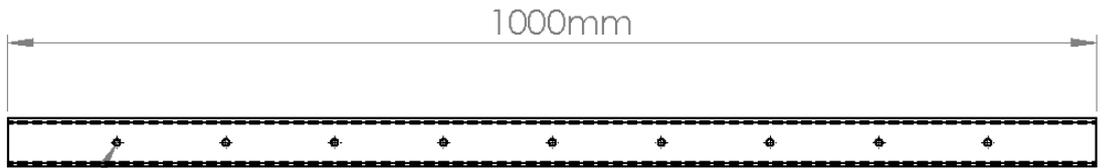
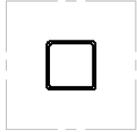
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.2</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Soporte principal_2	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL:		A4	
CALID.						Acero 1018			
						PESO:		ESCALA:1:5	
								HOJA 1 DE 1	



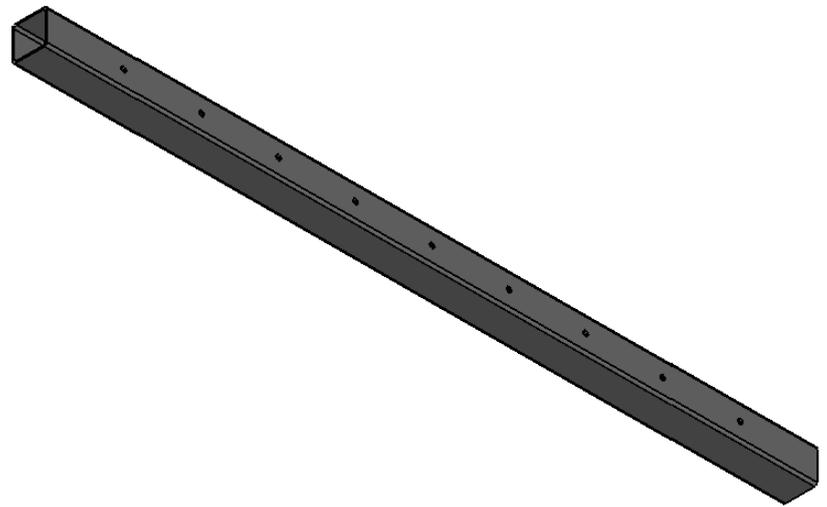
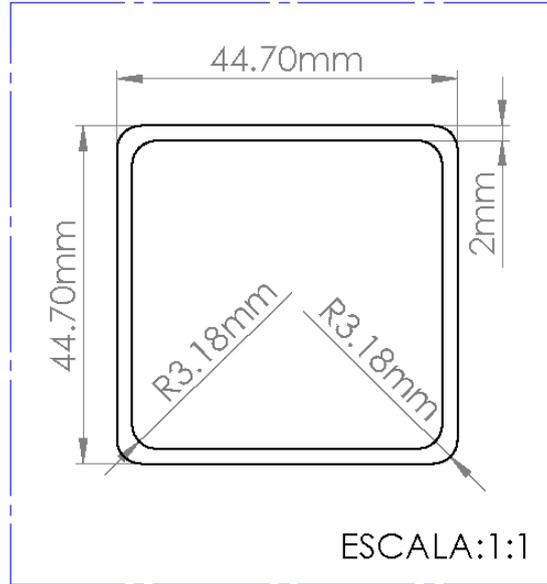
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.3</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1018		Soporte principal_3			
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



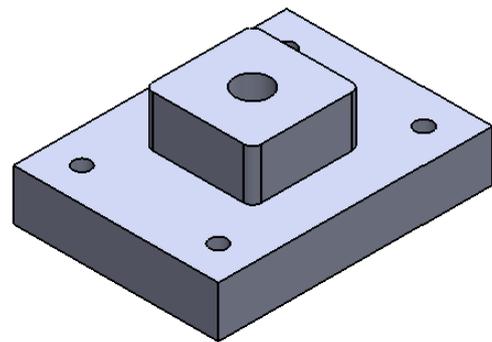
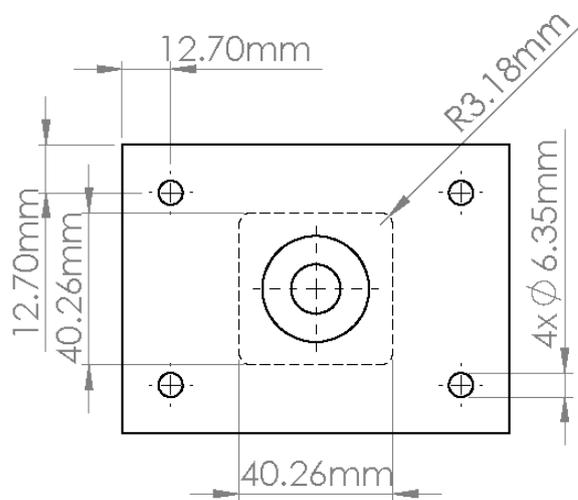
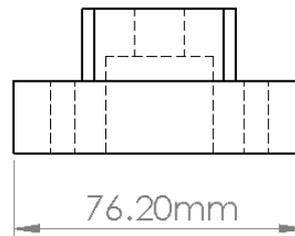
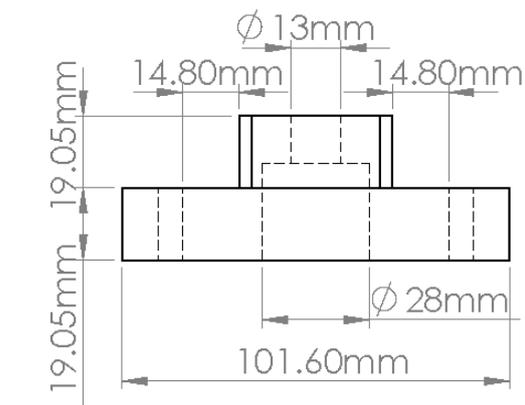
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.4</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		A4	
FABR. Rubisel Arreola						Soporte principal_4			
CALID.								ESCALA:1:5	
				MATERIAL: Acero 1018					
				PESO:					



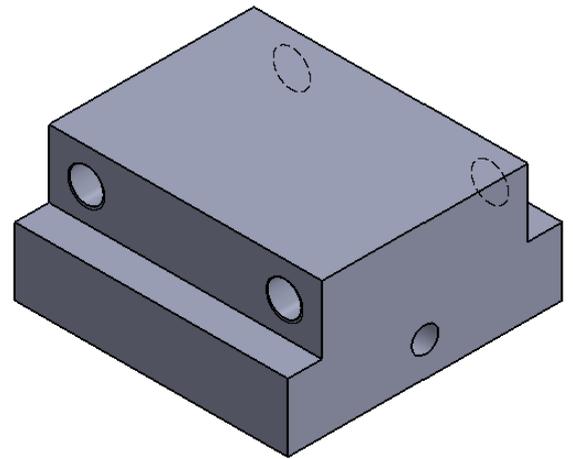
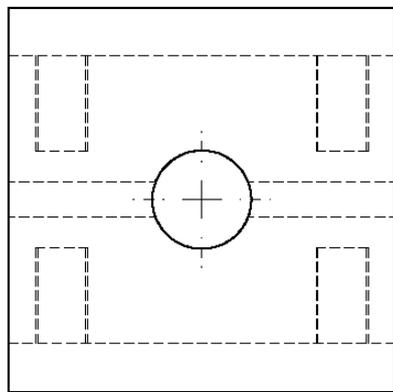
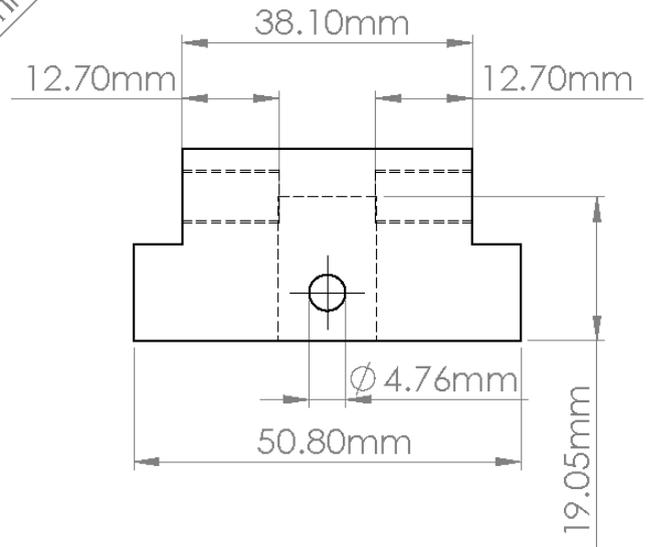
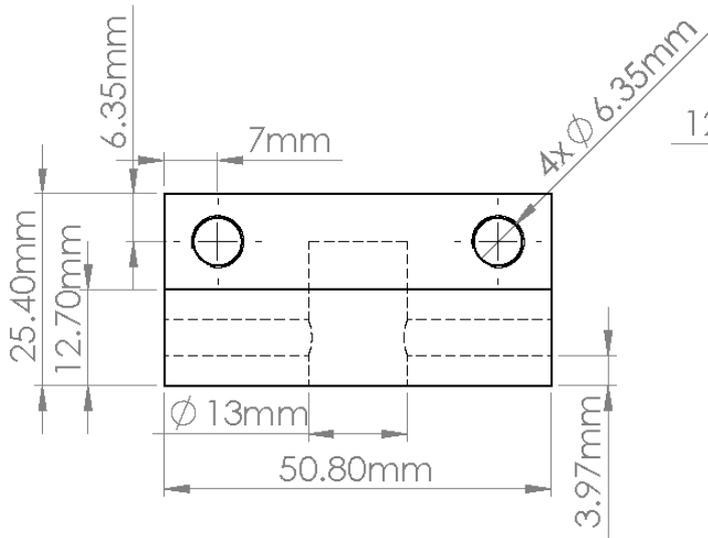
9x ϕ 6.35mm



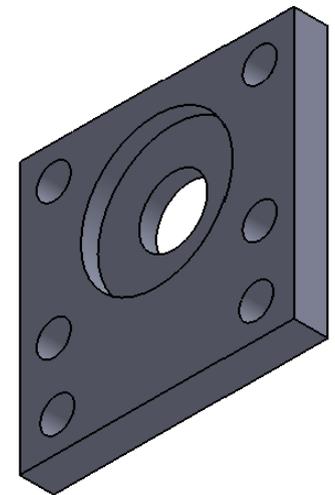
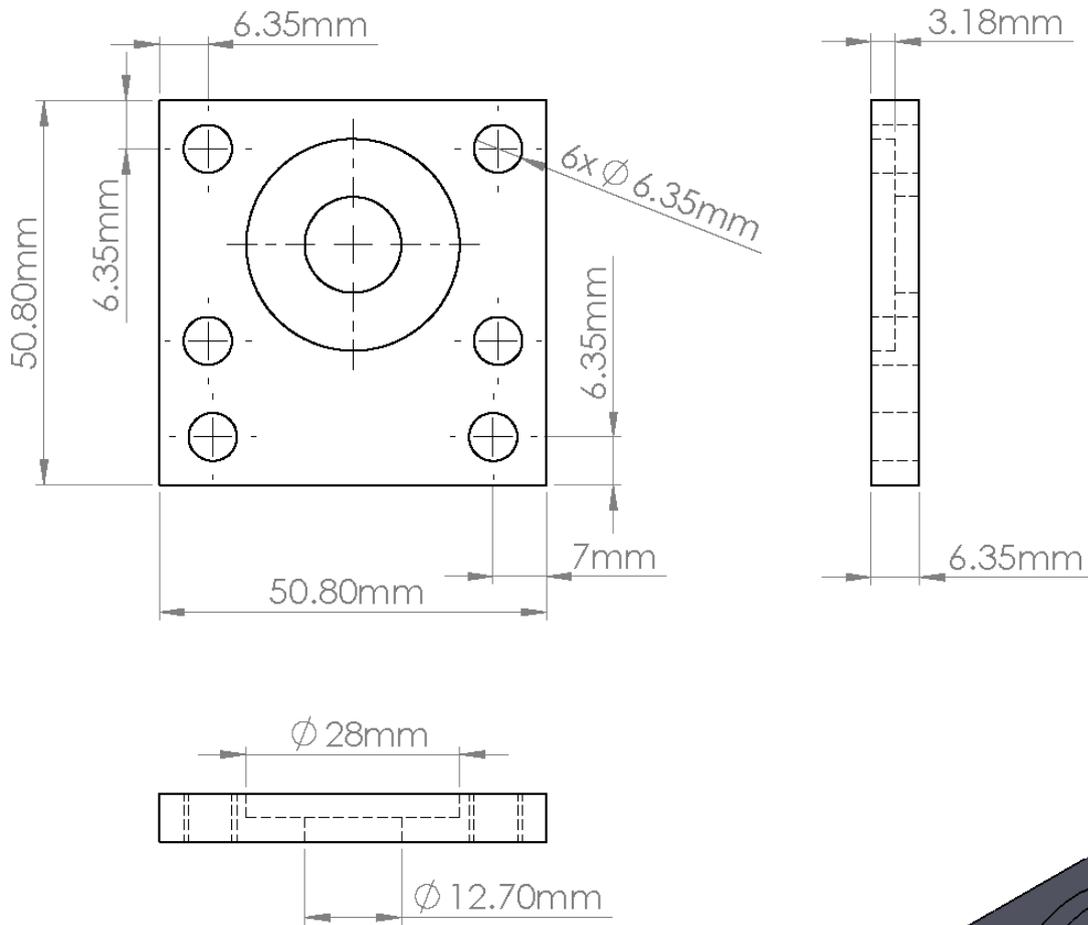
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.5</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1018		Soporte principal_5			
				PESO:		ESCALA:1:7		HOJA 1 DE 1	



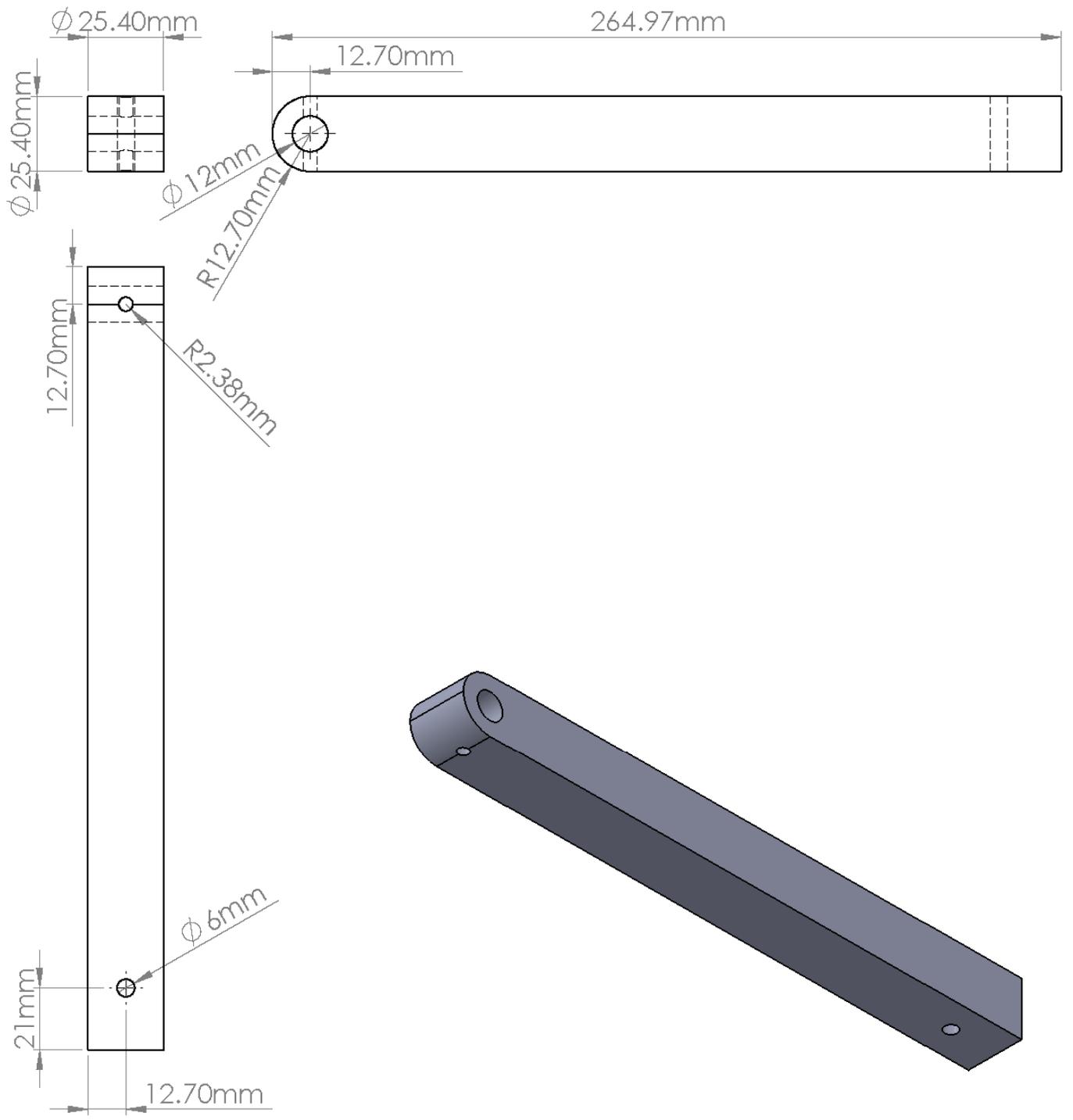
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						<h1>Anexo 32.6</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		A4	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL: Acero 1045		Acoplamiento Soporte principal - Transmisión	
CALID.						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	



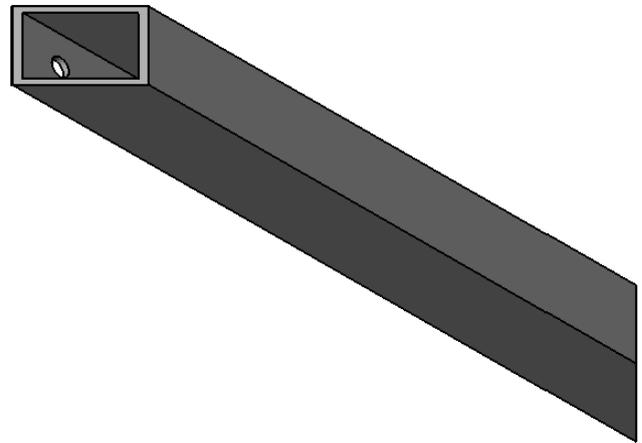
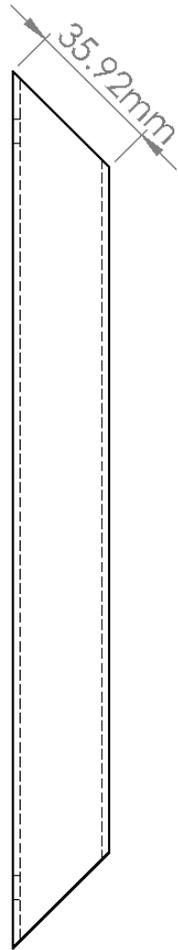
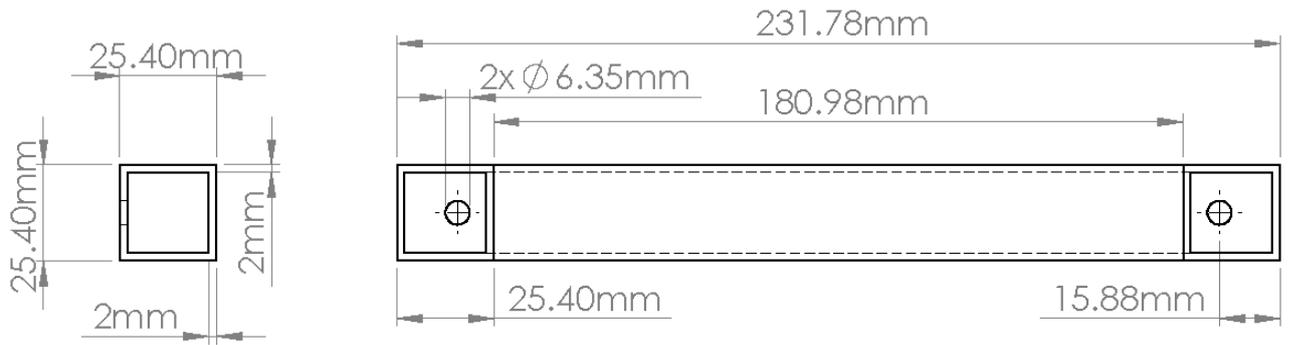
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						<h1>Anexo 32.7</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		A4	
FABR. Rubisel Arreola						Acoplamiento Transmisión - Soporte del panel _1			
CALID.									
				MATERIAL: Acero 1045		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	
				PESO:					



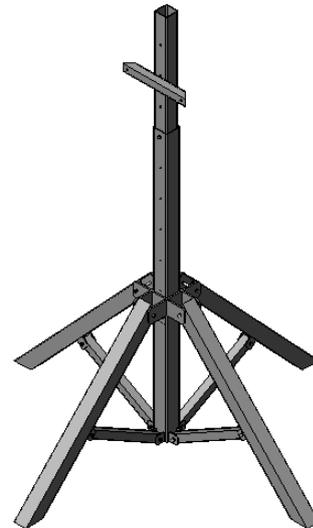
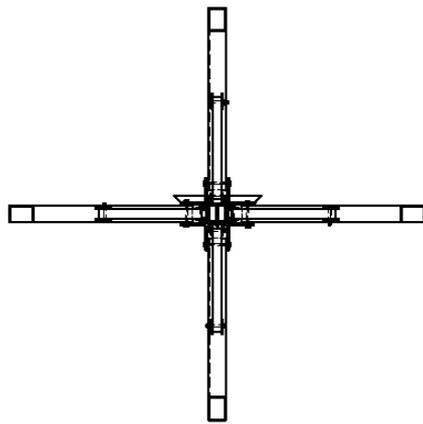
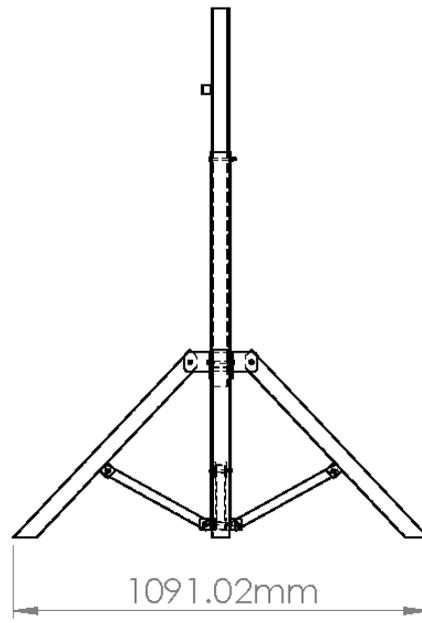
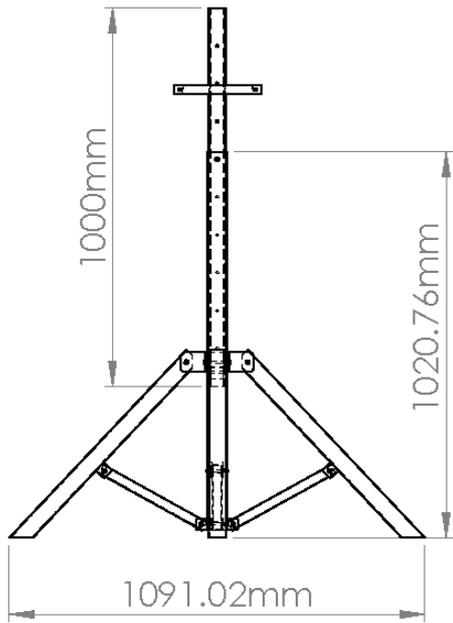
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						<h1>Anexo 32.8</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1045					
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



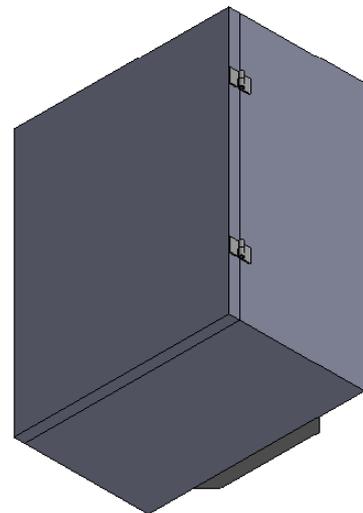
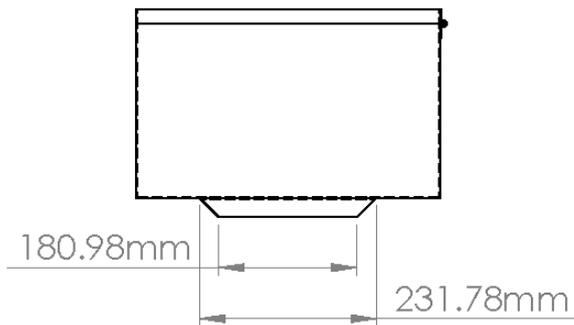
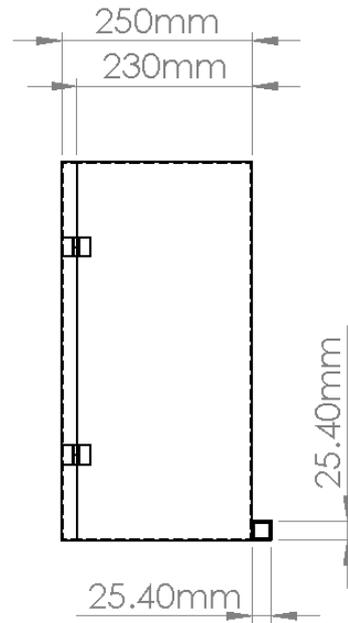
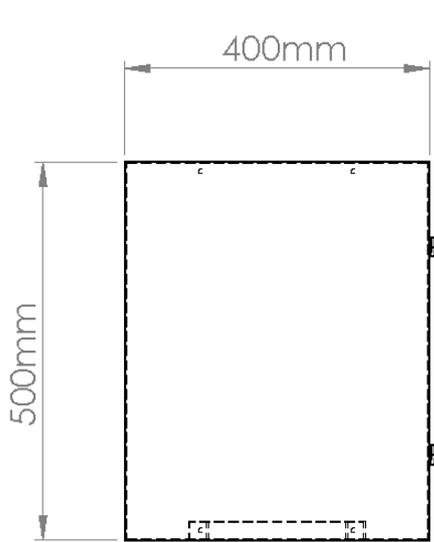
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.9</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1018				Acoplamiento Transmisión - Soporte del panel _3	
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		A CABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						<h1>Anexo 32.10</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1018		Soporte principal_6			
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						Anexo 32.11			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Soporte principal	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL:		A4	
CALID.						Acero 1018			
						PESO:		ESCALA:1:50	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

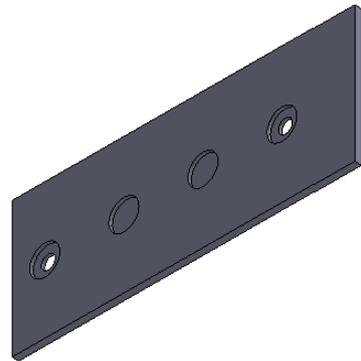
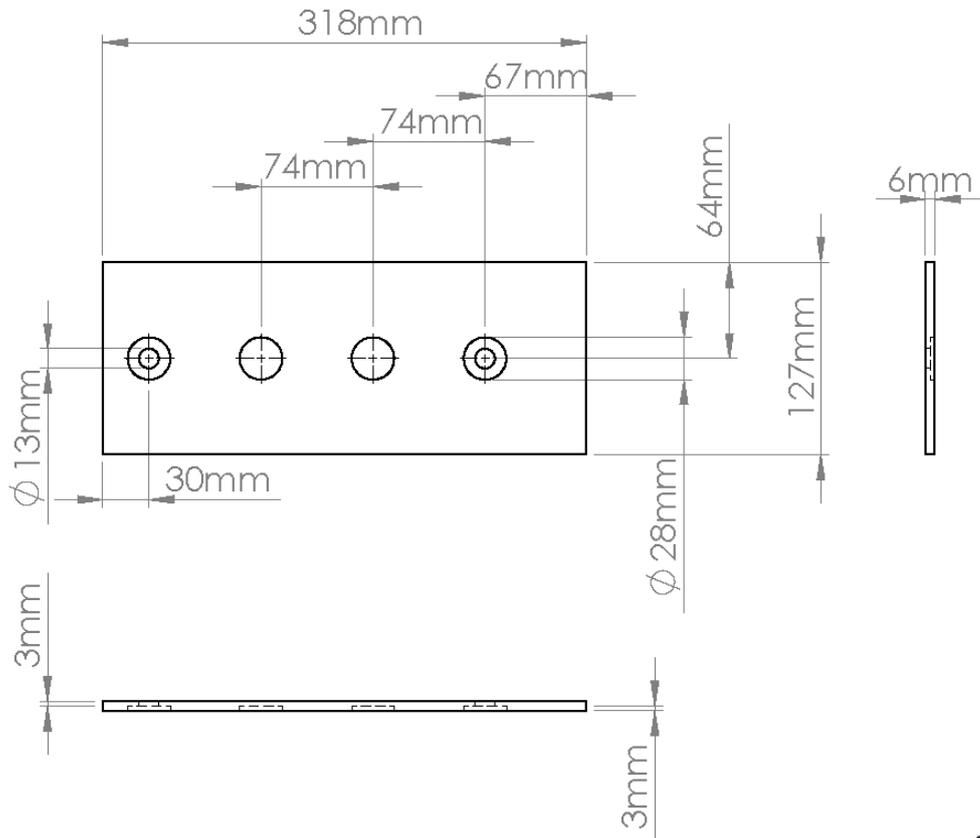
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

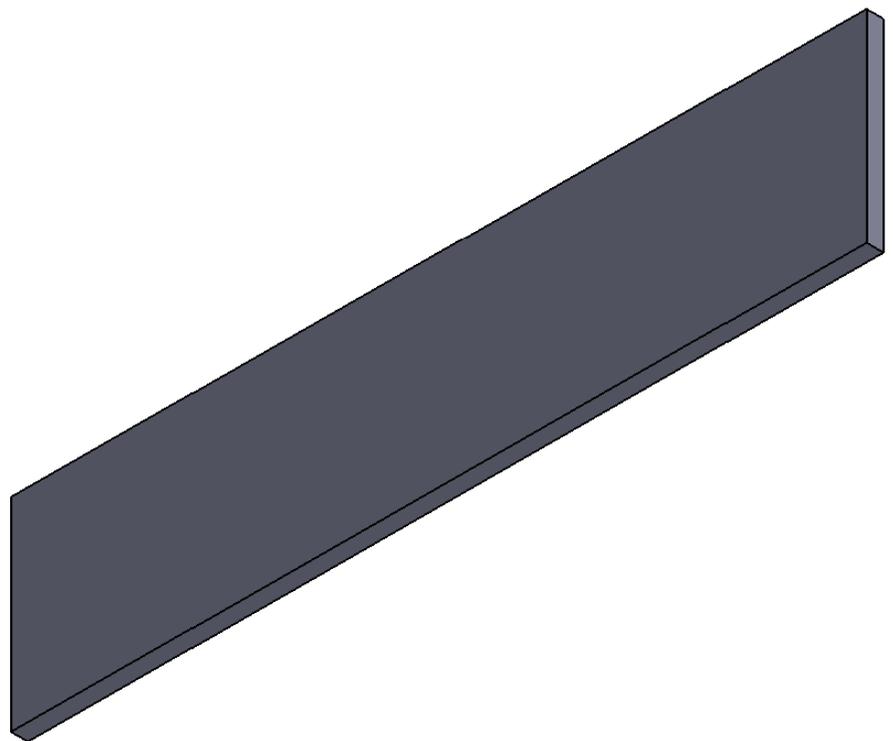
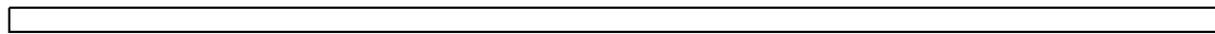
REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Rubel Arreola				
VERIF.					
APROB.	Abel Quevedo				
FABR.					
CALID.					
				MATERIAL:	
				Acero dulce galvanizado	
				PESO:	

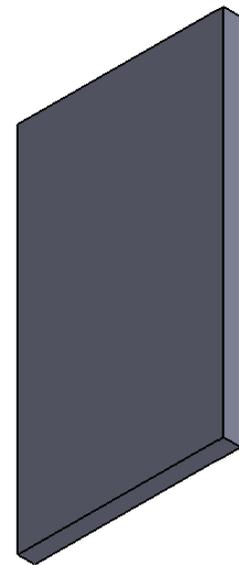
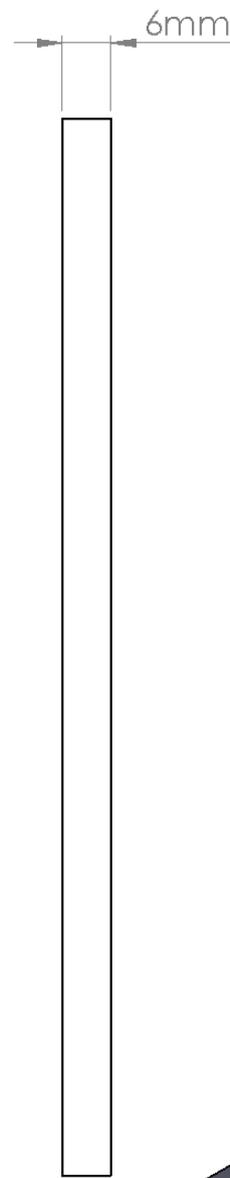
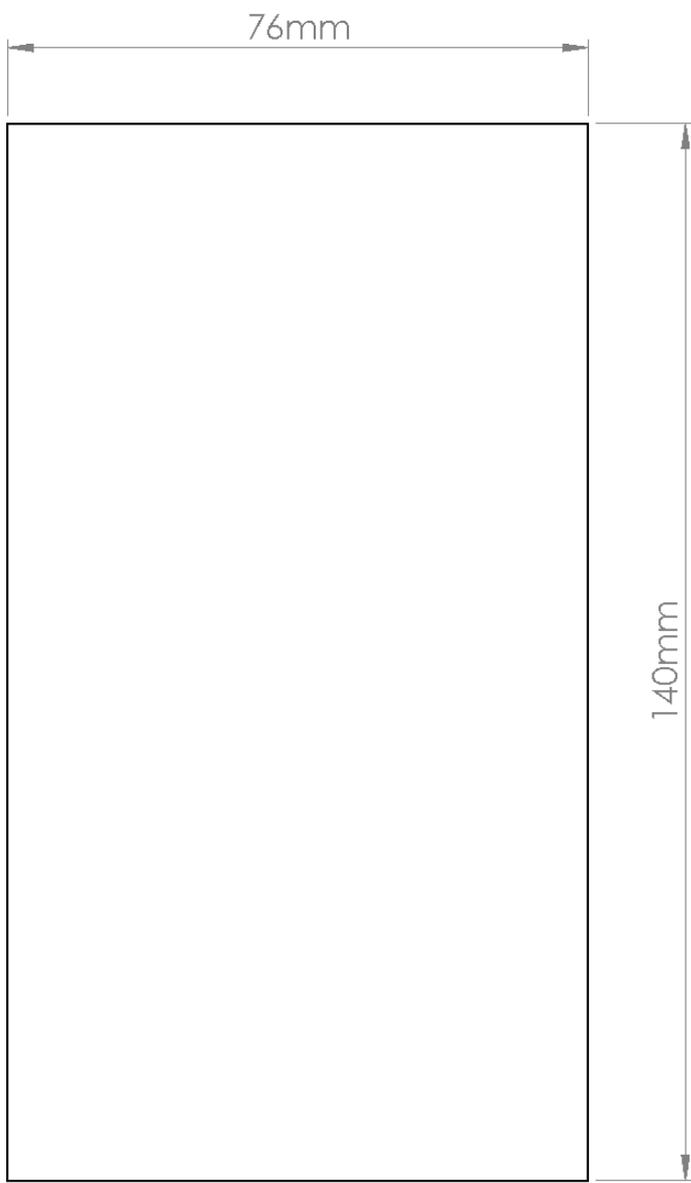
TÍTULO:		<h1>Anexo 32.12</h1>	
N.º DE DIBUJO			
Caja (gabinete)_SBE TECh		A4	
ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1	



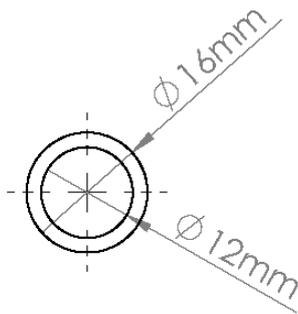
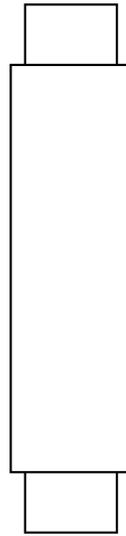
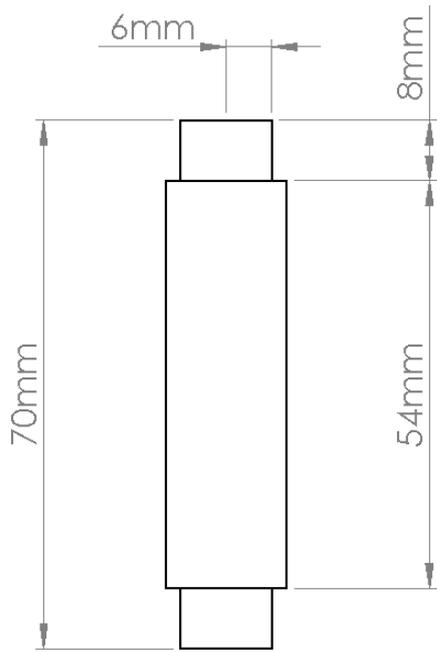
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.13</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		<h1>Caja_1</h1>	
				Aluminio					
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	
								A4	



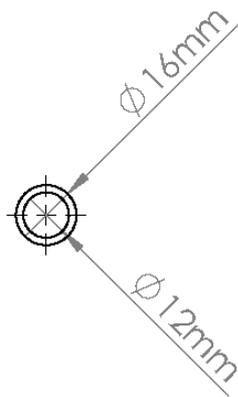
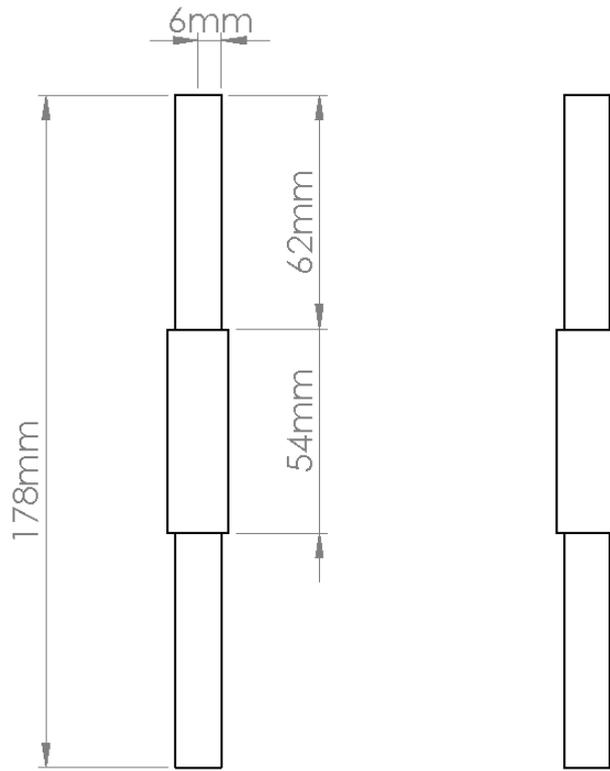
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						Anexo 32.14			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Aluminio		Caja_2			
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



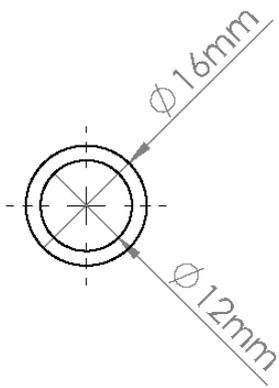
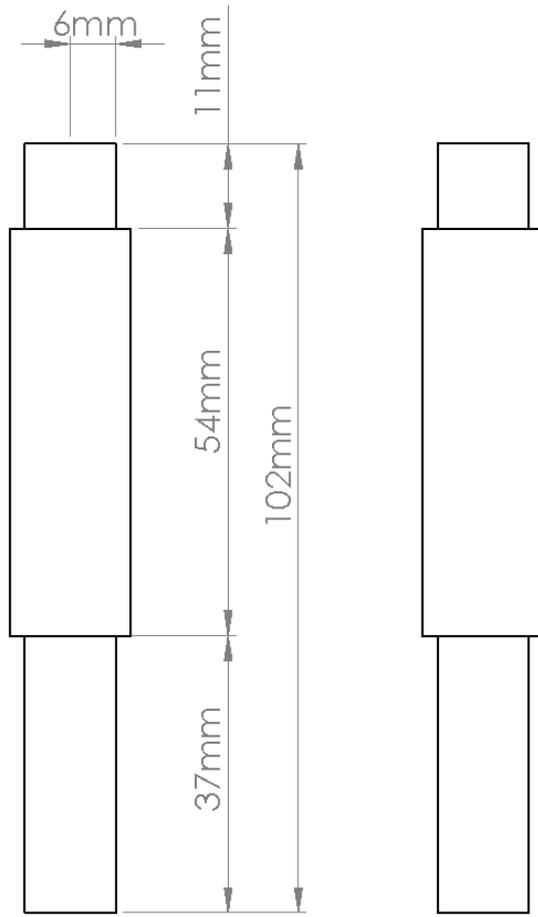
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						Anexo 32.15			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Aluminio		Caja_3			
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



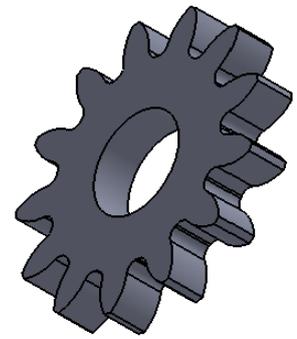
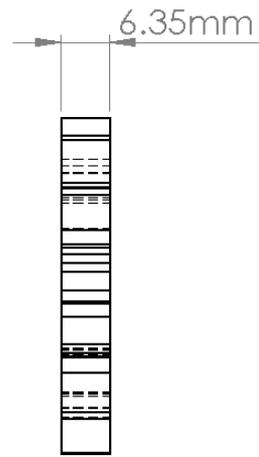
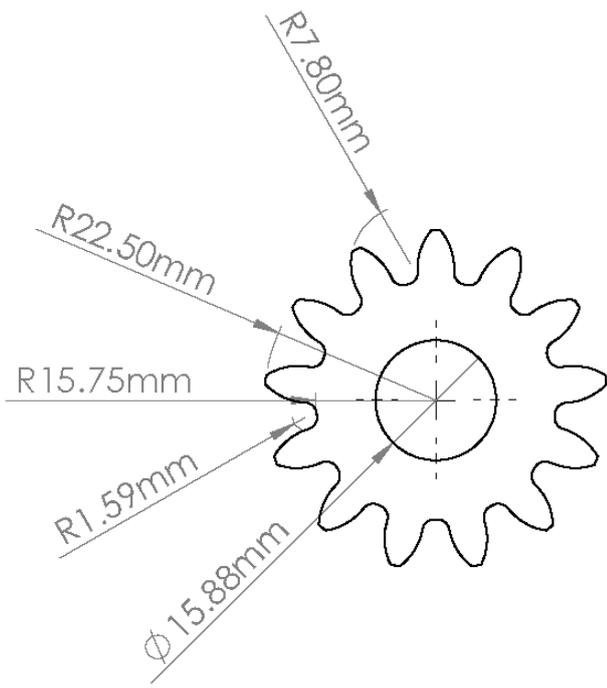
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.16</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		Eje 1	
				Acero 1045				A4	
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



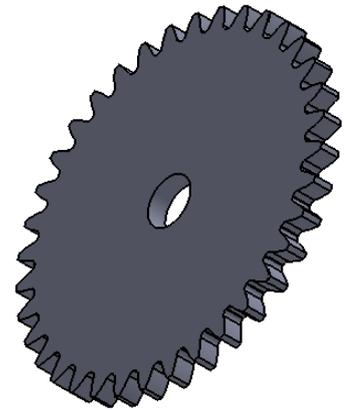
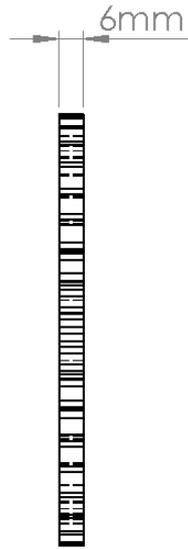
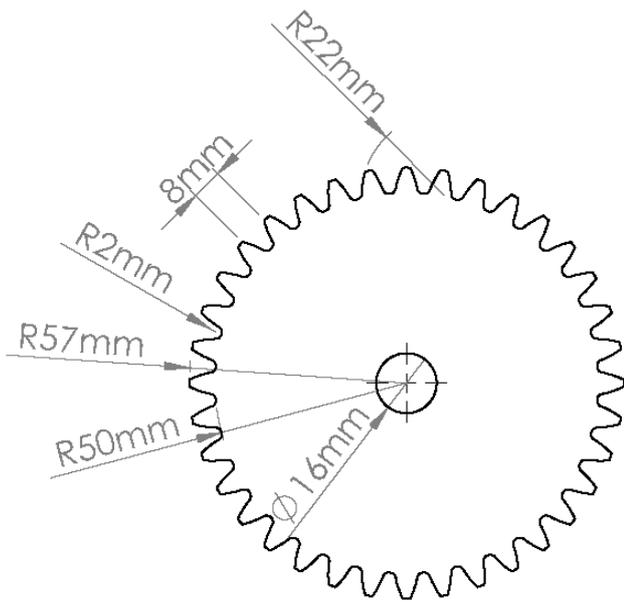
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						Anexo 32.17			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Eje 2	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL:		A4	
CALID.						Acero 1045			
						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	



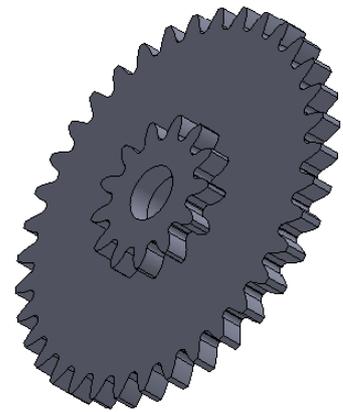
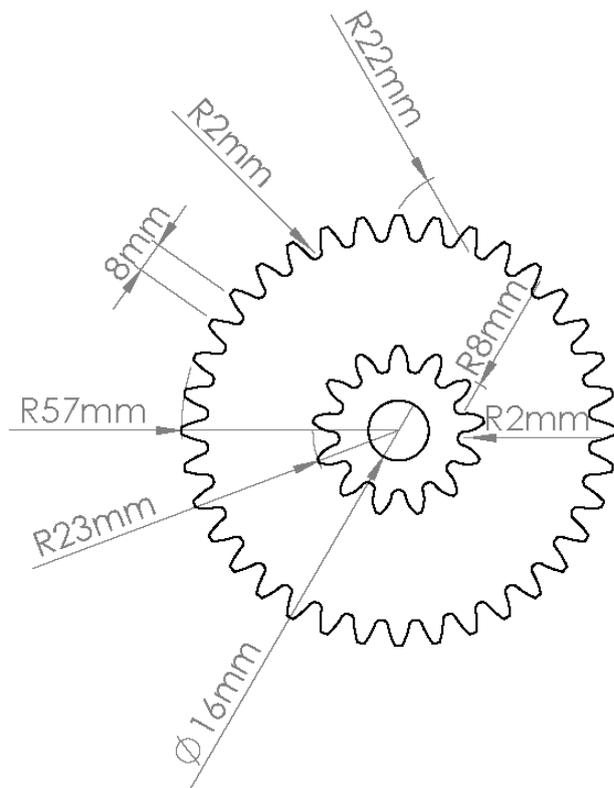
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		Rubel Arreola				Anexo 32.18			
VERIF.									
APROB.		Abel Quevedo				Eje 3			
FABR.		Rubel Arreola							
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1045					
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



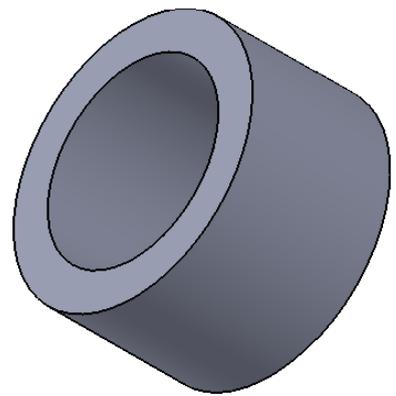
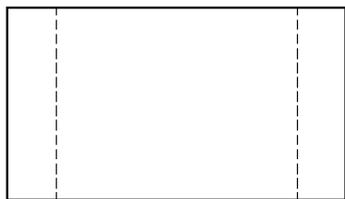
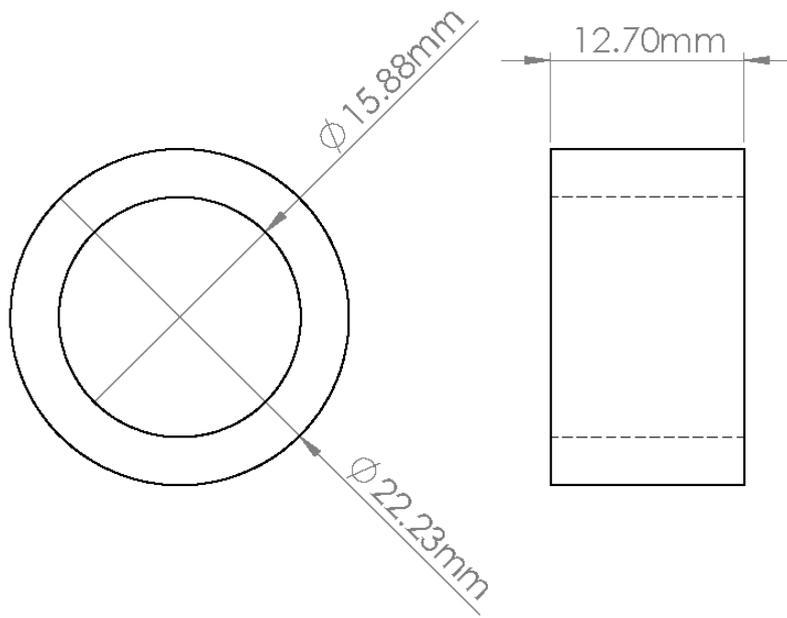
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <h1>Anexo 32.19</h1>			
DIBUJ.		Rubisel Arreola							
VERIF.									
APROB.		Abel Quevedo							
FABR.		Rubisel Arreola							
CALID.				MATERIAL: Acero 1045		N.º DE DIBUJO		Engrane 1	
				PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	
								A4	



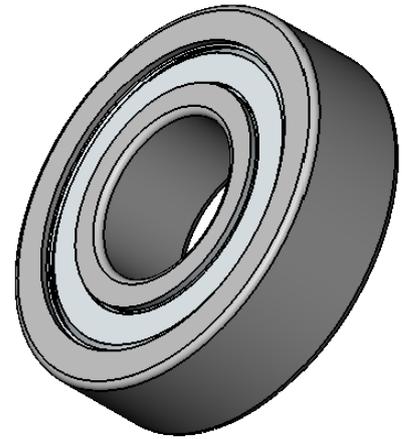
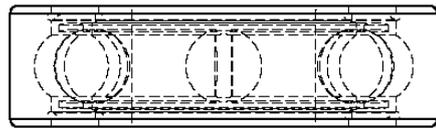
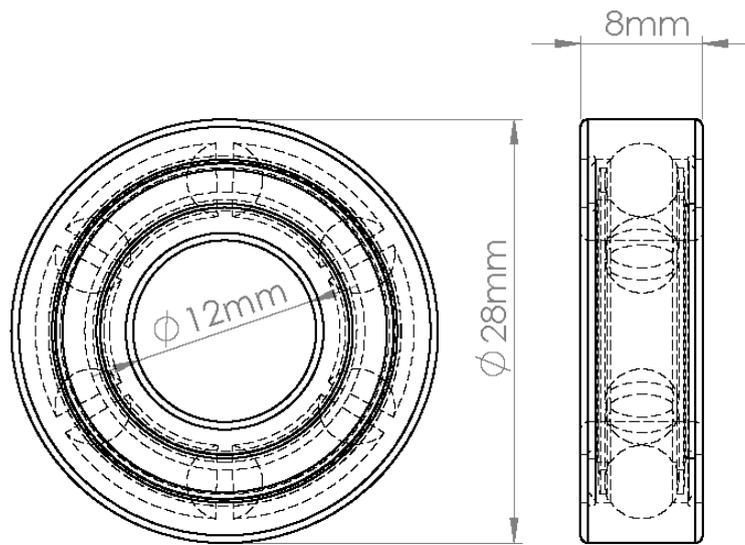
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						Anexo 32.20			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Engrane 2	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL:		A4	
CAUID.						Acero 1045			
						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	



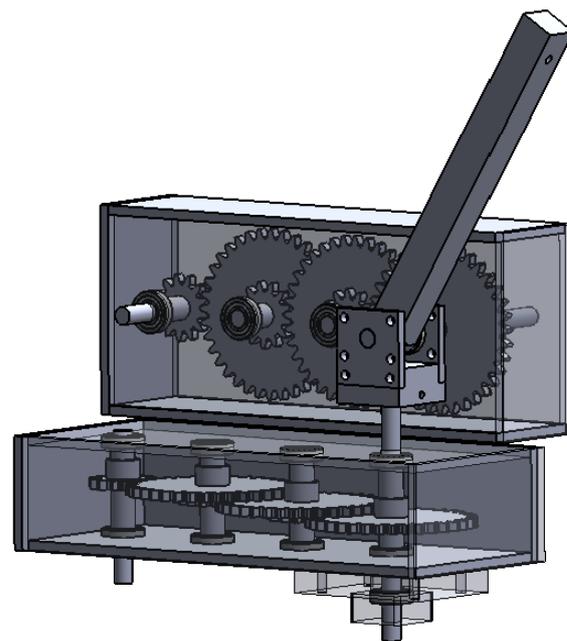
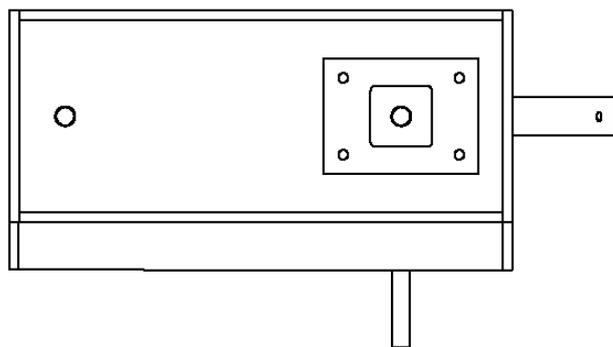
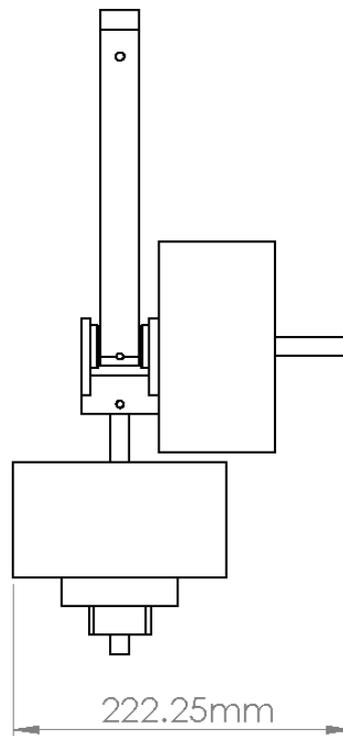
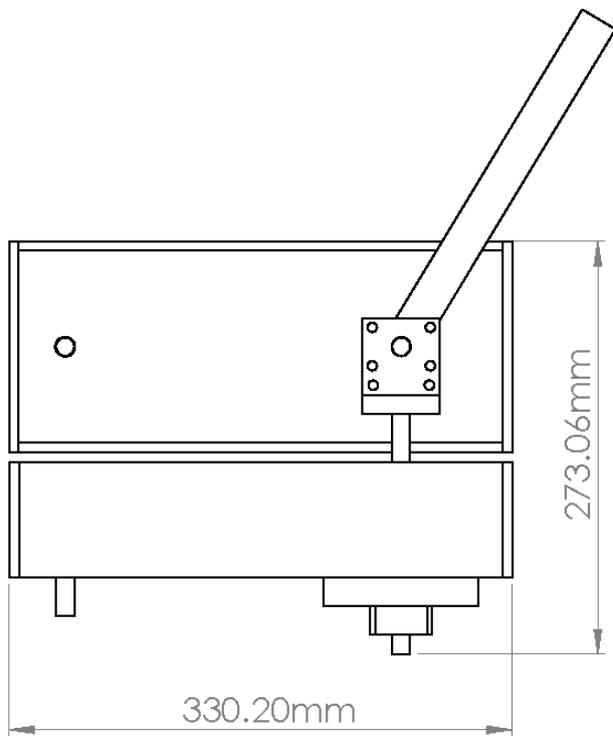
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		A CABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.21</h1> <h2>Engrane doble</h2>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1045					
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						<h1>Anexo 32.22</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		<h1>Mamelón</h1>	
				Acero 1045					
				PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	
								A4	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubel Arreola						Anexo 32.23			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Cojinete-6001-ZZ-Internordic	
FABR.						MATERIAL:		A4	
CALID.						Acero			
						PESO:		ESCALA:2:1	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

A CABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Rubisel Arreola				
VERIF.					
APROB.	Abel Quevedo				
FABR.	Rubisel Arreola				
CAUID.					
				MATERIAL:	
				Aluminio y acero	
				PESO:	

TÍTULO:

Anexo 32.24

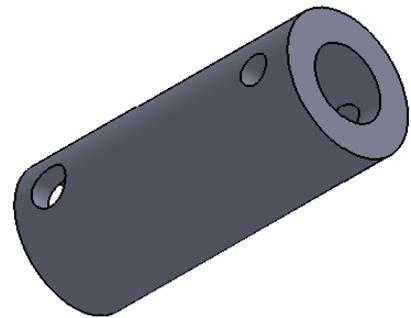
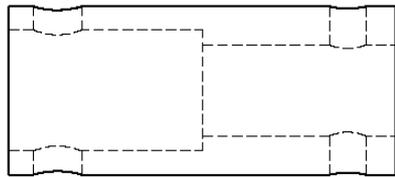
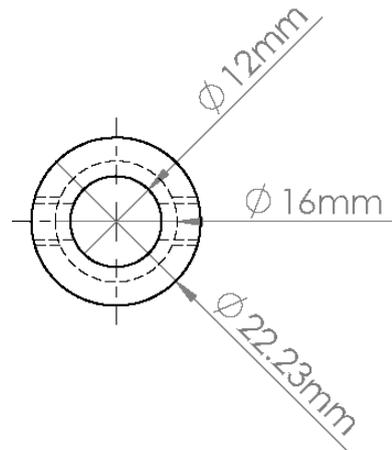
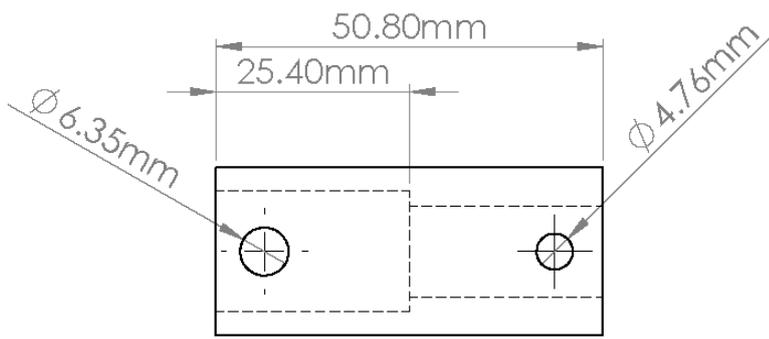
N.º DE DIBUJO

Sistema de transmisión

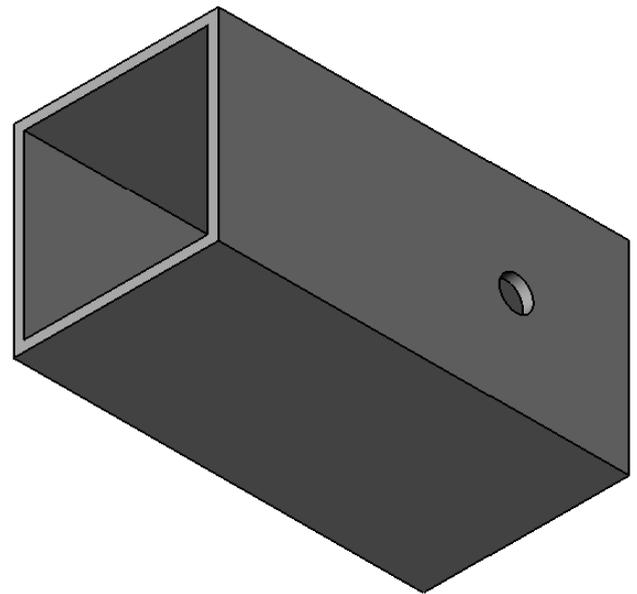
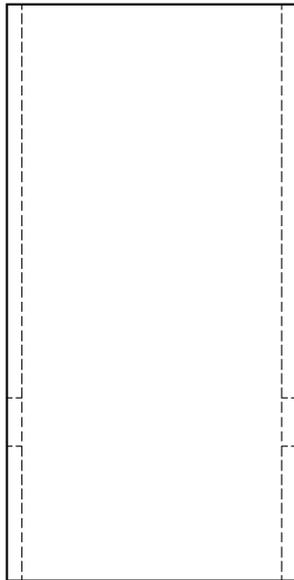
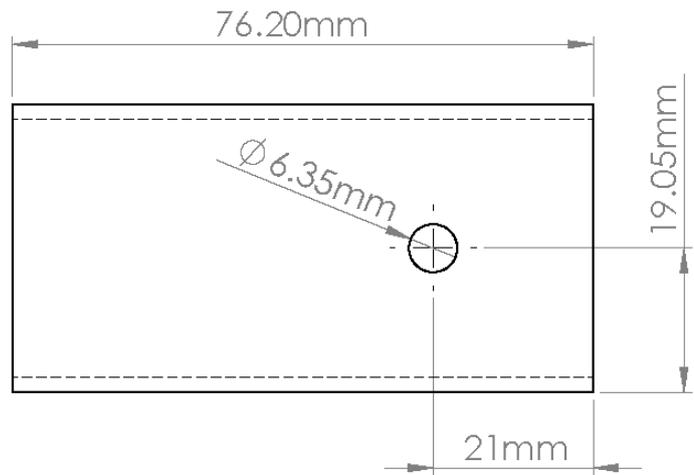
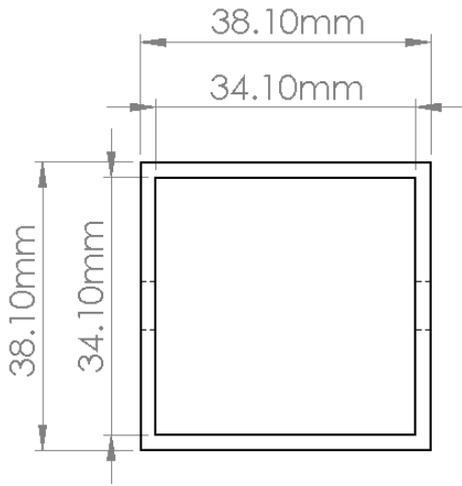
A4

ESCALA:1:10

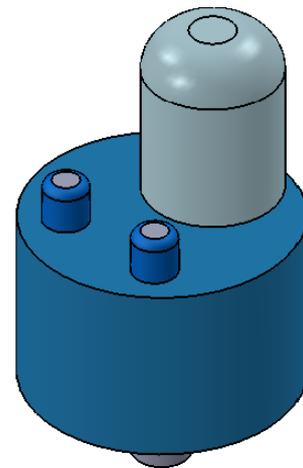
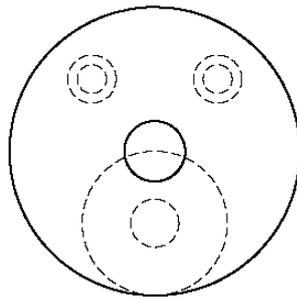
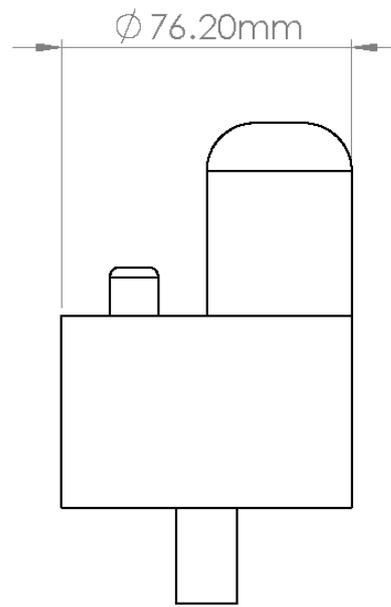
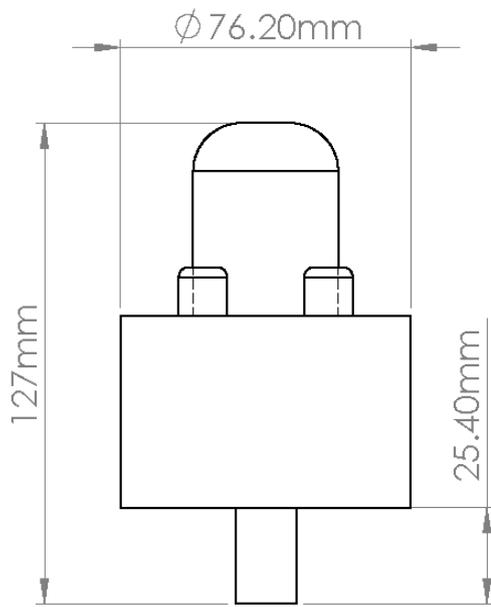
HOJA 1 DE 1



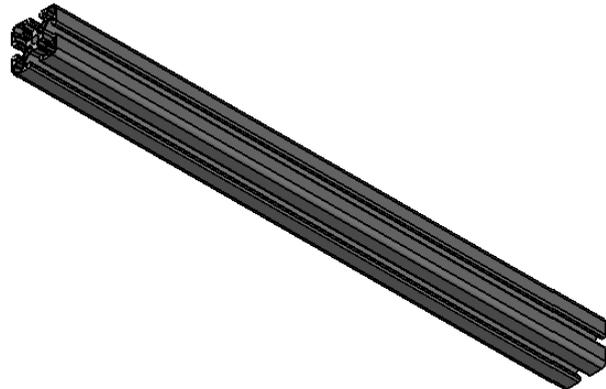
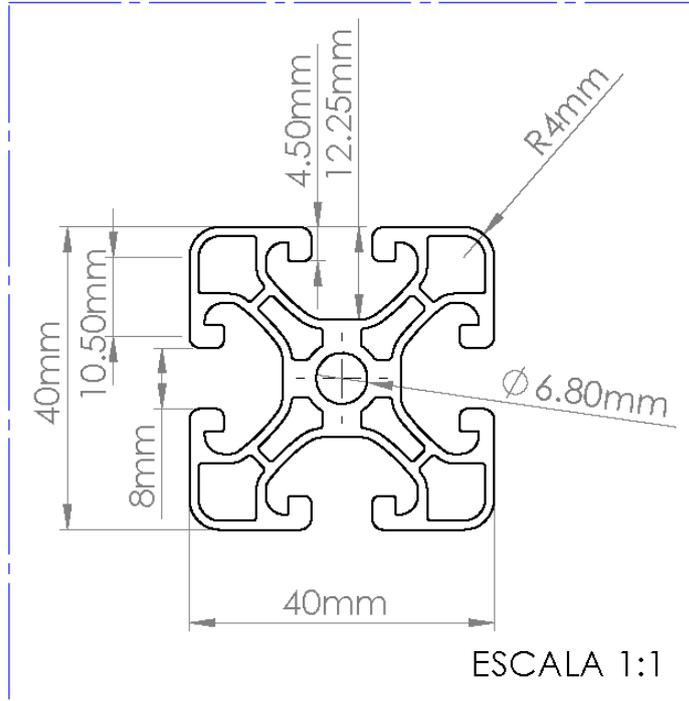
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. RUBISEL ARREOLA						<h1>Anexo 32.25</h1>			
VERIF.									
APROB. ABEL QUEVEDO						N.º DE DIBUJO		Cople Motor - Transmisión	
FABR. Rubisel Arreola						MATERIAL:		A4	
CALID.						ACERO 1018			
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	



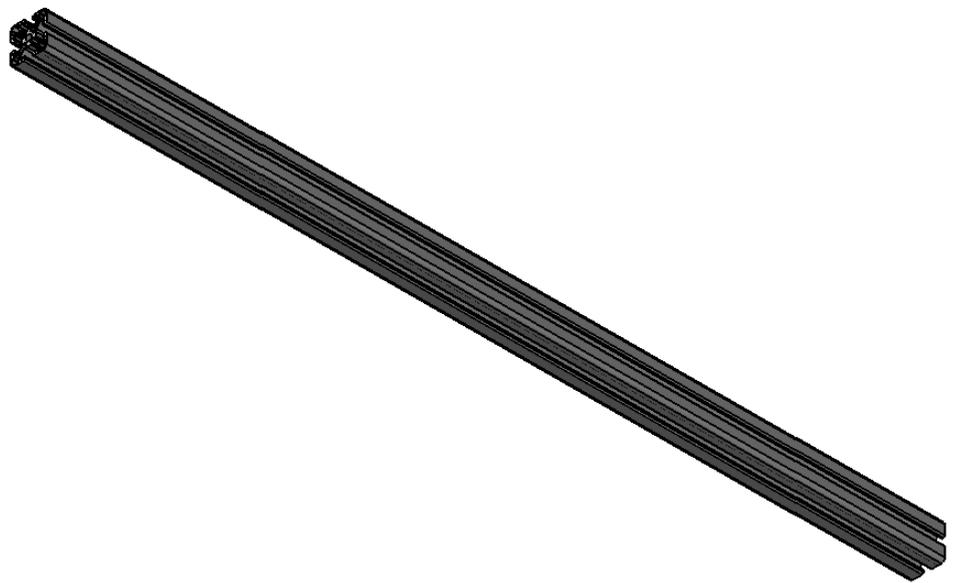
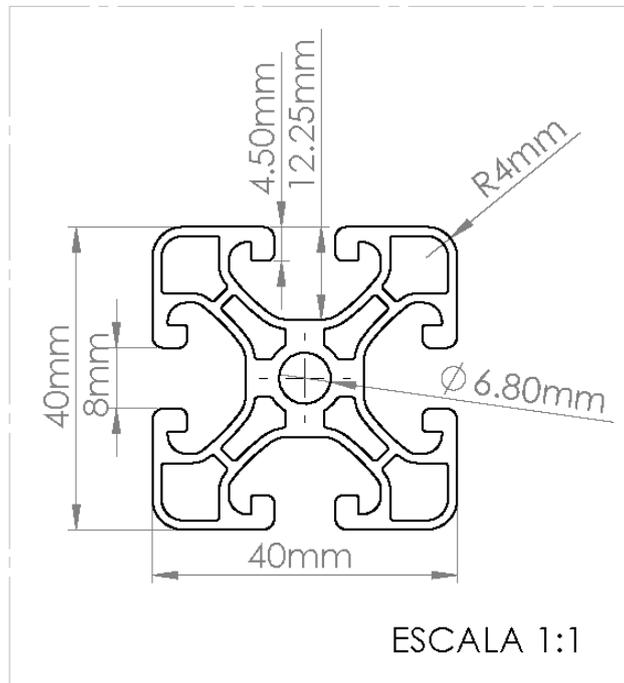
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								<p>TÍTULO:</p> <h1>Anexo 32.26</h1> <p>N.º DE DIBUJO</p> <h2>Soporte de motor</h2> <p>A4</p>			
NOMBRE		FIRMA		FECHA							
DIBUJ.		Rubisel Arreola									
VERIF.											
APROB.		Abel Quevedo									
FABR.		Rubisel Arreola									
CALID.						MATERIAL:		Acero			
						PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



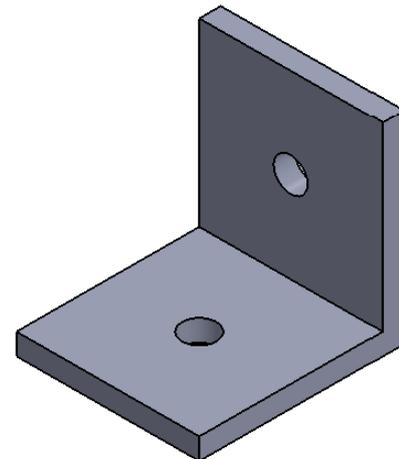
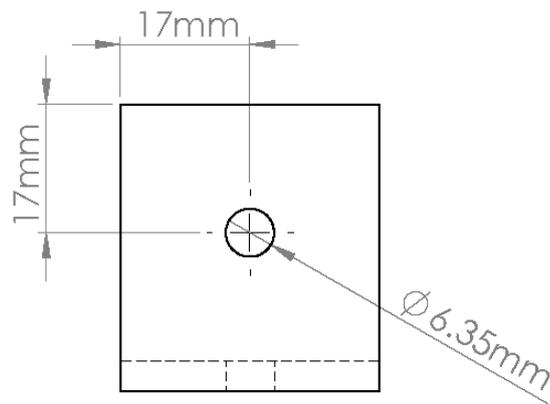
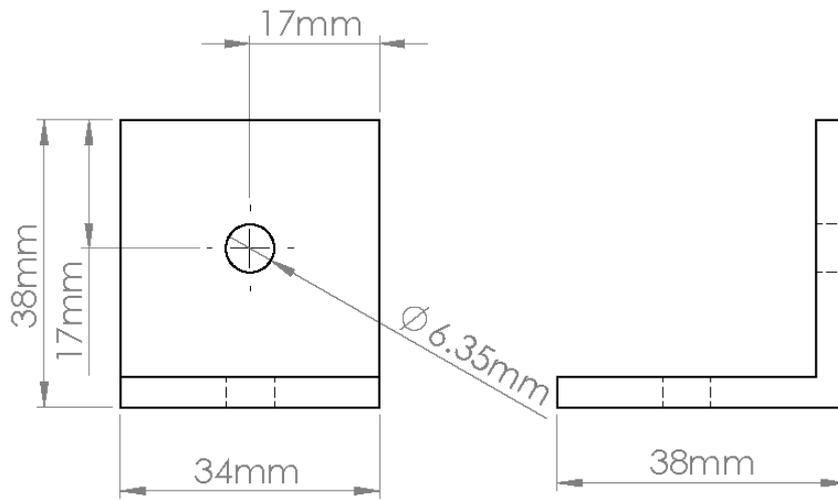
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						Anexo 32.27			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO Motor_ERUB2_BFGT			
FABR. Rubisel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	
				Acero, cobre, etc.				A4	
				PESO:					



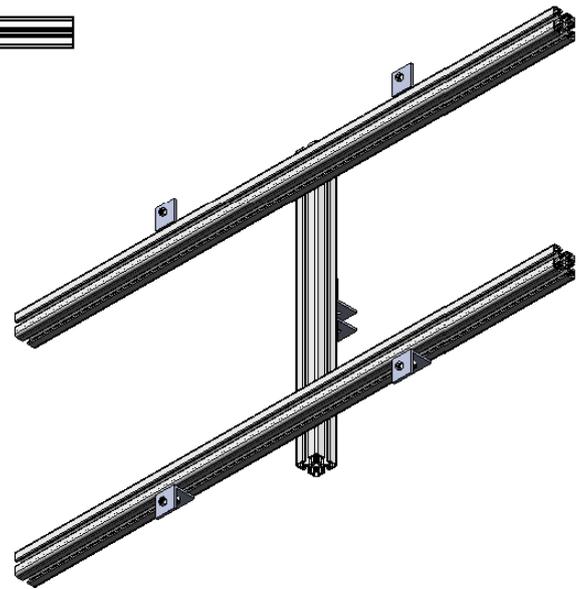
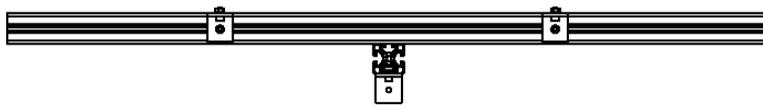
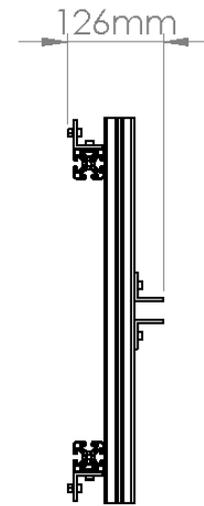
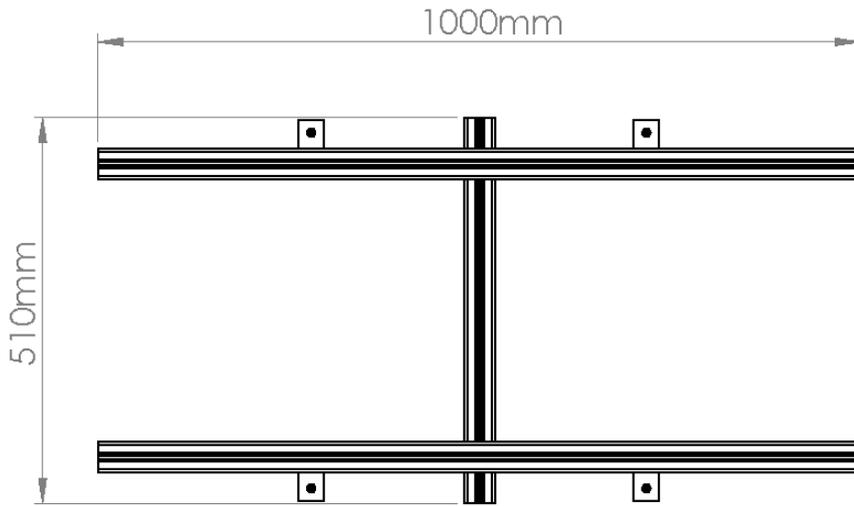
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubisel Arreola						Anexo 32.28			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Soporte del panel_1	
FABR.						MATERIAL:		A4	
CAUID.						Aluminio			
						PESO:		ESCALA:1:5	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Atreola						Anexo 32.29			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Soporte del panel_2	
FABR.						MATERIAL:		A4	
CALID.						Aluminio			
						PESO:		ESCALA:1:10	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						Anexo 32.30			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Soporte del panel_3	
FABR. Rubiel Arreola						MATERIAL:		A4	
CALID.						Aluminio			
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

A CABADO:

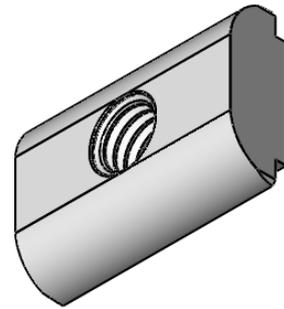
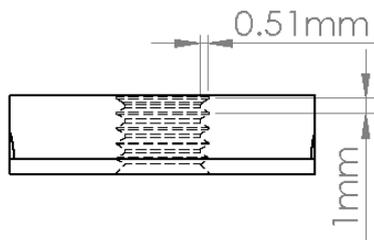
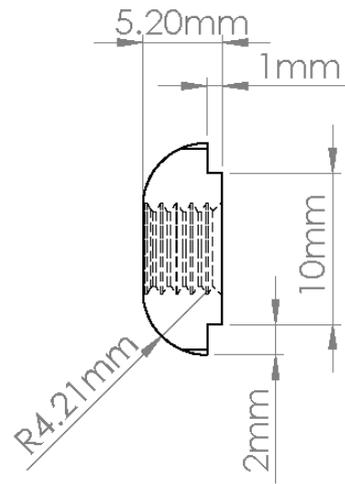
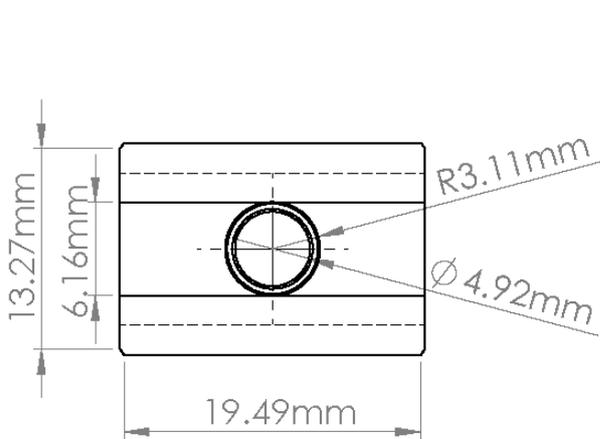
REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

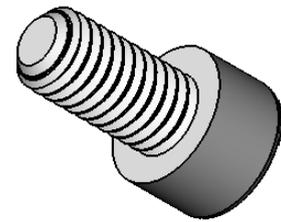
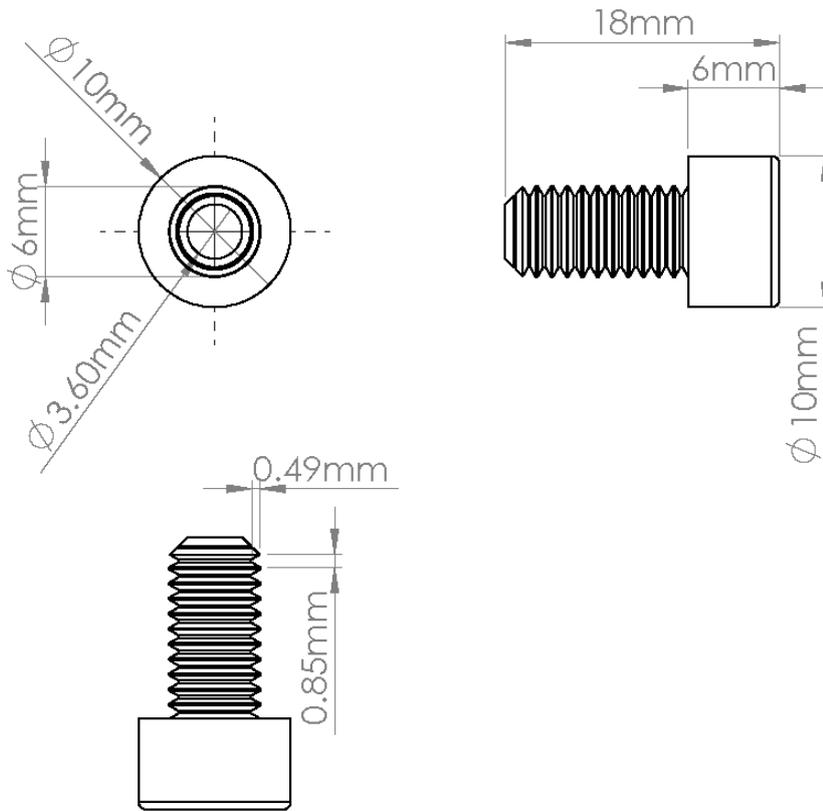
REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Rubisel Arreola				
VERIF.					
APROB.	Abel Quevedo				
FABR.	Rubisel Arreola				
CAUD.					
				MATERIAL:	
				Aluminio y acero	
				PESO:	

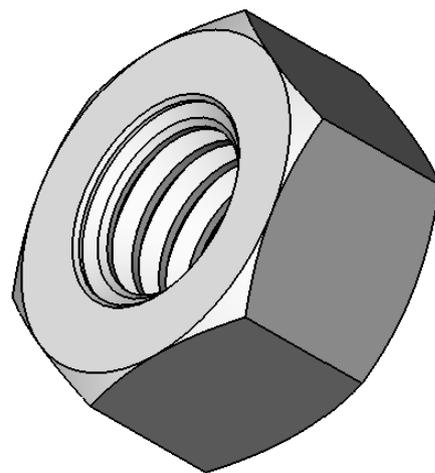
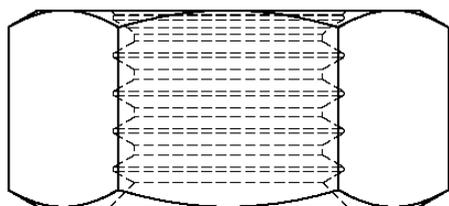
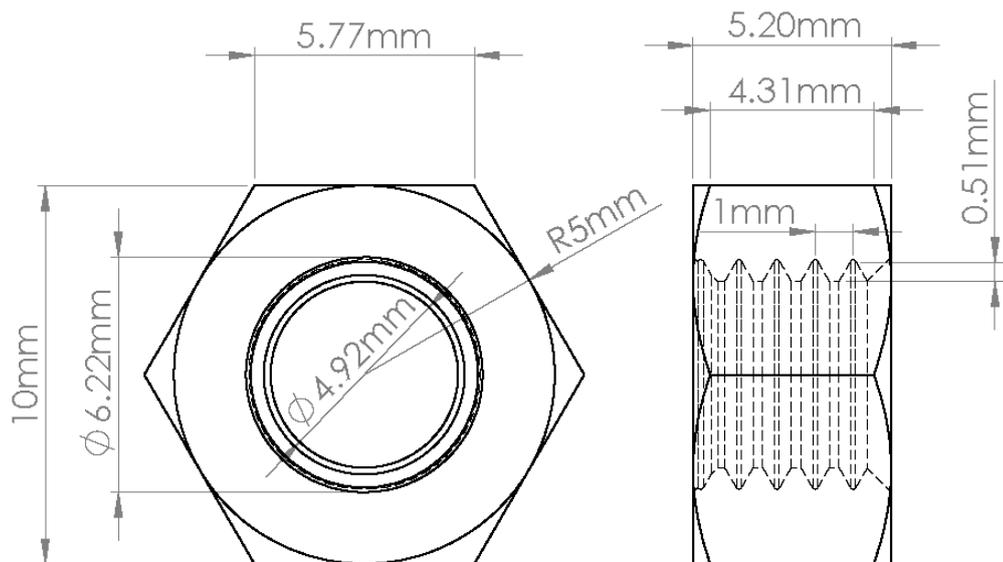
TÍTULO:		<h1>Anexo 32.31</h1>	
N.º DE DIBUJO	Soporte del panel	A4	
ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubel Arreola						<h1>Anexo 32.32</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		A4	
FABR.						MATERIAL: Acero A36		Tuerca especial M6	
CALID.									
						ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Anreola						<h1>Anexo 32.33</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero A36		Tornillo M6x12_BUFAB			
				PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Rubel Arreola				
VERIF.					
APROB.	Abel Quevedo				
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	Acero
				PESO:	

TÍTULO:

Anexo 32.34

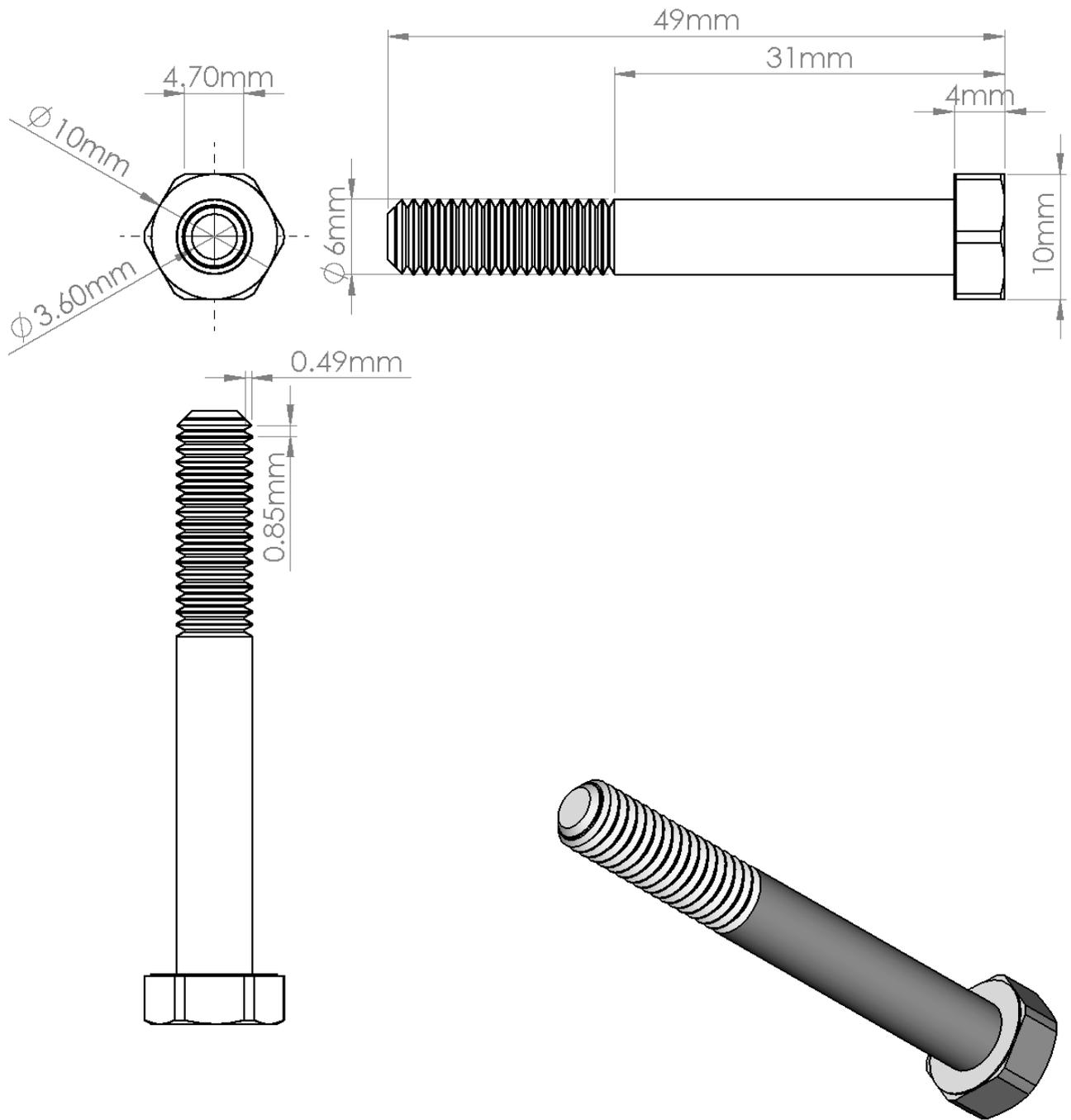
N.º DE DIBUJO

Tuerca_M6M_M6_BUFAB

A4

ESCALA:5:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Rubel Arreola				
VERIF.					
APROB.	Abel Quevedo				
FABR.					
CAUID.					
				MATERIAL:	
				Acero	
				PESO:	

TÍTULO:

Anexo 32.35

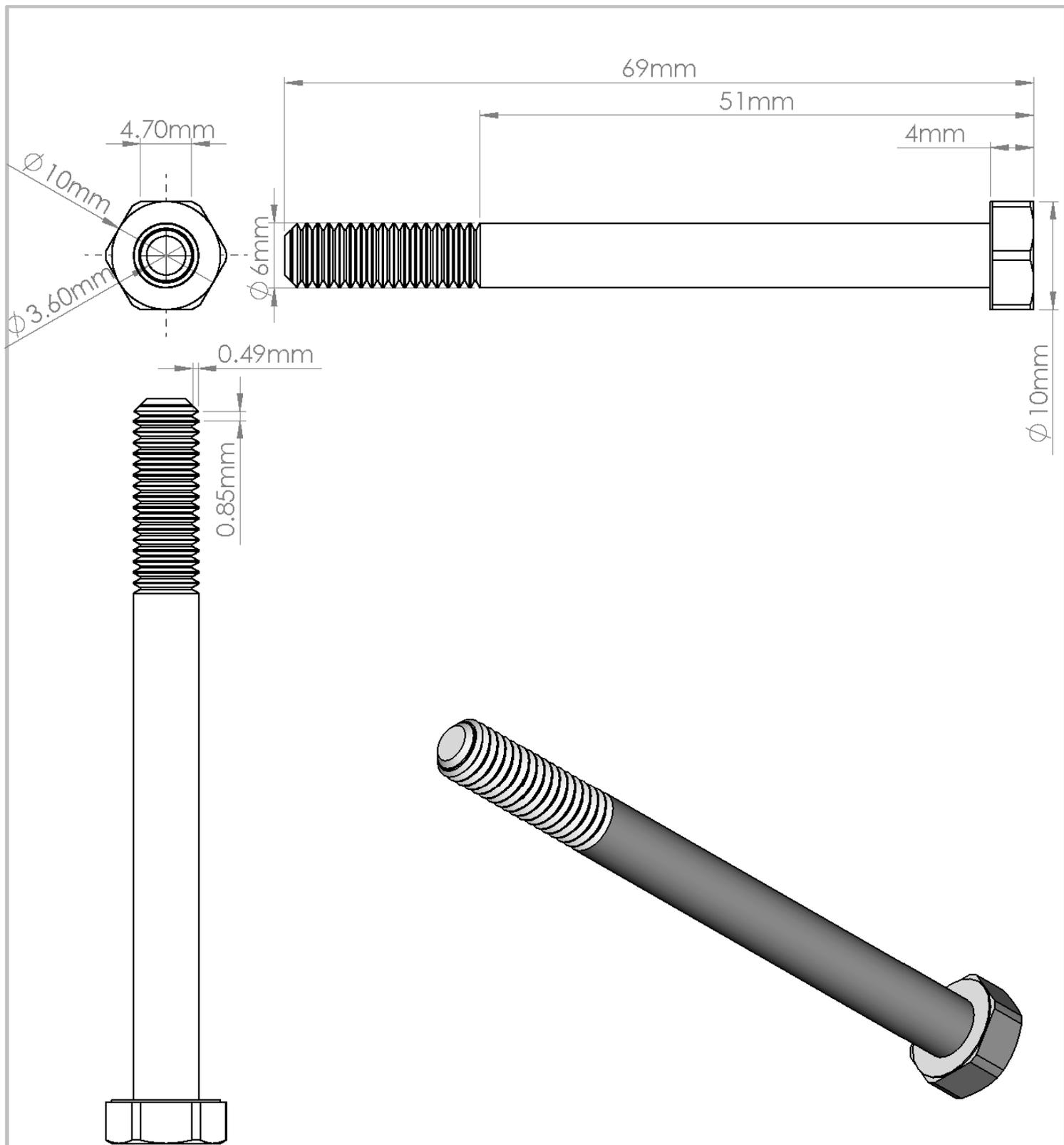
N.º DE DIBUJO

Tornillo M6x45_BUFAB

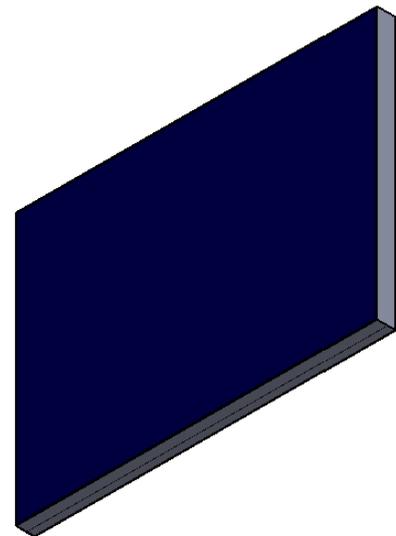
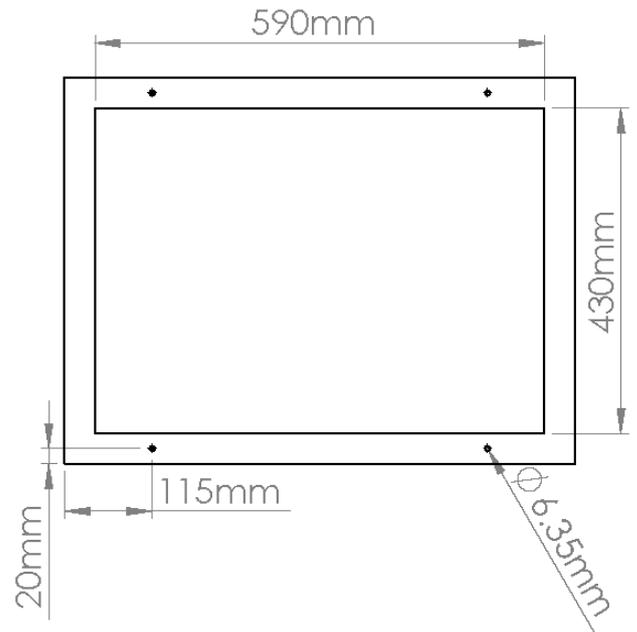
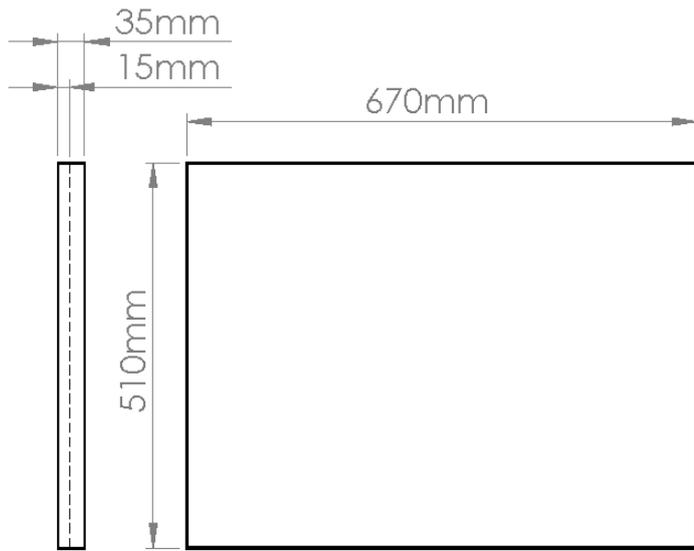
A4

ESCALA:1:1

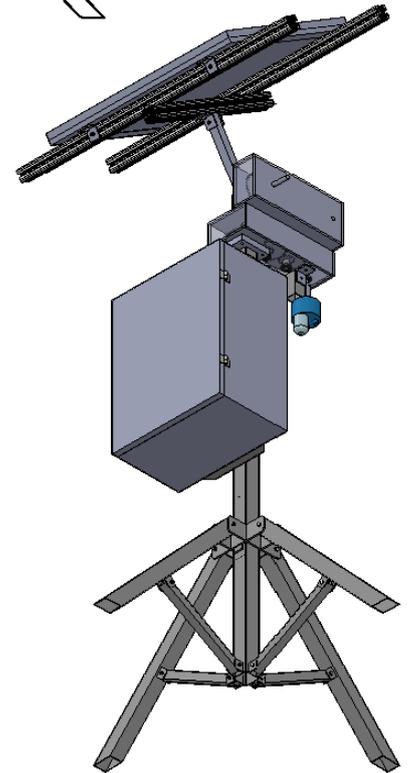
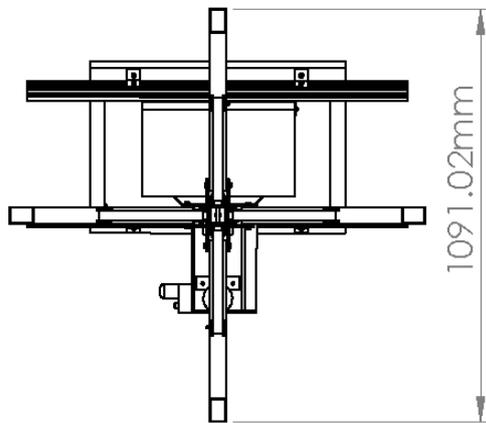
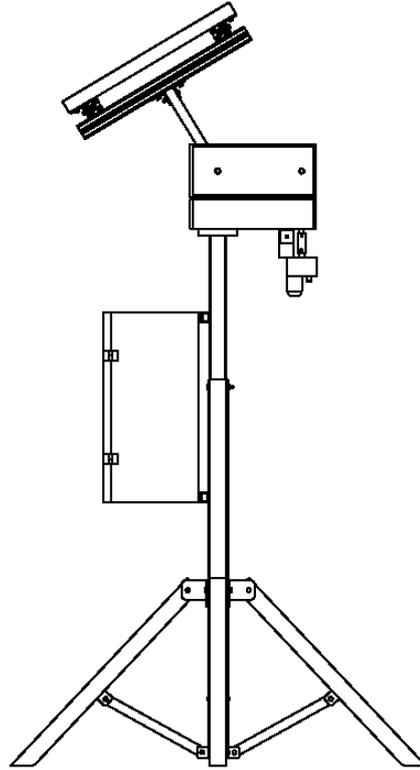
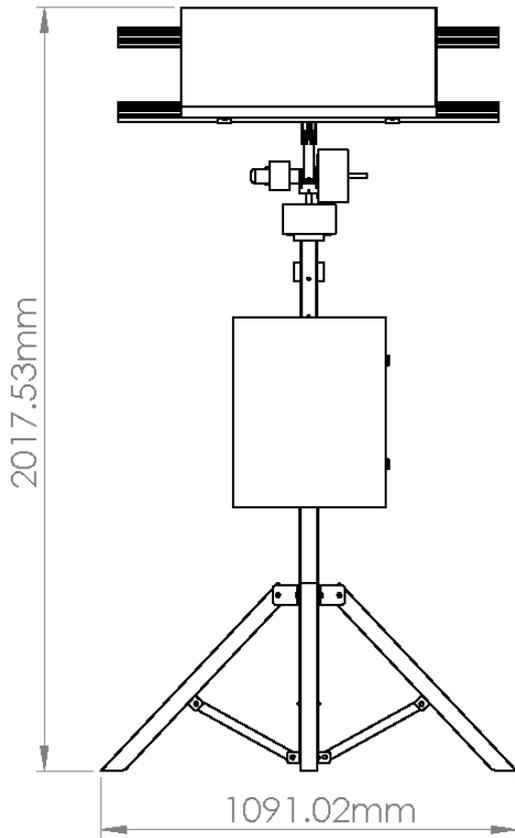
HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Atreola						Anexo 32.36			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Tornillo M6x65_BUFAB	
FABR.						MATERIAL:		A4	
CALID.						Acero			
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubel Arreola						<h1>Anexo 32.37</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo						N.º DE DIBUJO		Panel_DS-A1-45_DASOL	
FABR.						MATERIAL:		A4	
CALID.						Silicio, cobre y aluminio			
						PESO:		ESCALA:1:10	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Rubiel Arreola						<h1>Anexo 32.38</h1>			
VERIF.									
APROB. Abel Quevedo									
FABR. Rubiel Arreola									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		<h1>DSSF</h1>	
				Acero, aluminio, cobre, etc.					
				PESO:		ESCALA:1:50		HOJA 1 DE 1	
								A4	