

DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PARA UN ARREGLO  
BÁSICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

JAVIER ALFONSO JIMÉNEZ ALJURE

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2016

DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PARA UN ARREGLO  
BÁSICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

JAVIER ALFONSO JIMÉNEZ ALJURE

Proyecto integral de Grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado  
Ing. Juan Fernando Echeverry

---

Jurado 1  
Ing. Scherazada Calderón

---

Jurado 2  
Ing. Francisco González

Bogotá D.C., 25 de Agosto de 2016

## DIRECTIVAS UNIVERSIDAD AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Juan Carlos Posada García-Peña

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Los conceptos emitidos en este documento  
Son responsabilidad del autor

Dedico este proyecto a Dios, a mis padres, a mi hermana que son mi motor de vida, y a cada una de las personas que siempre estuvieron apoyándome en los momentos en los que necesité una voz de aliento, un empujón o que con solo su actitud me daban fuerza para seguir, “He sido un hombre afortunado porque nada en la vida me ha sido fácil” – Sigmund Freud, y bajo esta frase resumo lo afortunado que he sido toda mi vida. Mis padres Javier Alonso Jiménez López y Nubia Carmenza Aljure Barone, gracias por el ayer, el hoy y el mañana.

Javier A. Jiménez Aljure

Agradezco al Ingeniero Carlos Alfonso Silva Aljure, por la oportunidad de realizar un proyecto en la Empresa Smart Energy Solutions S.A.S. y por brindar todo su apoyo suministrando la información requerida, la cual fue necesaria para el desarrollo del proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
1. GENERALIDADES	19
2. SITUACIÓN ACTUAL	21
2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	21
2.1.1 Sistemas Grid-tied.	21
2.2. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR	23
2.2.1 Estructuras fijas	23
2.2.2 Seguidores de un eje	24
2.2.3 Seguidores de dos ejes	24
2.3 OPERACIONES DEL PROCESO	24
2.4 VARIABLES DEL PROCESO	24
2.5 PARÁMETROS DE RESTRICCIÓN	24
2.6 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	25
2.7 TAMAÑO GLOBAL	25
3. DISEÑO CONCEPTUAL	26
3.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	26
3.1.1 Alternativa uno	26
3.1.2 Alternativa dos	27
3.1.3 Alternativa tres	27
3.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	28
3.3 DISEÑO CONCEPTUAL PRELIMINAR	29
3.3.1 Sistema de movimiento motriz de los paneles solares.	30
3.3.2 Sistema de movimiento motriz eje vertical	30
3.3.3 Sistema estructural	30
3.3.4 Sistema de control	30
4. DISEÑO DE DETALLE	31
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA	31
4.2 SISTEMA ESTRUCTURAL SUPERIOR	32

4.2.1 Clip Sujeción Panel-Estructura.	32
4.2.2 Perfil de Soporte Lateral de Panel	33
4.2.3 Viga Soporte Lateral.	39
4.2.4 Viga Soporte Central	42
4.2.5 Acople estructura superior-eje de giro.	50
4.3 SISTEMA ESTRUCTURA DE ROTACIÓN	65
4.3.2 Soporte Rodamiento Giro Rotacional-Estructura Principal	66
4.3.3 Eje de Giro Rotacional	70
4.4 SISTEMA MOTRIZ	74
4.4.1 Selección de motores	74
4.4.2 Soporte anclaje de motor horizontal.	76
4.4.2 Verificación viga soporte lateral	82
4.4.3 Verificación eje de giro horizontal	84
4.4.4 Eje de Acople, Motor y Eje de Giro Horizontal	92
4.4.5 Sistema de transmisión por cadena.	97
4.5 SISTEMA ESTRUCTURAL INFERIOR	101
4.5.1 Viga soporte primaria.	101
4.5.2. Columna Soporte Primaria.	105
4.6 ELEMENTOS DE SUJECIÓN	108
4.6.1 Soldadura Crítica	108
4.6.2 Tornillo Crítico	111
4.7 SISTEMA DE CONTROL	113
5. MANUALES	115
5.1. MANUAL DE INSTALACIÓN Y MONTAJE	115
5.1.1 Sistema estructural inferior.	116
5.1.2 Sistema de transmisión-Sistema estructura eje horizontal.	116
5.1.3 Sistema estructura superior	117
5.2. MANUAL DE OPERACIÓN	118
5.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	119
5.3.1 Mantenimiento preventivo.	119
5.3.2. Mantenimiento Correctivo	120
5.3.3 Lubricación	120



5.4. MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	120
6. IMPACTO AMBIENTAL	124
6.1 CONSUMO	124
6.1.1 Fuentes hídricas	124
6.1.2 Suelo	124
6.1.3 Energía	124
6.2 IMPACTO	124
6.2.1 Aire	124
6.2.2 Aguas	124
6.2.3 Suelos	124
6.2.4 Cultural	125
7. EVALUACION FINANCIERA	126
7.1 SITUACION DE ENERGIA SISTEMA ACTUAL	126
7.2 SITUACION SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE DOS EJES	126
7.3 COMPARACION COSTOS	127
7.4 ANALISIS COSTO BENEFICIO	128
7.4.1 Análisis Costo Beneficio Sistema Estático	128
7.4.2 Análisis Costo Beneficio Sistema de seguimiento solar automático	129
8. CONCLUSIONES	131
9. RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFIA	133
ANEXOS	134

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Requerimientos de diseño	29
Cuadro 2. Evaluación de alternativas	29
Cuadro 3. Resultados	29
Cuadro 4. Caracterización y dimensionamiento del Perfil De Soporte Del Panel	38
Cuadro 5. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Lateral	42
Cuadro 6. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Central	46
Cuadro 7. Caracterización y dimensionamiento del Eje de Giro Horizontal	50
Cuadro 8. Caracterización y dimensionamiento Rodamiento RMS36	58
Cuadro 9. Caracterización y dimensionamiento Rodamiento 29420 E	65
Cuadro 10. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Rodamiento Giro Rotacional	70
Cuadro 11. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Anclaje Motor Horizontal	81
Cuadro 12. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Anclaje Motor Horizontal	96
Cuadro 13. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Principal	104
Cuadro 14. Caracterización y dimensionamiento de la Columna Soporte Primaria	108
Cuadro 15. Soldadura seleccionada	111
Cuadro 16. Montaje sistema estructural inferior	116
Cuadro 17. Montaje Sistema de transmisión-Sistema estructura eje horizontal	116
Cuadro 18. Montaje sistema estructural superior	117
Cuadro 19. Periodicidad de mantenimiento	119
Cuadro 20. Costos sistema estático	127
Cuadro 21. Costos sistema seguimiento solar dos ejes	127
Cuadro 22. Análisis de costo KWh Sistema Estático cobrado por empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P	128
Cuadro 23. Aumento proyección costo de mantenimiento	129
Cuadro 24. Análisis de costo KWh Sistema Estático cobrado por empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P	130

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Logo de Smart Energy Solutions	19
Figura 2. Sistema de energía Solar interconectados a la red	22
Figura 3. Sistema de energía solar independiente	23
Figura 4. Tornillo de potencia	26
Figura 5. Sistema piñón corona	27
Figura 6. Componentes del sistema motriz neumático	27
Figura 7. Componentes del sistema motriz eléctrico	28
Figura 8. Esquema sistema seguimiento solar	30
Figura 9. Dimensionamiento y Componentes Panel Q.PRO BFR-G3 245-260	31
Figura 10. Dimensionamiento Mínimo del arreglo 2X2 para Paneles Q.PRO BFR-G3 245-260	32
Figura 11. Ranura De Montaje	32
Figura 12. Funcionamiento Clip Sujeción	33
Figura 13. Clip de sujeción	33
Figura 14. Dimensiones Clip Sujeción	34
Figura 15. Componentes De Soporte De Panel	34
Figura 16. Comportamiento de cargas sobre Clip de Sujeción	35
Figura 17. Comportamiento de cargas sobre Perfil Soporte de Paneles	36
Figura 18. Análisis de Cuerpo Libre del Elemento	36
Figura 19. Diagrama de Flectores Sobre el elemento	37
Figura 20. Perfil de Soporte Lateral de Panel.	39
Figura 21. Esquema viga soporte lateral.	39
Figura 22. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Lateral.	40
Figura 23. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Lateral.	40
Figura 24. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral.	41
Figura 25. Esquema viga central	43
Figura 26. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Central	43
Figura 27. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Central.	44
Figura 28. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral.	44
Figura 29. Montaje Viga Soporte Central.	46
Figura 30. Eje de giro horizontal	47
Figura 31. Análisis de Cargas sobre Eje de Giro Horizontal.	47
Figura 32. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal	48
Figura 33. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal	48
Figura 34. Acople estructura superior eje de giro	50
Figura 35. Esquema General Acople Estructura Superior-Eje De Giro	51
Figura 36. Restricción Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 0°	52
Figura 37. Carga Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 0°.	52
Figura 38. Análisis Von misses Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°	53
Figura 39. Análisis deformación Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°	53
Figura 40. Análisis factor de seguridad Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°	54

Figura 41. Restricción Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 90°	55
Figura 42. Carga Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 90°	55
Figura 43. Análisis Von misses Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°	56
Figura 44. Análisis deformación Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°	56
Figura 45. Análisis factor de seguridad Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°	57
Figura 46. Acople Eje De Giro-Sistema Rotacional	58
Figura 47. Diseño Inicial Carcasa de Soporte Acople Eje de Giro-Sistema	59
Figura 48. Restricción Carcasa de Soporte	59
Figura 49. Cargas Aplicadas Carcasa de Soporte	60
Figura 50. Zonas Críticas Carcasa de Soporte	60
Figura 51. Nervaduras de Apoyo agregadas	61
Figura 52. Zonas Críticas Encontradas En unión con Platina Inferior	61
Figura 53. Refuerzos Realizados en Zonas de Soporte de Rodamientos	62
Figura 54. Esfuerzo Von Misses luego de perforaciones y Refuerzos	63
Figura 55. Análisis Von misses carcasa de soporte	63
Figura 56. Análisis de deformación carcasa de soporte	64
Figura 57. Análisis factor de seguridad carcasa de soporte	64
Figura 58. Soporte Rodamiento de Giro Rotacional	66
Figura 59. Diseño Preliminar Soporte Rodamiento de Giro Rotacional	67
Figura 60. Restricción Soporte Rodamiento Giro Rotacional	67
Figura 61. Cargas Aplicadas en Soporte Rodamiento Giro Rotacional	68
Figura 62. Análisis von misses soporte rodamiento giro rotacional	68
Figura 63. Análisis deformación soporte rodamiento giro rotacional	69
Figura 64. Análisis factor de seguridad Soporte Rodamiento Giro Rotacional	69
Figura 65. Montaje de Eje Giro Rotacional y Carga Principal Aplicada	70
Figura 66. Dimensionamiento real y de cálculo del eje de giro rotacional.	71
Figura 67. Tabla 5.1 Valores Aproximados del factor de longitud Efectiva K	71
Figura 68. Análisis Funcionamiento posición 90°	74
Figura 69. Diagrama de cargas para cálculo de potencia de motor	75
Figura 70. Soporte Anclaje Motor Horizontal	76
Figura 71. Restricciones Soporte Anclaje Motor Horizontal	77
Figura 72. Cargas Aplicadas Soporte Anclaje Motor Horizontal	78
Figura 73. Von Misses Simulación 1 - Soporte Anclaje Motor Horizontal	79
Figura 74. Deformación Simulación 1 - Soporte Anclaje Motor Horizontal	79
Figura 75. Refuerzos y perforaciones realizadas en Soporte Anclaje Motor Horizontal	80
Figura 76. Análisis Von misses soporte anclaje de motor horizontal	80
Figura 77. Análisis deformación soporte anclaje de motor horizontal	81
Figura 78. Análisis factor de seguridad soporte anclaje de motor horizontal	81
Figura 79. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Lateral.	82
Figura 80. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Lateral con motor	82
Figura 81. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral con motor	83
Figura 82. Diagrama de cuerpo libre sobre Eje de Giro Horizontal Recalculado.	85

Figura 83. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal Recalculado	86
Figura 84. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal Recalculado	86
Figura 85. Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	92
Figura 86. Restricciones Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	93
Figura 87. Par Torsor Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	93
Figura 88. Von Misses Simulación 1 Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	94
Figura 89. Factor de Seguridad Simulación 1 Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	94
Figura 90. Escalones y Chaflan Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal	95
Figura 91. Análisis Von misses Eje de Acople Motor	95
Figura 92. Análisis deformación Eje de Acople Motor	96
Figura 93. Análisis factor de seguridad Eje de Acople Motor	96
Figura 94. Tabla 7-8, Factores de Servicio para transmisiones de cadena.	97
Figura 95. Tabla 7-7, Capacidad en Caballos de fuerzas Cadena Simple De Rodillos número 80.	98
Figura 96. Viga de soporte primaria	101
Figura 97. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Primaria	102
Figura 98. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Principal.	103
Figura 99. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Principal.	103
Figura 100. Columnas de soporte primarias	105
Figura 101. Tabla 5.1 Valores Aproximados del factor de longitud Efectiva K	105
Figura 102. Acople Eje-Estructura, Viga Soporte Central	108
Figura 103. Análisis de Cargas	109
Figura 104. Selección tipo soldadura	109
Figura 105. Arduino tipo Yun	113
Figura 106. Guía de ensamble	115
Figura 107. Estructura inferior	116
Figura 108. Sistema de transmisión- Sistema estructura eje horizontal.	117
Figura 109. Sistema Estructura Superior	117
Figura 110. Señales de uso obligatorio	120
Figura 111. Señales de evacuación.	121
Figura 112. Señal alto voltaje	122
Figura 113. Mecanismos en movimiento	123

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Brochure senergy sol	135
Anexo B. Unirac roof mount rm	144
Anexo C. Planos ilustración unirac room mount	156
Anexo D. Perfiles estructurales de acero	162
Anexo E. Rodamiento SKF 33205/Q	179
Anexo F. Motor 6215K83	182
Anexo G. Planos	184

## GLOSARIO

**ANGULO AZIMUTAL:** mide la magnitud de cuanto se desplaza el sol con respecto al sur

**ANGULO CENITAL:** es considerado el complemento de la altura solar, es la magnitud que le falta al sol para estar completamente vertical con relación al observador

**ARDUINO:** micro controlador de código abierto

**C++:** lenguaje de programación

**FOTOVOLTAICO:** energía que se produce del sol como fuente renovable

**GRID-TIED:** sistemas fotovoltaicos que están colgados al SIN

**SOLSTICIO:** movimiento del solar en el cual el sol se encuentra más alejado de la eclíptica del ecuador y se da la máxima duración entre el día y la noche

**OFF-GRID:** sistemas fotovoltaicos que no están colgados del SIN

**SEGUIMIENTO SOLAR:** sistemas mecánicos diseñados para mantener la perpendicular entre los paneles y el sol

**SIN:** sistema interconectado nacional

**VON MISSES:** magnitud física en la teoría de falla, que se utiliza como un indicador de diseño un elemento

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo el diseño de un sistema de seguimiento solar automático de dos ejes para un arreglo de cuatro paneles solares.

El diseño parte de un diagnóstico y una evaluación teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos instalados en Bogotá.

De esta manera se eligió el diseño que cuenta con los parámetros y exigencias funcionales requeridas por el proceso de aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

El diseño parte de la evaluación del movimiento y soporte de los paneles fotovoltaicos, seguidos del movimiento de seguimiento, el cual se dividió en dos partes: movimiento principal, el cual realiza el sol en función a su trayectoria diaria; y el movimiento correspondiente al solsticio de verano y solsticio de invierno. Para el cálculo de los elementos de soporte y de sujeción se consideró las cargas aplicadas incluyendo el efecto del viento.

Posteriormente se realizó la simulación y animación en conjunto de todos los elementos que conforman el sistema de seguimiento solar que se realiza a través de un Arduino. Además se desarrollaron los manuales respectivos, igualmente se hace una evaluación financiero del trabajo realizado.

Palabras claves: Diseño, seguidor solar, fotovoltaico



## INTRODUCCIÓN

La *importancia* de este proyecto radica en el aumento de la generación de energía fotovoltaica, con el fin de disminuir los tiempos de retorno de la inversión y aumentar la energía generada con una menor cantidad de paneles.

El *origen* se presenta en la empresa Smart Energy Solutions S.A.S. en el área de generación de energía a través de paneles solares, ya que los sistemas de generación energética a través de sistemas fotovoltaicos están siendo diseñados en sistemas estáticos donde su eficiencia es mínima y su tiempo de retorno de inversión es alta.

El *objetivo* general es “Diseño de un seguidor solar automático para un arreglo básico de paneles fotovoltaicos”, que cumpla con las necesidades requeridas que se presentan en este proyecto. Para lograr este objetivo se plantearon unos *objetivos específicos*, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto, los cuales son:

- ✓ Realizar un estudio del estado de la tecnología de los sistemas de seguimiento solar
- ✓ Establecer los requerimientos funcionales y los parámetros
- ✓ Elaborar el diseño conceptual
- ✓ Plantear y evaluar alternativas respecto al subsistema de generación
- ✓ Definir los parámetros de funcionalidad del sistema de seguimiento solar
- ✓ Desarrollar el diseño detallado del sistema de seguimiento solar
- ✓ Elaborar el análisis por elementos finitos de los sistemas críticos
- ✓ Realizar manuales de ensamble, fabricación, instalación y operación
- ✓ Realizar manuales de seguridad y mantenimiento
- ✓ Elaborar los planos de fabricación, ensamble, montaje, automatismo
- ✓ Evaluar el impacto ambiental que genera la construcción del sistema de seguimiento solar y su operación
- ✓ Realizar el estudio financiero del proyecto

El *alcance* de este proyecto es diseñar y simular el sistema de seguimiento solar automático.

La *Limitación* del proyecto consiste en el diseño de un sistema de seguimiento solar automático para un arreglo básico de paneles solares fotovoltaicos, el cual girará en dos ejes y podrá cargar hasta cuatro paneles solares. El proyecto llegará hasta el diseño y simulación por elementos finitos, su construcción dependerá de la empresa.

La *metodología* que se utilizará para el diseño de la máquina de seguimiento solar se basará en la experiencia de la compañía y comparando tecnología actual de sistema de soporte para paneles solares para llegar a un nuevo diseño que satisfaga los requerimientos existentes.

El *significado* en el campo metalmecánico, será diseñar un sistema de seguimiento solar, el cual aumente la cantidad de energía generada frente a los sistemas estáticos fotovoltaicos, este sistema puede ser utilizado tanto a sistemas que estén conectados a la red en lugares en los que el SIN tiene cobertura, como en lugares donde no se cuente con energía eléctrica suministrada por el SIN. Para la empresa será de gran importancia, ya que serán muchos más competitivos en el mercado, ampliará su portafolio e incentivará al uso de este sistema, además que el retorno de la inversión se verá reflejado en tiempos más cortos.

La *aplicación* se verá reflejada en las operaciones de generación energética en los lugares donde se instalen los sistemas, no se seguirá por cartas solares y pruebas de ensayo y error, sino que, por el contrario, el sistema será guiado por la ubicación donde este el sol satisfaciendo las necesidades de generación eficiente.

## 1. GENERALIDADES

### SMART ENERGY SOLUTIONS S.A.S.

Es una empresa de ingeniería joven, colombiana enfocada en el uso inteligente de la energía teniendo como foco principal: aumento de eficiencia y utilización de energías producto de fuentes renovables.

Sus soluciones las agrupan en seis:

- ✓ Sistemas de energía solar interconectados a la red.
- ✓ Bombeo de agua con energía solar
- ✓ Cercas eléctricas con energía Solar
- ✓ Sistemas de energía solar independiente
- ✓ Iluminación con energía solar
- ✓ Análisis de eficiencia de energía

Figura 1. Logo de Smart Energy Solutions



Fuente: Senergysol, logo [online].  
Available from Internet:  
<http://senergysol.com.co/>

Actualmente ha instalado varios proyectos en Bogotá y lugares cercanos, también han suministrado elementos tales como paneles, inversores y otro tipo de elementos necesarios para la instalación y utilización de sistemas fotovoltaicos estáticos, lo cual los ha posicionado bien en el mercado, contando con aliados estratégicos como son:

- ✓ ALT ARQUITECTURA, la cual innova en el mercado nacional con la incorporación de ambientes que funcionan con energías alternativas, además de sistemas eficientes.
- ✓ SOLAR ENERGY INTERNACIONAL es la entidad académica que lidera en temas de aprovechamiento de energía solar.

Smart Energy Solutions S.A.S. Es una empresa que se guía por sus principios y bases:

- ✓ Misión: Ofrecer a ciertos segmentos del sector comercial e industrial soluciones energéticas innovadoras que reduzcan los costos de energía y otorguen valor agregado ambiental, a través de programas de ahorro de energía y sistemas de energía solar.
- ✓ Visión: Ser una empresa innovadora para el año 2016 desarrollando productos energéticos que agreguen valor a nuestros clientes e implementando proyectos que aporten a la mitigación del cambio climático, convirtiéndonos en referentes de temas energéticos sostenibles en Bogotá y sus alrededores.
- ✓ Filosofía: En Smart Energy Solutions S.A.S. queremos ser parte de la transformación hacia una sociedad sostenible y consciente de la importancia del medio ambiente, para ello trabajamos profesionalmente junto con nuestros clientes día a día para alcanzarlo.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

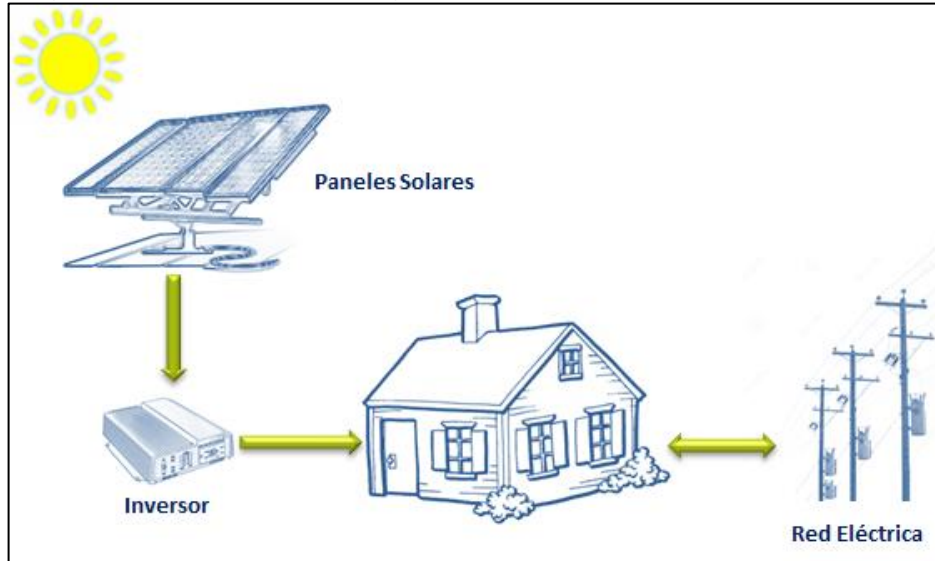
### 2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Estos sistemas se pueden dividir en dos grandes grupos: sistemas de energía interconectados a la red y sistemas de energía solares independientes.

2.1.1 Sistemas Grid-tied. Los sistemas de energía solar interconectados a la red, también conocidos como sistemas Grid-tied, pueden funcionar en conjunto con la red eléctrica convencional, lo cual permite un respaldo con la empresa eléctrica local al sistema, en el momento en que no se abarque en totalidad la carga eléctrica requerida; esto quiere decir, que si se tiene conectado un sistema Grid-tied disminuirá el consumo eléctrico cargado al sistema de energía local y funcionando en el día con energía solar hasta el momento en que sea utilizada toda su capacidad generada. Estos sistemas ofrecidos por SMART ENERGY SOLUTION constan de tres partes principalmente:

- ✓ Los paneles solares, en los que a través de sus celdas fotovoltaicas son los encargados de convertir la radiación generada por el sol en energía eléctrica, obteniendo corriente continua o DC.
- ✓ Los inversores, son componentes electrónicos encargados de convertir la energía eléctrica entregada por los paneles de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), es la energía con la que funcionan la mayoría de equipos y electrodomésticos caseros e industriales, ya que es la energía que proveen las tomacorrientes convencionales, esto quiere decir, que los inversores juegan un papel fundamental al momento de la utilización de la energía solar, puesto que no solo transforman la energía solar en eléctrica sino que además permiten el funcionamiento de las dos fuentes de energía.
- ✓ El dispositivo de monitoreo, se encarga de monitorear constantemente el funcionamiento de su sistema fotovoltaico y revisar el estado del sistema y su desempeño.

Figura 2. Sistema de energía Solar interconectados a la red

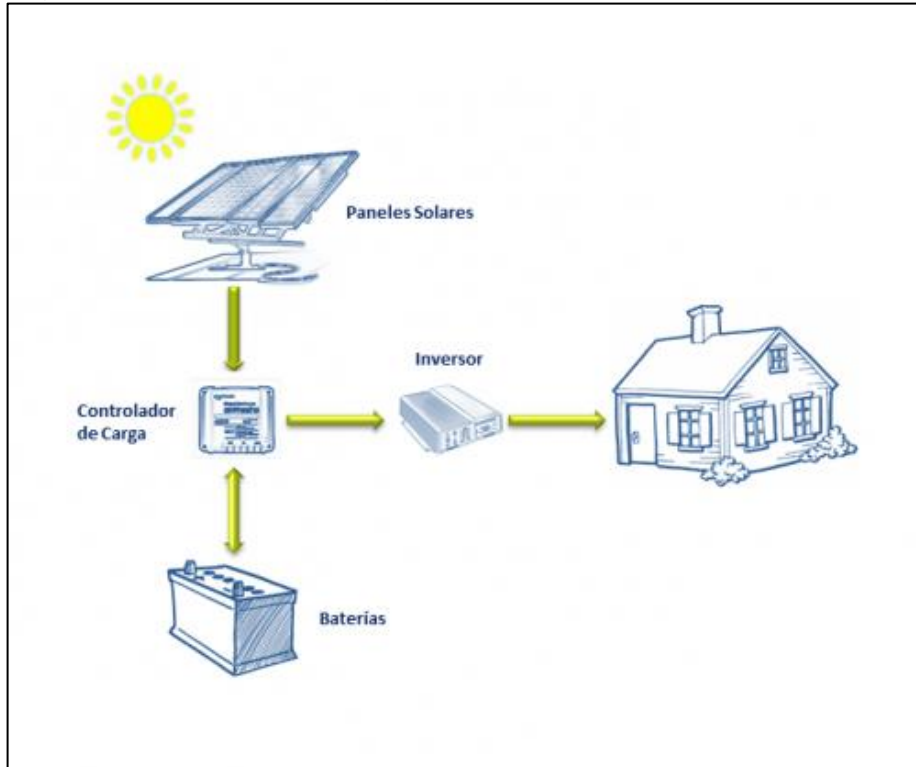


Fuente: <http://senergysol.com.co/soluciones/>

2.1.2. Sistemas off-grid. Los sistemas de energía independientes también conocidos como los sistemas Off-Grid, cuentan con la manera de funcionar en lugares donde no llega el sistema interconectado nacional. Esta característica permite que los lugares que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica cuenten con una alternativa de generación y uso del recurso. El sistema básico consta de cuatro partes principalmente:

- ✓ Los paneles solares, a través de sus celdas fotovoltaicas, son los encargados de convertir la radiación generada por el sol en energía eléctrica en forma de corriente continua o DC.
- ✓ Control de carga, su papel es la regulación de la energía que entregan los paneles, con el propósito de que la carga que llegan a los almacenadores, en este caso las baterías, sea la adecuada.
- ✓ Los almacenadores o baterías, cumplen la función de almacenar la energía que no es necesaria o aprovechada en el día para posteriormente ser utilizada en el momento en el que no se cuente con el sol; es decir, de seis de la tarde a las seis de la mañana.
- ✓ El dispositivo de monitoreo, se encarga de monitorear constantemente el funcionamiento de su sistema fotovoltaico y revisar el estado del sistema y su desempeño.

Figura 3. Sistema de energía solar independiente



Fuente: <http://senergysol.com.co/soluciones/>

En los sistemas de energía solar independiente, como los sistemas de energía solar que están conectados a la red, sus soportes o bases pueden ser estáticos o de seguimiento solar; los sistemas de seguimiento solar son sistemas mecánicos capaces de orientar los paneles solares perpendiculares al sol, buscando un mejor aprovechamiento de la radiación solar desde el amanecer, por el Este, hasta el ocaso por el Oeste, procurando que la incidencia del rayo de sol sea uniforme en cada momento del día sobre él.

## 2.2. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR

Es un dispositivo mecánico estructural en el cual están montados paneles fotovoltaicos, con la capacidad de seguir la trayectoria del sol durante el día. Tiene como objetivo aumentar la captación de la cantidad de energía.

Existen tres tipos de sistemas de seguimiento solar:

2.2.1 Estructuras fijas. Son estructuras más robustas, su flexibilidad no es muy alta y se adaptan a cualquier tipo de terreno, son los sistemas más económicos del mercado.

2.2.2 Seguidores de un eje. Los sistemas de seguimiento solar de un eje o estacional, aumentan la producción de energía eléctrica hasta en un 25% aproximadamente con respecto a las estructuras fijas.

2.2.3 Seguidores de dos ejes. Los sistemas de seguimiento de dos ejes permiten aumentar hasta en un 35% la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

## 2.3 OPERACIONES DEL PROCESO

El diseño a realizar debe cumplir con las siguientes operaciones demandadas por el proceso de captación de energía solar:

Movimiento en dos ejes, para que el rayo solar esté siempre perpendicular a la superficie del panel solar, donde ambos serán automáticos.

Diseñar un sistema que sea estable, sólido, de ensamble simple y fácil mantenimiento.

## 2.4 VARIABLES DEL PROCESO

Movimiento del sol, posición del sol dependiendo de la zona geográfica donde se encuentre ubicado el sistema de seguimiento solar, ya que es una variable la cantidad de radiación que recibirá el sistema que será ubicado en el barrio Cedritos en el norte de la ciudad de Bogotá.

Debido a la cercanía de Colombia con el paralelo 0 o línea del Ecuador su movimiento azimutal no significativo comparado con países que se encuentran en los polos

Velocidad y dirección del viento, en ciudades como Bogotá las corrientes de viento se caracterizan por ser bajas o tenues en las mañanas, y en las tardes por ser moderadas, ya que los datos registrados en el 2015 para la velocidad del viento fueron de 11,2 Km/h, datos reportados por la estación meteorológica: 802220(SKBO) Registros horarios  
Latitud: 4.7°. Longitud: -74.13°. Altitud: 2547 msnm. Correspondiente a Bogotá.

Calculando la fuerza del aire sobre el sistema se obtiene que la presión del aire en Bogotá de acuerdo a la velocidad es de  $0,030976 \text{ Kg/m}^2$ . Con esto decimos que la fuerza del viento sobre el sistema es de 0,2069 N

## 2.5 PARÁMETROS DE RESTRICCIÓN

Estos definen las limitaciones con base en el diseño de la máquina.



- ✓Número de paneles. Se considerará que la capacidad máxima del sistema será de cuatro paneles solares convencionales, que tiene una longitud aproximada de 1,96 m, y un ancho de 3,34 m, dando un área aproximada de 6,54 metros cuadrados.
- ✓Tipo de paneles solares. Los paneles utilizados para este proyecto serán: módulos solares poli cristalinos, según especificación de la empresa.
- ✓Giro del sol por año. El sol en el año tiene un giro aproximadamente de 46,9° que tiene en cuenta desde el solsticio de verano hasta el solsticio de invierno.

## 2.6 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

- ✓Perpendicularidad entre el panel y el sol. Permitir que los paneles solares y el sol se encuentren lo más perpendiculares entre si para aumentar la cantidad de energía captada por los paneles.
- ✓Sistema de giro automático. Permitir mediante un sistema mecánico mover la superficie de la estructura para garantizar que el sistema esté siempre perpendicular.
- ✓Facilidad de mantenimiento. Diseño de componentes de fácil ensamble, generando tiempos cortos de mantenimiento preventivo y correctivo al ser cambiados sin afectar de una manera traumática el sistema.

## 2.7 TAMAÑO GLOBAL

El volumen esperado que llegará a ocupar el sistema en las instalaciones corresponderá a las mínimas dimensiones de diseño para soportar y manipular los paneles en este proceso.

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

Con el fin de satisfacer las necesidades funcionales y parámetros de diseño que requiere la empresa, se plantean tres posibles alternativas de diseño definidas a partir de las opciones de sistemas motrices para el movimiento de los sistemas que componen esencialmente la rotación del sistema de paneles solares, teniendo en cuenta que este movimiento sea en dos ejes automáticos.

Para realizar el movimiento de dichos sistemas se hace necesaria la implementación de dos sistemas independientes de movimiento, debido a que el sol se mueve en dos ejes distintos. Uno para realizar el movimiento referente al solsticio de verano hasta el solsticio de invierno, el cual se encuentra ubicado en la base de la estructura del seguidor, esto con referencia al movimiento azimutal, mientras que el otro sistema de movimiento se encargará de la posición de los paneles solares con respecto al sol en su trayectoria de Oriente a Occidente.

#### 3.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.1.1 Alternativa uno. Consiste en la utilización de un sistema hidráulico a través de un tornillo de potencia para el movimiento de los paneles, y para el movimiento azimutal un sistema de piñón corona. El movimiento principal como el movimiento secundario utiliza una bomba y un depósito de aceite, para esta alternativa se tendrán en cuenta todos los componentes para su uso, tales como: válvulas, manómetros, mangueras de alta presión, y toda la instrumentación necesaria para su control.

Figura 4. Tornillo de potencia



Fuente:

[www.revistadyna.com/Recursos/Controles/descarga.aspx?IdDocumento](http://www.revistadyna.com/Recursos/Controles/descarga.aspx?IdDocumento)

Figura 5. Sistema piñón corona



Fuente:

[www.revistadyna.com/Recursos/Controles/descarga.aspx?IdDocumento](http://www.revistadyna.com/Recursos/Controles/descarga.aspx?IdDocumento)

3.1.2 Alternativa dos. Consiste en la implementación de dos cilindros y dos motores neumáticos, los cuales son alimentados por un compresor que debe tener la suficiente potencia para soportar los dos movimientos necesarios para la captación de energía solar, adicionalmente, se consideran todos los componentes para su uso, tales como: válvulas, manómetros, mangueras de alta presión, y toda la instrumentación necesaria para su control y buen funcionamiento del sistema.

Figura 6. Componentes del sistema matriz neumático



Fuente: <http://ph.parker.com/us/en/pneumatic>

3.1.3 Alternativa tres. Consiste en el uso de componentes eléctricos, dos motores DC, para este caso estarán uno en la base telescópica del sistema y el otro en el eje que realiza el movimiento de los paneles, estos funcionan a velocidades bajas y un alto torque, siendo estos un requerimiento principal además de funcional por

sus características, esta alternativa requiere menos componentes ya que no involucra fluidos a presión.

Figura 7. Componentes del sistema motriz eléctrico



Fuente:

[http://www.melloelectrics.co.uk/t4\\_dc\\_geared\\_motors\\_es.html](http://www.melloelectrics.co.uk/t4_dc_geared_motors_es.html)

### 3.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la evaluación y selección de alternativas se utiliza la metodología del SCORING, la cual es una manera sencilla y rápida en la que mediante un proceso de selección se elige la alternativa más favorable en una situación multicriterio.

Requerimientos del cliente. Para comprender las necesidades de la empresa SMART ENERGY SOLUTIONS S.A.S. se utilizaron medios como la visita técnica, capacitación en sistemas de energía solar y sistemas de seguimiento solar, con el fin de encontrar una solución viable en sistemas de diseño de seguimiento solar y que ellos mismos establezcan su grado de importancia.

Con el resultado arrojado de acuerdo a las necesidades del cliente, se realiza la evaluación y respectiva calificación a las distintas alternativas que pueden suplir dicha necesidad.

Requerimientos de diseño. Son los parámetros necesarios para dar respuesta a los requerimientos del cliente, que son traducidas en magnitudes medibles para el desarrollo del diseño y la correcta selección de la alternativa.

Cuadro 1. Requerimientos de diseño

	<b>Ponderación</b>
<b>Criterios</b>	<b>Wi</b>
1. Fácil Ensamble	5
2. Mantenimiento	4
3. Control	4
4. Automatización	5
5. Calidad de funcionamiento	4
6. Seguridad	4
7. Costos	5

Cuadro 2. Evaluación de alternativas

	<b>Ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>Criterios</b>	<b>Wi</b>	<b>ri1</b>	<b>ri2</b>	<b>ri3</b>
1. Fácil Ensamble	5	3	4	5
2. Mantenimiento	4	3	4	3
3. Control	4	4	3	4
4. Automatización	5	4	4	5
5. Calidad de funcionamiento	4	4	4	4
6. Seguridad	4	3	3	3
7. Costos	5	1	3	5
<b>SCORE Sj</b>		<b>75</b>	<b>90</b>	<b>110</b>

Selección de alternativa. Desarrollada la matriz por el método Scoring, el resultado de esta evaluación multicriterio permitió seleccionar la alternativa que satisface con mayor puntuación las necesidades de la empresa teniendo en cuenta los criterios evaluados, siendo la de más alta calificación la opción a diseñar, en este caso la alternativa 3.

Cuadro 3. Resultados

<b>Alternativa</b>	<b>Calificación ponderada actual</b>
Sistema motriz hidráulico	75
Sistema motriz neumático	90
Sistema motriz eléctrico	110

### 3.3 DISEÑO CONCEPTUAL PRELIMINAR

Para empezar a desarrollar la alternativa tres, es necesario plantear los siguientes sistemas y subsistemas que componen la máquina a diseñar:

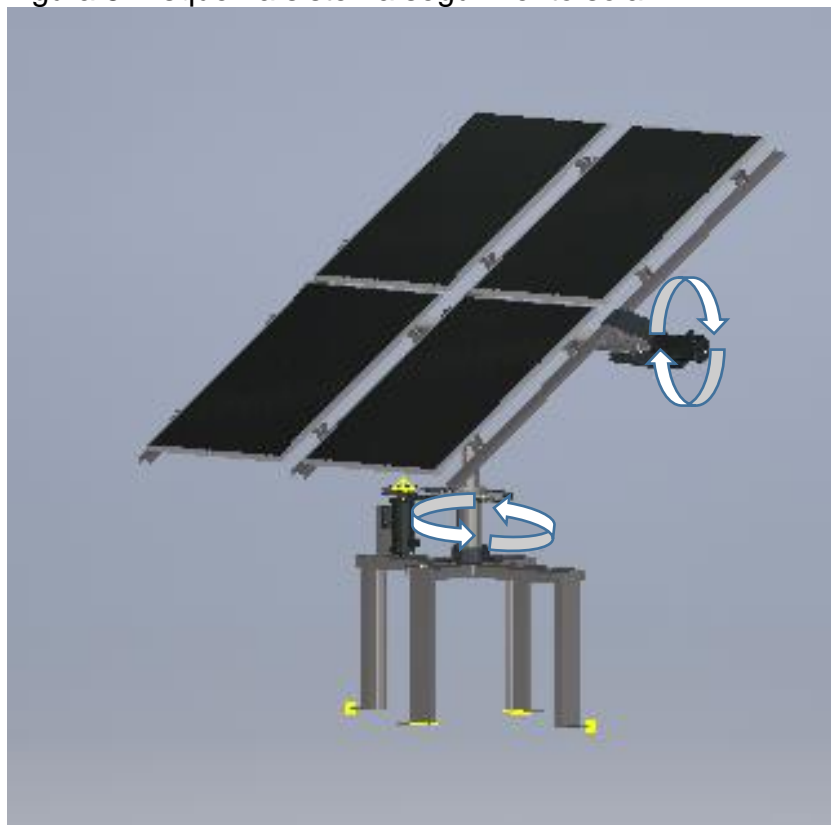
3.3.1 Sistema de movimiento motriz de los paneles solares. Es el encargado de transmitir el movimiento rotacional del motor DC, para que los paneles estén siempre perpendiculares al sol en su movimiento, desde oriente hasta occidente, los cuales están apoyados sobre un eje principal, a través de un accesorio de acople.

3.3.2 Sistema de movimiento motriz eje vertical. Este movimiento tiene como objetivo brindar una corrección del sistema con respecto al eje azimutal, este comprende desde el solsticio de verano hasta el solsticio de invierno.

3.3.3 Sistema estructural. Este sistema permite soportar hasta un máximo de cuatro paneles solares, además de los motores DC y el eje de movimiento principal, por otro lado los distintos componentes tales como perfiles y rodamientos necesarios para que el sistema de seguimiento solar funcione correctamente.

3.3.4 Sistema de control. El desarrollo del sistema de control está enfocado a obtener el máximo del sistema fotovoltaico, es necesario implementar una unidad de control que coordine los movimientos en los ejes, para ubicar los paneles solares siempre perpendiculares al sol.

Figura 8. Esquema sistema seguimiento solar



## 4. DISEÑO DE DETALLE

La empresa Smart Energy Solutions S.A.S. desea realizar un montaje de 4 paneles solares Q.PRO BFR-G3 245-260, cada uno con una potencia de 262.5 W (Ver Anexo A).

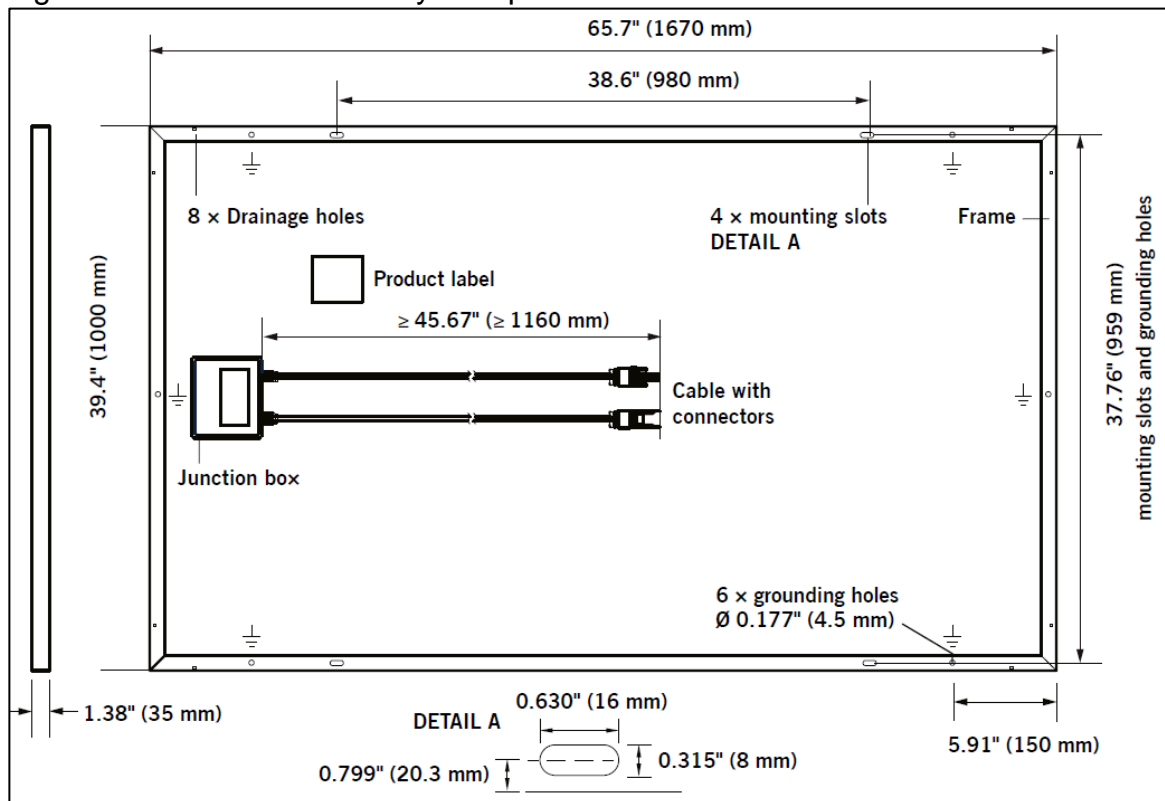
El sistema tendrá una configuración 2X2 y se deberá realizar el diseño estructural y de seguimiento para este arreglo de paneles.

Se debe procurar que el área requerida para el sistema estructural y de seguimiento no exceda el área superficial de los 4 paneles.

### 4.1 DISEÑO DEL SISTEMA

4.1.1 Cálculo y distribución de paneles. Para poder realizar el arreglo 2X2 de los paneles, se tienen las dimensiones por cada panel Q.PRO BFR-G3 245-260 como se muestra en la Figura 9:

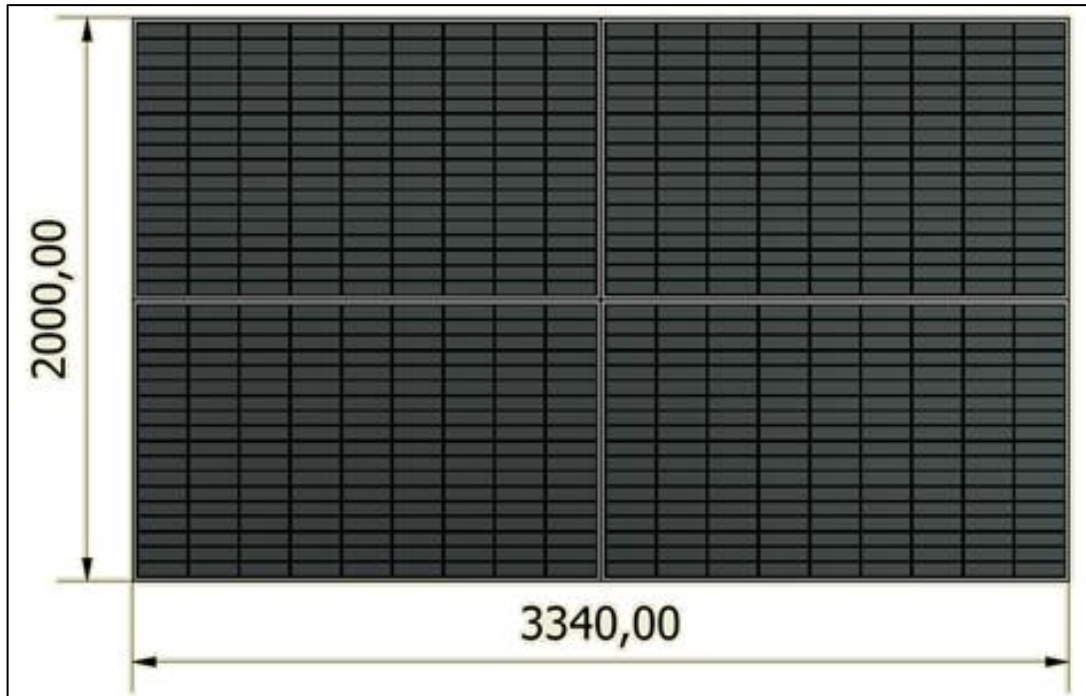
Figura 9. Dimensionamiento y Componentes Panel Q.PRO BFR-G3 245-260



(Adaptado de Anexo A - SENERGYSOL SolrGrid Catalogo)

Las dimensiones mínimas de este arreglo deberán ser de 3340mmX2000mm (Figura 10); sin embargo, estas dimensiones tienden a aumentar debido a los elementos de instalación requeridos para el montaje de los paneles. Lo anterior también delimita el espacio mínimo que podrá usarse para el sistema estructural de soporte, así como los elementos del sistema de seguimiento solar.

Figura 10. Dimensionamiento Mínimo del arreglo 2X2 para Paneles Q.PRO BFR-G3 245-260



## 4.2 SISTEMA ESTRUCTURAL SUPERIOR

4.2.1 Clip Sujeción Panel-Estructura. Cada panel solar posee 4 ranuras de montaje (Figura 11); donde deberá ser anclado cada panel por requerimiento de la empresa Smart Energy Solutions S.A.S. Debido a la facilidad de la fabricación de los componentes y obtención de repuestos. El método de anclaje para estas ranuras consistirá en un sistema de Clip de Sujeción Roscado como el mostrado en la Figura 12.

Figura 11. Ranura De Montaje

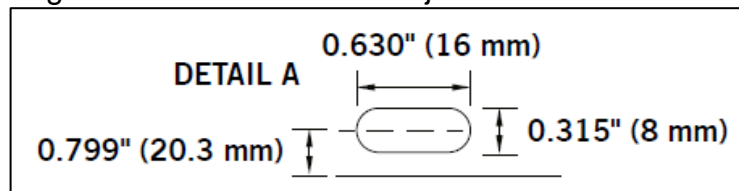
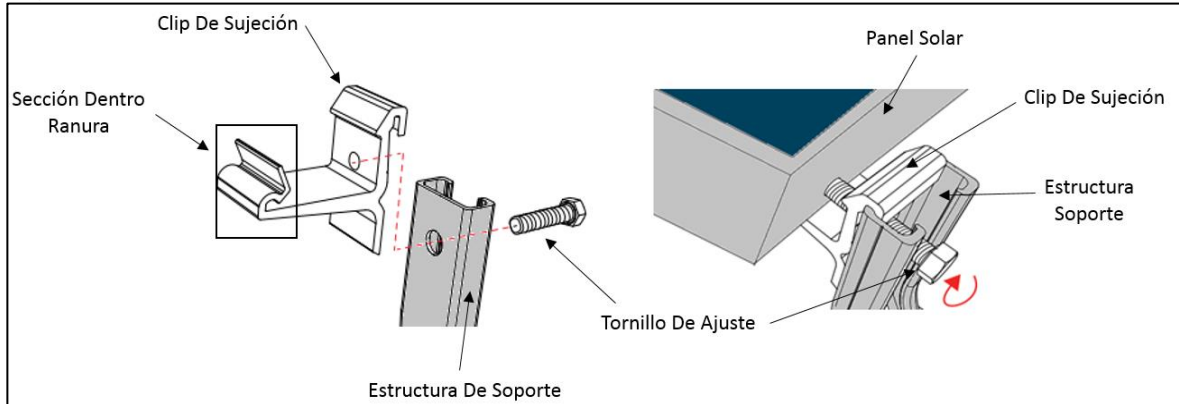


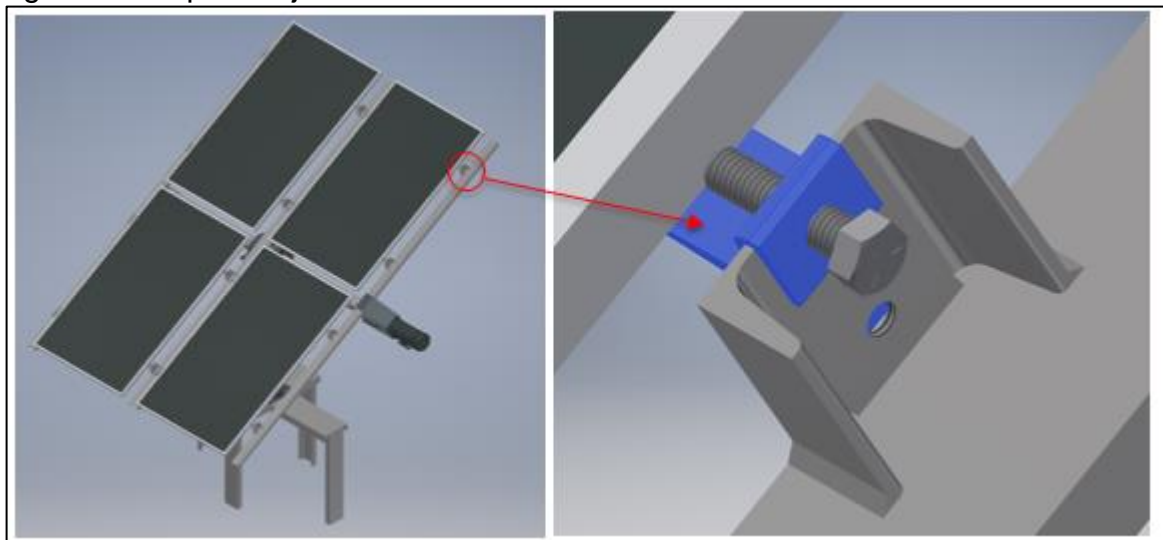


Figura 12. Funcionamiento Clip Sujeción



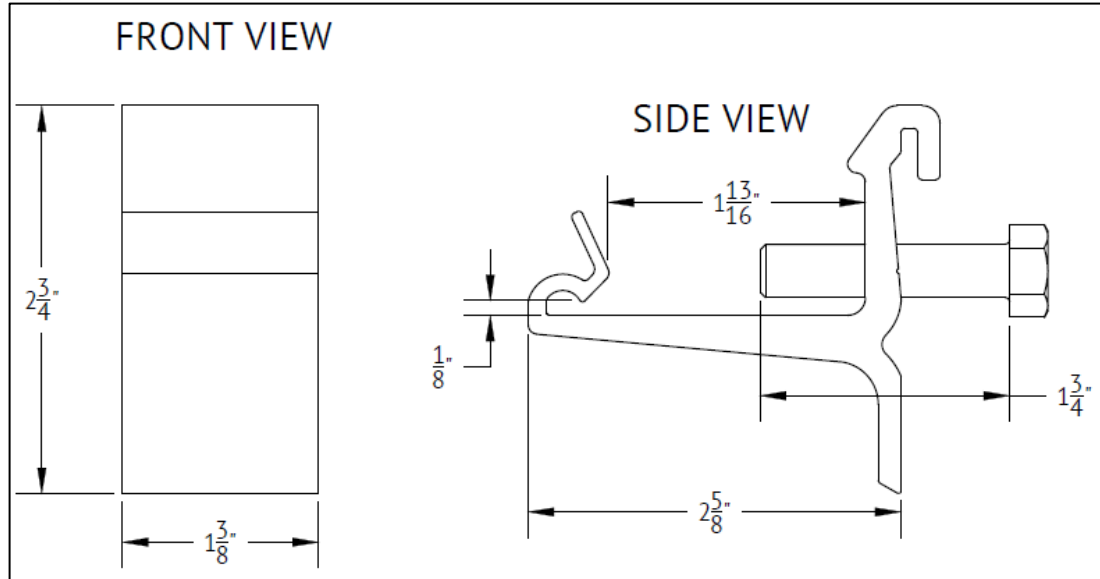
(Adaptado de Anexo B. UNIRAC Roof Mount RM -Complete Ballast Placement Installation Guide Disponible en: [http://unirac.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2016MAR30.PUB\\_RM\\_Installation\\_Guide\\_124.pdf](http://unirac.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2016MAR30.PUB_RM_Installation_Guide_124.pdf))

Figura 13. Clip de sujeción



4.2.2 Perfil de Soporte Lateral de Panel. Uno de los requerimientos iniciales para la selección de la estructura de soporte, es que los elementos utilizados puedan adaptarse fácilmente al sistema de los clips de sujeción usados para soportar los paneles. Es por eso, que de acuerdo a las dimensiones de los clips (Figura 14) y al método de instalación presentado en la figura 12, se decide iniciar el diseño del sistema de soporte de paneles con un perfil en C3X3.5 de la compañía DEACERO (Anexo D - Perfiles Estructurales DEACERO).

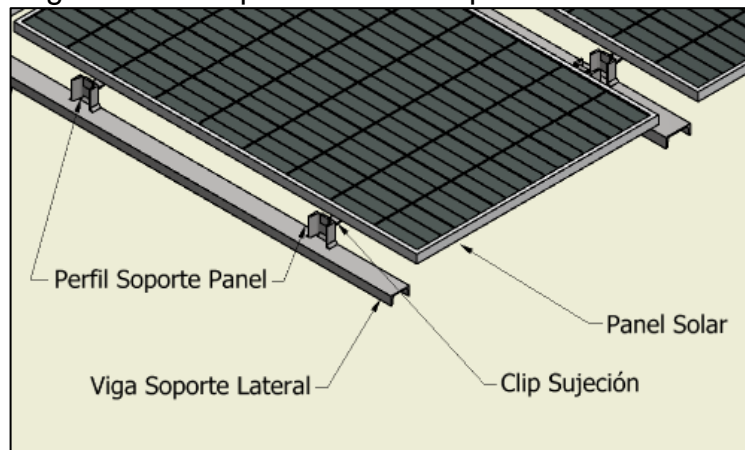
Figura 14. Dimensiones Clip Sujeción



(Adaptado de Anexo C -Anexo C. Planos Instalación UNIRAC RoofMount)

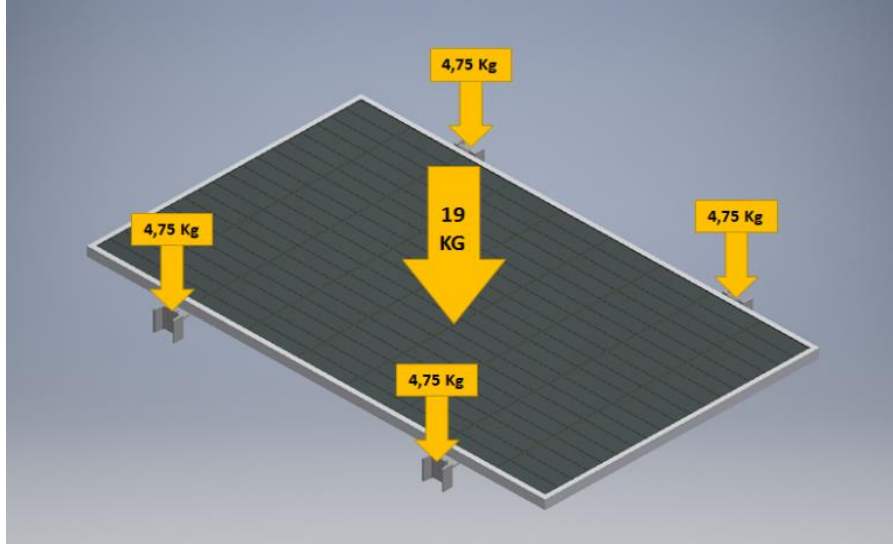
El Perfil de soporte del panel tendrá un tamaño de 75mm, y será montado sobre las vigas de soporte horizontal, son las encargadas de soportar el arreglo de cuatro paneles (Figura 15).

Figura 15. Componentes De Soporte De Panel



Para iniciar con el cálculo de estos elementos, se debe tener en cuenta que cada panel contará con cuatro puntos de apoyo, por lo que cada uno de los perfiles de soporte estará sometido a un momento flector generado por la carga aplicada sobre cada clip de sujeción que corresponde a  $\frac{1}{4}$  del peso del panel (Figura 16). Sabiendo el peso de cada panel se calcula la carga que genera el momento sobre el elemento:

Figura 16. Comportamiento de cargas sobre Clip de Sujeción



$$C_{Ap} = \frac{m_{Panel}}{4} * g$$
$$C_{Ap} = \frac{19 Kg}{4} * 9,81 m/s^2$$

$$C_{Ap} = 46,5975 N$$

Donde:

$C_{Ap}$  = Carga Aplicada Sobre Clip Sujeción

$m_{panel}$  = Masa del panel

$g$  = Gravedad

Una vez calculada la carga  $C_{Ap}$  y sabiendo que el pin tiene un tamaño de 66mm, el elemento se encontrará sometido a un momento aplicado igual a (Figura 17):

$$M_{Ap} = C_{Ap} * l$$

$$M_{Ap} = 46,5975N * 0,066m$$

$$M_{Ap} = 3,075435Nm$$

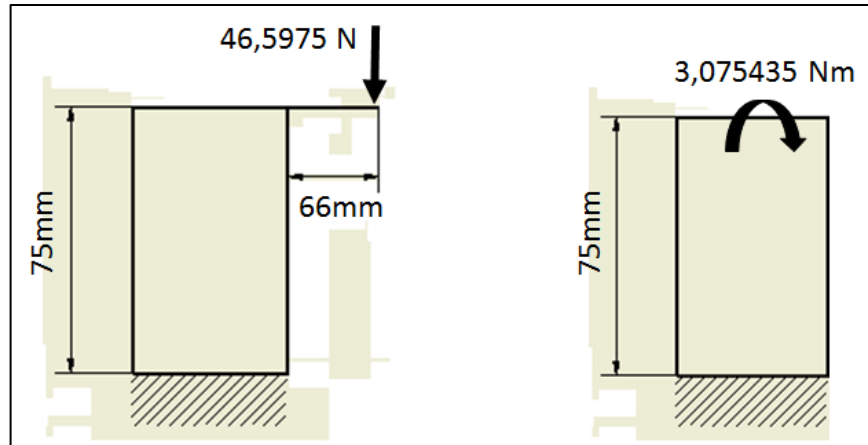
Donde:

$M_{Ap}$  = Momento Aplicado Sobre Perfil

$C_{Ap}$  = Carga Aplicada Sobre Clip Sujeción

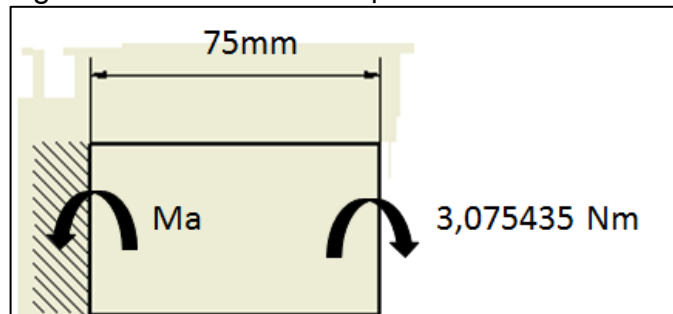
$l$  = Largo Sobre Clip Sujeción

Figura 17. Comportamiento de cargas sobre Perfil Soporte de Paneles



De acuerdo a la Figura 17, se procede a realizar el análisis de cargas y momento flector máximo del sistema, para realizar el cálculo se gira 90° el elemento hacia la derecha y se calcula como una viga en voladizo (Figura 18).

Figura 18. Análisis de Cuerpo Libre del Elemento



$$\sum M = 0$$

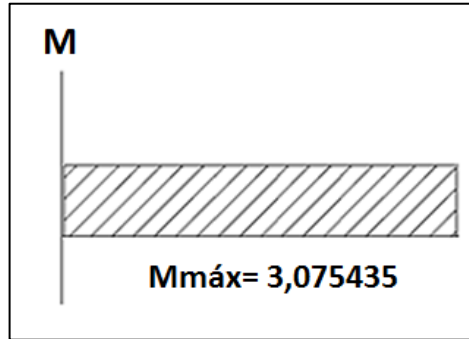
$$M_a - 3.0754Nm = 0$$

$$M_a = 3.075435 Nm$$

Una vez calculados los momentos a los que se encuentra sometido el elemento, se procede a realizar el diagrama de momento flector máximo, ya que de acuerdo

al análisis anterior, se puede apreciar que el perfil no se encuentra sometido a fuerzas cortantes.

Figura 19. Diagrama de Flectores Sobre el elemento



Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo de la viga requerida para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2 para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga; de acuerdo al documento “Fundamentos del diseño mecánico” (1)...el factor de seguridad se puede seleccionar como 2 si se tiene conocimiento de los esfuerzos, el entorno y las cargas a las que estará sometida el elemento a diseñar”.<sup>1</sup> De aquí en adelante, se utilizará el mismo factor de seguridad.

$$\sigma_{per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{per} = \frac{2,53010^8 Pa}{2}$$

$$\sigma_{per} = 1,26 \times 10^8 Pa$$

Donde:

$\sigma_{per}$  = Esfuerzo Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F. S. = Factor Seguridad

<sup>1</sup> Tecnologías de máquinas (s.f) Factor de seguridad. Julio 24, 2016 de Fundamentos del diseño mecánico. Sitio web: [http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/PPts/CORTIZO/1\\_Fundamentos\\_de\\_diseno/03\\_CoeficienteSeguridad.pdf](http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/PPts/CORTIZO/1_Fundamentos_de_diseno/03_CoeficienteSeguridad.pdf)

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido por elemento mediante el cual se seleccionará la viga a utilizar:

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{3.075435 \text{ Nm}}{1,26510^8 \text{ Pa}}$$

$$S_y = 2,43117391310^{-8} \text{ m}^3$$

Donde:

$S_y = \text{Módulo De Sección}$

$M_{Máx} = \text{Momento Flector Máximo Aplicado}$

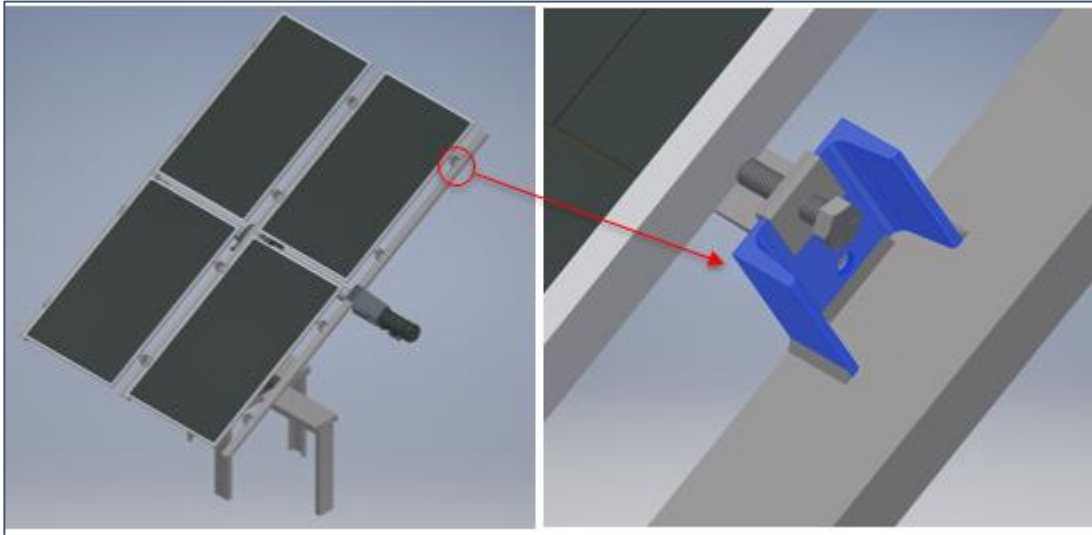
$\sigma_{Per} = \text{Esfuerzo Permisible}$

Se procede a buscar en la tabla de perfiles en C disponible en el mercado por la compañía DEACERO (Ver Anexo D), y se tiene que el perfil con módulo de sección más cercano al calculado es un perfil C3X3.5, por lo que se selecciona y la viga de soporte lateral queda caracterizada como se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Caracterización y dimensionamiento del Perfil De Soporte Del Panel

			<b>LONGITUD</b>	75,000	mm	
			<b>ÁREA</b>	6,650	cm <sup>2</sup>	
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	49,033	N/m <sup>3</sup>	
			<b>PESO NETO</b>	0,39075	Kg	
			<b>MATERIAL</b>	Acero Al Carbono ASTM A36		
			<b>PROCESO</b>	Laminado En Caliente		
			<b>ESFUERZO ULTIMO</b>	4,080E+08	Pa	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	2,530E+08	Pa	
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,00E+11	Pa	
			<b>EJE X-X</b>	<b>I<sub>x</sub></b>	65,30	cm <sup>4</sup>
				<b>S<sub>x</sub></b>	17,00	cm <sup>3</sup>
				<b>r<sub>x</sub></b>	3,05	cm
			<b>EJE Y-Y</b>	<b>I<sub>y</sub></b>	7,03	cm <sup>4</sup>
				<b>S<sub>y</sub></b>	2,98	cm <sup>3</sup>
<b>r<sub>y</sub></b>	1,00	cm				
<b>C3X3.5</b>						
<b>d</b>	76,200	mm				
<b>t<sub>w</sub></b>	3,350	mm				
<b>b<sub>f</sub></b>	34,800	mm				
<b>T</b>	41,300	mm				

Figura 20. Perfil de Soporte Lateral de Panel.



4.2.3 Viga Soporte Lateral. Para diseñar las vigas de soporte lateral, se procede a realizar el análisis de las cargas a las que está sometido el elemento y así obtener el momento flector máximo al que está sometida la viga.

Figura 21. Esquema viga soporte lateral.

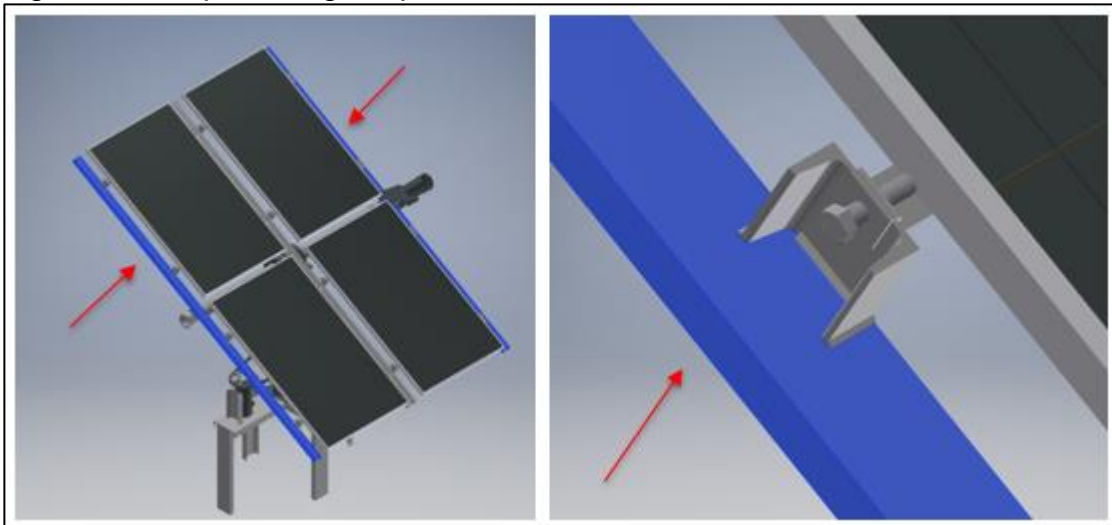
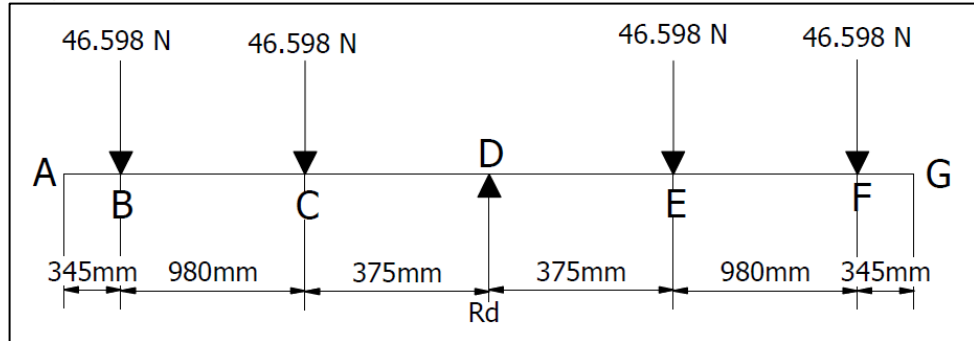


Figura 22. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Lateral.



Se realiza la sumatoria de fuerzas para obtener los diagramas de esfuerzo cortante (Figura 23) y momento flector (Figura 24).

$$\sum F_y = 0$$

$$(-46,958 N) * 4 + R_d = 0$$

$$R_d = 187,832 N$$

Figura 23. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Lateral.

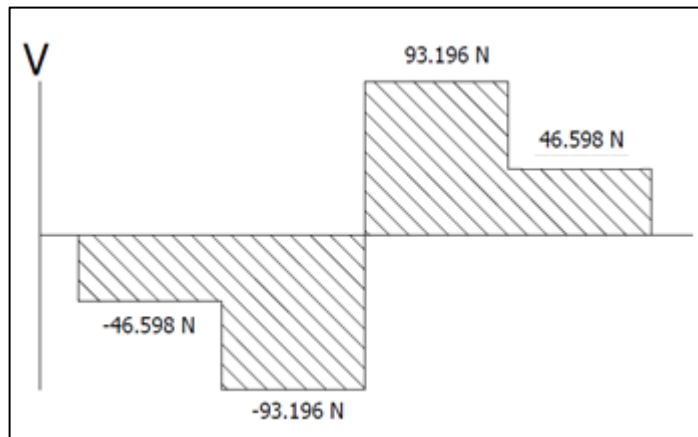
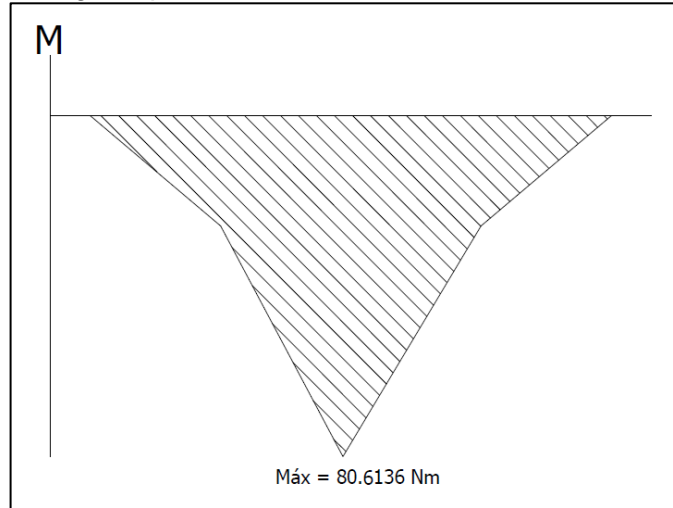




Figura 24. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral.



Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo de la viga requerida para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2 para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{2,53 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,265 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\sigma_{Per}$  = Esfuerzo Permissible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F.S. = Factor Seguridad

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido por elemento mediante el cual se seleccionara la viga a utilizar:

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{80,6136 \text{ Nm}}{1,265 \times 10^8 \text{ Pa}}$$

$$S_y = 6,372616 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Donde:

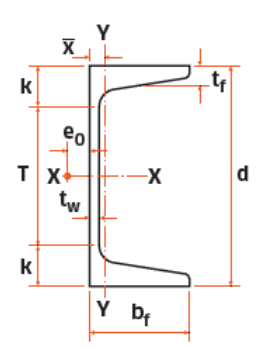
$S_y = \text{Módulo De Sección}$

$M_{Máx} = \text{Momento Flector Máximo Aplicado}$

$\sigma_{Per} = \text{Esfuerzo Permisible}$

Se procede a buscar en la tabla de perfiles en C de la compañía DEACERO (Ver Anexo D), por la que se evidencia que el perfil con módulo de sección más cercano al calculado es un perfil C3X3.5, por lo que se selecciona y la viga de soporte lateral queda caracterizada como se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Lateral

			<b>LONGITUD</b>	3400,000	mm	
			<b>ÁREA</b>	6,650	cm <sup>2</sup>	
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	49,033	N/m <sup>3</sup>	
			<b>PESO NETO</b>	0,39075	Kg	
			<b>MATERIAL</b>	Acero Al Carbono ASTM A36		
			<b>PROCESO</b>	Laminado En Caliente		
			<b>ESFUERZO ULTIMO</b>	4,080E+08	Pa	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	2,530E+08	Pa	
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,00E+11	Pa	
			<b>C3X3.5</b>			<b>EJE X-X</b>
<b>S<sub>x</sub></b>	17,00	cm <sup>3</sup>				
<b>d</b>	76,200	mm	<b>EJE Y-Y</b>	<b>r<sub>x</sub></b>	3,05	
<b>tw</b>	3,350	mm		<b>I<sub>y</sub></b>	7,03	cm <sup>4</sup>
<b>bf</b>	34,800	mm		<b>S<sub>y</sub></b>	2,98	cm <sup>3</sup>
<b>T</b>	41,300	mm		<b>r<sub>y</sub></b>	1,00	cm

4.2.4 Viga Soporte Central. Para realizar el diseño de las vigas de soporte central se procede a hacer el análisis de las cargas a las que está sometido el elemento, y así obtener el momento flector máximo al que está sometido la viga.

Figura 25. Esquema viga central

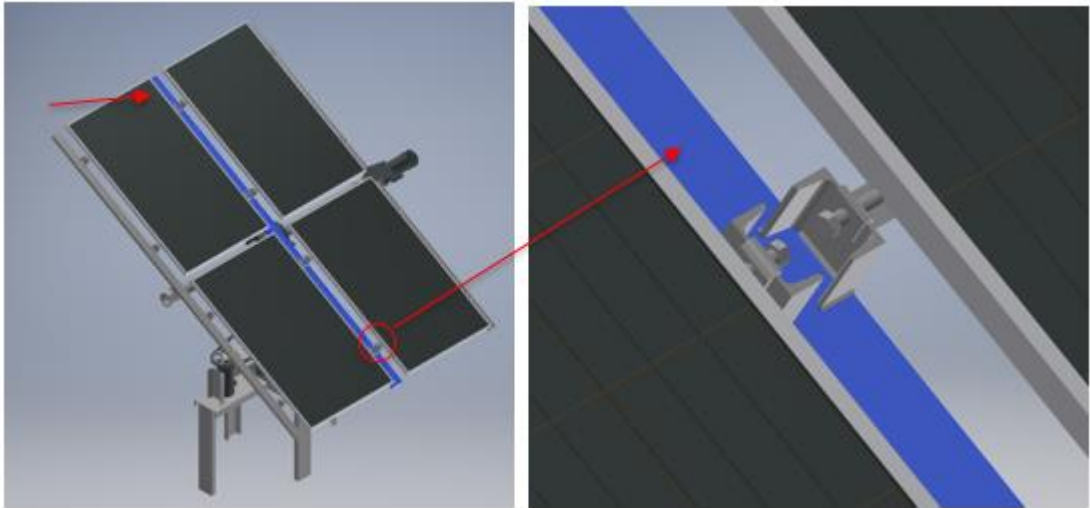
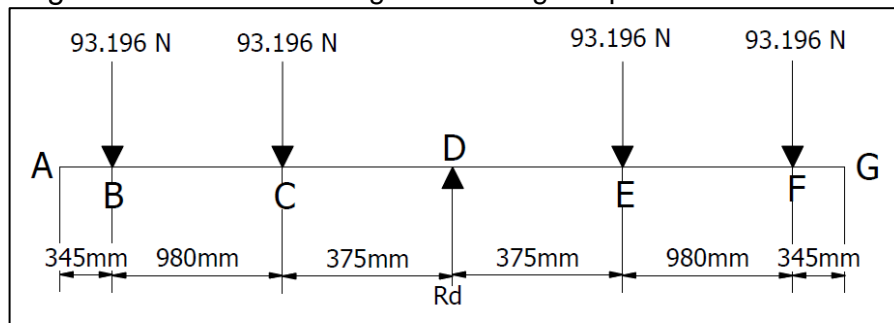


Figura 26. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Central



Se realiza la sumatoria de fuerzas para obtener los diagramas de esfuerzo cortante (Figura 27) y momento flector (Figura 28).

$$\sum F_y = 0$$

$$(-93,196 N) * 4 + R_d = 0$$

$$R_d = 372,784 N$$

Figura 27. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Central.

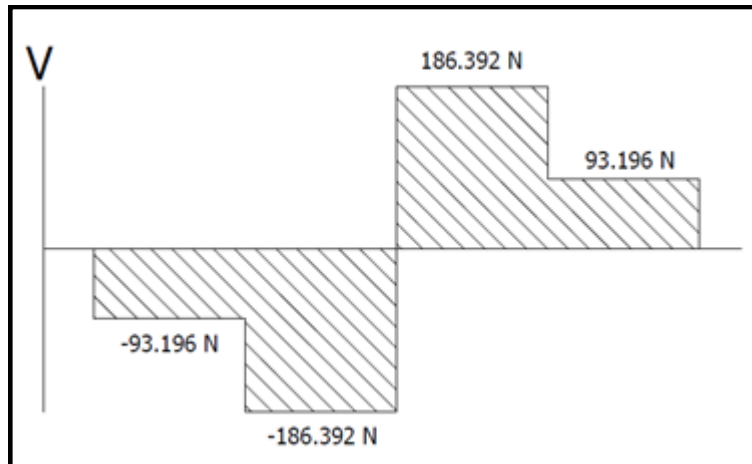
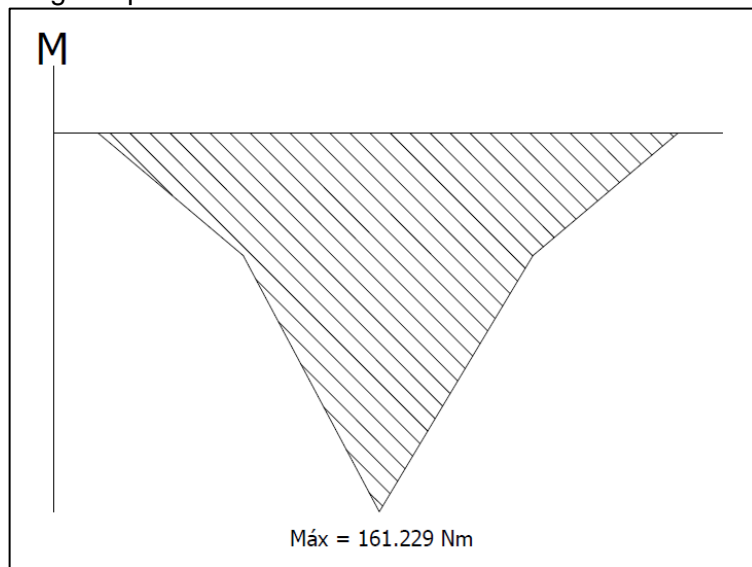


Figura 28. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral.



Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo de la viga requerida para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2, como se explicó anteriormente, para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{2,530 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,265 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\sigma_{Per}$  = *Esfuerzo Permisible*

$\sigma_{Flu}$  = *Esfuerzo Fluencia*

*F.S.* = *Factor Seguridad*

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido por elemento mediante el cual se seleccionará la viga a utilizar:

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{161,22908 \text{ Nm}}{1,265 \times 10^8 \text{ Pa}}$$

$$S_y = 1,99653 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Donde:

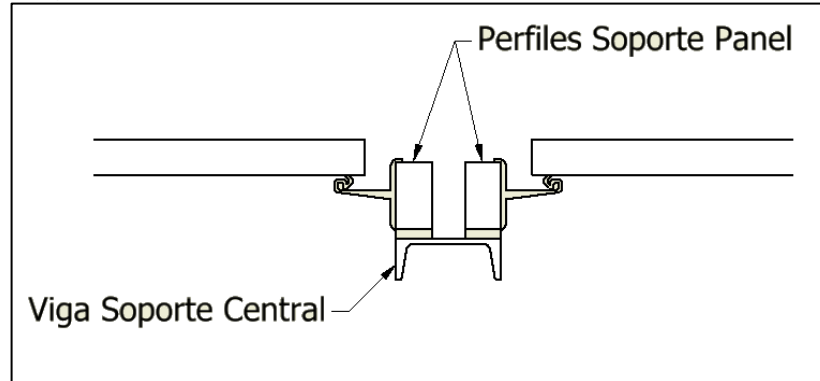
$S_y$  = *Módulo De Sección*

$M_{Máx}$  = *Momento Flector Máximo Aplicado*

$\sigma_{Per}$  = *Esfuerzo Permisible*

Se procede a buscar en la tabla de perfiles en C de la compañía DEACERO (Ver Anexo D), un perfil en C con el módulo de sección más cercano al calculado. El perfil encontrado corresponde a un C3X3.5; sin embargo, debido al montaje que debe realizarse en este tipo de viga (Figura 29) donde dos perfiles de C3X3.5 deberán estar soportados por este, se selecciona un perfil C4X4.5, ya que este perfil por tener un área mayor garantiza el montaje de los perfiles donde estarán soportados los clips de sujeción de los paneles, quedando caracterizada como se presenta en el cuadro 6.

Figura 29. Montaje Viga Soporte Central.



Cuadro 6. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Central

			<b>LONGITUD</b>	3400,000	mm	
			<b>ÁREA</b>	10,260	cm <sup>2</sup>	
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	78,453	N/m <sup>3</sup>	
			<b>PESO NETO</b>	27,336	Kg	
			<b>MATERIAL</b>	Acero Al Carbono ASTM A36		
			<b>PROCESO</b>	Laminado En Caliente		
			<b>ESFUERZO ULTIMO</b>	4,080E+08	Pa	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	2,530E+08	Pa	
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,00E+11	Pa	
			<b>C4x4,5</b>			<b>EJE X-X</b>
<b>d</b>	102,000	mm	<b>S<sub>x</sub></b>	31,50	cm <sup>3</sup>	
<b>t<sub>w</sub></b>	4,670	mm	<b>r<sub>x</sub></b>	3,96	Cm	
<b>b<sub>f</sub></b>	40,200	mm	<b>EJE Y-Y</b>	<b>I<sub>y</sub></b>	13,00	cm <sup>4</sup>
<b>T</b>	63,500	mm		<b>S<sub>y</sub></b>	4,54	cm <sup>3</sup>
				<b>r<sub>y</sub></b>	1,16	cm

4.2.5 Eje de giro horizontal. El eje de giro horizontal será el encargado de soportar toda la estructura superior y dar giro al sistema (Figura 30), este eje es calculado con una longitud total de 3,00 metros para dar margen a los elementos de montaje y acople del motor, así como los de la estructura. Para iniciar su cálculo se procede a realizar el análisis de las cargas (Figura 31) a las que está sometido el elemento y de esta manera obtener el momento flector máximo al que está sometida la viga.

Figura 30. Eje de giro horizontal

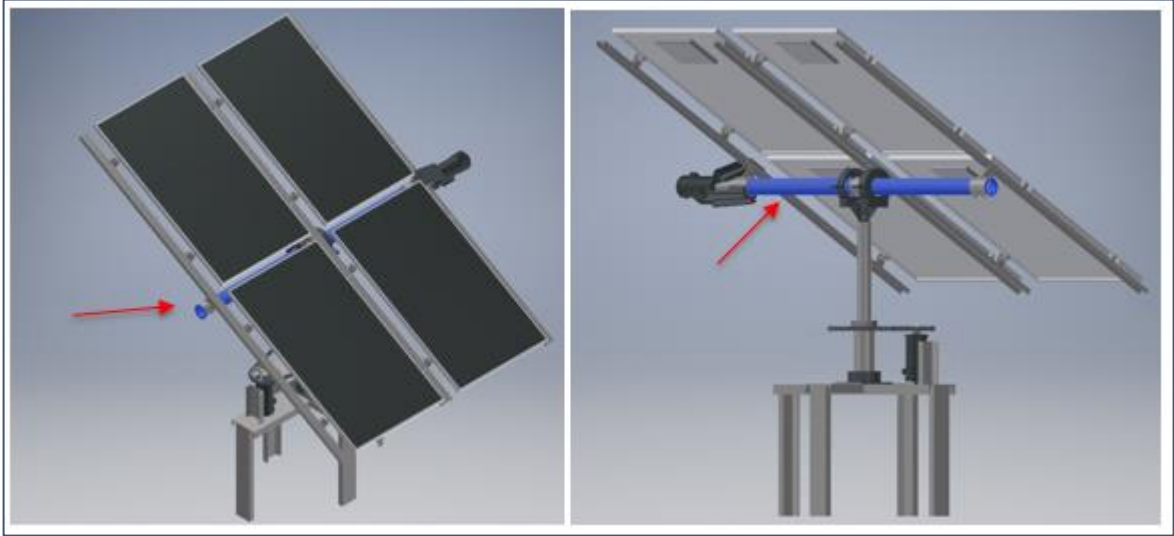
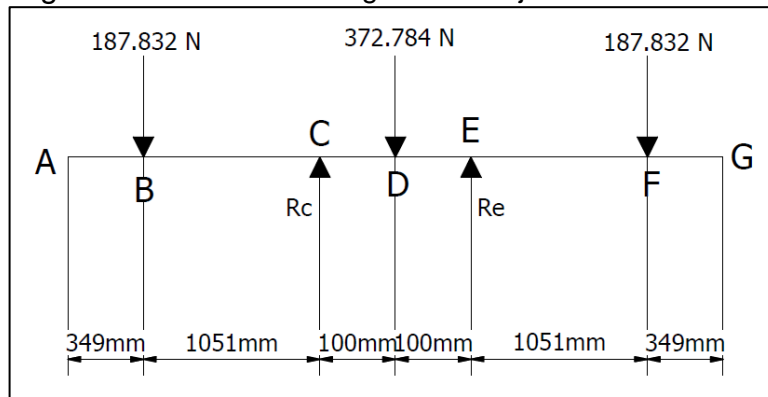


Figura 31. Análisis de Cargas sobre Eje de Giro Horizontal.



Se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos para obtener los diagramas de cortante (Figura 32) y momento flector (Figura 33), el eje se diseñará con un esfuerzo de torsión en el momento que se tengan los elementos adicionales tales como motores:

$$\sum M_c = 0$$

$$(187,832N - 1,051m) - (372,784N * 0,1m) + (R_e * 0,2m) - (187,832N * 1,251m) = 0$$

$$R_e = \frac{74,8448 Nm}{0,2m}$$

$$R_e = 374,224 N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-187,32 \text{ N} + R_c - 372,784 \text{ N} + 374,224 \text{ N} - 187,832 \text{ N} = 0$$

$$R_c = 374,224 \text{ N}$$

Figura 32. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal

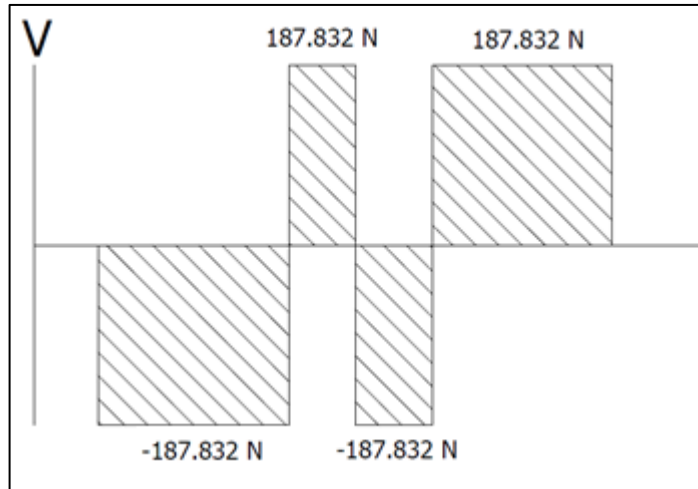
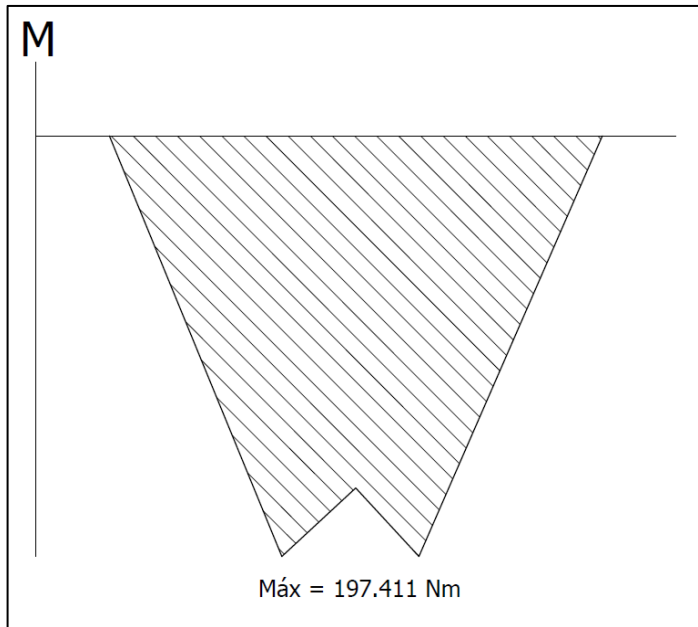


Figura 33. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal





Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo del eje requerido para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2, como se explicó anteriormente, para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{3,310 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,655 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\sigma_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F.S. = Factor Seguridad

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido para el elemento

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{197,411 \text{ Nm}}{1,655 \times 10^8 \text{ Pa}}$$

$$S_y = 1,1928110^{-6} \text{ m}^3$$

Donde:

$S_y$  = Módulo De Sección

$M_{Máx}$  = Momento Flector Máximo Aplicado

$\sigma_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

Con el módulo de sección mínimo requerido se procede a seleccionar la geometría del eje, para reducir el peso de la estructura se define que deberá ser hueco. En el catálogo de la compañía CODIACERO (Anexo D) se selecciona un tubo con el diámetro y espesor de pared requerido, de tal manera que el eje de Giro horizontal queda caracterizado como se presenta en la Cuadro 7.

Cuadro 7. Caracterización y dimensionamiento del Eje de Giro Horizontal

			<b>I</b>	300.21	cm <sup>4</sup>
			<b>S</b>	52.53	cm <sup>3</sup>
			<b>r</b>	3.83	cm <sup>3</sup>
			<b>J</b>	70.45	cm <sup>4</sup>
			<b>LONGITUD</b>	3000,000	mm
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	16,070	Kg/m
			<b>PESO NETO</b>	27,336	Kg
			<b>MATERIAL</b>	Acero ASTM A53GRA	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	3,310E+08	Pa
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,07E+08	Pa
<b>d<sub>nominal</sub></b>	4	in			
<b>d<sub>ext</sub></b>	114,3	mm			
<b>e<sub>Pared</sub></b>	6,00	mm			

#### 4.2.5 Acople estructura superior-eje de giro.

Figura 34. Acople estructura superior eje de giro

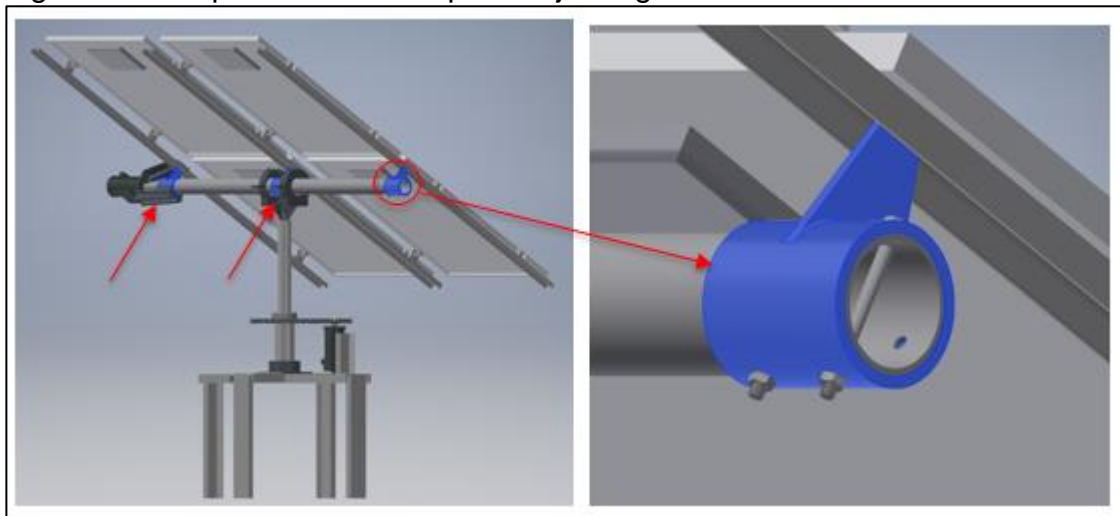
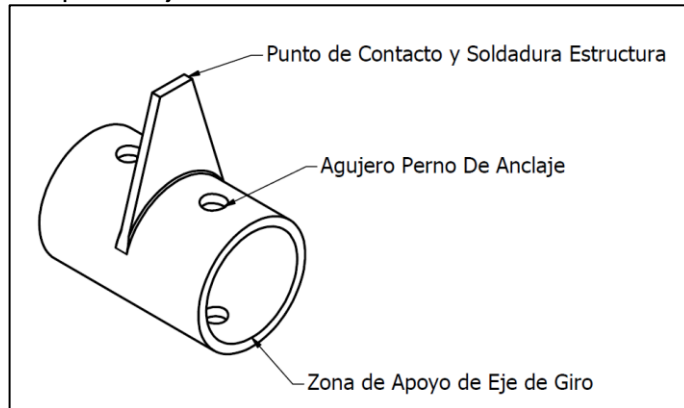


Figura 35. Esquema General Acople Estructura Superior-Eje De Giro

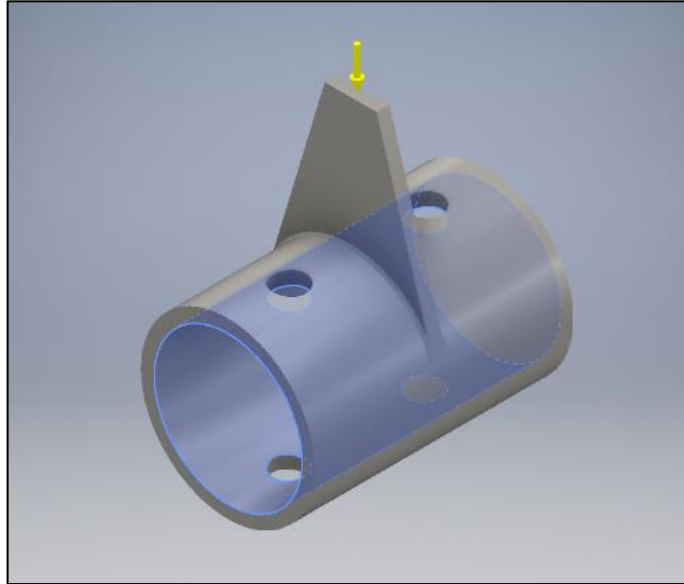


Para realizar la unión entre la estructura de soporte de los paneles y el eje encargado de dar el giro horizontal al sistema, es necesario diseñar una pieza que garantice una unión firme entre los dos elementos, por lo que para realizar este diseño se parte de las dimensiones básicas del perfil que deberá sostener, así como las dimensiones donde deberá estar apoyado. Se realiza un diseño preliminar como el presentado en la figura 30, donde la viga de soporte estructural estará unida al acople de la estructura de giro mediante soldadura, y el acople estará fijado sobre el eje mediante la utilización de pernos.

El diseño del elemento parte con un espesor de 10 mm, tanto para el cilindro como para la platina que irá soldada en la parte superior al perfil, y un material de fabricación en acero inoxidable 440C, de esta manera se procede mediante el método de elementos finitos (MEF), a verificar que el elemento cumpla con las condiciones de diseño de la siguiente manera:

- ✓ Se coloca la restricción de movimiento en la zona de apoyo del eje de giro. (Figura 36).

Figura 36. Restricción Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 0°



➤ Se aplica una fuerza en la cara superior donde va a estar apoyada la viga de 372,784 N (Figura 37) que corresponde a la máxima reacción que deberá soportar el elemento que se encuentra en la Viga Soporte Central.

Figura 37. Carga Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 0°.

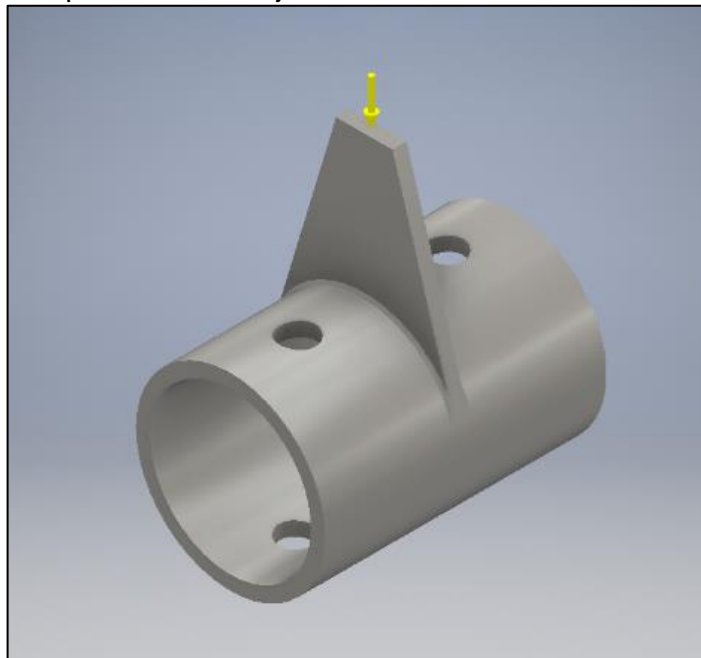


Figura 38. Análisis Von Mises Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°

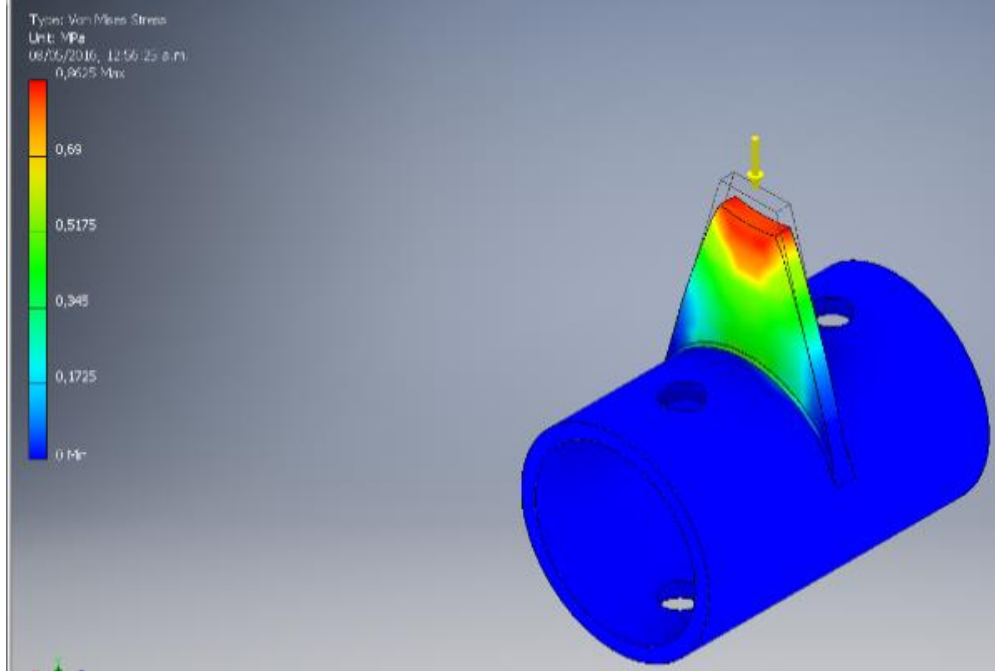


Figura 39. Análisis deformación Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°

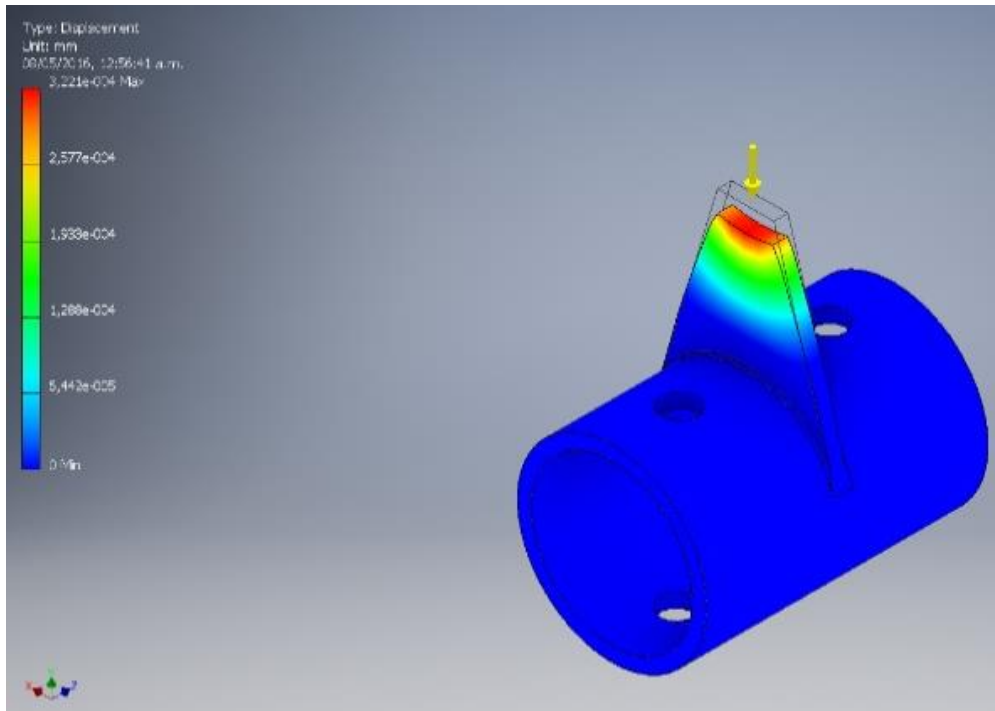
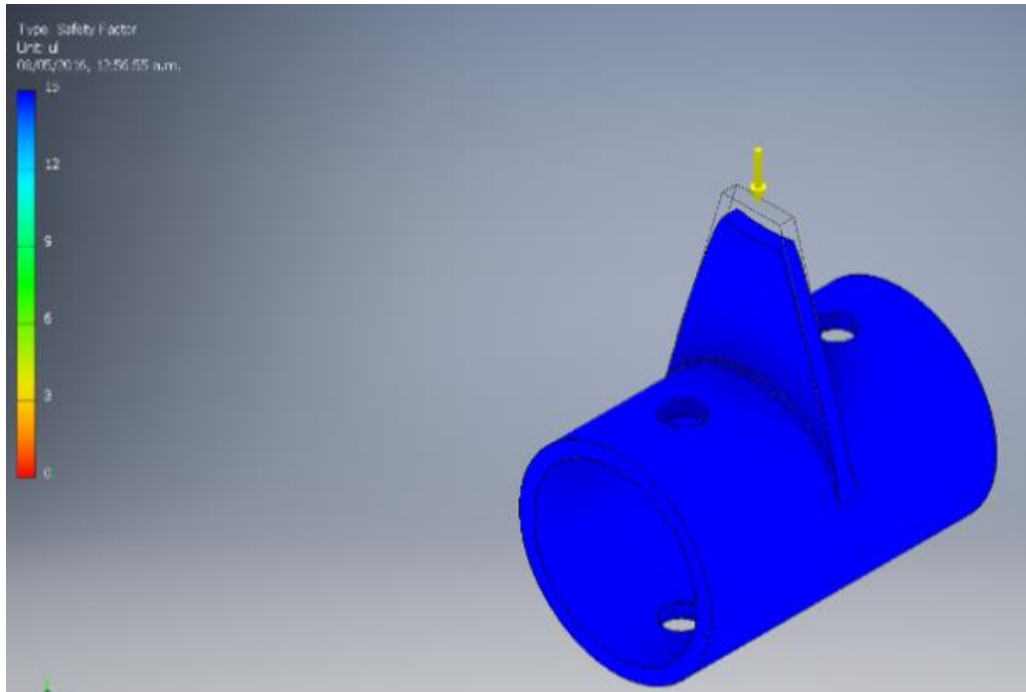


Figura 40. Análisis factor de seguridad Acople Estructura Superior-Eje De Giro 0°

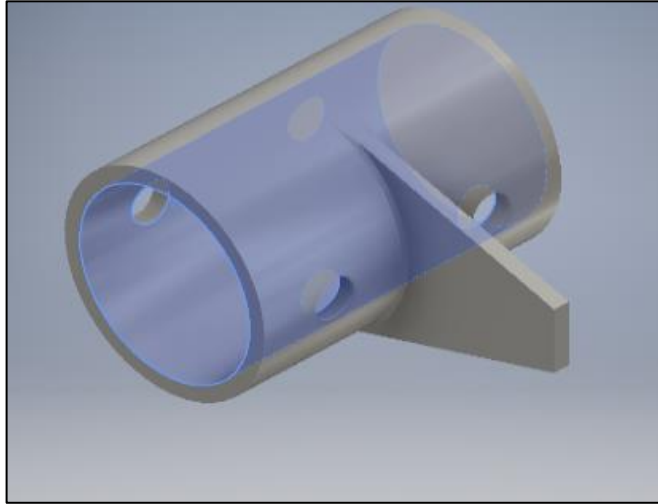


De lo anterior, se puede apreciar que la deformación máxima generada por la carga aplicada es de  $1.071 \times 10^9$  mm, por otro lado, el esfuerzo máximo al que está sometido el elemento no supera el límite de fluencia del material como se aprecia en los resultados para el Esfuerzo Von Mises, donde el esfuerzo máximo al que está sometido el elemento es de 0.3372 MPa, adicionalmente, con un factor de seguridad de 15 en el elemento, se determina que el diseño realizado para el elemento cumple con las características de diseño requeridas.

El anterior análisis estudia al elemento en la situación donde los paneles se encuentran a 0° sin embargo para garantizar su funcionamiento cuando el elemento opere en ángulos diferentes a 0°, se realiza el análisis suponiendo que el elemento está soportando los paneles en la posición a 90° de la siguiente manera:

- Se coloca la restricción de movimiento en la zona de apoyo de eje de giro. (Figura 41).

Figura 41. Restricción Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 90°



- Se aplica una fuerza de manera tangente a la cara superior donde va a estar apoyada la viga en dirección hacia abajo de 372,784N (Figura 42), que corresponde a la máxima reacción que deberá soportar el elemento que se encuentra en la Viga Soporte Central. (En la simulación se aplican dos fuerzas cada una de 186,42N sobre los vértices de la superficie para tener un total de 372,784N)

Figura 42. Carga Aplicada Para Análisis MEF Al Acople Estructura-Eje 90°

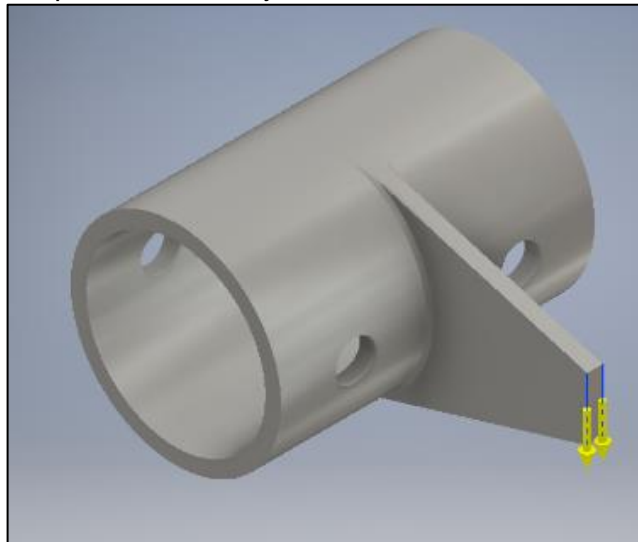


Figura 43. Análisis Von Misses Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°

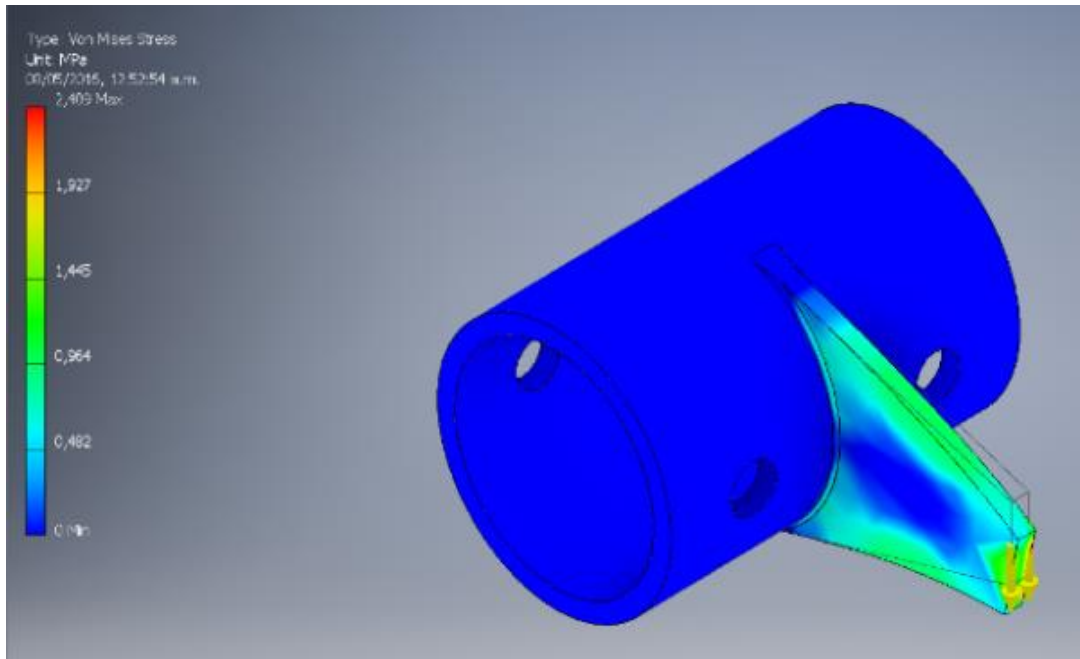


Figura 44. Análisis deformación Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°

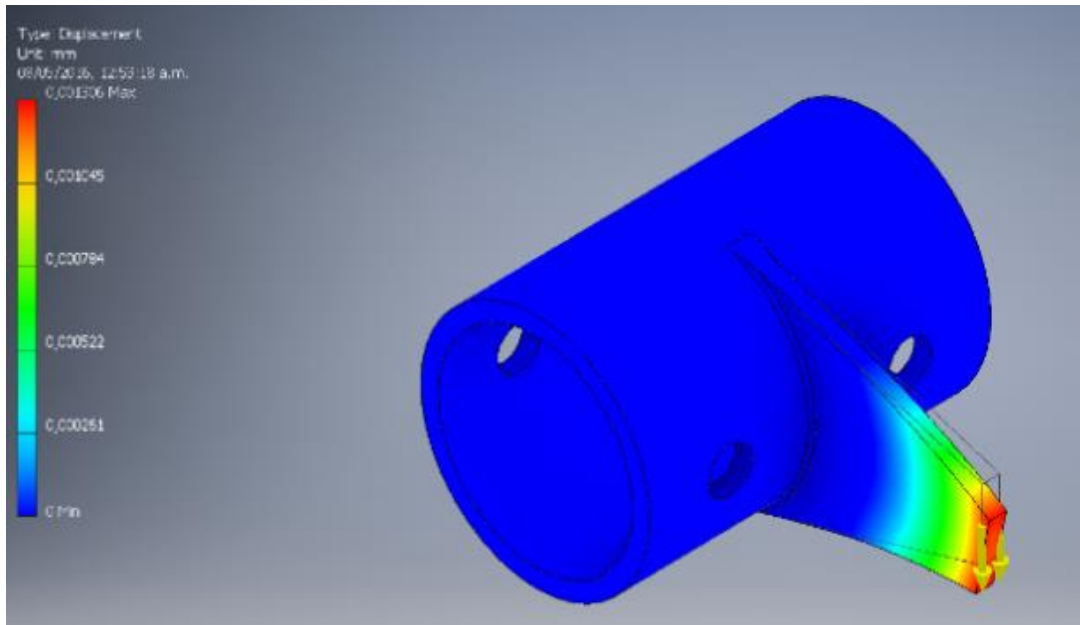
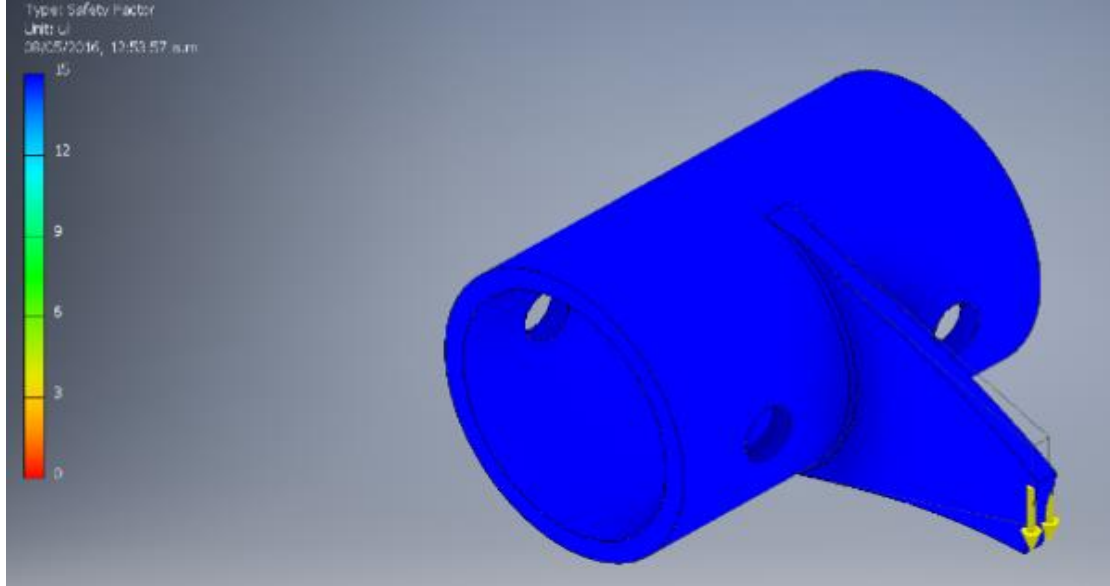




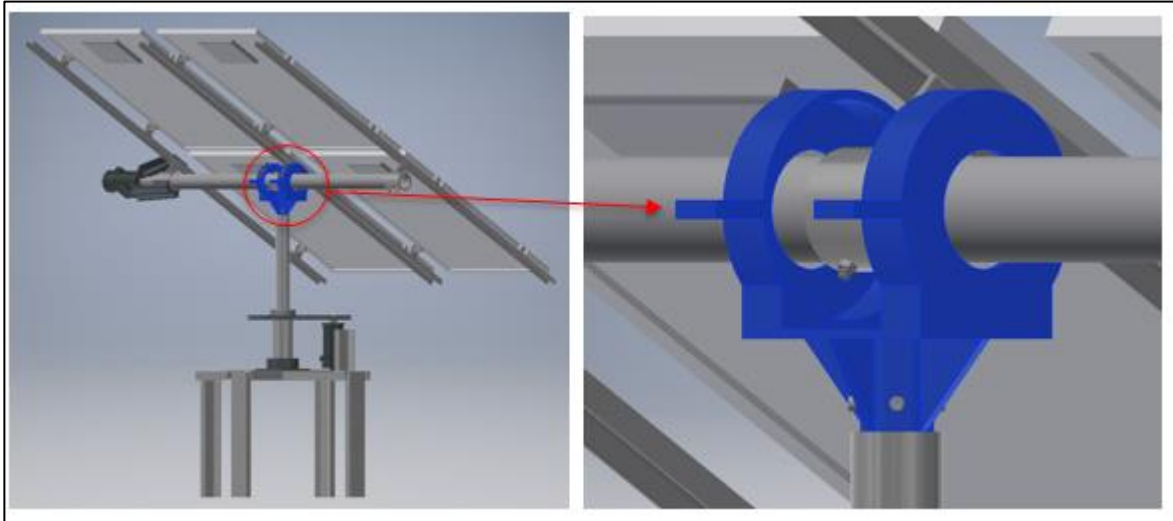
Figura 45. Análisis factor de seguridad Acople Estructura Superior-Eje De Giro 90°



De lo anterior, se evidencia, que la deformación máxima generada por la carga aplicada es de  $0.001306 \times 10^{-4} \text{ mm}$ , y el esfuerzo máximo al que está sometido el elemento es de  $0.3372 \text{ MPa}$  en los resultados para el Esfuerzo Von Mises; los resultados son mayores que en el análisis del elemento en posición  $0^\circ$ , el esfuerzo máximo al que está sometido el elemento sigue sin superar el esfuerzo de fluencia del material, y la deformación sigue siendo despreciable comparada con las dimensiones del elemento como lo evidencia el análisis de factor de seguridad, cuyo valor fue de 15 en el elemento, por lo tanto, se determina que el diseño realizado para el elemento cumple con las características de diseño requeridas.

4.2.6 Acople Eje De Giro-Sistema Rotacional. El acople de eje del giro-estructura Inferior tiene como objetivo unir el arreglo de paneles superior con el eje del sistema de giro rotacional. Está compuesto por tres partes fundamentales: los rodamientos de montaje, la carcasa de soporte, y el sistema de acople al eje rotacional (Figura 46).

Figura 46. Acople Eje De Giro-Sistema Rotacional



➤ Selección de Rodamientos Montaje

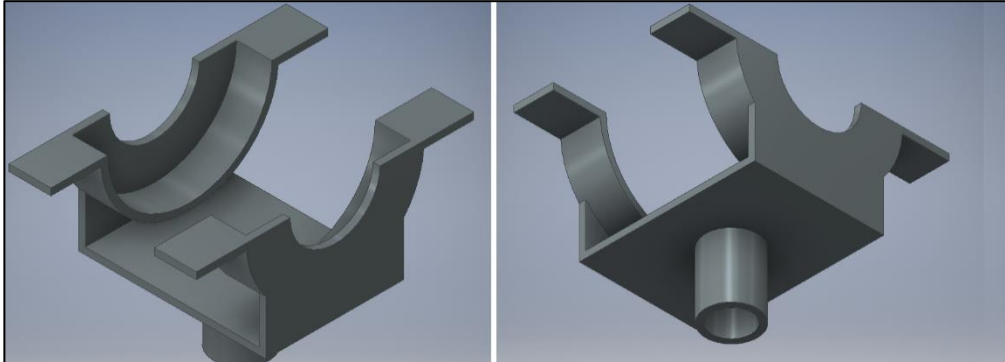
De acuerdo a las cargas obtenidas en los apoyos en el cálculo del eje de giro horizontal (374.224 N cada una) y el diámetro del eje seleccionado (114.3mm), se realiza una búsqueda dentro el catálogo del proveedor SKF obteniendo como resultado el rodamiento RMS36 con las siguientes características:

Cuadro 8. Caracterización y dimensionamiento Rodamiento RMS36

<b>RMS36</b>			
Básicas	Montaje		
		d	114.3mm
		D	238.125mm
		B	50.8mm
		d1	149.5mm
		D1	199.5mm
		R1,2 min	4.8mm
		da min	124mm
		Da máx	226mm
		Ra máx	2.5
		Rango de Carga Básica Dinámica (C)	
Rango de Carga Básica Estática (C0)		180kN	
Límite de Carga por Fatiga		5.7kN	
Velocidad de Referencia		6000RPM	
Velocidad Limitante		5300RPM	
Factor Calculo 1 (kr)		0.03	
Factor Calculo 2 (f0)		13.1	
Masa del Rodamiento		9.137kg	

➤ Carcasa De Soporte

Figura 47. Diseño Inicial Carcasa de Soporte Acople Eje de Giro-Sistema



Para el diseño de la carcasa de soporte, en primer lugar, se realiza un diseño rectangular que permita el apoyo de los rodamientos, el cual posee en un su parte inferior una estructura cilíndrica en la que se apoyara en el eje de giro horizontal (Figura 47).

Se comienza la simulación con este modelo base ubicando restricciones (Figura 48) y cargas (374.22N en cada soporte de rodamiento) (Figura 49)

Figura 48. Restricción Carcasa de Soporte

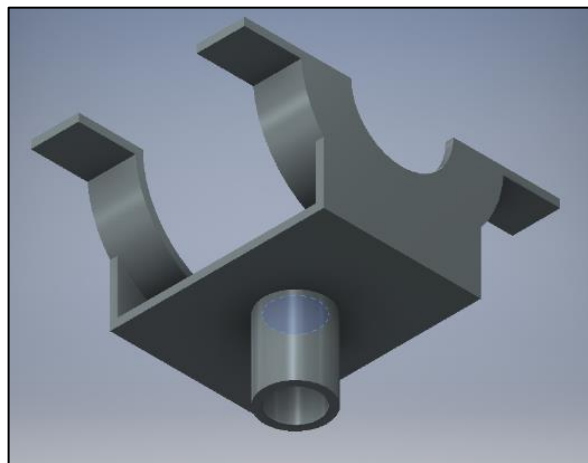
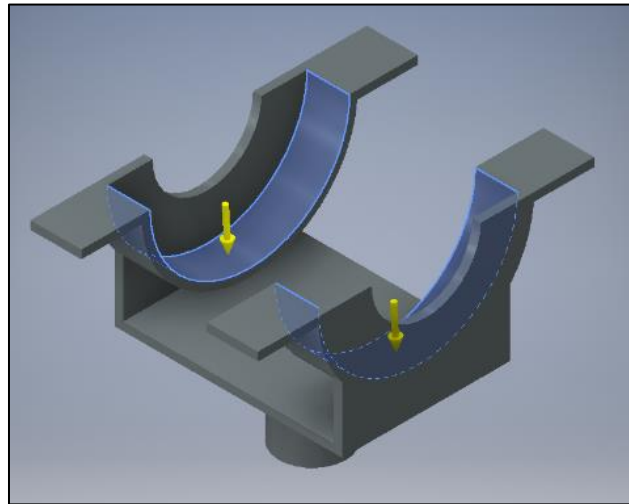
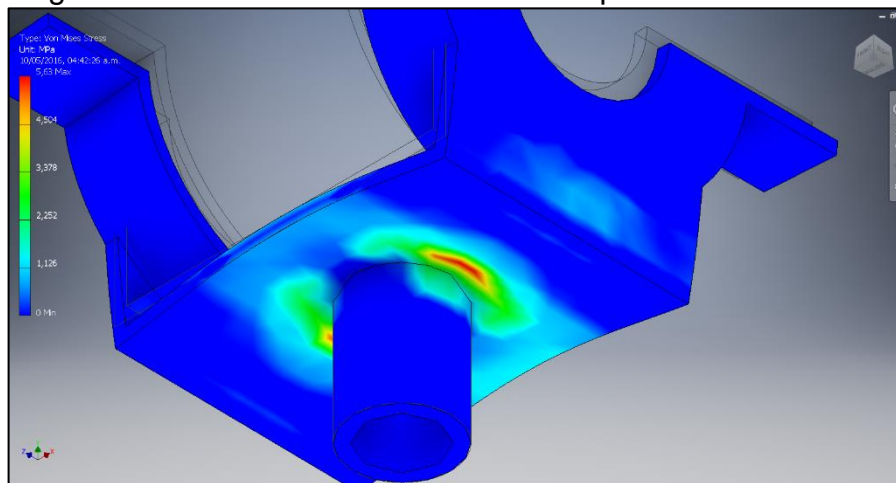


Figura 49. Cargas Aplicadas Carcasa de Soporte



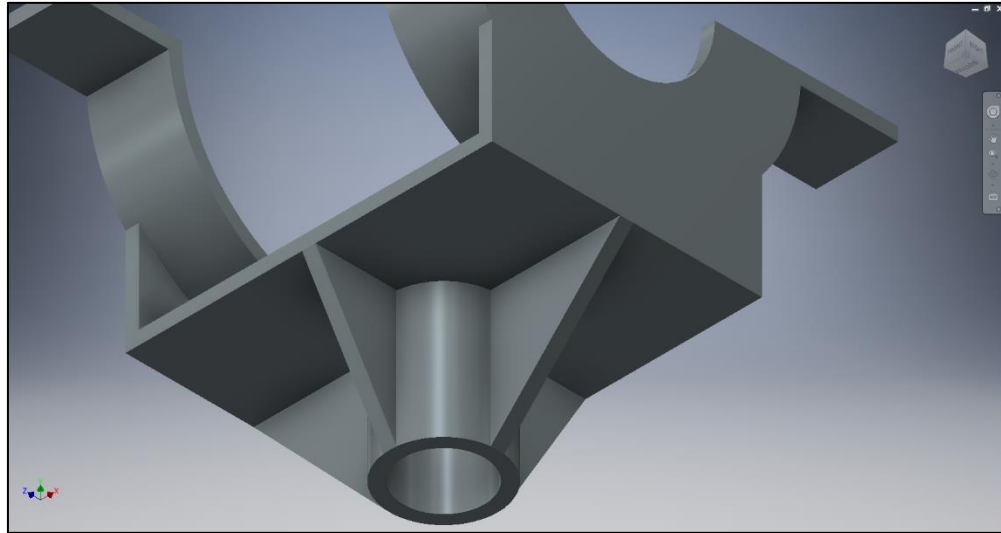
Al realizar la simulación y analizar los resultados para esfuerzo Von Mises, se evidencian las zonas críticas del sistema ubicadas en la platina inferior entre la unión con la zona de apoyo del eje y la unión de los soportes laterales, con esfuerzo máximo en el sistema de 4,504 MPa (Figura 50).

Figura 50. Zonas Críticas Carcasa de Soporte



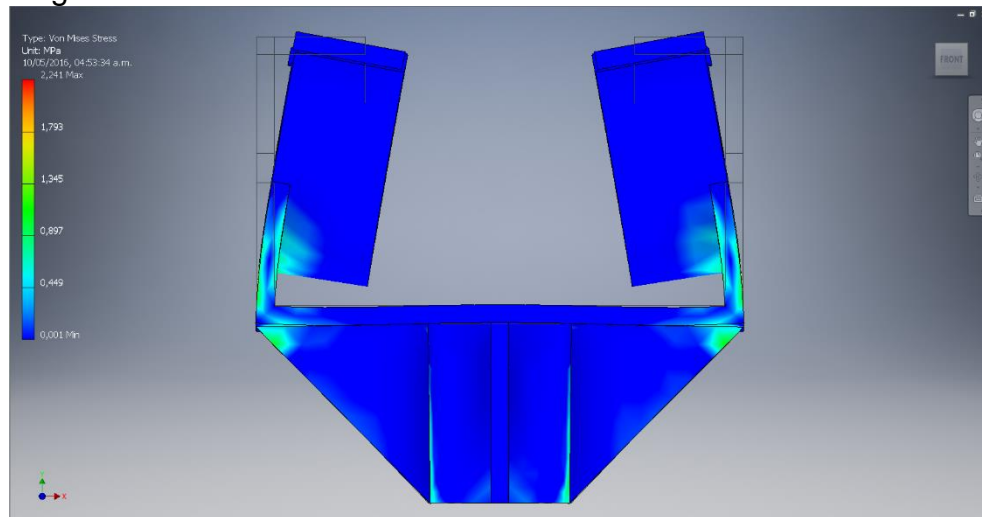
Para la deformación y sobrecarga del sistema en esta zona se realizan nervaduras de apoyo en forma de cruz, las cuales se hacen del mismo espesor del resto de las secciones de la pieza (10mm) y se realizan de manera completa hasta la sección final del cilindro (Figura 51).

Figura 51. Nervaduras de Apoyo agregadas



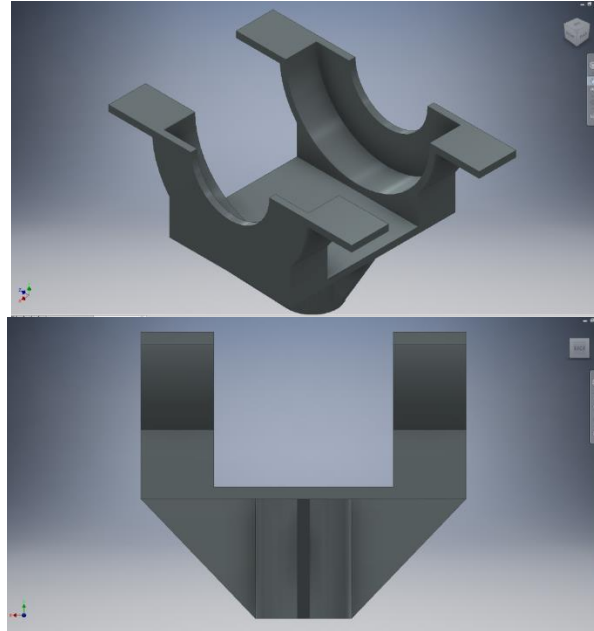
Una vez agregadas las nervaduras y realizada nuevamente la simulación, se detecta otra zona crítica del sistema, correspondiente a la sección que une la platina inferior con el soporte de los rodamientos, con esfuerzos máximos en el sistema de 1.793 MPa (Figura 52).

Figura 52. Zonas Críticas Encontradas En unión con Platina Inferior



Para reducir los esfuerzos en esta zona, se elimina el espacio existente entre la platina inferior y el soporte de los rodamientos, haciendo que la carga aplicada sobre los rodamientos se distribuya de manera uniforme sobre la platina inferior (Figura 53).

Figura 53. Refuerzos Realizados en Zonas de Soporte de Rodamientos



Adicionalmente, para poder realizar el ajuste con el eje de sistema rotacional, se realizan 4 perforaciones roscadas M10X1,5 para colocar tornillos prisioneros encargados de apretar el eje de giro rotacional al acople. Estas perforaciones no generan una concentración de esfuerzos en esta zona aunque incrementan el esfuerzo máximo en el elemento a 1.978 MPa; este valor sigue estando debajo del límite de fluencia del material, por lo que se obtiene la pieza óptima con los resultados presentados en el cuadro 9:

Figura 54. Esfuerzo Von Misses luego de perforaciones y Refuerzos

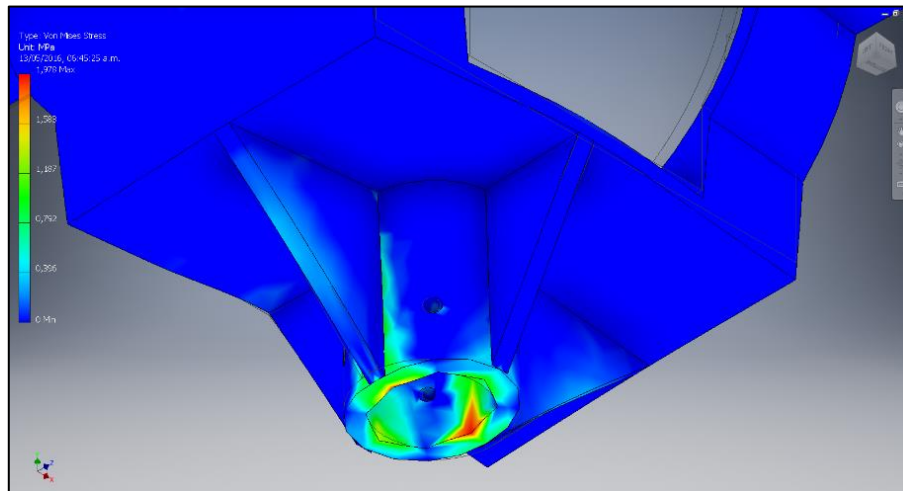


Figura 55. Análisis Von Misses carcasa de soporte

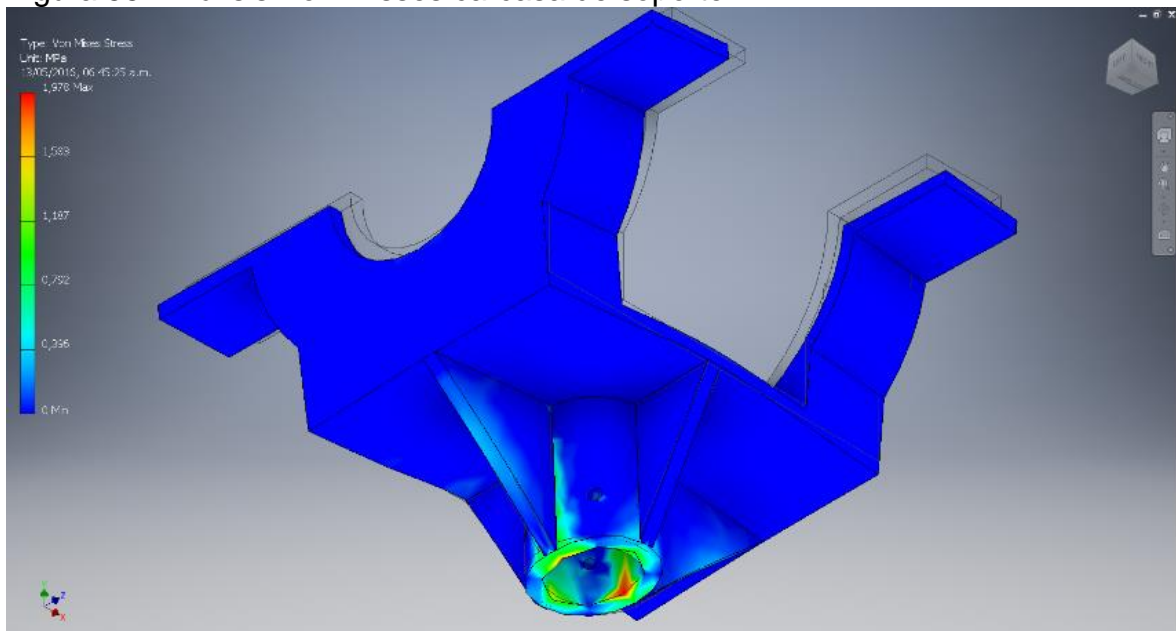


Figura 56. Análisis de deformación carcasa de soporte

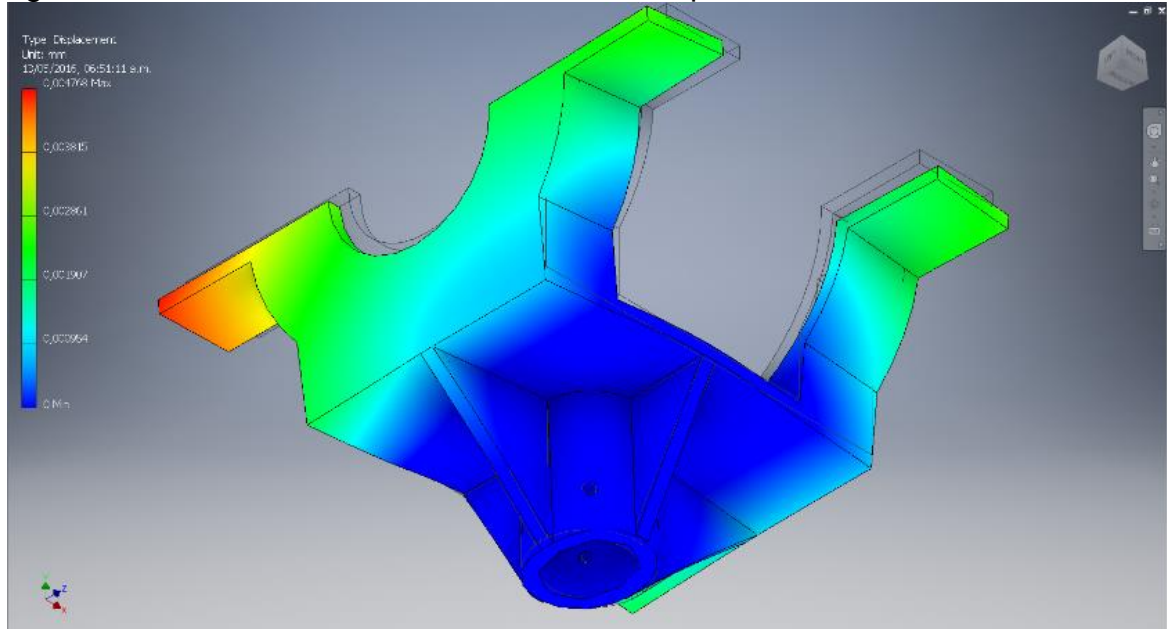
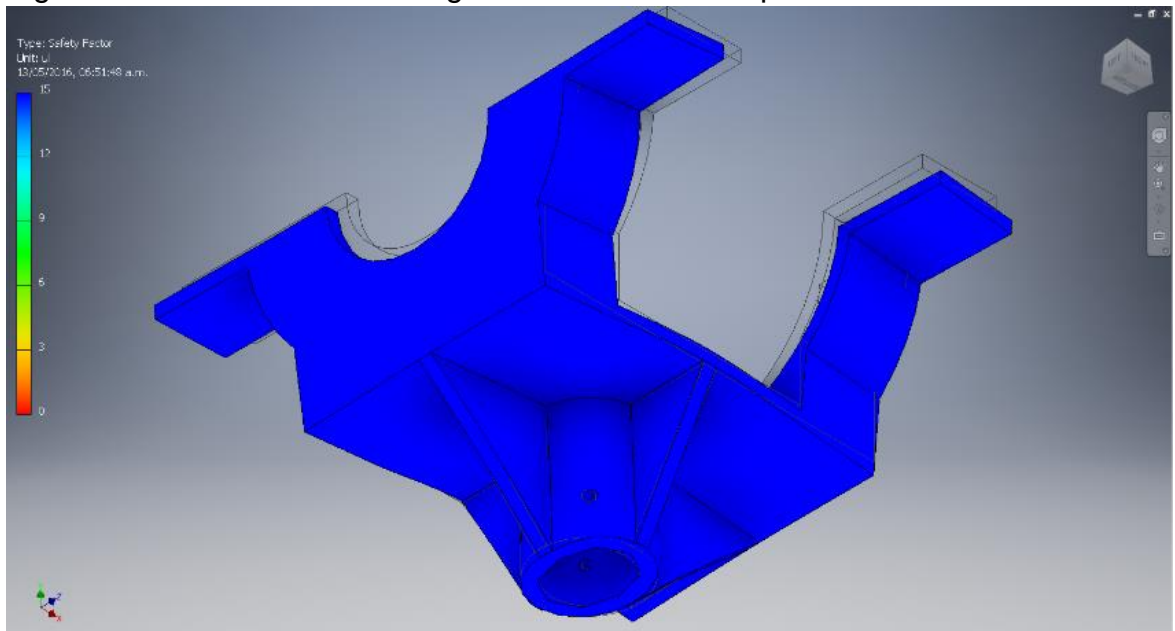


Figura 57. Análisis factor de seguridad carcasa de soporte



Cuadro 9. Resumen resultados carcasa de soporte

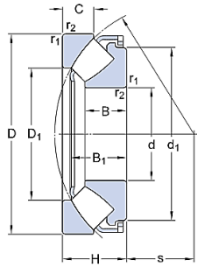
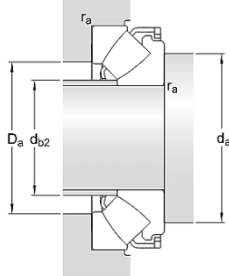
VON MISSES	Máx:1.978Mpa
DEFORMACIÓN	Máx:0.004768mm
FACTOR SEGURIDAD	Min:15



### 4.3 SISTEMA ESTRUCTURA DE ROTACIÓN

4.3.1 Selección de rodamiento giro rotacional. Toda la estructura deberá ir soportada sobre un rodamiento cónico que permita el giro rotacional de la estructura, por lo que para su selección se tuvo en cuenta la carga máxima que deberá soportar axialmente, que corresponde a la sumatoria de la reacción en los apoyos del sistema de eje de giro Horizontal (748.448N). Adicionalmente se define un diámetro de eje de 100mm obteniendo como resultado:

Cuadro 10. Caracterización y dimensionamiento Rodamiento 29420 E

<b>29420 E</b>			
Básicas	Montaje		
		d	100mm
		D	210mm
		H	67mm
		d1	182mm
		D1	142mm
		B	43mm
		B1	57.3mm
		C	32mm
		s	62mm
		r1,2 min	3mm
		da min	150mm
		Da máx	175mm
		ra máx	2.5
		Rango de Carga Básica Dinámica (C)	
Rango de Carga Básica Estática (C0)		2500kN	
Límite de Carga por Fatiga		275kN	
Velocidad de Referencia		1700RPM	
Velocidad Limitante		3000RPM	
Factor De Carga Axial (A)		0.59	
Masa del Rodamiento		10.5Kg	

La carga máxima axial para el rodamiento tanto dinámica como estática se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C_{Axial} = C_B * A$$

Donde:

$C_{Axial}$  = Carga Axial Soportada

$C_B$  = Carga Básica Soportada (Estática o Dinámica)

$A$  = Factor de Carga Axial

Se selecciona el rango de carga básica Dinámica que es el menor para calcular la carga axial soportada por el rodamiento, obteniendo:

$$C_{Axial} = C_B * A$$

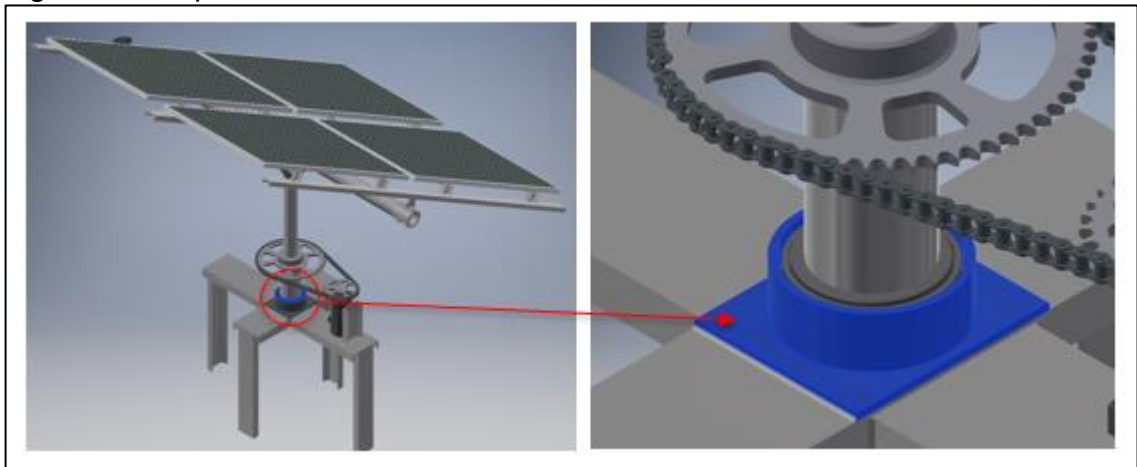
$$C_{Axial} = 980kN * 0,59$$

$$C_{Axial} = 578,2kN$$

Adicional al rodamiento de movimiento, también se considera la implementación de un rodamiento de cilindros SKF 33205/Q debido a las cargas radiales y axiales que se presentan en el sistema debido a la carga generada por el viento y el sistema de movimiento horizontal. (Anexo E)

#### 4.3.2 Soporte Rodamiento Giro Rotacional-Estructura Principal

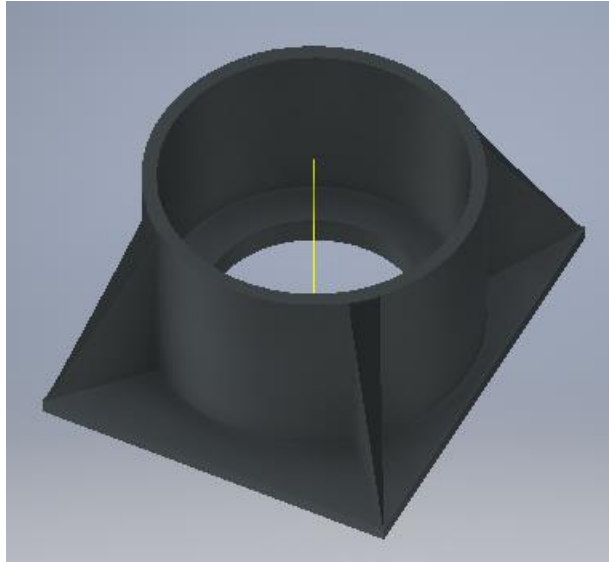
Figura 58. Soporte Rodamiento de Giro Rotacional



El soporte para el rodamiento de giro rotacional tiene como objetivo unir el rodamiento al sistema estructural principal con el eje principal del sistema (Figura 44).

Para iniciar su diseño, se debe tener en cuenta que tiene que estar apoyado sobre una viga de perfil C10X15.3, debido a su geometría por lo que se define un diseño preliminar como el presentado en la figura 59.

Figura 59. Diseño Preliminar Soporte Rodamiento de Giro Rotacional



Se comienza la simulación con este modelo base ubicando restricciones (Figura 60) y cargas (748,448N en superficie de apoyo equivalente a una presión de 0.44166647MPa) (Figura61)

Figura 60. Restricción Soporte Rodamiento Giro Rotacional

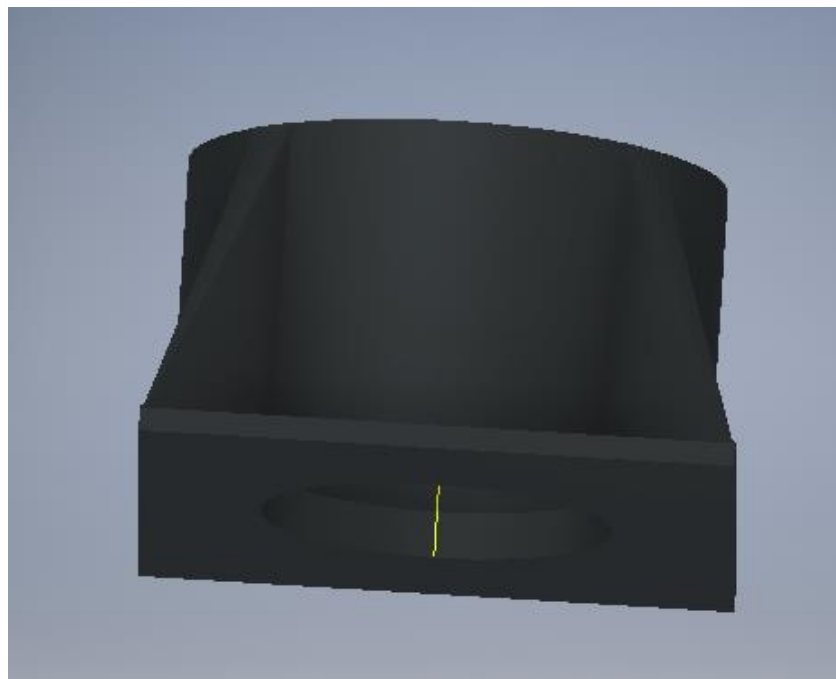
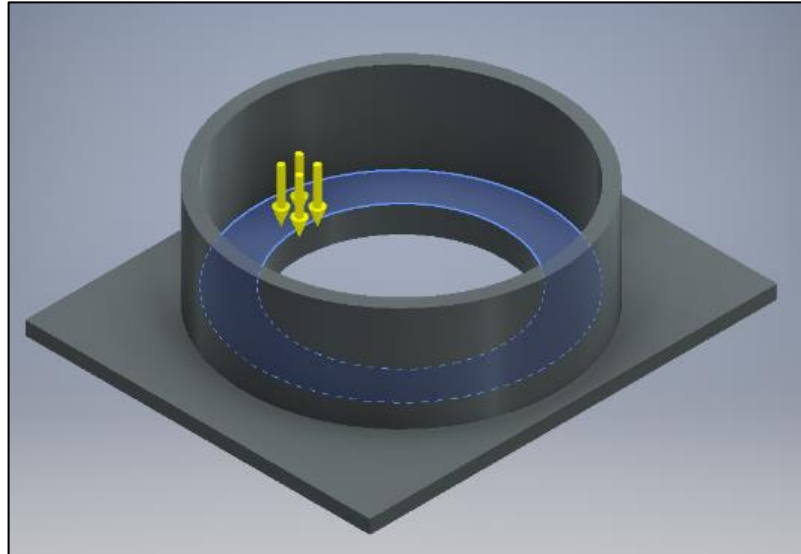


Figura 61. Cargas Aplicadas en Soporte Rodamiento Giro Rotacional



Una vez desarrollada la simulación se obtienen los resultados presentados en el cuadro 13.

Figura 62. Análisis von misses soporte rodamiento giro rotacional

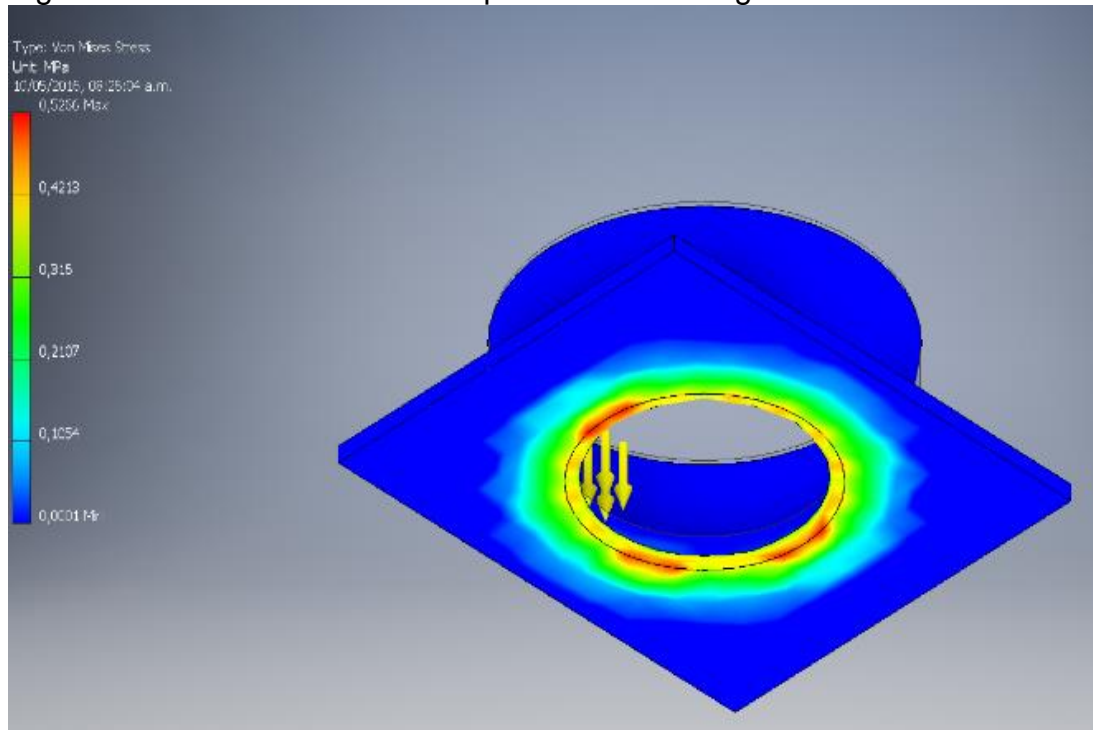


Figura 63. Análisis deformación soporte rodamiento giro rotacional

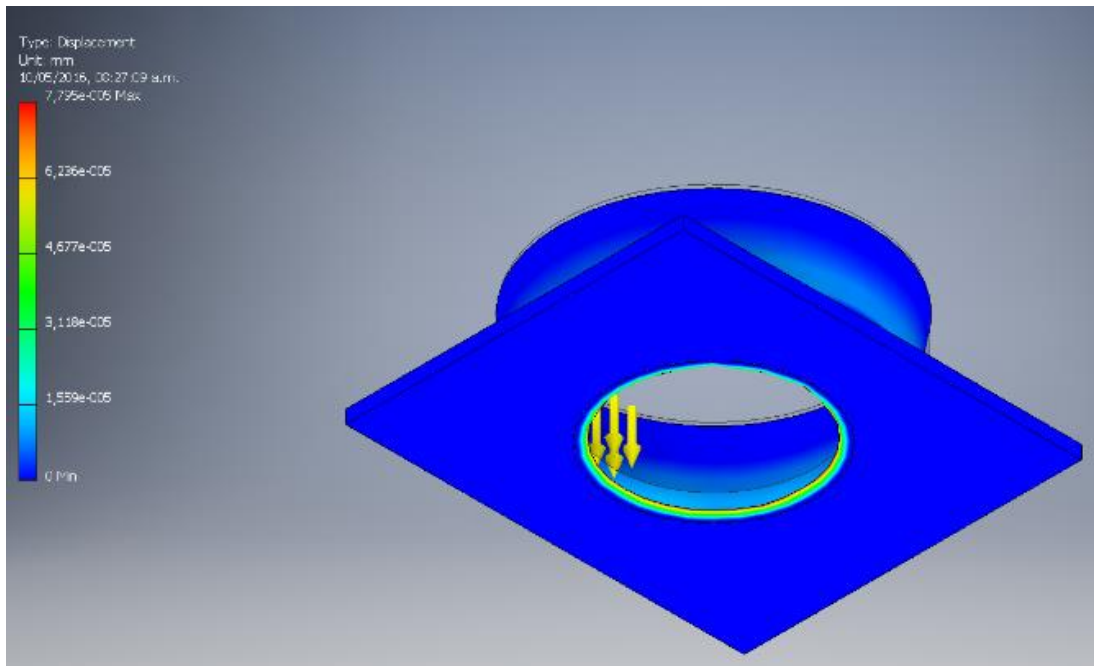
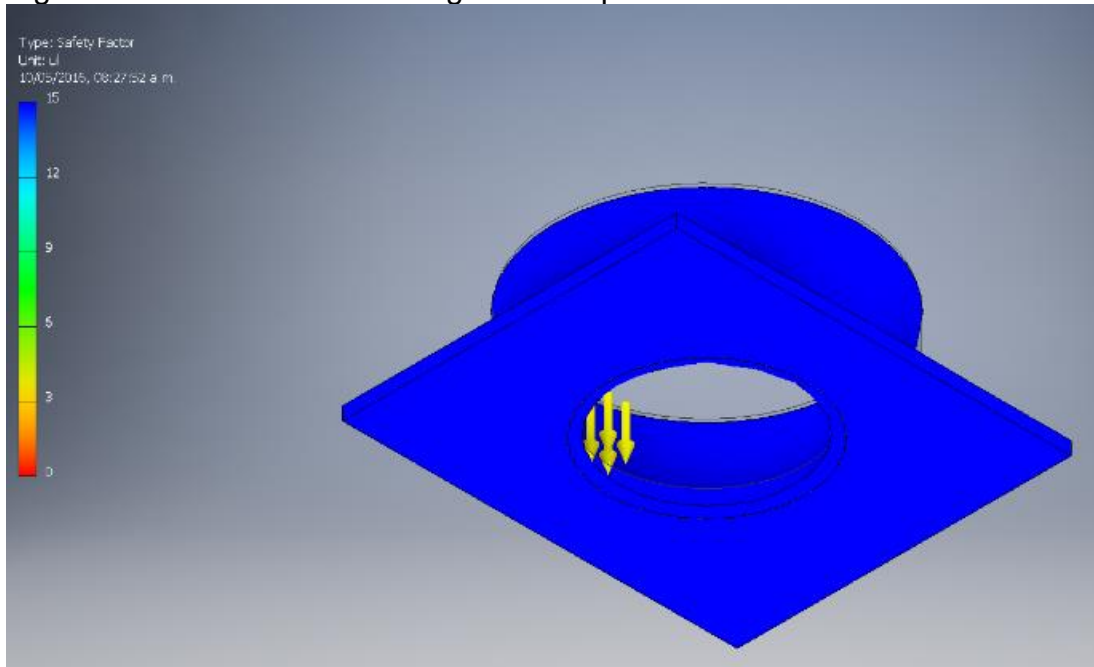


Figura 64. Análisis factor de seguridad Soporte Rodamiento Giro Rotacional



Cuadro 11. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Rodamiento Giro Rotacional

VON MISSES	Máx:0.5266Mpa
DEFORMACIÓN	Máx:7.795E-05mm
FACTOR SEGURIDAD	Min:15

De acuerdo a los resultados del sistema, la deformación es demasiado pequeña y el esfuerzo máximo encontrado (0.5266MPa) en el sistema no supera el esfuerzo de fluencia del material (151MPa) por lo que se determina que el sistema cumple con los requerimientos del diseño.

#### 4.3.3 Eje de Giro Rotacional

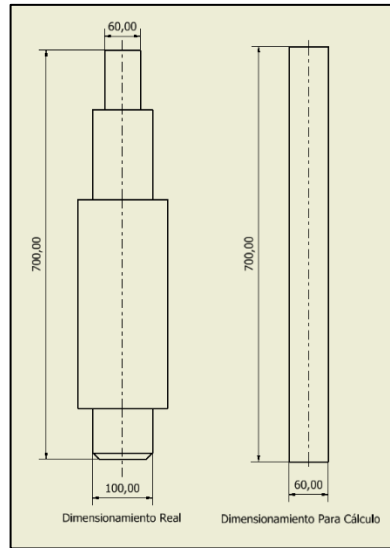
Figura 65. Montaje de Eje Giro Rotacional y Carga Principal Aplicada



El cálculo del Eje de Giro Rotacional deberá realizarse de forma estructural, debido a que la carga que va a estar soportando axialmente (350 Kg, este valor es arrojado por el software después de caracterizar el material y las longitudes de cada elemento que conforma el sistema), es mayor que las cargas que pueda ejercer el sistema de transmisión de potencia a este (Figura 65), por lo que su cálculo se desarrollará como el de una columna mediante el método del LRFD.

Si bien el dimensionamiento del eje debe ser escalonado para poder cumplir con los requerimientos del sistema de apoyo de transmisión de potencia y de acople al sistema superior, se supondrá un eje uniforme con el diámetro mínimo del sistema, de tal manera que, al realizar escalones con diámetros mayores, se aumentará la rigidez del elemento (Figura 66).

Figura 66. Dimensionamiento real y de cálculo del eje de giro rotacional.



De tal manera que el elemento queda caracterizado de la siguiente manera:

Longitud: 700mm

Radio Giro: 30mm

Diámetro: 60mm

Área Sección:  $2.82710^{-3}m^2$

Adicionalmente se fabricará en acero ASTM A36 con Esfuerzo de Fluencia de 250MPa y Módulo de Elasticidad 200GPa.

Se asigna un valor de longitud efectiva K de 1 debido al tipo de apoyo que posee el sistema, ya que este es articulado.

Figura 67. Tabla 5.1 Valores Aproximados del factor de longitud Efectiva K

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K.						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0

(Tomado de J. MCCORMAC, S. CSERNARK, Diseño De Estructuras De Acero, 5ta Edición, AlfaOmega 2013)

Se procede a verificar el elemento mediante la desigualdad para el chequeo por esbeltez:

$$\frac{KL}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{Flu}}}$$

$$\frac{1 * 1,200m}{0,03m} \leq 4,71 \sqrt{\frac{2,00 X 10^{11} Pa}{2,50 X 10^8 Pa}}$$

$$40 \leq 133,2189 \Rightarrow \text{VERDADERO}$$

Donde:

$K$  = Factor De Longitud Efectiva

$L$  = Longitud Del Elemento

$r_y$  = Radio De Giro Del Elemento en Y

$E$  = Módulo De Elasticidad

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

Se procede a calcular el Esfuerzo de Pandeo Crítico Elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r_y}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2,00 X 10^{11} Pa}{\left(\frac{1 * 1.200m}{0,03m}\right)^2}$$

$$F_e = 1233,70055 X 10^6 Pa$$

Donde:

$F_e$  = Esfuerzo Pandeo Critico Elástico

$E$  = Módulo De Elasticidad

$K$  = Factor De Longitud Efectiva

$L$  = Longitud Del Elemento

$r_y$  = Radio De Giro Del Elemento en Y

Teniendo calculado el esfuerzo por pandeo crítico elástico ( $F_e$ ), se procede a calcular el esfuerzo de pandeo crítico por flexión para elementos que cumplen el chequeo por esbeltez:

$$F_{Cr} = \sigma_{Flu} \left[ 0,658^{\sigma_{Flu}/E} \right]$$



$$F_{Cr} = 2,50 \times 10^8 Pa \left[ \frac{2,50 \times 10^8 Pa}{2,00 \times 10^{11} Pa} \right] 0,658$$

$$F_{Cr} = 2,498692 \times 10^8 Pa$$

Donde:

$F_{Cr}$  = Esfuerzo Pandeo Critico Por Flexión

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

$E$  = Módulo De Elasticidad

Para conocer la resistencia de diseño de este elemento, se utiliza un factor de carga de 0.9 obteniendo:

$$R_D = \phi_c F_{Cr} A_{St}$$

$$R_D = 0,9 * (2,498692 \times 10^8 Pa) * (2,827 \times 10^{-3} m)$$

$$R_D = 635742,30 N$$

Donde:

$R_D$  = Resistencia Diseño (Máxima)

$\phi_c$  = Factor De Carga (LRFD)

$F_{Cr}$  = Esfuerzo Pandeo Critico Por Flexión

$A_{St}$  = Área Sección Transversal Del Elemento

Finalmente se compara la resistencia máxima ( $R_D$ ) soportada por la columna con la carga real aplicada mediante el factor de seguridad y se determina que el elemento sí cumple con las condiciones de diseño requeridas.

$$Cr = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{\sigma_y}}$$

$$Cr = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 2,00 \times 10^{11} Pa}{2,50 \times 10^8 Pa}}$$

$$Cr = 125,66$$

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{L}{r}\right)}{8 Cr} - \frac{(4r)^3}{8 Cr^3}$$

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3 \left( \frac{0.7m}{0.03m} \right)}{8 * 125,66} - \frac{(4 * 0.03)^3}{8 * 125,66^3}$$

$$F.S. = 1,74$$

De lo anterior se deduce que el elemento cumple con los requerimientos de diseño con un factor de seguridad de 1,74.

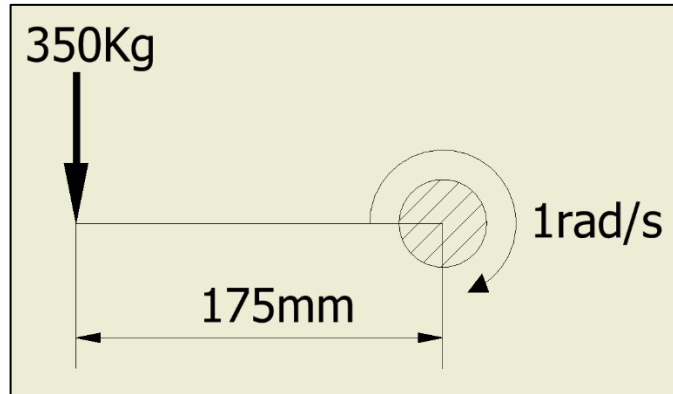
#### 4.4 SISTEMA MOTRIZ

4.4.1 Selección de motores. Para la selección de los motores se analiza el caso crítico de operación en el que se deberá mover todo el arreglo de paneles desde la posición de 90°, hasta la posición 0° (Figura 68). Para llevar a cabo esta acción, se requerirá de un torque determinado por la carga total del sistema superior (350Kg) y la distancia al centro de giro del sistema. Adicionalmente, esto deberá hacerse a velocidades muy bajas por lo que se define para el cálculo de potencia del motor una velocidad de 0,1 rad/s, la cual es equivalente a 0,9549 RPM, ya que teniendo caracterizado el sistema como lo muestra la figura 69, se procede a realizar el cálculo de la potencia requerida por el motor.

Figura 68. Análisis  
Funcionamiento  
posición 90°



Figura 69. Diagrama de cargas para cálculo de potencia de motor



Se procede a calcular el torque requerido:

$$T_{Req} = C_{Ts} * d$$

$$T_{Req} = 350 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,175 \text{ m}$$

$$T_{Req} = 600,8625 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_{Req}$  = Torque Requerido

$C_{Ts}$  = Carga Total Superior

$d$  = Distancia a Eje de Giro

Se procede a calcular la potencia requerida por el motor:

$$P_M = T_{Req} * \omega$$

$$P_M = 600,8625 \text{ Nm} * 0,1 \text{ rad/s}$$

$$P_M = 60,08625 \text{ W}$$

$$P_M = 0,08058 \text{ Hp} \approx \frac{1}{4} \text{ Hp}$$

Donde:

$P_M$  = Potencia Motor

$T_{Req}$  = Torque Requerido

$\omega$  = Velocidad Angular

Se requiere un motor de  $\frac{1}{4}$  Hp, que deberá ser de corriente directa para poder interconectarlo al sistema eléctrico del generador. Del catálogo de la compañía McMASTER CARR se encuentra el Motor 180V DC, NEMA 56C, 1/4 HP (Ver Anexo F). Este motor será utilizado tanto en el sistema de transmisión inferior como superior.

4.4.2 Soporte anclaje de motor horizontal. El motor encargado de dar giro al sistema horizontal de paneles, estará montado sobre una de las vigas de soporte lateral del sistema, por lo que para llevar a cabo su montaje será necesario diseñar un soporte para su respectiva unión. El diseño inicial cuenta con apoyos en la viga de soporte lateral y en el acople del eje de giro y la estructura superior. (Figura 70).

Se comienza la simulación con este modelo base fabricado en fundición gris, ubicando restricciones sobre el soporte del acople eje de giro y la sección apoyada sobre el perfil de soporte lateral (Figura 71); para las cargas sobre el elemento, se aplican 7.5Kg (73.575N) sobre cada uno de los orificios de los pernos de anclaje, que corresponden a los 30 Kg del peso del motor distribuidos en cada orificio (Figura 72).

Figura 70. Soporte Anclaje Motor Horizontal

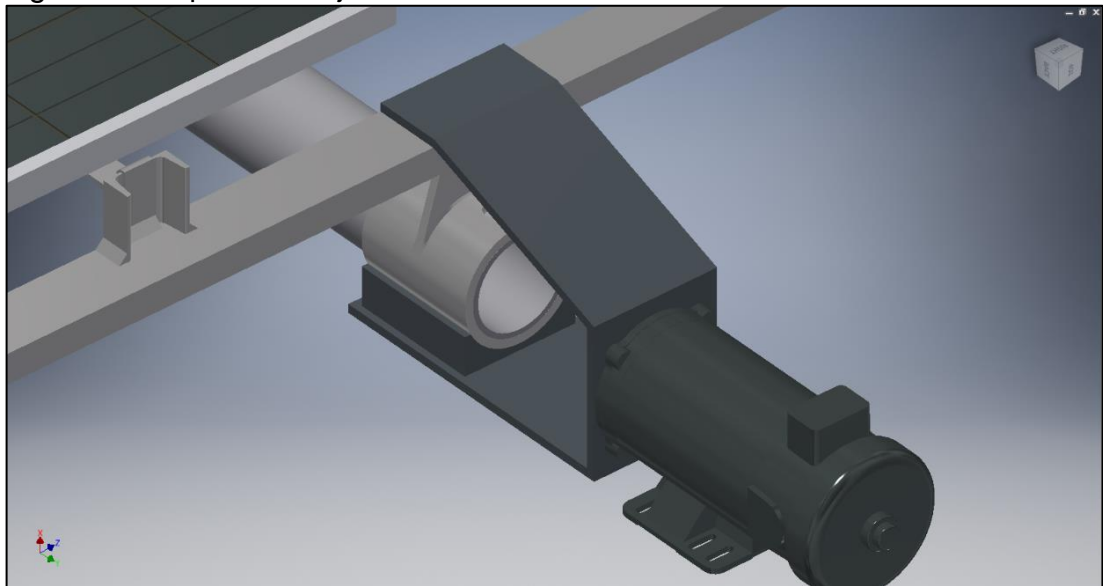


Figura 71. Restricciones Soporte Anclaje Motor Horizontal

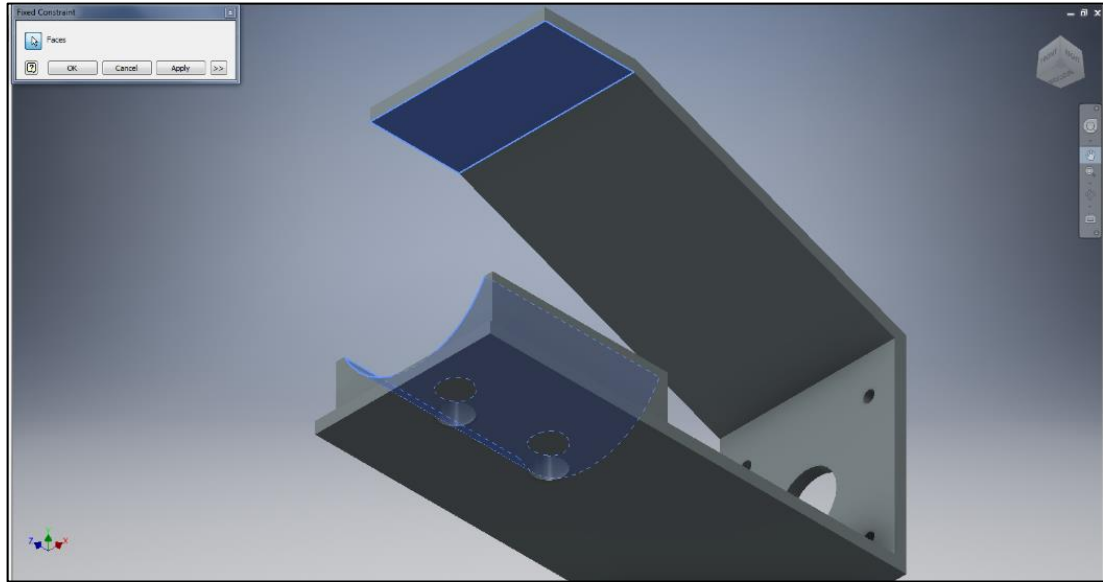
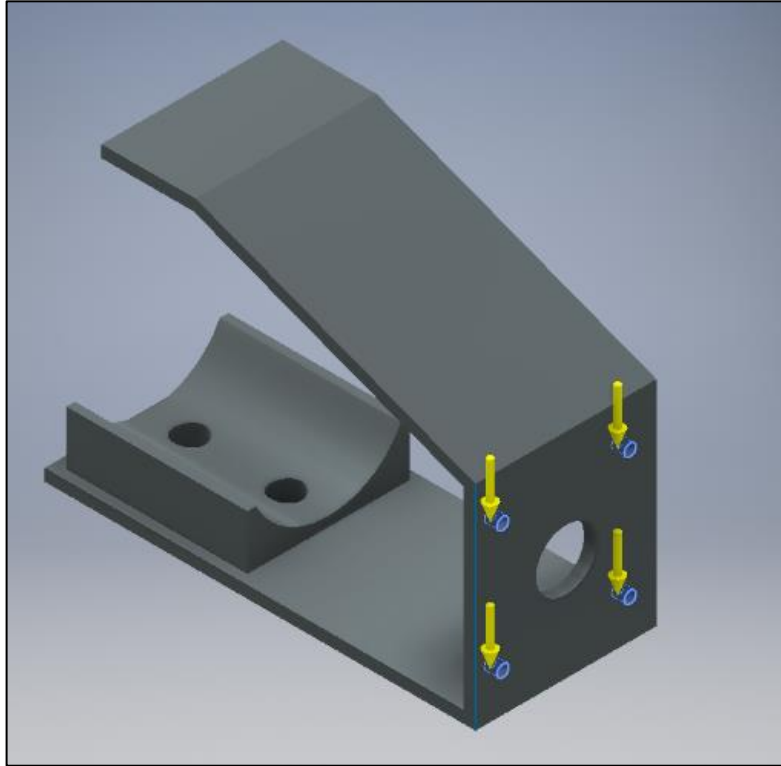


Figura 72.Cargas Aplicadas Soporte Anclaje Motor Horizontal



Se realiza la simulación, al observar los resultados para esfuerzo Von Mises, se evidencia que el esfuerzo máximo no supera los 1.904 MPa (Figura 73), se tiene que la deformación máxima del elemento es elevada con un valor de 0.01409mm (Figura 74).

Figura 73. Von Mises Simulación 1 - Soporte Anclaje Motor Horizontal

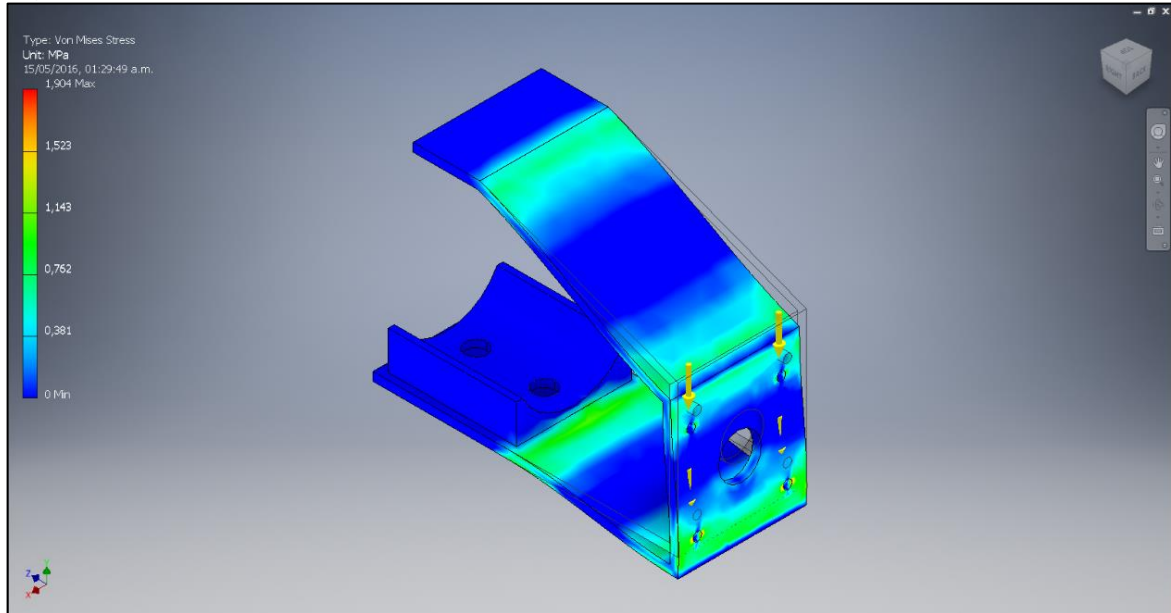
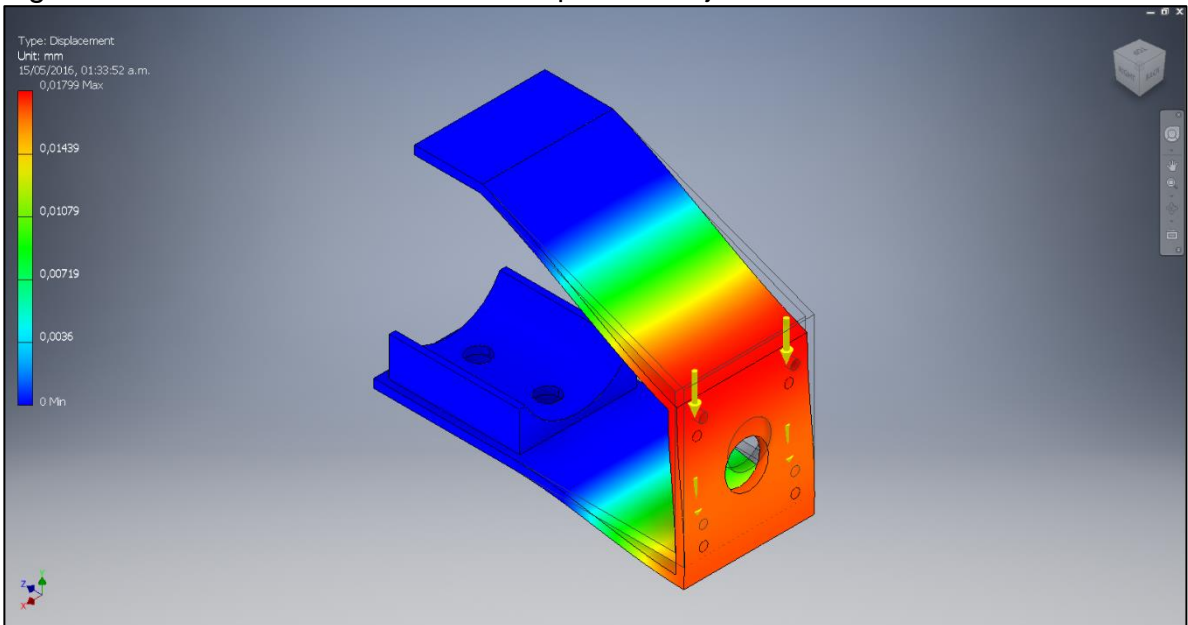
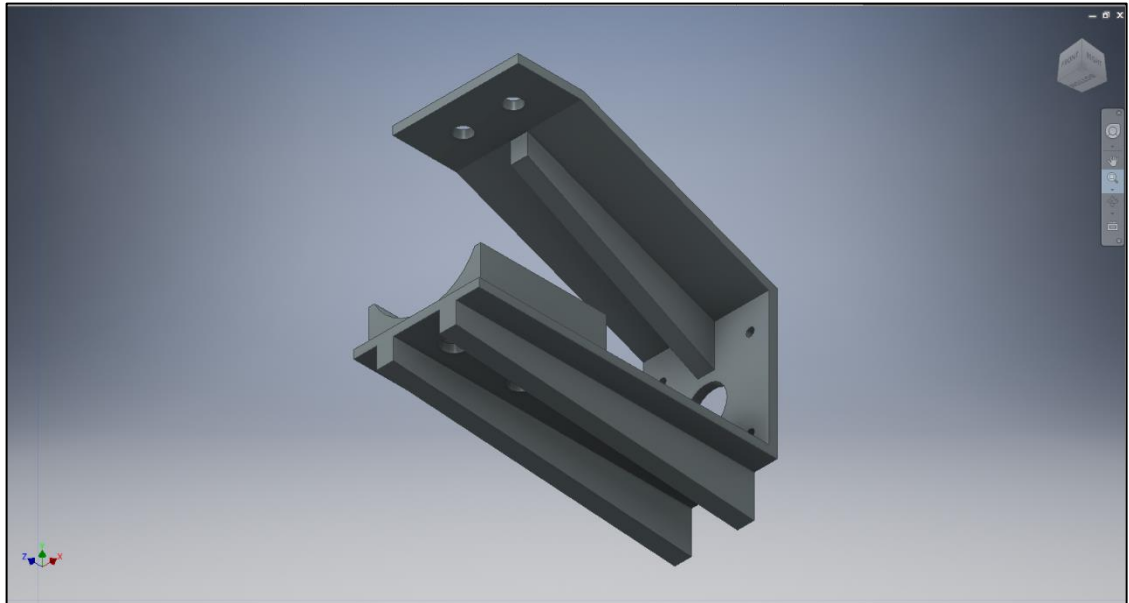


Figura 74. Deformación Simulación 1 - Soporte Anclaje Motor Horizontal



Para reducir la deformación del elemento se realizan nervaduras en la zona inferior y superior del elemento para aumentar la rigidez en esta zona, de igual manera se abren perforaciones de 20 mm en la cara superior del soporte que servirán para la ubicación de los pernos de anclaje (Figura 75).

Figura 75. Refuerzos y perforaciones realizadas en Soporte Anclaje Motor Horizontal



Los resultados obtenidos con los nuevos refuerzos muestran una disminución del 60.36% (0.7546MPa) en el esfuerzo máximo del elemento, así como una reducción de más del 80.33% (0.00277mm) en la deformación máxima (Figura 50); por lo que se determina que el elemento cumple con las condiciones de diseño del sistema, de acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 12.

Figura 76. Análisis Von misses soporte anclaje de motor horizontal

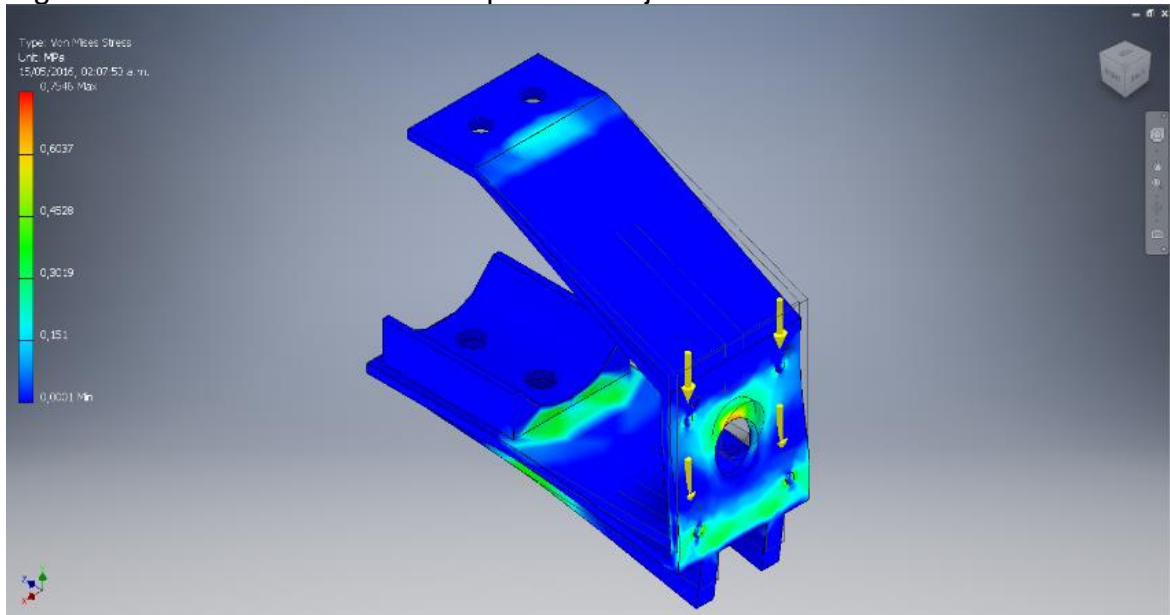




Figura 77. Análisis deformación soporte anclaje de motor horizontal

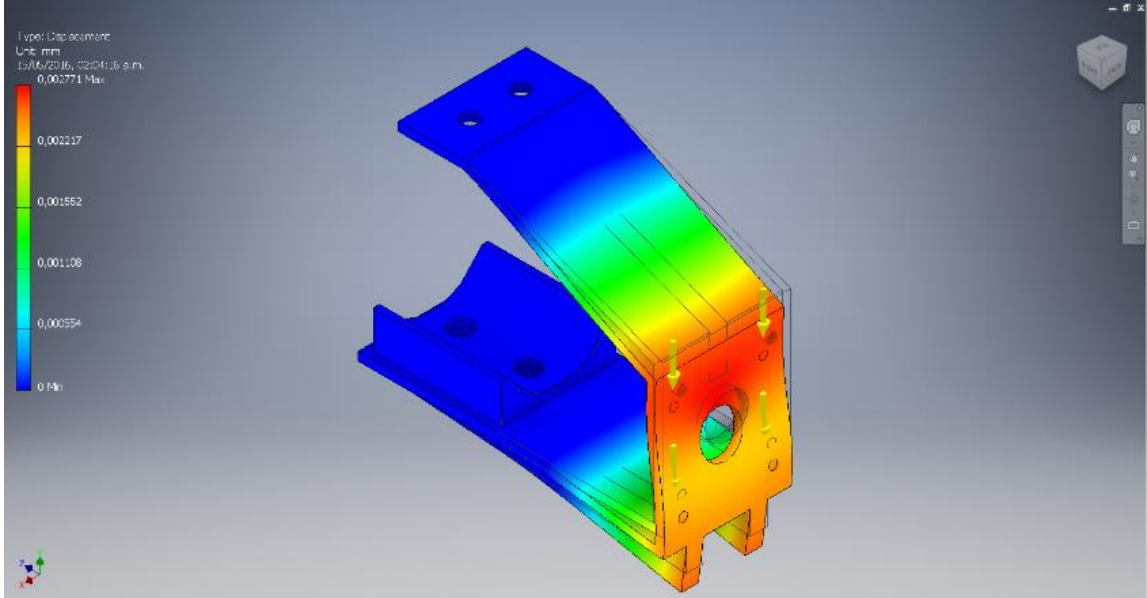
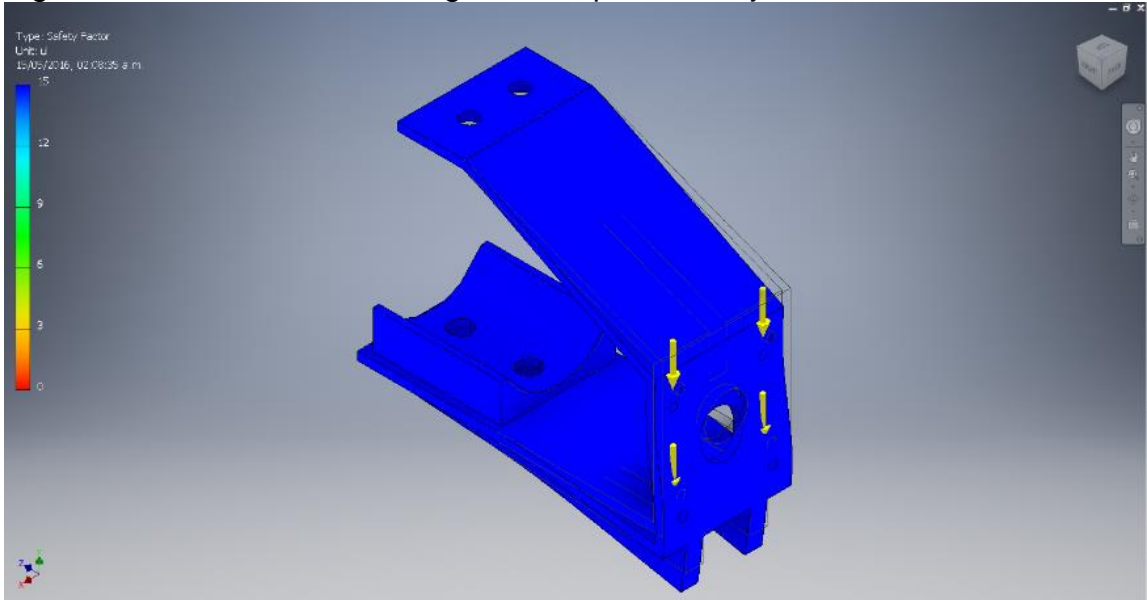


Figura 78. Análisis factor de seguridad soporte anclaje de motor horizontal

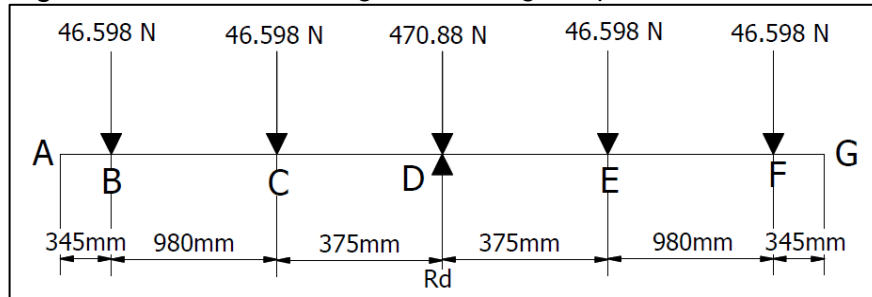


Cuadro 12. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Anclaje Motor Horizontal

VON MISSES	Máx:0.7546Mpa
DEFORMACIÓN	Máx:0.002771mm
FACTOR SEGURIDAD	Min:15

4.4.2 Verificación viga soporte lateral. Sabiendo las cargas a la que va a estar sometida la viga lateral de soporte del motor, se procede a realizar su verificación empezando por el nuevo diagrama de cuerpo libre del sistema (Figura 79):

Figura 79. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Lateral.



Los valores aplicados en el diagrama son las cargas de los elementos sobre el eje horizontal. Se realiza la sumatoria de fuerzas para obtener los diagramas de fuerza cortante (Figura 80) y momento flector (Figura 81).

$$\sum F_y = 0$$

$$[(-46.958 N) * 4] - 470.88 N + R_d = 0$$

$$R_d = 657.272 N$$

Figura 80. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Lateral con motor

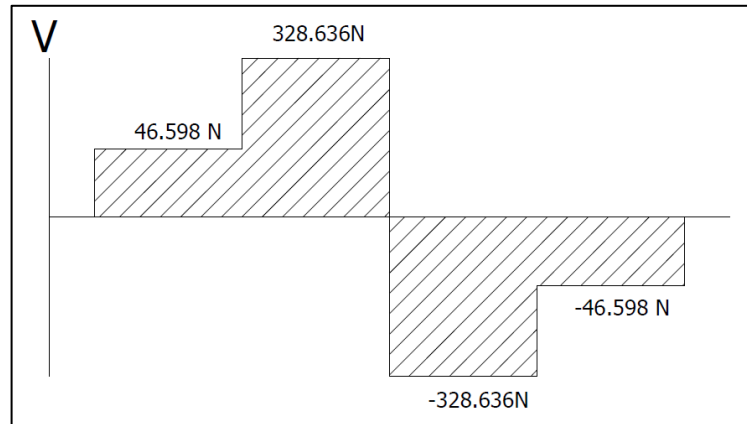
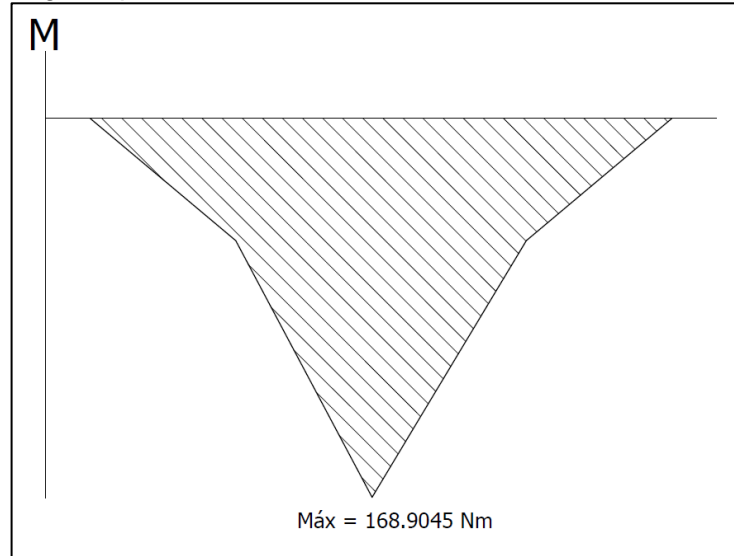


Figura 81. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Lateral con motor



Una vez calculado el momento flector máximo, se inicia el cálculo de la viga requerida para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2 para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{2,530 \times 10^8 Pa}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,265 \times 10^8 Pa$$

Donde:

$\sigma_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F.S. = Factor Seguridad

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido por elemento mediante el cual se seleccionará la viga a utilizar:

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{168,9045 Nm}{1,265 \times 10^8 Pa}$$

$$S_y = 1,3352134 \times 10^{-6} m^3$$

$$S_y = 1,3352134 cm^3$$

Donde:

$S_y$  = *Módulo De Sección*

$M_{Máx}$  = *Momento Flector Máximo Aplicado*

$\sigma_{Per}$  = *Esfuerzo Permisible*

Se procede a calcular el factor de seguridad de acuerdo al  $S_y$  para la viga seleccionada disponible en la tabla 2.

$$F.S. = \frac{S_{y\ Viga}}{S_{y\ Requerido}}$$

$$F.S. = \frac{2,98 cm^3}{1,34 cm^3}$$

$$F.S. = 2,22$$

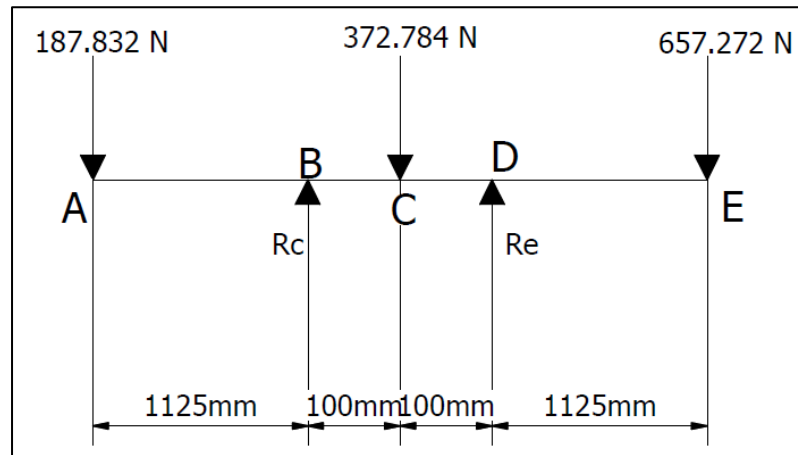
La verificación de la Viga de Soporte Lateral arroja como resultado que el elemento cumple con las condiciones de diseño con un Factor de seguridad de 2.22.

4.4.3 Verificación eje de giro horizontal. Una vez seleccionados el motor y sabiendo la nueva carga que deberá soportar el eje de giro horizontal, se procede a realizar la comprobación del elemento de giro tanto por esfuerzos cortantes como por esfuerzos flectores.

✓ Verificación por flexión

Se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del elemento (Figura 82).

Figura 82. Diagrama de cuerpo libre sobre Eje de Giro Horizontal Recalculado.



Se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos para obtener los diagramas de cortante (Figura 83) y momento flector (Figura 84):

$$\sum M_B = 0$$

$$(187.832N * 1.125m) - (372.784N * 0.1m) + (R_e * 0.2m) - (657.272N * 1.325m) = 0$$

$$R_e = \frac{696,8528 Nm}{0,2m}$$

$$R_e = 3484,264 N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-187,32 N + R_c - 372,784 N + 3484,264 N - 657,272 N = 0$$

$$R_c = -2266,888 N$$

Figura 83. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal Recalculado

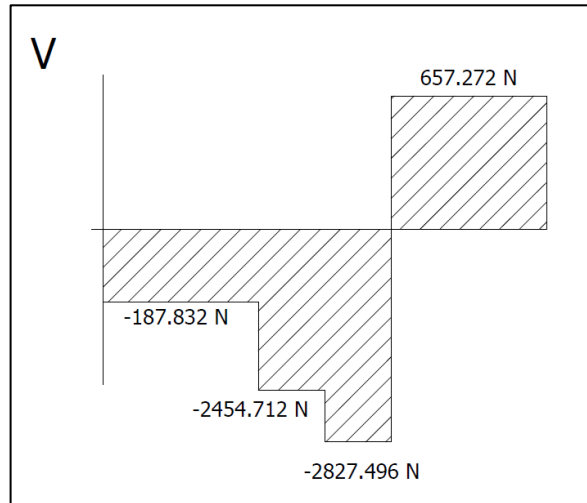
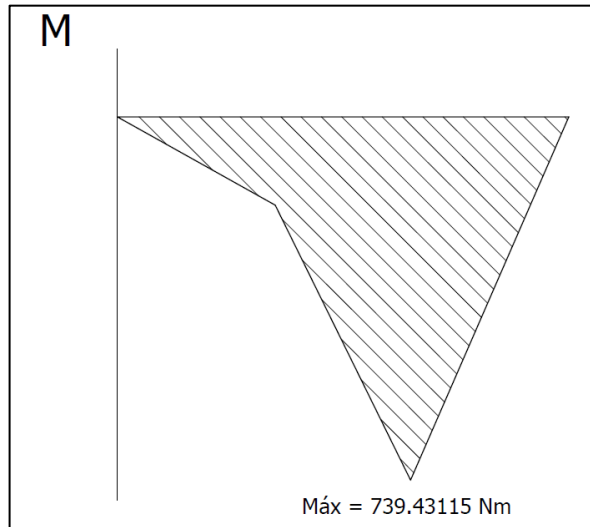


Figura 84. Diagrama de Cortantes en Eje de Giro Horizontal Recalculado



Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo del eje requerido para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2 para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{3,310 \times 10^8 Pa}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,655 \times 10^8 Pa$$

Donde:

$\sigma_{Per} = \text{Esfuerzo Permisible}$

$\sigma_{Flu} = \text{Esfuerzo Fluencia}$

$F.S. = \text{Factor Seguridad}$

Una vez obtenido el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido para el elemento

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Per}}$$

$$S_y = \frac{739.431 \text{ Nm}}{1,655 \times 10^8 \text{ Pa}}$$

$$S_y = 4,46786 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S_y = 4,47 \text{ cm}^3$$

Donde:

$S_y = \text{Módulo De Sección}$

$M_{Máx} = \text{Momento Flector Máximo Aplicado}$

$\sigma_{Per} = \text{Esfuerzo Permisible}$

Se procede a calcular el factor de seguridad de acuerdo al  $S_y$  para la viga seleccionada disponible en la tabla 4.

$$F.S. = \frac{S_{y \text{ Eje}}}{S_{y \text{ Requerido}}}$$

$$F.S. = \frac{52,53 \text{ cm}^3}{4,47 \text{ cm}^3}$$

$$F.S. = 11,75$$

La verificación del eje de giro horizontal arroja como resultado que el elemento pasa el chequeo por esfuerzo flector con un factor de seguridad de 11.75.

✓ Verificación por cortante. Se procede a calcular el esfuerzo permisible por cortante para el elemento:

$$\tau_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\tau_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\tau_{Per} = \frac{3,310 \times 10^8 Pa}{2}$$

$$\tau_{Per} = 1,655 \times 10^8 Pa$$

Donde:

$\tau_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F.S. = Factor Seguridad

Sabiendo la forma de cálculo del esfuerzo por cortante, el valor de cortante máximo al que estar sometido el elemento y el diámetro externo requerido, se procede a realizar el despeje del radio interno mínimo requerido por el elemento:

$$\tau_{Per} = \frac{v}{2A}$$

$$\tau_{Per} = \frac{v}{2\pi * (R_1^2 - R_2^2)}$$

$$(R_1^2 - R_2^2) = \frac{v}{2\pi * \tau_{Per}} \quad \rightarrow \quad R_2^2 = R_1^2 - \frac{v}{2\pi * \tau_{Per}}$$

$$R_2 = \sqrt{R_1^2 - \frac{v}{2\pi * \tau_{Per}}}$$

$$R_2 = \sqrt{(0,1016m)^2 - \frac{2827,496N}{2\pi * 1,655 \times 10^8 Pa}}$$

$$R_2 = 0,10586m = 101,586mm$$

Donde:

$\tau_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

$v$  = Cortante Máximo del Elemento

$R_1$  = Radio Exterior

$R_2$  = Radio Interior



Con el diámetro interior y exterior se calcula el espesor requerido:

$$e = R_1 - R_2$$

$$e = 101,6mm - 101,586mm$$

$$e = 0,014mm$$

De lo anterior se verifica que el elemento seleccionado cumple con los requerimientos de diseño por cortante debido a que se requiere un espesor mínimo de 0.014mm y el elemento posee uno de 6mm.

✓ Verificación por torsión. Se tiene que el eje de giro horizontal va a estar acoplado a un motor de 1 HP, que ejercerá sobre este un torque máximo de 658.39 Nm (485.6 Lb\*in) por lo que se procede a calcular el esfuerzo admisible por torsión para el elemento:

$$\tau_{Per} = \frac{\tau_{Flu}}{F.S.}$$

$$\tau_{Per} = \frac{3,310 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\tau_{Per} = 1,655 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\tau_{Per}$  = Esfuerzo Permisible

$\tau_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F.S. = Factor Seguridad

Sabiendo la forma de cálculo del esfuerzo por torsión, el torque al que está sometido el elemento y el diámetro externo requerido por criterio del diseñador se procede a realizar el despeje del radio interno mínimo requerido por el elemento:

$$\tau_{Per} = \frac{T * c}{J}$$

$$\tau_{Per} = \frac{T * R_1}{\frac{\pi}{4} * (R_1^4 - R_2^4)}$$

$$(R_1^4 - R_2^4) = \frac{T * R_1}{\frac{\pi}{4} * \tau_{Per}} \quad \rightarrow \quad R_2^4 = R_1^4 - \frac{T * R_1}{\frac{\pi}{4} * \tau_{Per}}$$

$$R_2 = \sqrt[4]{R_1^4 - \frac{T * R_1}{\frac{\pi}{4} * \tau_{Per}}}$$

$$R_2 = \sqrt[4]{(0,1016\text{mm})^4 - \frac{658,39\text{Nm} * 0,1016\text{m}}{\frac{\pi}{4} * 1,655 \times 10^8 \text{ Pa}}}$$

$$R_2 = 0,101477\text{m} = 101,477\text{mm}$$

Donde:

$\tau_{per}$  = Esfuerzo Permisible

$T$  = Torque Máximo del Motor

$R_1$  = Radio Exterior

$R_2$  = Radio Interior

Con el diámetro interior y exterior se calcula el espesor requerido:

$$e = R_1 - R_2$$

$$e = 101,6\text{mm} - 101,477\text{mm}$$

$$e = 0,123\text{mm}$$

De lo anterior se verifica que el elemento seleccionado cumple con los requerimientos de diseño por torsión debido a que se requiere un espesor mínimo de 0.123mm y el elemento posee uno de 6mm.

✓ Verificación Eje de Giro Rotacional (Torsión). Para la verificación del eje de giro rotacional por torsión se procede a calcular el torque máximo al que va a estar sometido el elemento; se considera la relación de transmisión con un valor de 2 debido a la velocidad del movimiento:

$$\begin{aligned} T &= T_{m\acute{a}x} * R_T \\ T &= 658,39\text{Nm} * 2 \\ T &= 1316,78\text{Nm} \end{aligned}$$

Donde:

$T$  = Torque al que estará sometido el elemento

$T_{max}$  = Torque máximo ejercido por el motor

$R_t$  = Relación Transmisión

Se procede a calcular el esfuerzo cortante permisible sobre el elemento utilizando un factor de seguridad de 2:

$$\tau_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\tau_{Per} = \frac{2,5 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\tau_{Per} = 1,25 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\tau_{Per}$  = Esfuerzo Cortante Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

$F.S.$  = Factor Seguridad

Se sabe que el esfuerzo cortante permisible sobre el sistema también será igual a:

$$\tau_{Per} = \frac{T * c}{J}$$

Donde:

$\tau_{Per}$  = Esfuerzo Cortante Permisible

$T$  = Torque al que estará sometido el elemento

$c$  = Radio de Giro

$J$  = Momento Polar Inercia

Para un eje sólido los momentos polares de inercia y el radio de giro son:

$$J = \frac{\pi}{2} * R_e^4 \quad \rightarrow \quad c = R_e$$

Donde:

$J$  = Momento Polar Inercia

$c$  = Radio de Giro

$R_e$  = Radio Exterior

Se procede a calcular el radio exterior del elemento:

$$R_e = \sqrt[3]{\frac{2T}{\pi\tau}}$$

$$R_e = \sqrt[3]{\frac{2 * 1316,78Nm}{\pi * 1,25 * 10^8 Pa}}$$

$$R_e = 0,018857m = 18,86mm$$

De lo anterior se procede a calcular el factor de seguridad del elemento por torsión teniendo:

$$F.S. = \frac{R_{e \text{ Min}}}{R_e}$$

$$F.S. = \frac{60 \text{ mm}}{18,86 \text{ mm}}$$

$$F.S. = 3,18$$

Donde:

$F.S.$  = Factor De Seguridad

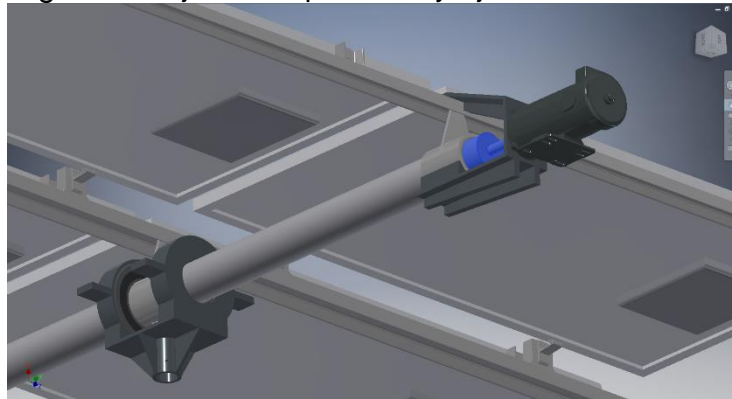
$R_{e\ Min}$  = Radio Exterior Mínimo Del Elemento

$R_e$  = Radio Exterior Mínimo Calculado

De lo anterior se tiene que el elemento cumpla con las condiciones de torsi3n requeridas por el sistema con un factor de seguridad de 3,18.

#### 4.4.4 Eje de Acople, Motor y Eje de Giro Horizontal

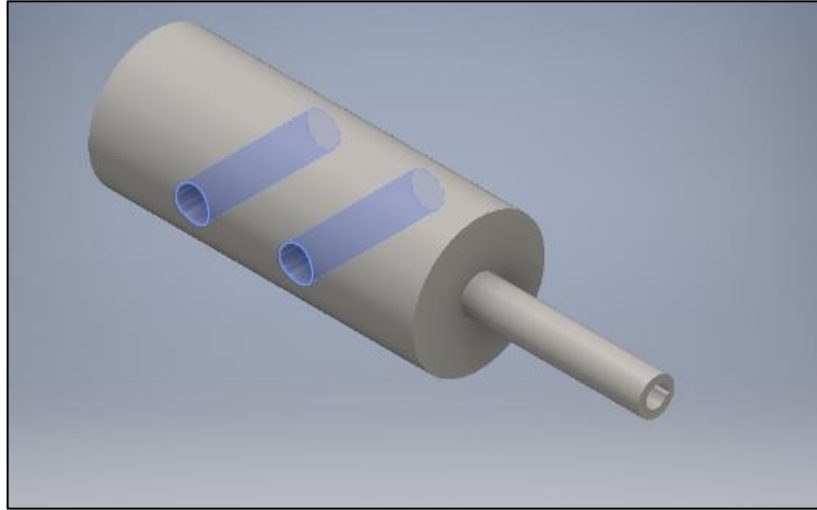
Figura 85. Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal



El eje de acople del motor y el eje de giro horizontal se encargan de transmitir la potencia del motor al eje de giro y la estructura de los paneles. El eje de acople del motor fue diseñado en acero inoxidable y de acuerdo al dimensionamiento de la zona de acople.

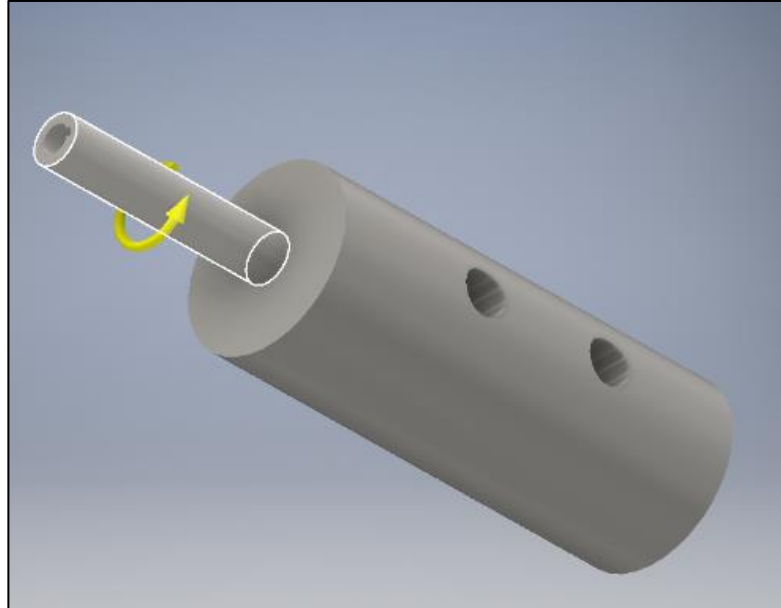
Para iniciar la simulaci3n se procede realizar las restricciones del elemento en los orificios para los pernos de anclaje al eje horizontal (Figura 86):

Figura 86. Restricciones Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal



Se agrega el par torsor de 658.39Nm ejercido por el motor sobre el eje acoplado a este (Figura 87)

Figura 87. Par Torsor Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal



Se realiza la simulación y se obtienen resultados de esfuerzos en la unión entre las dos secciones de hasta 54.86 MPa (Figura 88), lo cual demuestra una falla en este punto del elemento, así mismo el F.S. de seguridad calculado en esta zona oscila entre 6 y 9 (Figura 89).

Figura 88. Von Misses Simulación 1 Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal

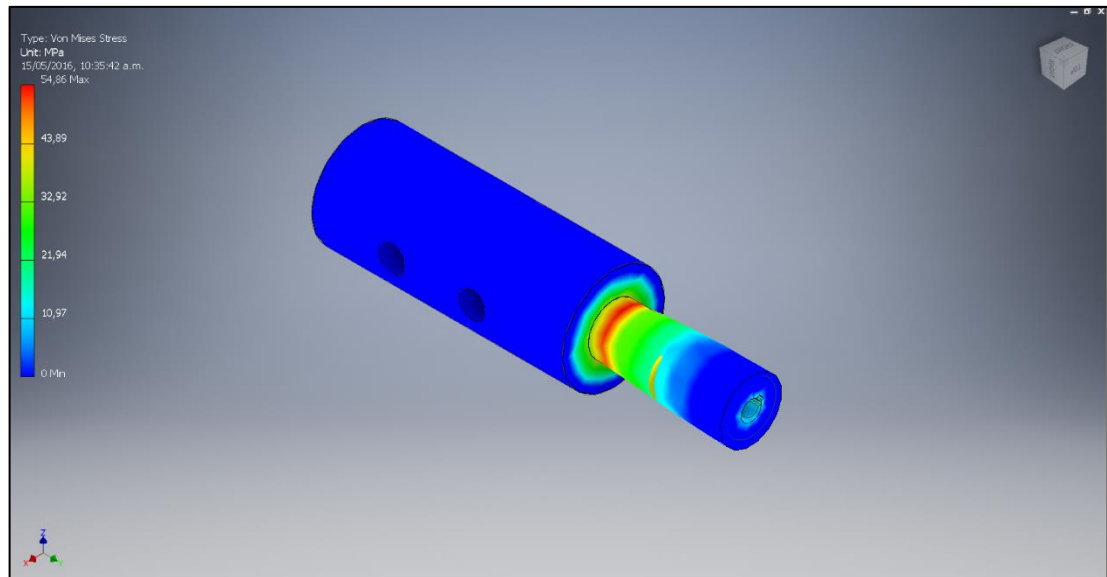
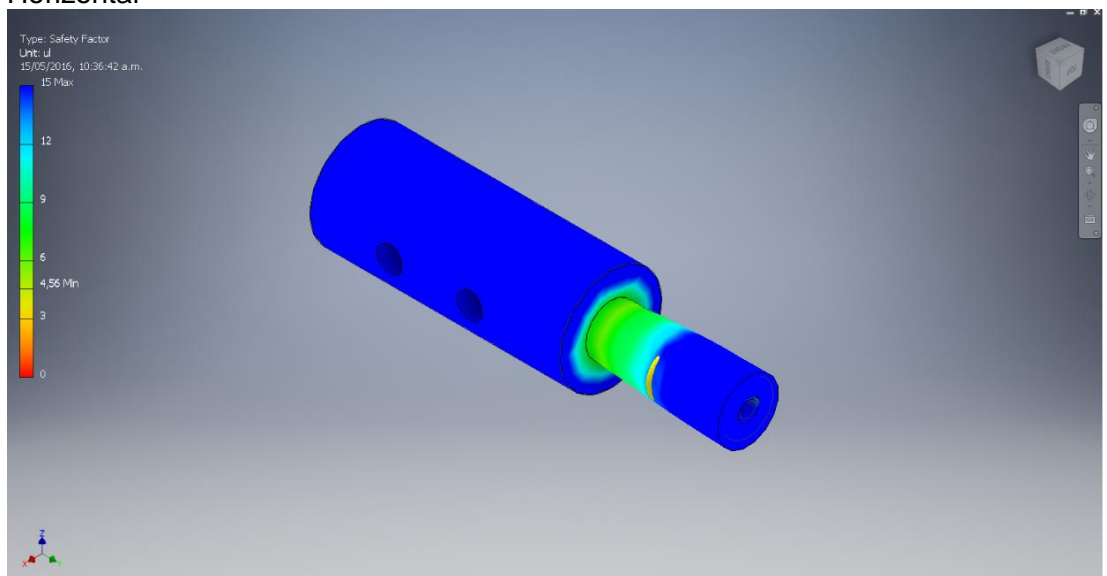
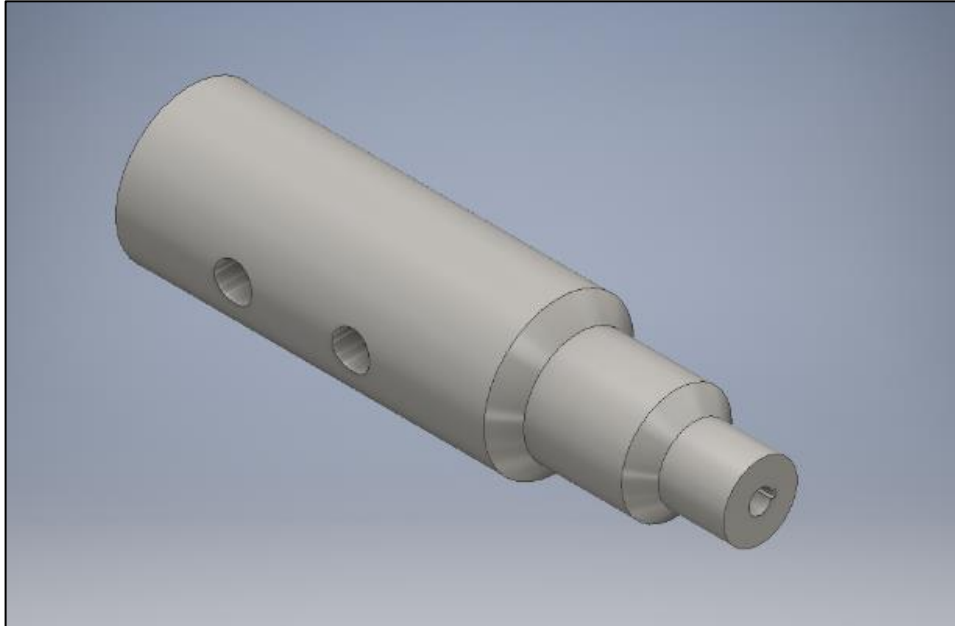


Figura 89. Factor de Seguridad Simulación 1 Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal



Para eliminar el concentrador de esfuerzos se realiza un escalón sobre adicional sobre el eje y chaflanes a 45° entre escalones (Figura 90).

Figura 90. Escalones y Chaflan Eje de Acople Motor y Eje de Giro Horizontal



Se realiza la simulación y se obtienen los resultados óptimos para el eje reduciendo más del 40% los esfuerzos concentrados en las uniones de los escalones, en el cuadro 13 se encuentran los resultados de la simulación.

Figura 91. Análisis Von misses Eje de Acople Motor

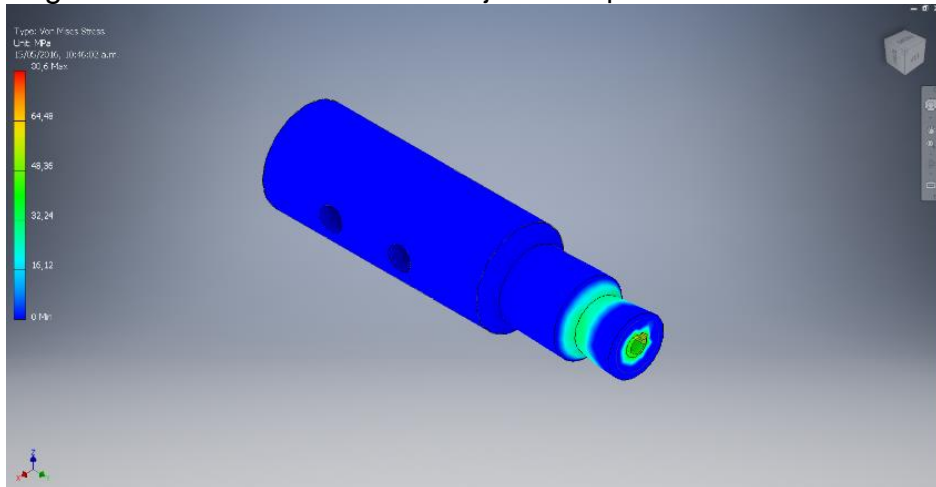


Figura 92. Análisis deformación Eje de Acople Motor

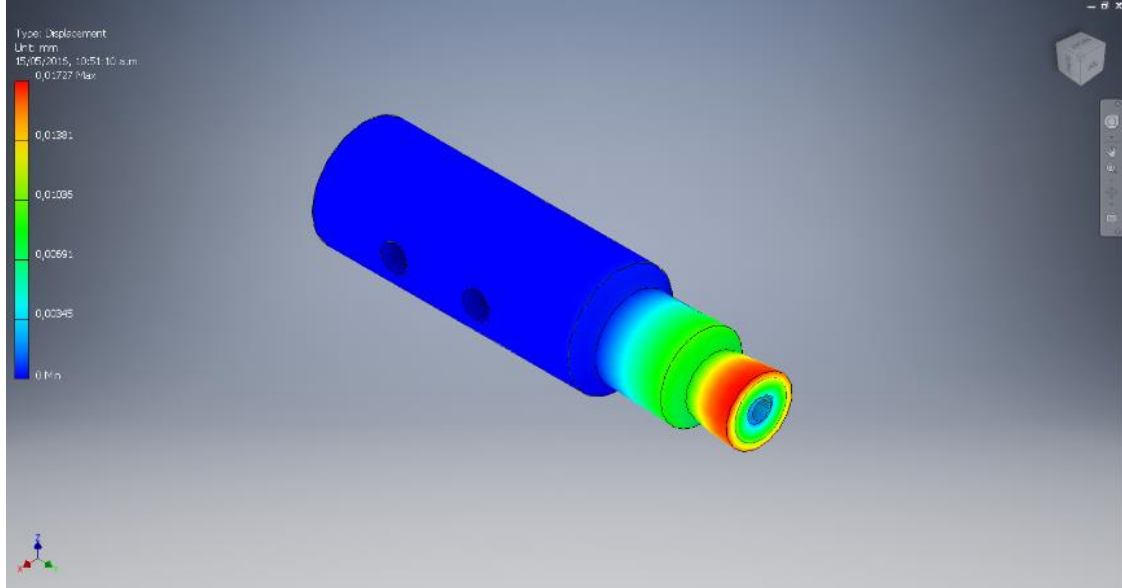
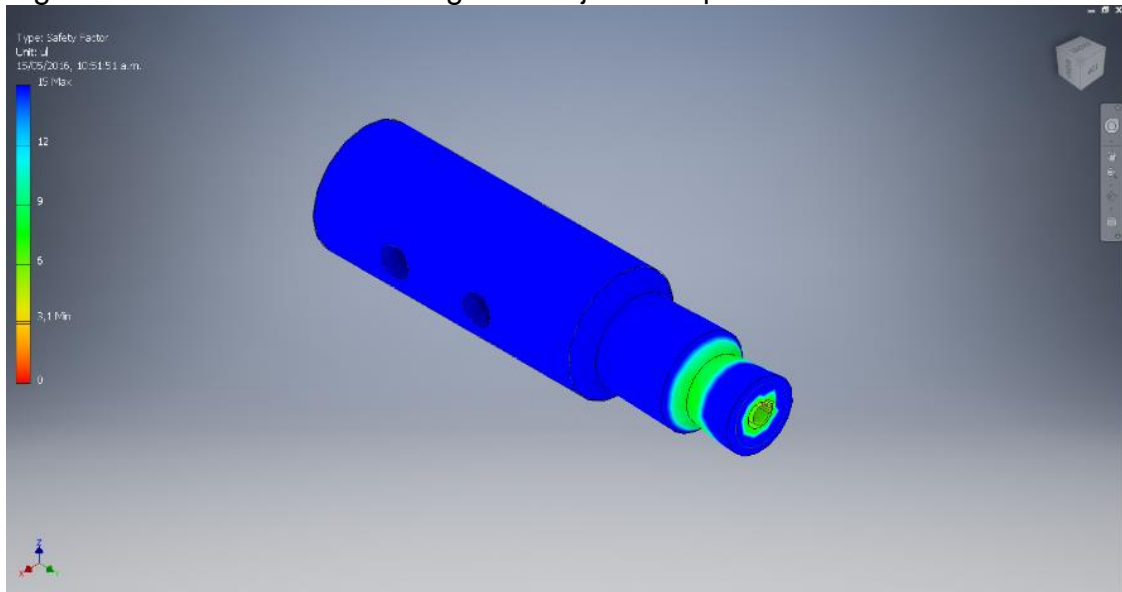


Figura 93. Análisis factor de seguridad Eje de Acople Motor



Cuadro 13. Resultados del análisis MEF al elemento Soporte Anclaje Motor Horizontal

VON MISSES	Máx:80.6Mpa
DEFORMACIÓN	Máx:0.01727mm
FACTOR SEGURIDAD	Min:15



4.4.5 Sistema de transmisión por cadena. Para que se pueda llevar a cabo el giro rotacional del sistema, se utilizará un sistema de transmisión por cadena con las siguientes características:

- Accionamiento mediante motor eléctrico de 1 HP con giro a 1rad/s (Aprox.10 RPM)
- Relación de transmisión de 2
- Duración vida útil estimada: 15000 horas.
- Distancia entre centros de ruedas de la transmisión: 460 mm (Máx.)

Se empieza calculando la potencia de diseño para una potencia de ¼ Hp con un factor de servicio de 1,3 para un sistema de motor eléctrico con choque moderado (Figura 94).

Figura 94. Tabla 7-8, Factores de Servicio para transmisiones de cadena.

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Diseño de Elementos de Maquinas Robert L. Mott. 5ª edición.

$$P_D = K_1 * P_M$$

$$P_D = 1.3 * 1/4 \text{ Hp}$$

$$P_D = 0,325 \text{ Hp}$$

Donde:

$P_M$  = Potencia de Motor

$K_1$  = Factor de Servicio

Se busca en tablas una cadena adecuada para una potencia de 0,325 Hp y una velocidad mínima de giro de 10 RPM, los resultados muestran que deberá

usarse una cadena simple de rodillos 80 con paso diametral de 1" y un número de dientes en el piñón impulsor de 30 dientes, debido a la geometría del sistema. Adicionalmente deberá tener un sistema de lubricación manual o por goteo para garantizar su correcto funcionamiento.

Figura 95. Tabla 7-7, Capacidad en Caballos de fuerzas Cadena Simple De Rodillos número 80.

**TABLA 7-7 Capacidades en caballos de fuerza - Cadena simple de rodillos número 80**

Núm. de dientes	1.000 pulgadas de paso										Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/mín														
	10	25	50	75	88	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500
11	0.44	1.06	2.07	3.05	3.56	4.03	7.83	11.56	15.23	18.87	22.48	26.07	27.41	22.97	19.61	14.92	11.84	9.69	8.12	6.83	4.96	3.77	3.00	2.45	0.00
12	0.48	1.16	2.26	3.33	3.88	4.39	8.54	12.61	16.82	20.59	24.53	28.44	31.23	26.17	22.35	17.00	13.49	11.04	9.25	7.90	5.65	4.30	3.41	2.79	0.00
13	0.52	1.26	2.45	3.61	4.21	4.76	9.26	13.66	18.00	22.31	26.57	30.81	35.02	29.51	25.20	19.17	15.21	12.45	10.43	8.91	6.37	4.85	3.85	3.15	
14	0.56	1.35	2.63	3.89	4.53	5.12	9.97	14.71	19.39	24.02	28.62	33.18	37.72	32.98	28.16	21.42	17.00	13.91	11.66	9.96	7.12	5.42	4.30	3.52	
15	0.60	1.45	2.82	4.16	4.85	5.49	10.68	15.76	20.77	25.74	30.66	35.55	40.41	36.58	31.23	23.76	18.85	15.43	12.93	11.04	7.90	6.01	4.77	0.00	
16	0.64	1.55	3.01	4.44	5.18	5.86	11.39	16.81	22.16	27.45	32.70	37.92	43.11	40.30	34.41	26.17	20.77	17.00	14.25	12.16	8.70	6.62	5.25	0.00	
17	0.68	1.64	3.20	4.72	5.50	6.22	12.10	17.86	23.54	29.17	34.75	40.29	45.80	44.13	37.68	28.66	22.75	18.62	15.60	13.32	9.53	7.25	0.00		
18	0.72	1.74	3.39	5.00	5.83	6.59	12.81	18.91	24.93	30.88	36.79	42.66	48.49	48.08	41.05	31.23	24.78	20.29	17.00	14.51	10.39	7.90	0.00		
19	0.76	1.84	3.57	5.28	6.15	6.95	13.53	19.96	26.31	32.60	38.84	45.03	51.19	52.15	44.52	33.87	26.88	22.00	18.44	15.74	11.26	0.36	0.00		
20	0.80	1.93	3.76	5.55	6.47	7.32	14.24	21.01	27.70	34.32	40.88	47.40	53.88	56.32	48.08	36.58	29.03	23.76	19.91	17.00	12.16	0.00			
21	0.84	2.03	3.95	5.83	6.80	7.69	14.95	22.07	29.08	36.03	42.92	49.73	56.58	60.59	51.73	39.36	31.23	25.56	21.42	18.29	13.09	0.00			
22	0.88	2.13	4.14	6.11	7.12	8.05	15.66	23.12	30.47	37.75	44.97	52.14	59.27	64.97	55.47	42.20	33.49	27.41	22.97	19.61	14.03				
23	0.92	2.22	4.33	6.39	7.45	8.42	16.37	24.17	31.85	39.46	47.01	54.51	61.97	69.38	59.30	45.11	35.80	29.30	24.55	20.97	15.00				
24	0.96	2.32	4.52	6.66	7.77	8.78	17.09	25.22	33.24	41.18	49.06	56.88	64.66	72.40	63.21	48.08	38.16	31.23	26.17	22.35	15.99				
25	1.00	2.42	4.70	6.94	8.09	9.15	17.80	26.27	34.62	42.89	51.10	59.25	67.35	75.42	67.20	51.12	40.57	33.20	27.83	23.76	8.16				
26	1.04	2.51	4.89	7.22	8.42	9.52	18.51	27.32	36.01	44.61	53.14	61.62	70.05	78.43	71.27	54.22	43.02	36.22	29.51	25.20	0.00				
28	1.12	2.71	5.27	7.77	9.06	10.25	19.93	29.42	38.78	48.04	57.23	66.36	75.44	84.47	79.65	60.59	48.08	39.36	32.98	28.16	0.00				
30	1.20	2.90	5.64	8.33	9.71	10.98	21.36	31.52	41.55	51.47	61.32	71.10	80.82	90.50	88.33	67.20	53.33	43.65	36.58	31.23					
32	1.28	3.09	6.02	8.89	10.36	11.71	22.78	33.62	44.32	54.91	65.41	75.84	86.21	96.53	97.31	74.03	58.75	48.08	40.30	5.65					
35	1.40	3.38	6.58	9.72	11.33	12.81	24.92	36.78	48.47	60.05	71.54	82.95	94.29	105.58	111.31	84.68	67.20	55.00	28.15	0.00					
40	1.61	3.87	7.53	11.11	12.95	14.64	28.48	42.03	55.40	68.63	81.76	94.80	107.77	120.67	133.51	103.46	82.10	40.16	0.00						
45	1.81	4.35	8.47	12.49	14.57	16.47	32.04	47.28	62.32	77.21	91.98	106.65	121.24	135.75	150.20	123.45	72.28	0.00							

Tipo A: Lubricación manual o por goteo  
 Tipo B: Lubricación en baño o con disco  
 Tipo C: Lubricación con chorro de aceite

Diseño de Elementos de Maquinas Robert L. Mott. 5ª edición.

Se procede a calcular la cantidad de dientes de la rueda grande

$$Z_2 = Z_1 * rv$$

$$Z_2 = 30 * 2$$

$$Z_2 = 60$$

Donde:

$r$  = Relación Transmisión

$Z_2$  = Numero de dientes de la rueda mayor

$Z_1$  = Numero de dientes del piñón

Se procede a calcular la velocidad de salida esperada:

$$n_2 = \frac{n_1}{r}$$

$$n_2 = \frac{10RPM}{2}$$

$$n_2 = 5 RPM$$

Donde:

$r = \text{Relación Transmisión}$

$n_2 = \text{Velocidad de la rueda mayor}$

$n_1 = \text{Velocidad del piñón}$

Se procede a calcular los diámetros primitivos de la rueda grande y el piñón:

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{Z_1}\right)} \rightarrow D_1 = \frac{1 \text{ in}}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{30}\right)} \rightarrow D_1 = 9,567 \text{ in}$$

$$D_2 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right)} \rightarrow D_2 = \frac{1 \text{ in}}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{60}\right)} \rightarrow D_2 = 19,107 \text{ in}$$

Donde:

$p = \text{Paso Diametral}$

$D_2 = \text{Diámetro Primitiva la rueda mayor}$

$D_1 = \text{Diámetro Primitiva del piñón}$

Una vez calculados los diámetros, se procede a calcular la longitud de la cadena a través de la fórmula, teniendo en cuenta que la distancia entre centros se supone de 18 pasos:

$$L = 2C + \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{4\pi * C}$$

$$L = 2 * 18 + \frac{(30 + 60)}{2} + \frac{(60 - 30)^2}{4\pi * 18}$$

$$L = 84,97 \text{ Pasos}$$

Donde:

$L = \text{Longitud Total De La Cadena (Pasos)}$

$Z_1 = \text{Numero de dientes del Piñón}$

$Z_2 = \text{Numero de dientes de la rueda}$

$C = \text{Distancia entre centros de ruedas (Pasos)}$

Se redondea a una longitud de cadena Par es decir a 86 Pasos y se calcula la distancia teórica (En metros) entre centros:

$$C = \frac{1}{4} p \left[ L - \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} + \sqrt{\left[ L - \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} \right]^2 - \frac{8(Z_2 - Z_1)^2}{4\pi^2}} \right]$$

$$C = \frac{1}{4} * 1 \text{ in} \left[ 86 - \frac{(30 + 60)}{2} + \sqrt{\left[ 86 - \frac{(30 + 60)}{2} \right]^2 - \frac{8(60 - 30)^2}{4\pi^2}} \right]$$

$$C = 19,28 \text{ in} = 506,171 \text{ mm}$$

Donde:

$L$  = Longitud Total De La Cadena (Pasos)

$p$  = Paso Diametral (mm)

$Z_1$  = Numero de dientes del Piñón

$Z_2$  = Numero de dientes de la rueda

$C$  = Distancia entre centros de ruedas (in)

Finalmente se calcula el ángulo de contacto tanto en el piñón como en la rueda grande.

$$\beta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \frac{(D_2 - D_1)}{2C}$$

$$\beta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \frac{(19.107 \text{ in} - 9.567 \text{ in})}{2 * 19,928 \text{ in}}$$

$$\beta_1 = 152,30^\circ$$

$$\beta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \frac{(D_2 - D_1)}{2C}$$

$$\beta_2 = 180^\circ + \text{sen}^{-1} \frac{(19.107 \text{ in} - 9.567 \text{ in})}{2 * 19,928 \text{ in}}$$

$$\beta_2 = 207,697^\circ$$

Donde:

$\beta_1 = \text{Angulo de contacto del Piñón}$

$\beta_2 = \text{Angulo de contacto de la rueda}$

#### 4.5 SISTEMA ESTRUCTURAL INFERIOR

4.5.1 Viga soporte primaria. Para realizar el diseño de las vigas de soporte lateral se procede a realizar el análisis de las cargas a las que está sometido el elemento y de esta manera obtener el momento flector máximo al que está sometido la viga.

Figura 96. Viga de soporte primaria

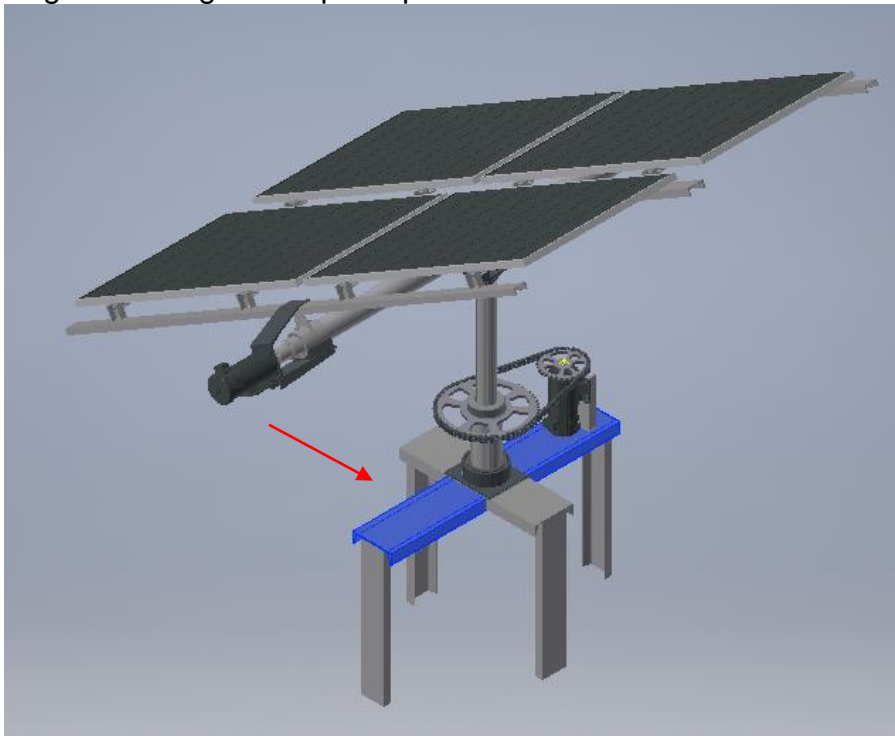
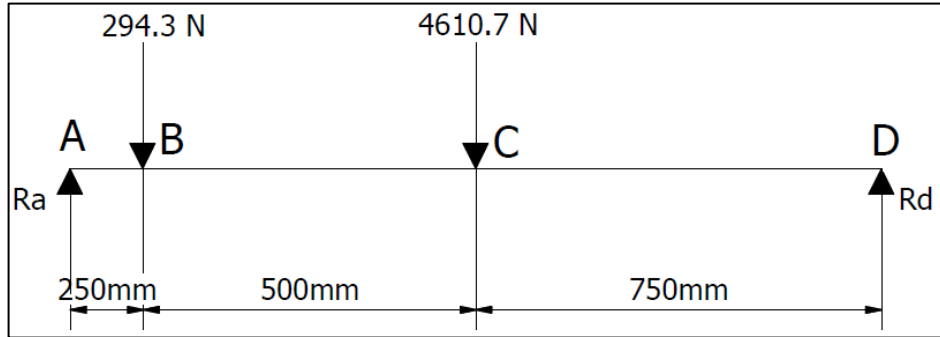


Figura 97. Análisis de Cargas sobre Viga Soporte Primaria



Se realiza la Sumatoria de Fuerzas para obtener los diagramas de esfuerzo cortante (Figura 98) y momento flector (Figura 99).

$$\sum M_A = 0$$

$$-(294,3N * 0,25m) - (4610,7 * 0,75m) + (R_d * 1,5m) = 0$$

$$R_d = \frac{3531,6Nm}{1,5m}$$

$$R_d = 2354,4 N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 294,3 N - 4610,7N + 2354,4 N = 0$$

$$R_c = 2550,6 N$$

Figura 98. Diagrama de Cortantes en Viga Soporte Principal.

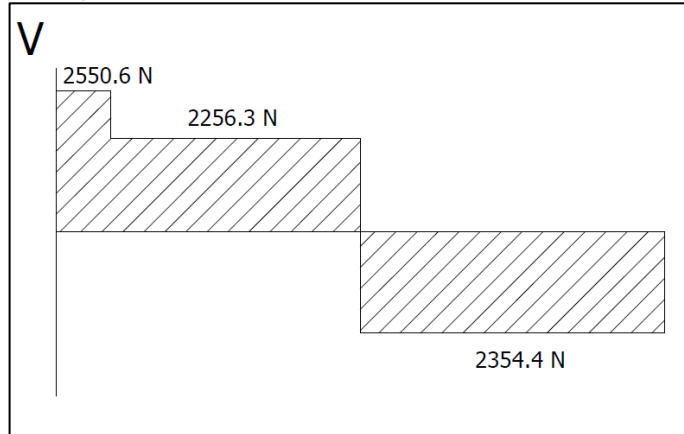
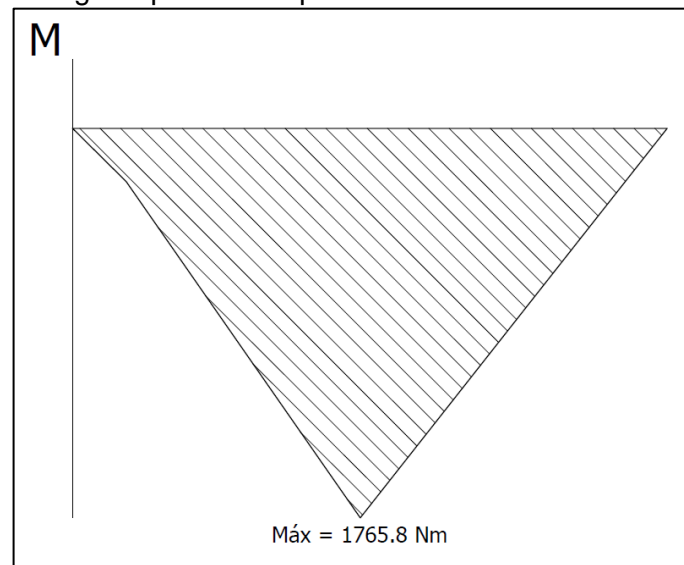


Figura 99. Diagrama de Momento Flector Máximo en Viga Soporte Principal.



Una vez calculado el momento flector máximo se inicia el cálculo de la viga requerida para el sistema utilizando un factor de seguridad de 2 para obtener el esfuerzo máximo permisible por la viga:

$$\sigma_{Per} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Per} = \frac{2,530 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\sigma_{Per} = 1,265 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\sigma_{per}$  = Esfuerzo Permisible

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F. S. = Factor Seguridad

Una vez calculado el esfuerzo permisible, se procede a calcular el módulo de sección requerido por elemento mediante el cual se seleccionará la viga a utilizar:

$$S_y = \frac{M_{Max}}{\sigma_{per}}$$

$$S_y = \frac{1765,8 Nm}{1,265 \times 10^8 Pa}$$

$$S_y = 1,39588 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_y = 13,9588 cm^3$$

Donde:

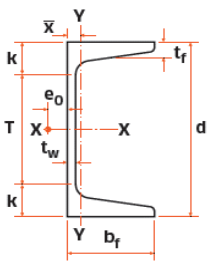
$S_y$  = Módulo De Sección

$M_{Máx}$  = Momento Flector Máximo Aplicado

$\sigma_{per}$  = Esfuerzo Permisible

Se procede a buscar en la tabla de perfiles en C de compañía DEACERO (Ver Anexo D), sabiendo que debido al requerimiento de soporte de la chumacera de giro rotacional el peralte debe ser de al menos 250mm, por lo tanto utilizaremos un perfil C10X15.3 caracterizada en cuadro 14.

Cuadro 14. Caracterización y dimensionamiento de la Viga de Soporte Principal

			<b>LONGITUD</b>	1500,000	mm	
			<b>ÁREA</b>	28.970	cm <sup>2</sup>	
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	215,74	N/m <sup>3</sup>	
			<b>PESO NETO</b>	34.2	Kg	
			<b>MATERIAL</b>	Acero Al Carbono ASTM A36		
			<b>PROCESO</b>	Laminado En Caliente		
			<b>ESFUERZO ULTIMO</b>	4,080E+08	Pa	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	2,530E+08	Pa	
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,00E+11	Pa	
			<b>C10X15.3</b>			<b>EJE X-X</b>
<b>d</b>	254	mm	<b>S<sub>x</sub></b>	221	cm <sup>3</sup>	
<b>t<sub>w</sub></b>	6.10	mm	<b>r<sub>x</sub></b>	9.83	cm	
<b>b<sub>f</sub></b>	66	mm	<b>EJE Y-Y</b>	<b>I<sub>y</sub></b>	94.5	cm <sup>4</sup>
<b>T</b>	203	mm		<b>S<sub>y</sub></b>	18.8	cm <sup>3</sup>
				<b>r<sub>y</sub></b>	1,81	cm



4.5.2. Columna Soporte Primaria. Las columnas de soporte primario son las encargadas de sostener todo el peso de la estructura, tienen una longitud de 890mm en un perfil en C6X8.2 con un radio de giro en Y de 1.36 cm y están fabricadas en acero ASTM A36.

Figura 100. Columnas de soporte primarias

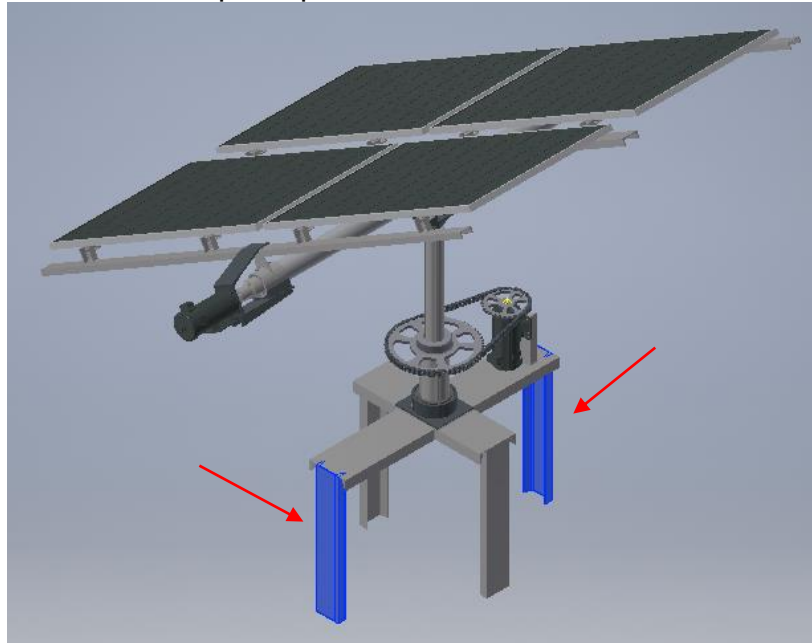








Figura 101. Tabla 5.1 Valores Aproximados del factor de longitud Efectiva  $K$

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, $K$ .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Valor $K$ teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0

Tomado de J. MCCORMAC, S. CSERNARK, Diseño De Estructuras De Acero, 5ta Edición, AlfaOmega 2013

Se procede a verificar el elemento mediante la desigualdad para el chequeo por esbeltez:

$$\frac{KL}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{Flu}}}$$

$$\frac{1 * 0,89m}{0,0136m} \leq 4,71 \sqrt{\frac{2,00 * 10^{11} Pa}{2,50 * 10^8 Pa}}$$

$$65,441 \leq 133,2189 \Rightarrow \text{VERDADERO}$$

Donde:

$K$  = Factor De Longitud Efectiva

$L$  = Longitud Del Elemento

$r_y$  = Radio De Giro Del Elemento en Y

$E$  = Módulo De Elasticidad

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

Se procede a calcular el Esfuerzo de Pandeo Crítico Elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r_y}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2,00 * 10^{11} Pa}{\left(\frac{1 * 0,890m}{0,0136m}\right)^2}$$

$$F_e = 146,716 * 10^6 Pa$$

Donde:

$F_e$  = Esfuerzo Pandeo Critico Elástico

$E$  = Módulo De Elasticidad

$K$  = Factor De Longitud Efectiva

$L$  = Longitud Del Elemento

$r_y$  = Radio De Giro Del Elemento en Y

Teniendo calculado el Esfuerzo por Pandeo Crítico Elástico, se procede a calcular el Esfuerzo de Pandeo Crítico por Flexión para elementos que cumplan el chequeo por esbeltez:

$$F_{Cr} = \sigma_{Flu} \left[ 0,658^{\sigma_{Flu}/E} \right]$$

$$F_{Cr} = 2,50 * 10^8 Pa \left[ 0,658^{\frac{2,50 * 10^8 Pa}{2,00 * 10^{11} Pa}} \right]$$

$$F_{Cr} = 2,498692 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$F_{Cr}$  = Esfuerzo Pandeo Critico Por Flexión

$\sigma_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

$E$  = Módulo De Elasticidad

Para conocer la resistencia de diseño de este elemento se utiliza un factor de carga de 0.9 obteniendo:

$$R_D = \phi_c F_{Cr} A_{St}$$

$$R_D = 0,9 * (2,49869 \times 10^8 \text{ Pa}) * (1,548 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$R_D = 348117,7694 \text{ N}$$

Donde:

$R_D$  = Resistencia Diseño (Máxima)

$\phi_c$  = Factor De Carga (LRFD)

$F_{Cr}$  = Esfuerzo Pandeo Critico Por Flexión

$A_{St}$  = Área Sección Transversal Del Elemento

Finalmente se compara la resistencia máxima ( $R_D$ ) soportada por la columna con la carga real aplicada mediante el factor de seguridad, y se determina que el elemento sí cumplía con las condiciones de diseño requeridas.

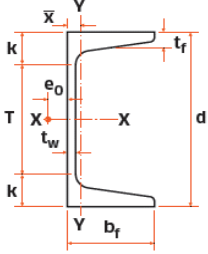
$$F.S. = \frac{R_D}{C_{Ap}}$$

$$F.S. = \frac{348117,7694 \text{ N}}{2550,6 \text{ N}}$$

$$F.S. = 136,484$$

De lo anterior se deduce que el elemento cumple con los requerimientos de diseño con un factor de seguridad de 136.484. Las características del elemento se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Caracterización y dimensionamiento de la Columna Soporte Primaria

			<b>LONGITUD</b>	890.000	mm	
			<b>ÁREA</b>	15.48	cm <sup>2</sup>	
			<b>PESO ESPECIFICO</b>	215,74	N/m <sup>3</sup>	
			<b>PESO NETO</b>	12.2	Kg	
			<b>MATERIAL</b>	Acero Al Carbono ASTM A36		
			<b>PROCESO</b>	Laminado En Caliente		
			<b>ESFUERZO ULTIMO</b>	4,080E+08	Pa	
			<b>ESFUERZO FLUENCIA</b>	2,530E+08	Pa	
			<b>MÓDULO ELASTICIDAD</b>	2,00E+11	Pa	
			<b>C6X8.2</b>			<b>EJE X-X</b>
<b>S<sub>x</sub></b>	71.3	cm <sup>3</sup>				
<b>EJE Y-Y</b>	<b>r<sub>x</sub></b>	5.94				cm
	<b>I<sub>y</sub></b>	28.6				cm <sup>4</sup>
	<b>S<sub>y</sub></b>	8.00				cm <sup>3</sup>
<b>d</b>	152	mm				
<b>t<sub>w</sub></b>	5.08	mm				
<b>b<sub>f</sub></b>	48.8	mm				
<b>T</b>	111	mm				

#### 4.6 ELEMENTOS DE SUJECIÓN

4.6.1 Soldadura Crítica. La soldadura crítica del sistema será la encargada de unir las vigas de soporte central de los paneles al Acople Estructura-Eje del medio (Figura 102). Para realizar los cálculos de esta soldadura se supone la situación crítica en donde el arreglo de paneles se encuentra posicionado a 90° (Figura 103).

Figura 102. Acople Eje-Estructura, Viga Soporte Central

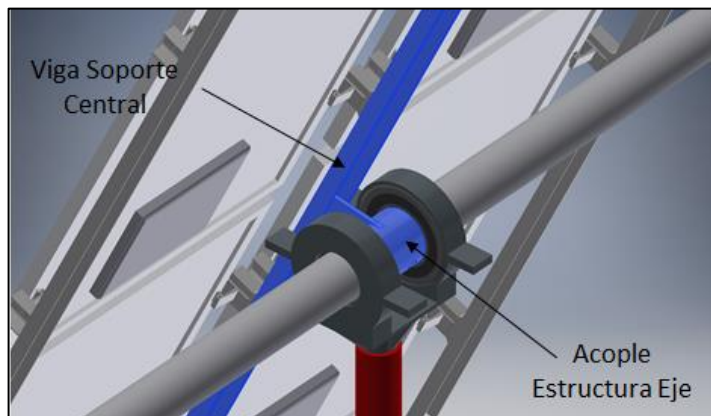
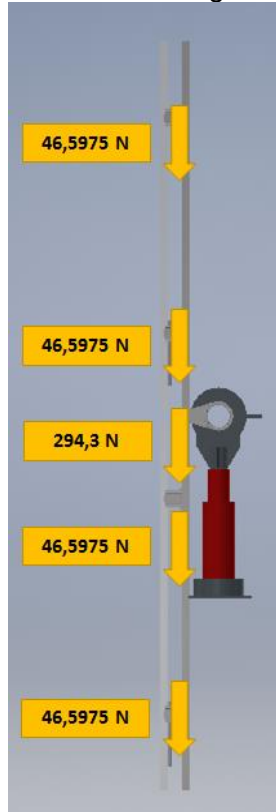
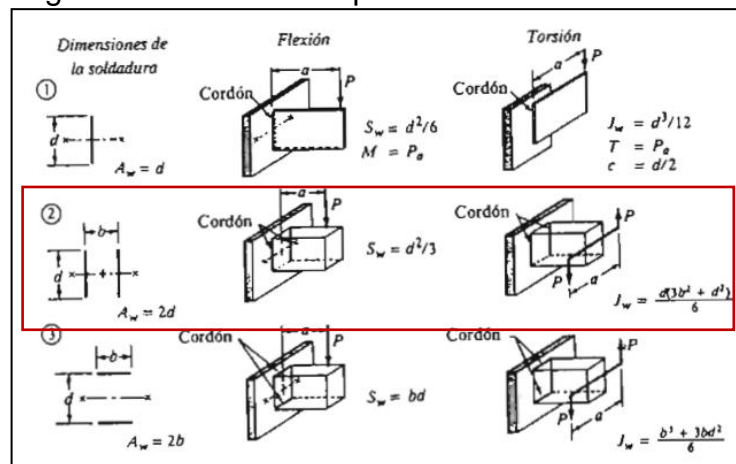


Figura 103.  
Análisis de Cargas



Sabiendo que la soldadura en este punto está sometida a flexión, y se utiliza un cordón alrededor del elemento de Acople Estructura-Eje, se puede decir que la soldadura estará sometida a flexión, por lo que se procede a realizar el cálculo del factor geométrico;

Figura 104. Selección tipo soldadura



$$Aw = 2d$$

$$Aw = 2 * 0,01m$$

$$Aw = 0,02m$$

Donde

*Aw = Factor Geométrico a Cortante*

*d = Ancho de la Platina*

De acuerdo a la figura 81 se procede a calcular la carga a cortante

$$Fo = \frac{Fc}{Aw}$$

$$Fo = \frac{480.69N}{0,02m} = 24034,5N/m = 1372,916Lb/in$$

Donde

*Fo = Carga a Cortante*

*Aw = Factor Geométrico a Cortante*

*Fc = Fuerza Aplicada*

Para calcular el grosor de la soldadura es necesario tener en cuenta la siguiente relación;

$$W = \frac{Fo}{fa}$$

Donde

*W = Dimensión Del Cateto*

*Fo = Carga a Cortante*

*fa = Fuerza Admisible Por Pulgada De Lado*

La fuerza admisible se selecciona dependiendo del material que se vaya a soldar. Ya que es una soldadura estática se selecciona una soldadura para elementos estructurales:

Cuadro 16. Soldadura seleccionada

GRADO DE ASTM DEL METAL BASE	ELECTRODO	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE	FA
A36	E60	13.600 psi	9.600 lb/in

Fuente: [http://www.susferrin.com.ar/\\_capacitacion/pdf/SUSFERRIN\\_Di\\_seno\\_Elementos\\_Maquinas.pdf](http://www.susferrin.com.ar/_capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Di_seno_Elementos_Maquinas.pdf)

Entonces:

$$W = \frac{1372,916 \text{ lb/in}}{\frac{9,600 \text{ lb}}{\text{in}} \text{ por pulgada de cateto}} = 0,1430 \text{ in}$$

Teniendo en cuenta el espesor de la placa que es inferior a 1/2" (10cm) se tiene que el electrodo a utilizar debe ser un 3/16".

Figura 80. Límite de tamaño de lado para soldar

Espesor de la placa (pulg)	Tamaño máximo del lado, para soldaduras de chaflán (pulg)
≤ 1/2	3/16
> 1/2 - 3/4	1/4
> 3/4 - 1 1/4	5/16
> 1 1/4 - 2 1/4	3/8
> 2 1/4 - 6	1/2
> 6	5/8

4.6.2 Tornillo Crítico. Los tornillos críticos del sistema corresponden a los encargados de unir los acoples de las vigas de soporte con el eje de giro horizontal, estos elementos están sometidos a esfuerzos de tipo cortante, por lo que se procede a realizar su cálculo sabiendo que el torque es de 658.39Nm:

$$F = \frac{T}{d}$$

$$F = \frac{658,39 \text{ Nm}}{0,1143 \text{ m}}$$

$$F = 5760,19 \text{ N}$$

Donde

$F$  = Fuerza Aplicada Sobre el Eje

$T$  = Torque Máximo Suministrado Por el Motor

$d$  = Radio Del Eje de Giro Principal

$$\tau_{per} = \frac{\tau_{Flu}}{F.S.}$$

$$\tau_{per} = \frac{2,530 \times 10^8 \text{ Pa}}{2}$$

$$\tau_{per} = 1,265 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$\tau_{per}$  = Esfuerzo Permisible

$\tau_{Flu}$  = Esfuerzo Fluencia

F. S. = Factor Seguridad

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante permisible:

$$\tau_{per} = 0,57 * \tau_{per}$$

$$\tau_{per} = 0,57 * 1,26 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\tau_{per} = 72,105 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Donde:

$\tau_{per}$  = Esfuerzo Cortante Permisible

$\tau_{per}$  = Esfuerzo Permisible

Teniendo la fuerza que se aplica sobre el eje y el esfuerzo cortante permisible se puede decir que;

$$\tau_{per} = \frac{F}{2A}$$

$$r = \sqrt{\frac{F}{2 * \pi * \tau_{per}}}$$

$$r = \sqrt{\frac{5760,19 \text{ N}}{2 * \pi * 72,105 \times 10^6 \text{ Pa}}}$$

$$r = 3,566 \times 10^{-3} \text{ m} = 3,566 \text{ mm}$$

Donde:

$r$  = Radio Del Tornillo



$F = \text{Fuerza Aplicada Sobre el Eje}$   
 $\tau_{per} = \text{Esfuerzo Cortante Permisible}$

De lo anterior se tiene que se requiere un perno con radio 4 mm o diámetro 8 mm, por lo que se tiene que cualquier tornillo por encima de este diámetro sirve, para el caso particular del sistema se selecciona un tornillo de 1/2" de diámetro grado 5.

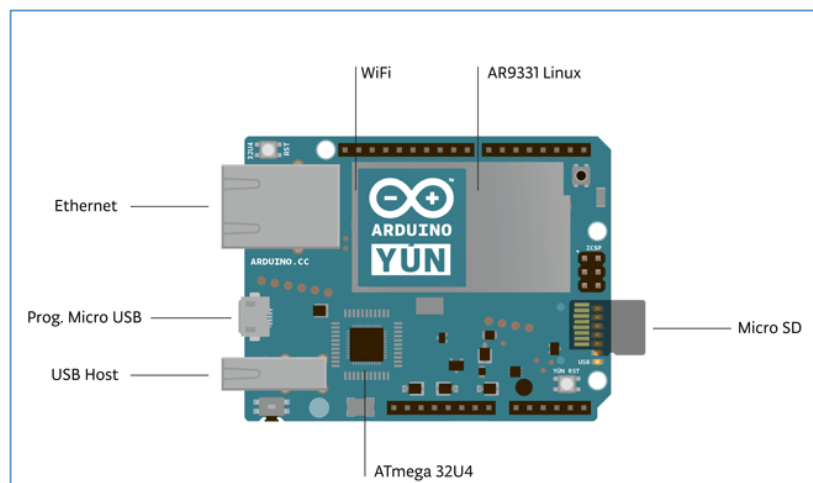
#### 4.7 SISTEMA DE CONTROL

Para cumplir con el objetivo de aumentar la energía generada por los paneles solares, es necesario que estén lo más perpendiculares al sol en cada momento; por lo tanto, es un sistema de control el cual se encargue de coordinar los movimientos necesarios para ubicar las celdas perpendiculares al sol en cada momento.

4.7.1 Componentes del sistema de control. El sistema de control está conformado por un Arduino tipo Yun, el cual estará programado con las cartas solares, él toma como variables las hora y los ángulos, con base a esto el arduino envía una señal DC al controlador del motor permitiendo que este realice la corrección dependiendo de la hora tanto para el movimiento principal (seguimiento del sol desde oriente hasta occidente), como para el secundario (Solsticio de verano-solsticio de invierno).

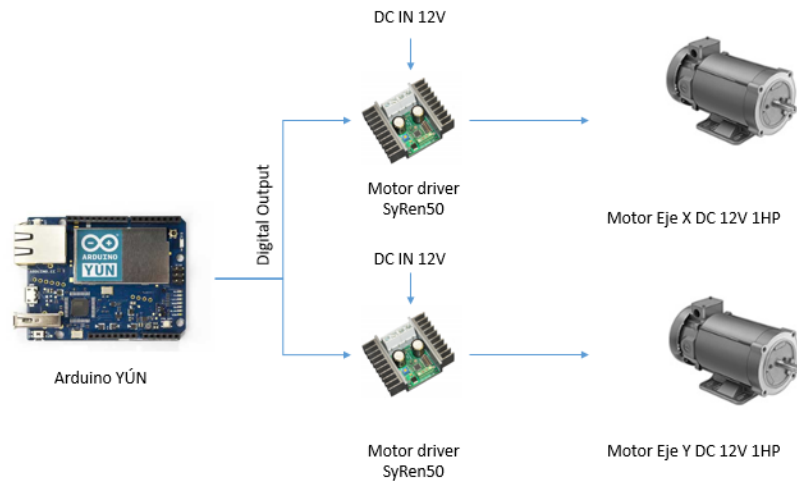
Además de los motores tipo DC para llevar acabo dicho movimiento, esos movimientos son controlados con un procesador Arduino tipo Yun, debido a su conectividad y sus puertos, los cuales brindan al usuario un monitoreo constante del sistema.

Figura 105. Arduino tipo Yun



Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardYun>

Debido a que el voltaje que se genera de salida del Arduino es 5 VDC, la cual es muy limitada en corriente, no alcanzan a dar arranque al motor, por lo que se necesita la instalación de un controlador para motores DC, por recomendación de la empresa se utiliza un controlador Kb Electronics Inc. Modelo SyRen50.



## 5. MANUALES

### 5.1. MANUAL DE INSTALACIÓN Y MONTAJE

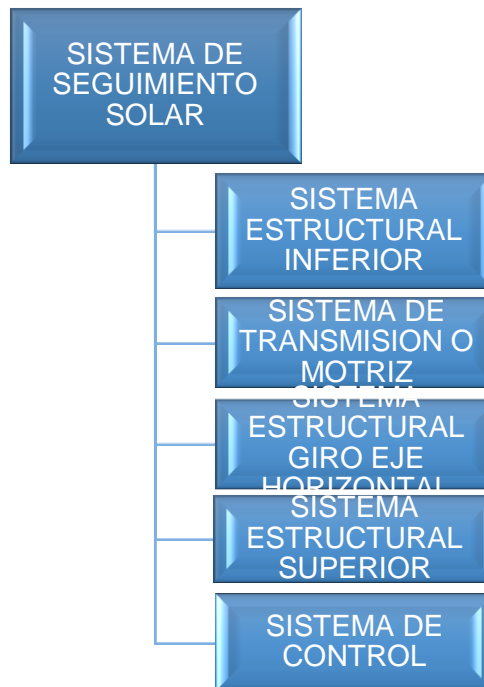
Este manual contiene toda la información necesaria para la correcta instalación de la máquina de seguimiento solar para un arreglo básico de cuatro paneles solares. El instructivo recomienda que se lea atentamente este manual, antes de proceder a realizar algún ensamble.

Herramientas:

- Juego de llaves fijas desde ¼” hasta 1”
- Equipos de soldadura
- Juego de llaves brístol
- Flexómetro

En el siguiente esquema se muestran los pasos a seguir para efectuar un ensamble adecuado y exitoso.

Figura 106. Guía de ensamble

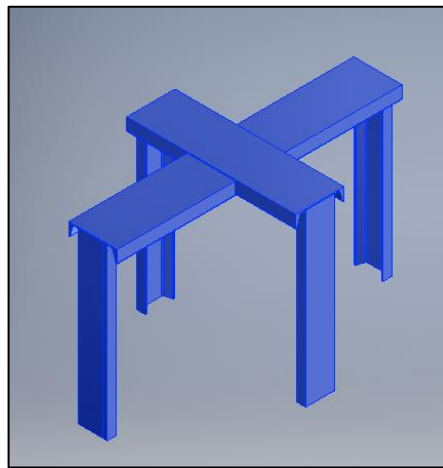


### 5.1.1 Sistema estructural inferior.

Cuadro 17. Montaje sistema estructural inferior

Paso	Actividad
Paso 1	Soldar las vigas de perfil C 10X15.3 X980 sobreponiendo la viga que contiene la muesca a las columna de soporte C 6X8.2X896 formando 90° como se observa en la figura
Paso 2	Verificar que la estructura está a nivel

Figura 107. Estructura inferior

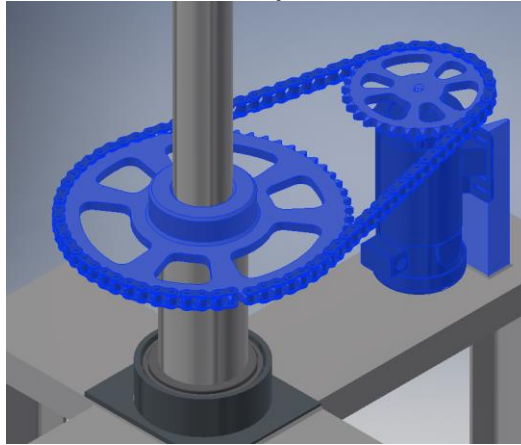


### 5.1.2 Sistema de transmisión-Sistema estructura eje horizontal.

Cuadro 18. Montaje Sistema de transmisión-Sistema estructura eje horizontal

Paso	Actividad
Paso 1	Soldar a la vigas de perfil C 10X15.3 X980 superior el soporte de rodillo cónico
Paso 2	Introducir en el soporte del el rodamiento cónico
Paso 3	Introducir en el rodamiento cónico el eje de giro rotacional
Paso 4	Introducir la rueda conducida en el eje de giro rotacional, asegurando que quede fija para la transmisión del movimiento.
Paso 5	Soldar a la viga C 10X15.3 X980 inferior la columna soporte del motor de giro rotacional
Paso 6	Atornillar el motor a la columna de soporte soldada en el paso 6
Paso 7	Acoplar el motor de giro rotacional al eje conductor
Paso 8	Colocar la cadena a través del contorno de la rueda conducida hasta la rueda conductora

Figura 108. Sistema de transmisión- Sistema estructura eje horizontal.

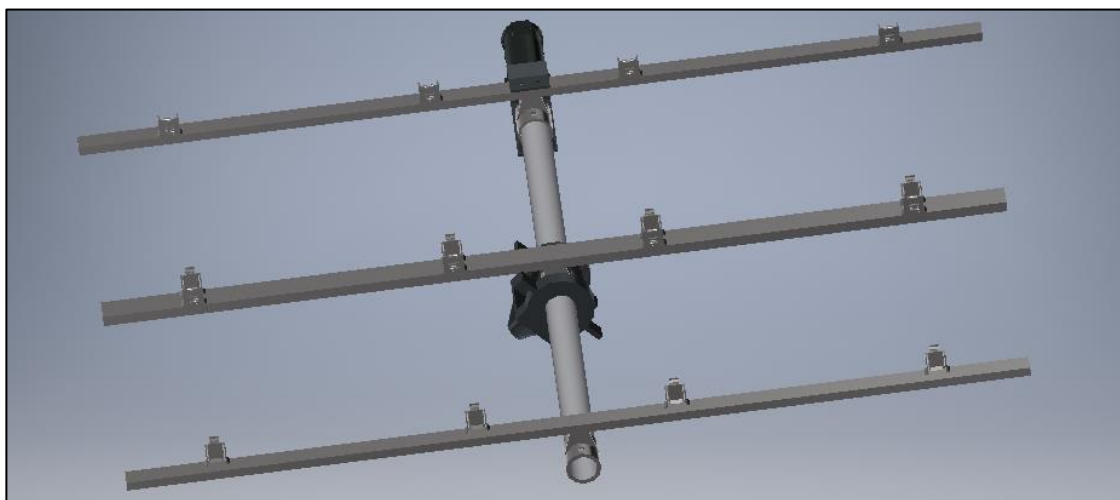


### 5.1.3 Sistema estructura superior

Cuadro 19 Montaje sistema estructural superior

Paso	Actividad
Paso 1	Ancle los clips de sujeción a la base del perfil 3X3,5
Paso 2	Suelde a las vigas C 3 X3,5 los soportes de los clips de sujeción
Paso 3	Introduzca en el tornillo
Paso 4	Instale al eje de rotación hueco el eje para transmitir el movimiento
Paso 5	Asegure el soporte del motor

Figura 109. Sistema Estructura Superior



## 5.2. MANUAL DE OPERACIÓN

Para arrancar, para o pausar el sistema se debe activar por web, el cual energiza o desactiva completamente el sistema, esto con el fin de brindar una facilidad para realizar mantenimiento ya sea a la maquina o al área donde está instalado el sistema de seguimiento solar.

Toda la programación del Arduino es por código abierto, esto quiere decir, que se puede utilizar códigos utilizados en otros sistemas siempre y cuando sea útil y funcional acorde a la necesidad, esta programación es realizada con la información de cartas solares del sitio y código C++.

### 5.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta los componentes de la máquina, se recomienda seguir el siguiente manual de mantenimiento con las diferentes actividades a realizar.

5.3.1 Mantenimiento preventivo. Este tipo de mantenimiento consiste en realizar inspecciones para posibles reparaciones o cambios de componentes, este mantenimiento debido al poco movimiento y bajas velocidades del sistema se realizará preventivo programado o preventivo predictivo, con la observación que pueden presentarse averías o fallas en el sistema antes de lo previsto.

Cuadro 20. Periodicidad de mantenimiento

Descripción del Mantenimiento	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Revisión general del sistema ( Cadena, Tornillos, Soldaduras)	x					
Revisión Sistema Motriz			x			
Revisión Sistema Eléctrico		x				
Verificación estado de Motores y Ruedas Dentadas		x				
Ajustes Tornillería				x		
Chequeo Base Anclaje de Motor (Paneles )					x	
Chequeo Acople Estructura Superior					x	
Chequeo Carcasa de soporte estructura Superior					x	
Limpieza Capsula de intensidad Lumínica			x			
Pintura estructura						x
Cambio de Cadena						x
Lubricación			x			

Teniendo así como prioridad la revisión general del sistema.

➤Mantenimiento de la estructura: debe verificarse el estado de las uniones atornilladas y de las soldaduras realizadas en el ensamble al sistema, en el caso de realizar un refuerzo de las soldaduras se recomienda que lo realice una persona con el conocimiento y el mismo tipo de soldadura utilizado para inicialmente en el ensamble del sistema.

➤Mantenimiento sistema de control: Debe verificarse el estado de la resistencia sensible a la luz, el cableado, PLC, y demás componentes que conformen el sistema de control. En este caso se realiza una inspección diaria y una limpieza a la resistencia cada mes.

5.3.2. Mantenimiento Correctivo. Este tipo de mantenimiento solo se realizara cuando un componente o pieza del sistema este averiada y no haya otra alternativa más que remplazar dicho componente.

5.3.3 Lubricación. Una lubricación correcta y un mantenimiento regular son importantes para un funcionamiento confiable y una prolongada vida en los elementos mecánicos como lo son la cadena de transmisión de potencia.

#### 5.4. MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

5.4.1 Medidas de seguridad generales. Recuerde siempre portar los elementos de protección personal, de igual manera mantenga las manos y demás partes de su cuerpo alejados de elementos en movimiento.

Tenga en cuenta que las condiciones de instalación no son siempre las mismas, a continuación la figura 85. Muestra algunas de las señales más importantes.

Figura 110. Señales de uso obligatorio



Fuente: Prox, [online]. Available from Internet  
[http://phirox.es/pirox-pr-senal\\_tu-empresa-de-seguridad.html](http://phirox.es/pirox-pr-senal_tu-empresa-de-seguridad.html)

Se recomienda conocer y socializar el plan de evacuación en caso de una emergencia. Es importante que conozca los símbolos o señales de evacuación.



Figura 111. Señales de evacuación.



Fuente: Prox, [online]. Available from Internet  
[http://phirox.es/pirox-pr-senal\\_tu-empresa-de-seguridad.html](http://phirox.es/pirox-pr-senal_tu-empresa-de-seguridad.html)

No manipule ningún sistema eléctrico encendido, recuerde siempre colocar llaves o candados en los sistemas que manipule.

Figura 112. Señal alto voltaje



Fuente:  
SEGURIDAD  
GLOBAL,  
[online].  
Available from  
Internet:  
[http://www.carteles  
seguridadsg.com](http://www.cartelesseguridadsg.com).

No manipule ningún sistema mecánico en funcionamiento.

Figura 113. Mecanismos en movimiento



Fuente:SEGURIDAD  
GLOBAL,  
[online]. Available from  
Internet:  
[http://www.cartellessegurida  
dsg.com](http://www.cartellesseguridadsg.com).

## 6. IMPACTO AMBIENTAL

El estudio de impacto ambiental será desarrollado bajo los componentes de tres aspectos como son consumo, impacto y otros riesgos, obteniendo así una evaluación ambiental de la máquina, con el objetivo de prevenir, corregir y prever los efectos negativos sobre el ambiente.

### 6.1 CONSUMO

6.1.1 Fuentes hídricas. El sistema de seguimiento solar no estará abasteciendo, un lago, manantial, río, acueducto ni pozo ya que son sistemas que no tienen ninguna incidencia con dicha componente.

6.1.2 Suelo. El proyecto no tiene contemplado cambios en los suelos o superficies en las cuales sea instalado el sistema de seguimiento solar, debido a que son condiciones de instalación, generalmente estas instalaciones se realizan en cubiertas o techos de las estructuras (edificios, casas, bodegas), no se tiene contemplada la tala de árboles por parte de la empresa

6.1.3 Energía. Los motores con los que cuentan los sistemas son abastecidos por la energía generada por el sistema fotovoltaico, por consiguiente pueden ser instalados tanto en sistemas Off-grid, como en sistemas Grid-tied.

### 6.2 IMPACTO

Los posibles impactos de afectación que genere el sistema están relacionadas al mantenimiento y operación del sistema de seguimiento solar. Este impacto se evaluará en distintas categorías tales como: el aire, agua, suelo y cultura, que son aspectos directamente relacionados con el entorno y la máquina.

6.2.1 Aire. La máquina no produce contaminación auditiva, además debido a su funcionamiento no genera humo, olores fuertes, basura orgánica, particular o gases.

6.2.2 Aguas. Por el tipo de proyecto no se generan aguas servidas; sin embargo, en el mantenimiento del sistema puede utilizarse para lavar o limpiar los elementos del sistema una bayetilla con detergente y agua.

6.2.3 Suelos. La basura ordinaria producida por el diseño, ensamble, puesta en marcha y mantenimiento se dispondrá para posteriormente ser llevados a un relleno sanitario o entregarlos a la entidad encargada de dicho proceso. En el caso de los desechos especiales tales como varillas, cables, latas, entre otros. Se reutilizarán los materiales en otros proyectos o instalaciones, sin embargo el material que no sea reutilizable por las cantidades será chatarrizado.

6.2.4 Cultural. El desarrollo, instalación o mantenimiento del sistema de seguimiento solar no afectará el patrimonio científico, cultural, arquitectónico o arqueológico.

## 7. EVALUACION FINANCIERA

En la empresa SMART ENERGY SOLUTIONS S.A.S. actualmente cuenta con una instalación de un sistema de generación de energía fotovoltaico gried-tied, este sistema es estático y se encuentra instalado en la cubierta de una edificación en el barrio Cedritos en la ciudad de Bogotá.

Para la correcta evaluación financiera se realizara una evaluación costo beneficio comparando dos sistemas, el sistema estático (Instalado normalmente en las cubiertas de edificaciones) y un sistema de seguimiento solar de dos ejes de libertad, donde se puede comparar el rendimiento de la plataforma fotovoltaica su generación y eficiencia.

Para el cálculo del análisis financiero se tienen presentes los siguientes aspectos:

- ✓ Cantidad de energía generada en sistemas estáticos
- ✓ Cantidad energía generada en sistemas de seguimiento solar de dos ejes
- ✓ Costo instalación y fabricación de ambos sistemas

### 7.1 SITUACION DE ENERGIA SISTEMA ACTUAL

Un sistema estático de cuatro paneles solares de referencia Q.PRO BFR-G3 245-260 instalado por la empresa Smart Energy Solutions, genera una energía eléctrica anual media de 1.489 kWh; se consideran los costos de mantenimiento anuales del sistema teniendo en cuenta una bolsa de repuestos anual incluyendo mantenimiento por un costo de \$ 90.000

### 7.2 SITUACION SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE DOS EJES

Un sistema de seguimiento solar de dos ejes como el que se menciona en el proyecto, con paneles de referencia Q.PRO BFR-G3 245-260, genera una energía anual media de 1.959 kWh; se considera una bolsa de repuestos que incluye elementos como tornillos, la cadena de transmisión de potencia, y la mano de obra de dicho mantenimiento por un costo de \$250.000

### 7.3 COMPARACION COSTOS

Cuadro 21. Costos sistema estático

CANT	ITEM	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
4	Q.PRO BFR-G3 245-260 PANELES SOLARES	650.000	2.600.000
1	INVERSOR	1.560.000	1.560.000
1	KIT CABLEADO Y PROTECCIONES ELECTRICAS	2.800.000	2.800.000
1	BASE	380.000	380.000
1	ACCESORIOS	120.000	120.000
<b>TOTAL</b>			<b>7.460.000</b>

Cuadro 22. Costos sistema seguimiento solar dos ejes

CANT	ITEM	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
4	Q.PRO BFR-G3 245-260 PANELES SOLARES	650.000	2.600.000
1	INVERSOR	1.560.000	1.560.000
1	KIT CABLEADO Y PROTECCIONES ELECTRICAS	2.800.000	2.800.000
1	PERFIL C 3X3,5	27.800	27.800
1	PERFIL C 6X 8,2	32.000	32.000
1	PERFIL C 10X15,3	44.000	44.000
2	MOTOR DRIVER	360.000	720.000
1	ARDUINO YUN	210.000	210.000
1	MOTOR DC	600.000	600.000
1	TUBO ASTM A53 4"	390.000	390.000
2	FUNDICIONES	200.000	400.000
2	RODAMIENTO DE BOLAS	7.000	14.000
1	RODAMIENTO CONICO	12.000	12.000
1	EJE ASTM A 36	475.000	475.000
1	ACCESORIOS	270.000	270.000
<b>TOTAL</b>			<b>10.154.800</b>

## 7.4 ANALISIS COSTO BENEFICIO

7.4.1 Análisis Costo Beneficio Sistema Estático. Los costos para la implementación de la alternativa son de \$7.460.000, con costos de mantenimiento anuales de \$90.000, el costo del kWh en diciembre de 2.015 fue \$423,50kWh cobrado por la empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P y la energía media generada anual es de 1.489 kWh el ahorro anual es \$ 630.591.

La relación costo - beneficio del sistema estático en un periodo de tiempo de 10 años, considerando el aumento del costo del kWh. Se representa de la siguiente manera:

Cuadro 23. Análisis de costo kWh Sistema Estático cobrado por empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P

Año	Energía Generada anualmente [kWh/año]	Costo kWh [COP]	Costo total de energía [COP]
1	1.489,00	\$423,50	\$630.592
2	1.489,00	\$437,14	\$650.901
3	1.489,00	\$504,81	\$751.662
4	1.489,00	\$525,96	\$783.154
5	1.489,00	\$580,50	\$864.365
6	1.489,00	\$648,94	\$966.272
7	1.489,00	\$627,52	\$934.377
8	1.489,00	\$627,40	\$934.199
9	1.489,00	\$667,36	\$993.699
10	1.489,00	\$755,59	\$1.125.074



Cuadro 24. Aumento proyección costo de mantenimiento

Año	Costo Mantenimiento	% Aumento anual	Costo total de mantenimiento [COP]
1	90.000,00	0%	\$90.000
2	90.000,00	10%	\$99.000
3	99.000,00	10%	\$108.900
4	108.900,00	10%	\$119.790
5	119.790,00	10%	\$131.769
6	131.769,00	10%	\$144.946
7	144.945,90	10%	\$159.440
8	159.440,49	10%	\$175.385
9	175.384,54	10%	\$192.923
10	192.922,99	10%	\$212.215

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio (Ahorro)}}{\text{Costos totales anuales (Operación)}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{630.591}{7.460.000} + \frac{650.901}{90.000} + \frac{751.662}{99.000} + \frac{783.154}{108.900} + \frac{864.365}{119.790} + \frac{966.272}{131.769} + \frac{934.377}{144.946} + \frac{934.199}{159.440} + \frac{993.699}{175.385} + \frac{993.699}{192.923} + \frac{1.125.074}{212.215}$$

$$\frac{B}{C} = 1,72$$

7.4.2 Análisis Costo Beneficio Sistema de seguimiento solar automático. Los costos para la implementación de la alternativa son de \$10.154.800, con costos de mantenimiento anuales de \$250.000, el costos del kWh en diciembre de 2.015 fue \$423,50kWh cobrado por la empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P y la energía media generada anual es de 1.959 kWh el ahorro anual es \$ 829.636,5.

La relación costo - beneficio del sistema de seguimiento solar automático en un periodo de tiempo de 10 años, considerando el aumento del costo del kWh, y los costos de mantenimiento al igual que en el cuadro 23 Se representa de la siguiente manera:

Cuadro 25. Análisis de costo KWh Sistema Estático cobrado por empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P

Año	Energía Generada anualmente [kWh/año]	Costo kWh [COP]	Costo total de energía [COP]
1	1.959,00	\$423,50	\$829.637
2	1.959,00	\$437,14	\$856.357
3	1.959,00	\$504,81	\$988.923
4	1.959,00	\$525,96	\$1.030.356
5	1.959,00	\$580,50	\$1.137.200
6	1.959,00	\$648,94	\$1.271.273
7	1.959,00	\$627,52	\$1.229.312
8	1.959,00	\$627,40	\$1.229.077
9	1.959,00	\$667,36	\$1.307.358
10	1.959,00	\$755,59	\$1.480.201

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio (Ahorro)}}{\text{Costos totales anuales (Operación)}}$$

$$\frac{B}{C} = 1,325$$

De acuerdo al resultado obtenido, la relación B/C indica que el beneficio de la inversión para el sistema de seguimiento solar automático de dos ejes es del 1,32%, comparado el mismo análisis para un sistema estático de paneles, el cual arrojó como resultado un porcentaje de 1,72. Esto quiere decir que su retorno de inversión es un poco más lento.

## 8. CONCLUSIONES

- ✓ Los sistemas de seguimiento solar son funcionales en áreas donde no es posible instalar sistemas estáticos, debido a que su generación media de energía es menor en un 31,56%
- ✓ El retorno de la inversión comparado con los sistemas estáticos es menor debido a su inversión inicial, pero una vez realizado el retorno de la inversión el valor del KWh generado por el sistema, es un 30% inferior comparado con el suministrado por CONDENSA S.A. ESP.
- ✓ Elementos como el soporte del motor y la carcasa de soporte son realizadas en fundición debido a los esfuerzos que soporta el sistema

## 9. RECOMENDACIONES

- ✓ En países como Colombia no es necesario la instalación de dos sistemas de seguimiento independiente, debido a su cercanía con la línea del Ecuador, para disminuir costos se puede realizar la instalación del sistema de seguimiento solamente en el movimiento principal.
- ✓ Al realizar instalaciones en áreas donde el terreno no es uniforme, es recomendable dar nivel al suelo donde se va a realizar la instalación.
- ✓ En ciudades donde la corrosión del ambiente o la salinidad del mismo es alta, se recomienda recubrir la estructura con pintura anticorrosiva.

## BIBLIOGRAFIA

BEER, Ferdinand Pierre. Mecánica de materiales. Cuarta edición. México. MacGraw-Hill, 2007.

FITZGERALD, Robert W. Mecánica de materiales. México. Alfaomega, 1990.

HAMROCK, Bernard J. Elementos de máquinas. México. MacGraw-Hill, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Trabajo de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. (NTC 1486).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008 NTC 5613

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1998 NTC 4490

MC CORMAC, Jack C. Diseño de estructuras de acero método LRFD. Segunda edición. México. Alfaomega 2002.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. México. Pearson 2006.

NORTON, Robert L. Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Cuarta edición. México. MacGraw-Hill, 2009.

RESNICK, Robert. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería. Primera edición. Méjico. Continental S.A. 1960.

SHIGLEY, Joseph Edward. Diseño en ingeniería mecánica. Sexta edición. México. MacGraw-Hill, 2002.

ANEXOS

ANEXO A  
BROCHURE SENERGY SOL



# SENERGYSOL

Smart Energy Solutions

Smart Energy Solutions SAS  
Calle 134 A 12B-91 Tel. +57 311 534 3723, +57 317 279 4406  
[info@senergysol.com.co](mailto:info@senergysol.com.co)



## ¿Qué beneficios obtiene la empresa con energía solar?



Adquirir un sistema de **energía limpia** que es **rentable** para las finanzas de la empresa por el ahorro de energía y la **reducción en costos** anuales que representa



Adquirir **independencia energética** con respecto a las volátiles e incrementales tarifas de energía



Obtener una **tarifa fija de energía** para una parte del consumo entre \$150/kWh y \$250/kWh, mucho menor que la cobrada por el operador de red



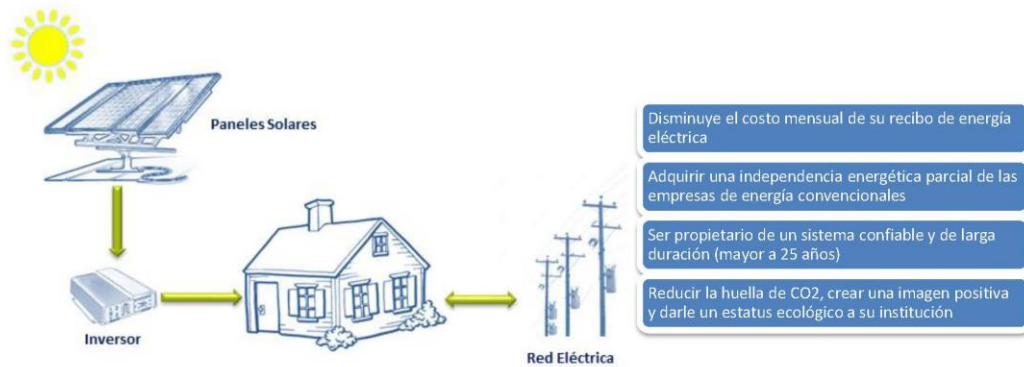
Proyecto con **Tasa Interna de Retorno** entre el 12% y el 18% anual y una **garantía de 25 años** de producción energética



Generar una **imagen positiva** y un **valor agregado** en la institución al mismo tiempo que se aumenta el sentido de **responsabilidad social** y la **conservación del medio ambiente** de la empresa

## ¿Cómo funcionan los sistemas de energía solar conectados a la red?

Los sistemas de energía solar interconectados a la red de SENERGY SOL, o sistemas Grid-tied, pueden funcionar en conjunto con la red eléctrica convencional dando así posibilidad de reducir mensualmente el costo de energía, mantener el respaldo energético de la compañía local y adquirir los beneficios de la energía renovable. Estos sistemas se implementan en torno a tres componentes básicos: Paneles Solares, inversores y dispositivo de monitoreo y funcionan de la siguiente manera:



**1** Los paneles solares, por medio de sus celdas fotovoltaicas, se encargan de convertir la radiación del sol en energía eléctrica. La energía producida por los paneles es entregada en Corriente Continua o DC.

**2** Los inversores son dispositivos electrónicos que convierten la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). La corriente AC es la que la mayoría de electrodomésticos y equipos eléctricos utiliza, y es el tipo de corriente que normalmente proveen los tomacorrientes convencionales.

Los inversores entonces juegan un papel fundamental en el sistema porque permiten hacer uso de la energía eléctrica generada por los paneles solares y además hacen posible que la energía solar funcione al mismo tiempo que la energía que viene de la red pública.

**3** El dispositivo de monitoreo supervisa constantemente el estado del sistema de energía solar y guarda el balance de la energía generada por los paneles. Todos los datos y la información son enviadas a internet para que puedan ser consultados desde un computador o desde cualquier dispositivo móvil con conexión a internet.

El sistema de monitoreo le permite conocer el desempeño de su sistema de energía solar y aumenta su experiencia con los beneficios de la energía renovable.

---

## ¿Cómo realiza SENERGY SOL el diseño y cálculo de los sistemas de energía solar?

El dimensionamiento, diseño y estimaciones de las soluciones implementadas por SENERGY SOL son realizados por profesionales en ingeniería eléctrica con amplio conocimiento del mercado energético y el sector eléctrico, especialmente en el área de la energía renovable y la eficiencia energética.

A continuación se muestran los principales factores utilizados por SENERGY SOL para obtener el funcionamiento correcto, desempeño optimizado y rentabilidad esperada de las soluciones ofertadas. Para más información o preguntas por favor póngase en contacto con nosotros visitando nuestro sitio web [www.senergysol.com.co](http://www.senergysol.com.co) o escribiéndonos a [info@senergysol.com.co](mailto:info@senergysol.com.co).

- 1 Metodología y mejores prácticas sugeridas por Solar Energy International (SEI) para el diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica.
- 2 Uso de SolarGIS para la información de radiación solar y estimación de desempeño de sistemas de energía solar. SolarGIS es la fuente más confiable en el mundo según la Universidad de Génova.
- 3 Soluciones que cumplen con las normas de seguridad del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y los estándares de la Norma Técnica Colombiana NTC2050 (adaptación nacional del National Electric Code de E.E.U.U.).
- 4 Promedio de radiación solar diaria multianual (kWh/m<sup>2</sup>) para la región según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).
- 5 Factores de eficiencia, rendimiento y vida útil de los equipos suministrados para el funcionamiento de la solución.
- 6 Tendencias de la tarifa cobrada por la empresa de energía local y las proyecciones nacionales del precio de la energía e inflación.



The new Q.PRO BFR-G3 is the reliable evergreen for all applications, with a black frame design for improved aesthetics. The third module generation from Q CELLS has been optimised across the board: improved output yield, higher operating reliability and durability, quicker installation and more intelligent design.

#### INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

- Maximum yields with excellent low-light and temperature behaviour.
- Certified fully resistant to level 5 salt fog

#### ENDURING HIGH PERFORMANCE

- Long-term Yield Security due to Anti PID Technology<sup>1</sup>, Hot-Spot Protect, and Traceable Quality Tra.Q™.
- Long-term stability due to VDE Quality Tested – the strictest test program.

#### SAFE ELECTRONICS

- Protection against short circuits and thermally induced power losses due to breathable junction box and welded cables.
- Increased flexibility due to MC4-inter-mateable connectors.

#### PROFIT-INCREASING GLASS TECHNOLOGY

- Reduction of light reflection by 50%, plus long-term corrosion resistance due to high-quality
- Sol-Gel roller coating processing.

#### LIGHTWEIGHT QUALITY FRAME

- Stability at wind loads of up to 5400 Pa with a module weight of just 19 kg due to slim frame design with high-tech alloy.

#### MAXIMUM COST REDUCTIONS

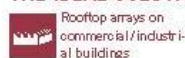
- Up to 31 % lower logistics costs due to higher module capacity per box.

#### EXTENDED WARRANTIES

- Investment security due to 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty<sup>2</sup>.



#### THE IDEAL SOLUTION FOR:



<sup>1</sup> APT test conditions: Cells at -1000V against grounded, with conductive metal foil covered module surface, 25 °C, 168 h

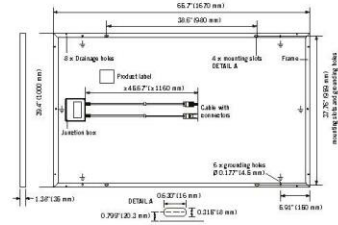
<sup>2</sup> See data sheet on rear for further information.

Engineered in Germany



**MECHANICAL SPECIFICATION**

<b>Format</b>	65.7 in × 39.4 in x 1.38 in (including frame) (1670 mm × 1000 mm × 35 mm)
<b>Weight</b>	41.89 lb (19.0 kg)
<b>Front Cover</b>	0.13 in (3.2 mm) thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
<b>Back Cover</b>	Composite film
<b>Frame</b>	Black anodized aluminum
<b>Cell</b>	6 × 10 polycrystalline solar cells
<b>Junction box</b>	Protection class IP67, with bypass diodes
<b>Cable</b>	4 mm <sup>2</sup> Solar cable; (+) ≥ 45.67 in (1160 mm), (-) ≥ 45.67 in (1160 mm)
<b>Connector</b>	SOLARLOK PV4, IP68



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS (STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C, AM 1.5 G SPECTRUM)<sup>1</sup>

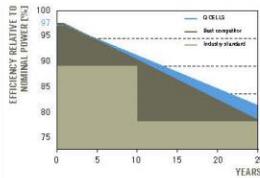
NOMINAL POWER (+5 W/-0 W)	[W]	245	250	255	260
<b>Average Power</b>	$P_{MPP}$ [W]	247.5	252.5	257.5	262.5
<b>Short Circuit Current</b>	$I_{SC}$ [A]	8.52	8.71	8.90	9.09
<b>Open Circuit Voltage</b>	$V_{OC}$ [V]	37.15	37.49	37.83	38.18
<b>Current at <math>P_{MPP}</math></b>	$I_{MPP}$ [A]	8.05	8.21	8.37	8.53
<b>Voltage at <math>P_{MPP}</math></b>	$V_{MPP}$ [V]	30.75	30.76	30.77	30.78
<b>Efficiency (Nominal Power)</b>	$\eta$ [%]	14.7	≥ 15.0	≥ 15.3	≥ 15.6

PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CELL TEMPERATURE (NOCT: 800 W/m<sup>2</sup>, 45 ± 3 °C, AM 1.5 G SPECTRUM)<sup>2</sup>

NOMINAL POWER (+5 W/-0 W)	[W]	245	250	255	260
<b>Average Power</b>	$P_{MPP}$ [W]	182.4	186.0	189.7	193.4
<b>Short Circuit Current</b>	$I_{SC}$ [A]	6.87	7.03	7.18	7.33
<b>Open Circuit Voltage</b>	$V_{OC}$ [V]	34.58	34.90	35.22	35.54
<b>Current at <math>P_{MPP}</math></b>	$I_{MPP}$ [A]	6.32	6.44	6.56	6.68
<b>Voltage at <math>P_{MPP}</math></b>	$V_{MPP}$ [V]	28.86	28.89	28.92	28.94

<sup>1</sup> Measurement tolerances STC: ± 3% ( $P_{MPP}$ ); ± 10% ( $I_{SC}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{MPP}$ ,  $V_{MPP}$ )

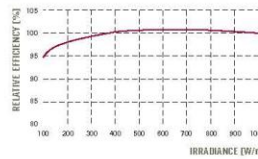
**Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY**



At least 97% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6% degradation per year.  
At least 92% of nominal power after 10 years.  
At least 83% of nominal power after 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**



The typical change in module efficiency at an irradiance of 200 W/m<sup>2</sup> in relation to 1000 W/m<sup>2</sup> (both at 25 °C and AM 1.5 G spectrum) is -2% (relative).

**TEMPERATURE COEFFICIENTS (AT 1000 W/M<sup>2</sup>, 25 °C, AM 1.5 G SPECTRUM)**

<b>Temperature Coefficient of <math>I_{SC}</math></b>	$\alpha$ [%/K]	+0.04	<b>Temperature Coefficient of <math>V_{OC}</math></b>	$\beta$ [%/K]	-0.30
<b>Temperature Coefficient of <math>P_{MPP}</math></b>	$\gamma$ [%/K]	-0.42			

**PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN**

<b>Maximum System Voltage <math>V_{SYS}</math></b>	[V]	1000	<b>Safety Class</b>	II
<b>Maximum Reverse Current <math>I_R</math></b>	[A]	20	<b>Fire Rating</b>	C
<b>Wind/Snow Load</b> (in accordance with IEC 61215)	[Pa]	5400	<b>Permitted module temperature on continuous duty</b>	-40 °F up to 185 °F (-40 °C up to 85 °C)

**QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES**

UL 1703; VDE Quality Tested; CE-compliant; IEC 61215 (Ed.2); IEC 61730 (Ed.1) application class A



**PARTNER**

**NOTE:** Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS USA Corp.  
8001 Irvine Center Drive, suite 1250, Irvine CA 92618, USA | TEL +1 848 748 59 96 | FAX +1 949 748 59 84 | EMAIL q-cells-usa@q-cells.com | WEB www.q-cells.us

Engineered in Germany



Specifications subject to technical change © Hanwha Q CELLS GmbH Q.FRO BFR-GS-2014-07\_Rev03\_NA



## SolarEdge Three Phase Inverters

For North America

SE9KUS (208V) / SE10KUS (480V) / SE20KUS (480V)

INVERTERS



### The best choice for SolarEdge enabled systems

- Integrated arc fault protection (Type 1) for NEC 2011 690.11 compliance
- Superior efficiency (98%)
- Small, lightweight and easy to install on provided bracket
- Built-in module-level monitoring
- Internet connection through Ethernet or Wireless
- Outdoor and indoor installation
- Fixed voltage inverter, DC/AC conversion only
- Integrated Safety Switch

USA - GERMANY - ITALY - FRANCE - JAPAN - CHINA - ISRAEL - AUSTRALIA

[www.solaredge.us](http://www.solaredge.us)



## Three Phase Inverters for North America

SE9KUS (208V) / SE10KUS (480V) / SE20KUS (480V)

	SE9KUS	SE10KUS	SE20KUS	
<b>OUTPUT</b>				
Rated AC Power Output	9000	10000	20000	VA
Maximum AC Power Output	9000	10000	20000	VA
AC Output Line Connections	4-wire WYE (L1-L2-L3-N) plus PE			
AC Output Voltage Minimum-Nominal-Maximum <sup>(1)</sup> (L-N)	105-120-132.5	244-277-305		Vac
AC Output Voltage Minimum-Nominal-Maximum <sup>(1)</sup> (L-L)	183-208-229	422.5-480-529		Vac
AC Frequency Min-Nom-Max	59.3 - 60 - 60.5 (with HI country setting 57 - 60 - 60.5)			Hz
Max. Continuous Output Current (per Phase)	25	12	24	A
GFDI Threshold	1			A
Utility Monitoring, Islanding Protection, Country Configurable Set Points	Yes			
<b>INPUT</b>				
Recommended Maximum DC Power <sup>(2)</sup> (Module STC)	11250	12500	25000	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes			
Maximum Input Voltage DC to Gnd	250	490		Vdc
Maximum Input Voltage DC+ to DC-	500	980		Vdc
Nominal Input Voltage DC to Gnd	200	425		Vdc
Nominal Input Voltage DC+ to DC-	400	850		Vdc
Maximum Input Current	26.5	13.5	26.5	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes			
Ground-Fault Isolation Detection	1MΩ Sensitivity			
Maximum Inverter Efficiency	97.1	98.2	98.1	%
CEC Weighted Efficiency	96.5	98	98	%
Night-time Power Consumption	< 3			W
<b>ADDITIONAL FEATURES</b>				
Supported Communication Interfaces	RS485, RS232, Ethernet, ZigBee (optional)			
Rapid Shutdown – NEC 2014 690.12	Functionality enabled when SolarEdge rapid shutdown kit is installed <sup>(3)</sup>			
<b>STANDARD COMPLIANCE</b>				
Safety	UL1741, UL1699B, UL1998, CSA 22.2			
Grid Connection Standards	IEEE1547			
Emissions	FCC part15 class B			
<b>INSTALLATION SPECIFICATIONS</b>				
AC output conduit size / AWG range	3/4" minimum / 12-6 AWG			
DC input conduit size / # of strings / AWG range	3/4" minimum / 1-2 strings / 12-6 AWG			
Dimensions (HxWxD)	21 x 12.5 x 10.5 / 540 x 315 x 260			in/mm
Dimensions with Safety Switch (HxWxD)	30.5 x 12.5 x 10.5 / 775 x 315 x 260			in/mm
Weight	73.2 / 33.2			lb/kg
Weight with Safety Switch	79.7 / 36.2			lb/kg
Cooling	Fans (user replaceable)			
Noise	< 50			dBA
Operating Temperature Range	-13 to +140 / -25 to +60 (-40 to +60 version available) <sup>(4)</sup>			*F/°C
Protection Rating	NEMA3R			

<sup>(1)</sup> Limited to 135% of AC power.

<sup>(2)</sup> For other regional settings please contact SolarEdge support.

<sup>(3)</sup> Rapid shutdown kit P/N: SE1000-RSD-S2 for SE9KUS, SE1000-RSD-S3 for SE10KUS and SE20KUS.

<sup>(4)</sup> -40 version P/Ns: SE9K-US028NNU4 and SExx-US048NNU4.



**RoHS**

© SolarEdge Technologies, Inc. All rights reserved. SOLAREEDGE, the SolarEdge logo, OPTIMIZED BY SOLAREEDGE are trademarks or registered trademarks of SolarEdge Technologies, Inc. All other trademarks mentioned herein are trademarks of their respective owners. Date: 09/2014. V.01. Subject to change without notice.

ANEXO B  
UNIRAC ROOF MOUNT RM





# INSTALLATION GUIDE



**TABLE OF CONTENTS:**

System Components  
 System Level Fire Code Compliance  
 Attach Module Clips  
 Locate Array / Set-Up On Roof  
 Module to RM Bay Instructions  
 Module to RM Bay instructions - Cont.  
 Module Clip Torque Instructions  
 Ballast Block Placement Diagrams

**PG**

1  
2  
3  
3  
3  
4  
4  
4

**TABLE OF CONTENTS (CONT):**

Ground Lug Connection Information  
 Bonding & Grounding System Certification  
 Grounding & Bonding Procedures  
 Adding Bays - Adjustment Guide  
 Module Clip Bolt Cross Thread Information  
 Grounding Path Electrical Diagram

**PG**

5  
6  
7  
A  
B  
C

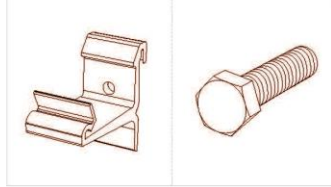
**GENERAL NOTES:**

Refer to construction drawings for project specific details. Construction drawings have precedence over these installation guidelines.

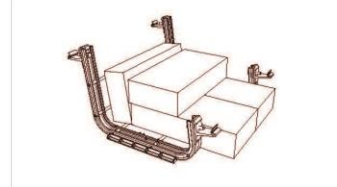
PUB2016MAR30



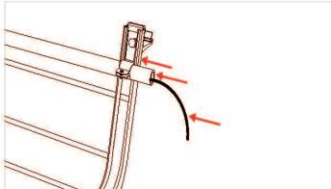
**BALLAST BAY:** The Ballast Bay frame is made of a mill finish Aluminum. This roof mount is a modular design that allows for easily getting around roof obstructions and accommodating roof undulations. The Ballast Bays are created such that they nest within each other to optimize shipping logistics.



**CLIP & BOLT:** The Module Clip is made of a mill finish Aluminum and engages the return flange underneath the panel to secure the module. This unique design takes advantage of the design of the module frame, attaching to the return flange of the frame creating a universal connection.

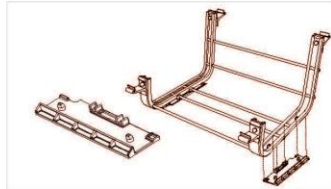


**BALLAST BLOCK:** The RM ballast bay can fit up to 4 standard 4"x8"x16" solid concrete cap blocks. Block weight can range from 26 – 38 lbs. The weight of the block will have a major impact on how many will be required for the project so be sure to verify your block weights before using the U-builder online tool.



**OPTIONAL WIRE MANAGEMENT:** Components by others.

**NOTE:** All conduit and wire ways should be grounded & bonded per the (NEC) National Electric Code.



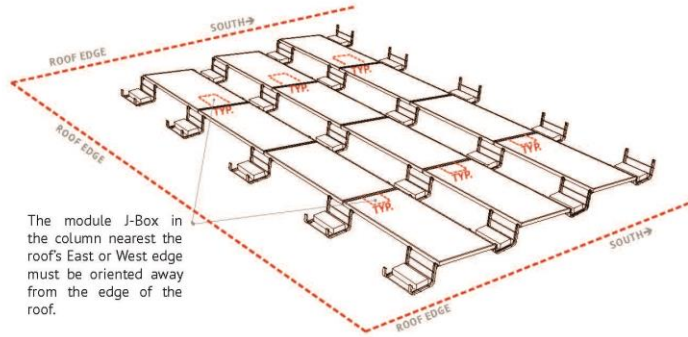
**OPTIONAL ROOF PAD:** The Roof Pad provide a protective interface between the Ballast Bay and roofing material to reduce any possible damage that could occur. The Roof Pad snaps into the holes on the bottom side of the Ballast Bay, two Roof Pads per bay. Please consult the roofing manufacturer to see whether it is required as well as to verify compatibility.

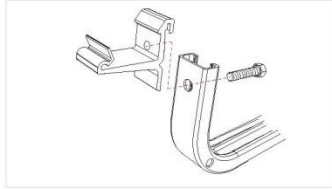
**SYSTEM LEVEL FIRE CLASSIFICATION:** The system fire class rating is only valid when the installation is conducted in accordance with the assembly instructions contained in this manual. RM Roof Mount has been classified to the system level fire portion of UL1703. It has achieved Class A performance for low sloped roofs when used in conjunction with type 1, type 2 and type 3 module constructions. System fire class rating requires a prescriptive method of mounting the module. Please see the specific conditions below for mounting details required to maintain the Class A fire rating. Minimum and maximum roof slopes are restricted through the system design and layout rules. The fire classification rating is only valid on roof pitches less than 2:12 (slopes  $\leq$  2 inches per foot, or 9.5 degrees).

Module Type	System level Fire Rating	Mitigation
Type 1	Class A	Prescriptive. See notes & Illustration Below
Type 2	Class A	Prescriptive. See notes & Illustration Below
Type 3	Class A	None Required / No Limitations

### TYPE 1 / TYPE 2 CLASS A FIRE RATING MOUNTING ORIENTATION

Unirac RM has achieved Class A system level fire performance for type 1, type 2 and type 3 module constructions. In order to maintain the fire rating for type 1 and type 2 modules, the J-Box must be oriented away from the roof edge as in the illustration below. Type 3 module constructions do not require specific mounting orientations in order to meet Class A requirements.

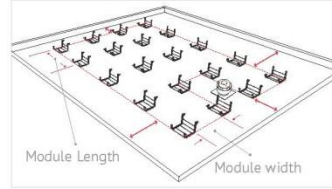




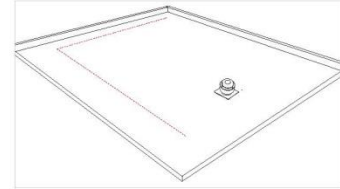
**ATTACH CLIPS LOOSELY TO BAY POSTS INTENDED TO HOLD MODULES.** All bolts and clips are single use only.

**NOTE: BOLT - Single Use Only - Do not re-torque once fully seated.**

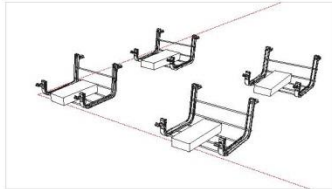
**NOTE: CLIP - Single Use Only - For complete electrical bonding path, clips must be tapped in place with hammer.**



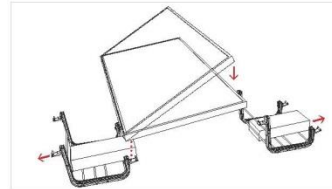
**LOCATE ARRAY ON ROOF**



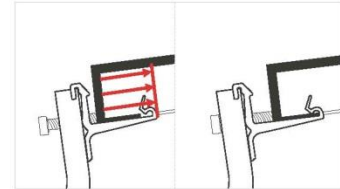
**MARK ROOF WHERE ARRAY WILL START**



**PLACE SOME BALLAST IN 1ST FOUR BAYS FOR FIRST MODULE**

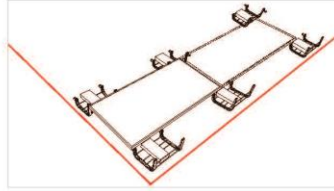


**PLACE MODULE IN CLIPS**

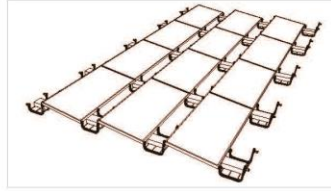


**FULLY SEAT MODULE IN CLIPS AND TIGHTEN BOLTS**

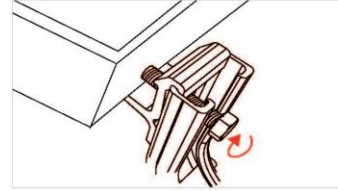
If module frame is not fully seated, then tightening the bolt is actually dragging ballast bays, and could result in frame damage including deformation or puncture. A gentle tug apart of the bays will seat the module into the module clip. It is NOT recommended to use the bolt to seat the module.



PLACE ANOTHER MODULE IN NEXT BAY CLIPS



REPEAT INTERCONNECTING ADJACENTLY

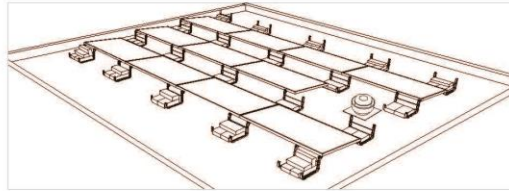


TORQUE CLIP BOLTS IN SEQUENCE

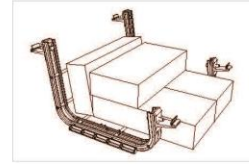
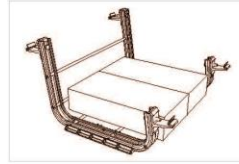
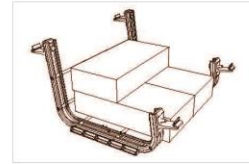
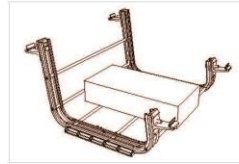
TORQUE VALUE:

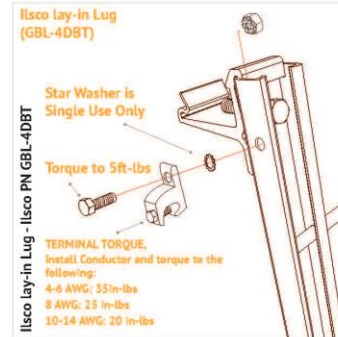
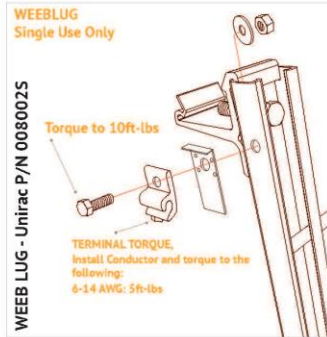
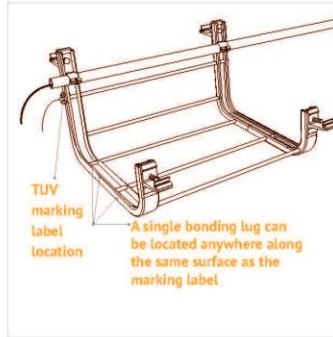
7FT-LBS - Minimum - 9FT-LBS - Maximum

NOTE: BOLT - Single Use Only - Do not re-torque once fully seated.



**COMPLETE BALLASTED PLACEMENT:** Place ballast as required. Deviations from block arrangements shown in this guide may cause shading. Site specific ballast calculations should be determined for each individual project in accordance with the U-Builder software and the Unirac Design and Engineering guide for ROOFMOUNT. This system has been rated for the mechanical load provisions of UL2703. In addition, it has been designed and tested to comply with the more rigorous requirements of SEAO PV1, PV2 and ASCE 7.





Although conformance with UL2703 was demonstrated without the use of oxide inhibitor material, it is recommended by IlSCO to provide an optimized bonding solution for their lay-in lug.

**GROUNDING LUG MOUNTING DETAILS AS REQUIRED BY CODE & ENGINEER OF RECORD:** Details are provided for both the WEEB and IlSCO products. The WEEBLug has a grounding symbol located on the lug assembly. The IlSCO lug has a green colored set screw for grounding indication purposes. One lug is recommended per continuous array, not to exceed 150ft X 150ft.

Unirac Roof Mount is intended to be used with PV arrays that have a system voltage less than or equal to 1000VDC. A min. 10 AWG, 105 degrees Celsius copper grounding conductor should be used to ground a 1000 VDC system, according to the (NEC) National Electric Code and the authority having jurisdiction. It is the installers responsibility to check codes, which may vary.

**NOTE: The installation must be conducted in accordance with the National Electric Code ANSI / NFPA 70.**

Ground Lug	Bolt Size	Drill Size	Torque Value
WEEB Lug	1/4"-20	17/64"	10 ft-lbs
IlSCO Lug	#10-32	7/32"	5 ft-lbs

**ELECTRICAL BONDING & GROUNDING TEST MODULES:** The modules selected for UL 2703 bonding & grounding testing were selected to represent the broadest range possible of modules on the market. The tests performed cover the following basic module parameters:

- 60, 72, and 96 cell modules
- Frame thicknesses greater than or equal to 1.0mm
- Basic single and double wall frame profile (some complex frame profiles could require further analysis to determine applicability)
- Clear and dark anodized aluminum frames
- The frame profile must not have any feature that might interfere with bonding devices that are integrated into the racking system

**VERIFIED COMPATIBLE MODULES:**

Module Manufacturer	Model / Series	Thickness (mm)
AU Optronics	PM Series	40
Canadian Solar	CS5A-M	40
	CS6P-M	40
	CS6P-P	40
	CS6X-P	40
Centrosolar America	C-Series	40
	E-Series	40
ET Solar	ET AC Module	40
	ET Module	40
Hanwha SolarOne	HSL 60	40
	HSL 72	40
Hyundai Heavy Industries	MI Series	35
	MG Series	35
JA Solar	JAP6 60	50
	JAP6 72	50
Jinko Solar	Standard	40
Kyocera	KD-F Series	46
LG Electronics	MONO X	35
	MONO NEON	35
Phono Solar Technology	Standard Modules	40
REC	Peak	38
	Eco	38
Renesola	All 60 cell modules	40

Module Manufacturer	Model / Series	Thickness (mm)
Sharp	ND-24CQCJ	46
	ND-25CQCS	46
	ND-Q235F4	46
	ND-F4Q300	46
SolarWorld	Sunmodule Protect	31
	Sunmodule Plus	31
Suniva	Optimus Series	40
	MV Series	40
Suntech	STP "XXX"	35
Sun Edison	F-Series	50
	R-Series	50
SunPower	X-Series	46
	E-Series	46
	Sig Black	46
	AC	46
Trina	PA05	35
	PD05	35
	PD14	35
Yingli	YGE-U 72	40
	YGE-60	40
	YGE-Z 60	46
	Panda 60	40

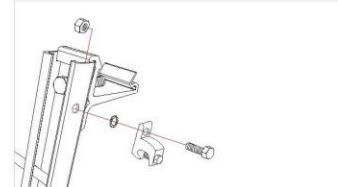
**TEMPORARY GROUNDING & BONDING PROCEDURE:** Periodic inspections should be conducted on the PV array to ensure there are not loose components, loose fasteners or corrosion. If any of the above items are found, the affected components are to be immediately replaced. **If a module must be removed or replaced, a temporary bonding jumper must be used to ensure safety of the personnel and PV system.**

**NOTE:** Removing a PV module from a system is not considered to be routine maintenance. This type of activity should only be performed by trained and qualified installers.

**NOTE:** In order to prevent corrosion induced by dissimilar metals, it is important to verify that the bare copper wire does not come into contact with aluminum. These materials must be kept separate.



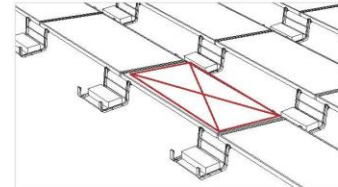
**APPROVED LUGS**  
 WEEBLug UNIRAC PN 008002S  
 See product data sheet  
 IlSCO lay-in Lug IlSCO PN GBL-4DBT  
 See product data sheet



**ATTACH LUGS:** Use approved lug(s) to install on adjacent bays where the module is being removed.



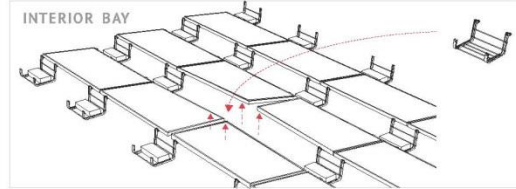
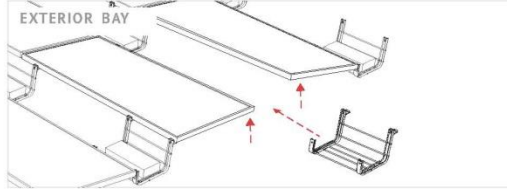
**INSERT COPPER WIRE:** Insert bare copper (#6 AWG) wire into each lug, providing a bonding jumper across the missing module location.



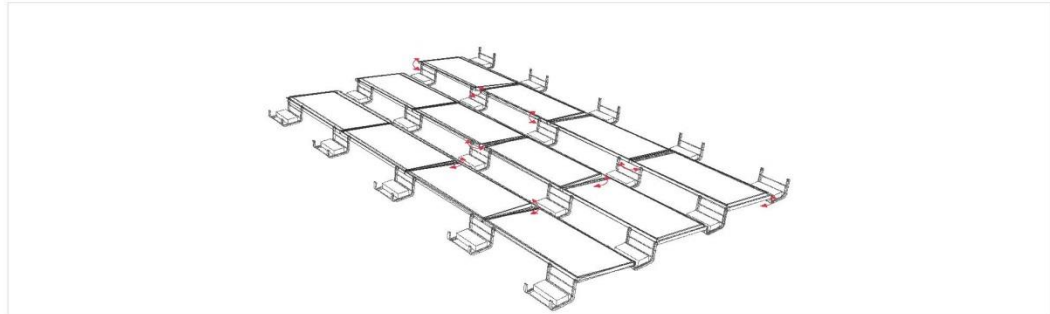
**REMOVE MODULE & REVERSE THE OPERATION AFTER MAINTENANCE IS COMPLETE**

**NOTE:** Removing a PV module from a system is not considered to be routine maintenance. This type of activity should only be performed by trained and qualified installers.



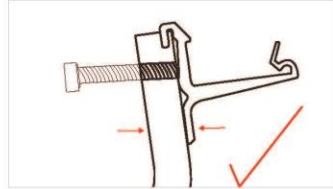
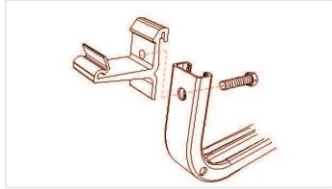


**PROBLEM - ADDING BAYS AFTER INSTALLATION COMPLETED:** Apply gentle, even uplift on the adjoining module frames, and maneuver bay into place



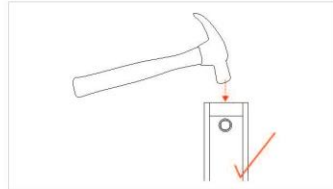
**PROBLEM - ARRAY BUCKLES, OR HAS INCONSISTENT OR UN-PARALLEL GAPS BETWEEN MODULES:** Loosen neighboring clips and re-adjust

- Sequentially tightening from installation outset can prevent this.



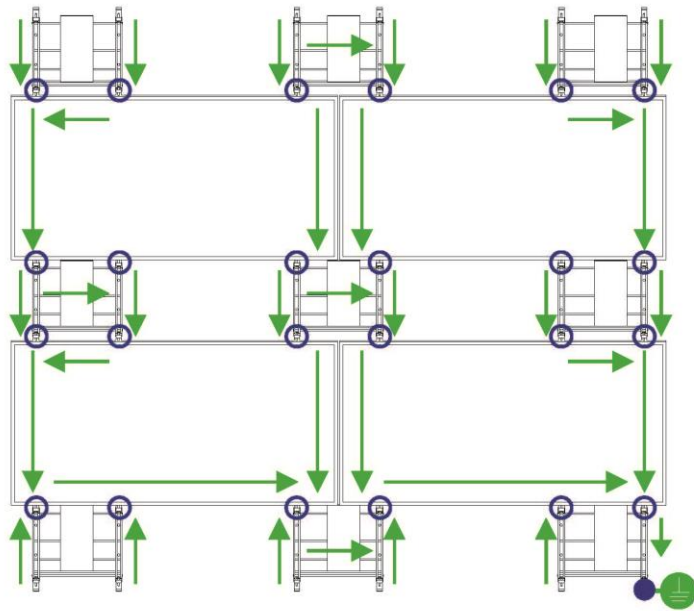
**PROBLEM - CLIP BOLT CROSS-THREADS:** Back bolt out and replace clip, or use thread cleaning too.

- Starting bolts with fingers instead of a power driver can minimize or eliminate cross-threading.
- When using power driver, hold it perpendicular to clip, and squeeze bottom of clip flat against bay post.



**PROBLEM - MODULE CLIP THREADED HOLE AND BAY POST HOLE NOT LINED UP:** Tight fit between these parts is critical for electrical bonding.

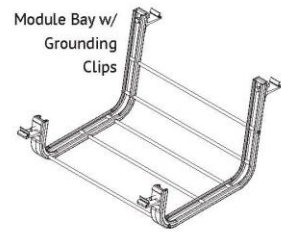
- Lining up holes may require assistance of a hammer or similar device.



-  Fault Current Ground Path
-  Ground Lug
-  Grounding Clip & Bolt
-  Min. 10 AWG Cooper Wire

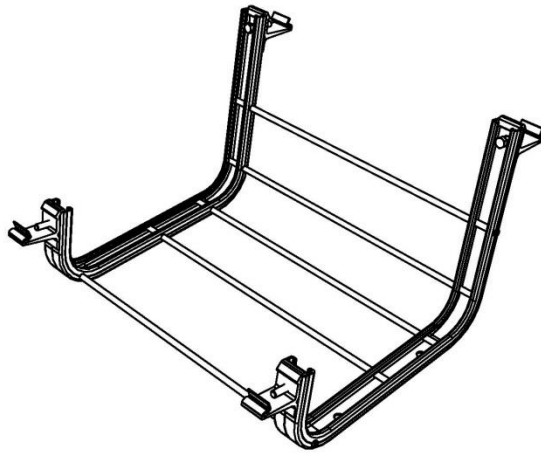


Module Frame

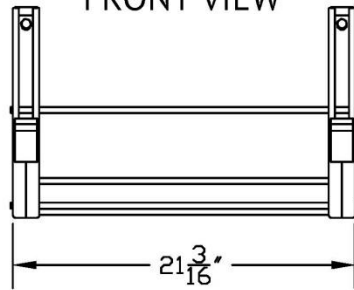


Module Bay w/  
Grounding  
Clips

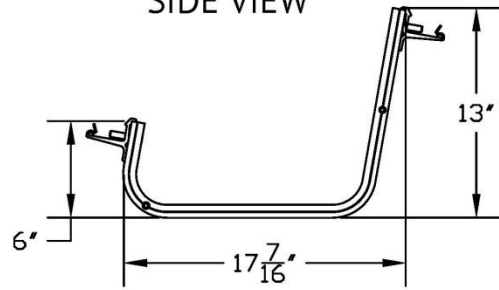
ANEXO C  
PLANOS INSTALACIÓN UNIRAC ROOFMOUNT




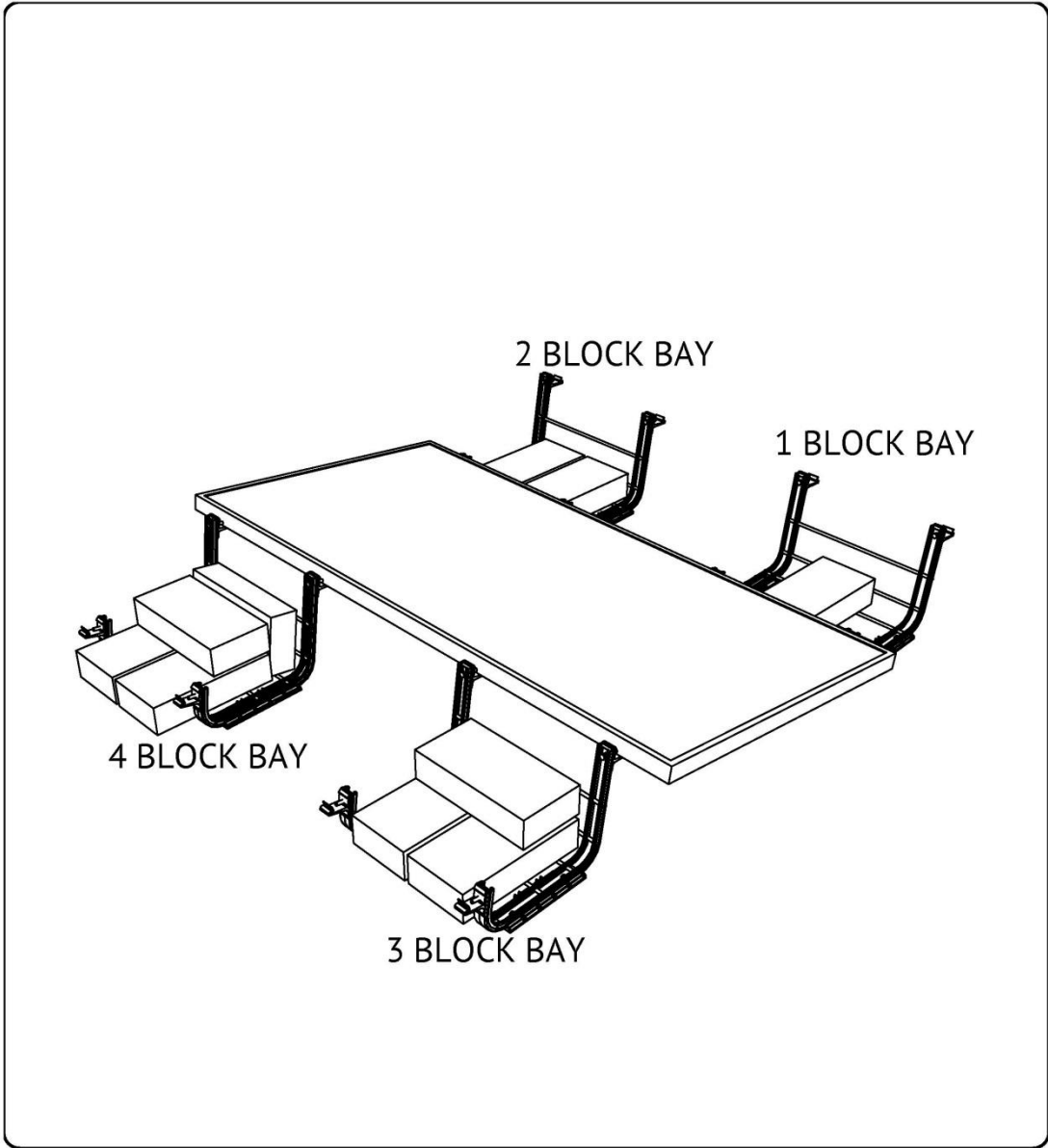
FRONT VIEW



SIDE VIEW



 <p>UNIRAC<sup>®</sup> A HILTI GROUP COMPANY</p> <p>1411 BROADWAY BLVD NE ALBUQUERQUE, NM 87102 USA</p> <p>WWW.UNIRAC.COM</p>	PRODUCT LINE:	RM	DRAWING NOT TO SCALE ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL	<b>RM-A01</b> SHEET
	DRAWING TYPE:	COMPONENT ASSEMBLY		
	DESCRIPTION:	BAY & MODULE CLIPS	PRODUCT PROTECTED BY ONE OR MORE US PATENTS	
	REVISION DATE:	MARCH - 2014	LEGAL NOTICE	



**UNIRAC**  
A HILTI GROUP COMPANY  
 1411 BROADWAY BLVD NE  
 ALBUQUERQUE, NM 87102 USA  
 WWW.UNIRAC.COM

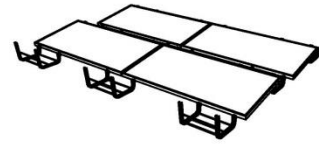
PRODUCT LINE:	RM
DRAWING TYPE:	ASSEMBLY
DESCRIPTION:	1-2-3-4 BLOCK RM BAYS
REVISION DATE:	March - 2014

DRAWING NOT TO SCALE  
 ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL

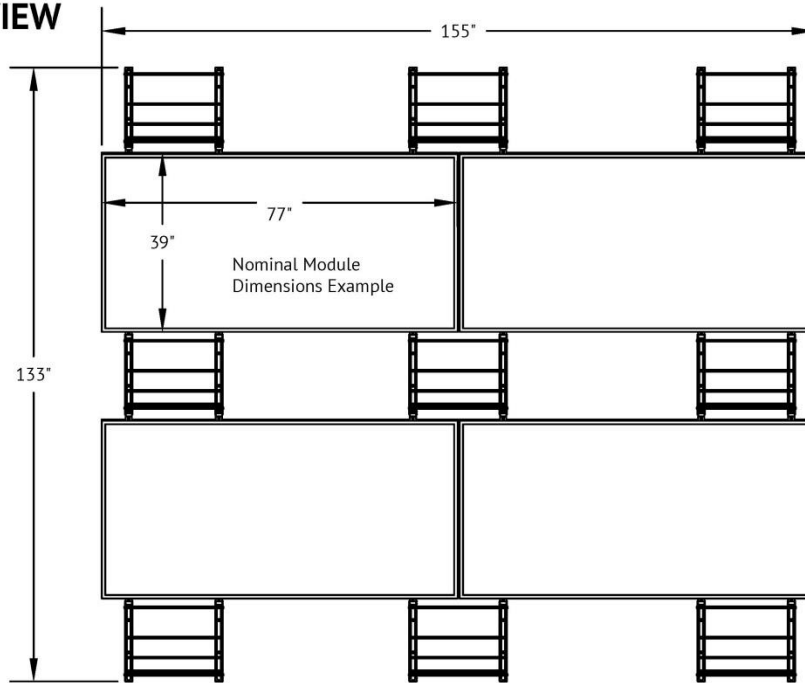
PRODUCT PROTECTED BY ONE  
 OR MORE US PATENTS  
 LEGAL NOTICE

**RM-A02**  
 SHEET

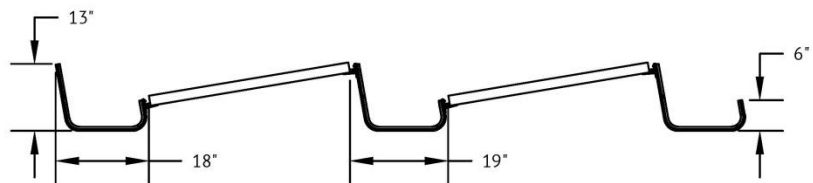
NOTE: ARRAY DIMENSIONS WILL VARY BASED ON  
MODULE WIDTH, LENGTH AND RETURN FLANGE




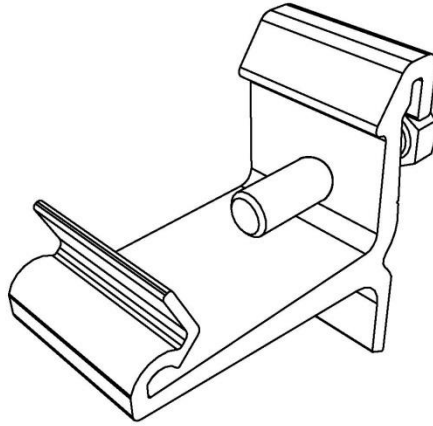
**TOP VIEW**



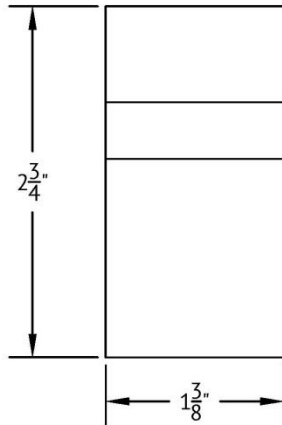
**SIDE VIEW**



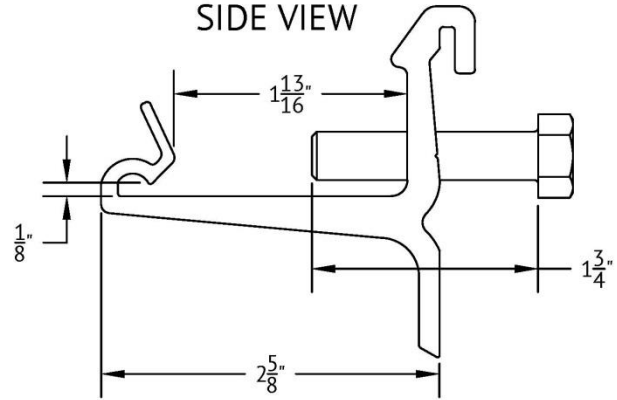
 <p>UNIRAC<sup>®</sup> A HILTI GROUP COMPANY</p> <p>1411 BROADWAY BLVD NE ALBUQUERQUE, NM 87102 USA</p> <p>WWW.UNIRAC.COM</p>	<p><b>PRODUCT LINE:</b> RM</p>	<p>DRAWING NOT TO SCALE ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL</p>	<p><b>RM-A03</b> SHEET</p>
	<p><b>DRAWING TYPE:</b> ASSEMBLY</p>		
	<p><b>DESCRIPTION:</b> 4 MODULE RM LAYOUT</p>	<p>PRODUCT PROTECTED BY ONE OR MORE US PATENTS</p>	
	<p><b>REVISION DATE:</b> MAY - 2014</p>	<p>LEGAL NOTICE</p>	




FRONT VIEW



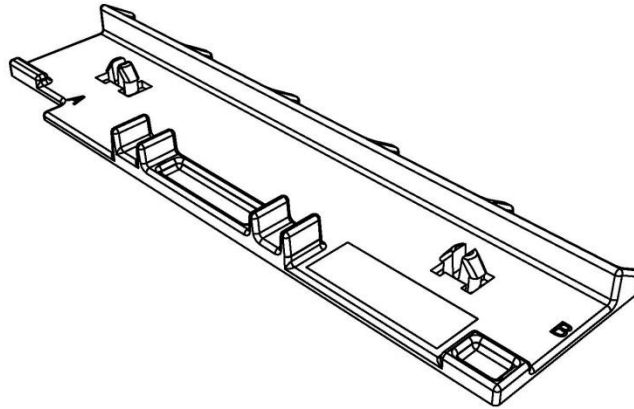
SIDE VIEW



 <p>UNIRAC<sup>®</sup> A HILTI GROUP COMPANY</p> <p>1411 BROADWAY BLVD NE ALBUQUERQUE, NM 87102 USA</p> <p>WWW.UNIRAC.COM</p>	PRODUCT LINE:	RM	DRAWING NOT TO SCALE ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL	<b>RM-P01</b>
	DRAWING TYPE:	PART		
	DESCRIPTION:	RM CLIP & BOLT	PRODUCT PROTECTED BY ONE OR MORE US PATENTS	
	REVISION DATE:	MARCH - 2014	LEGAL NOTICE	
				SHEET

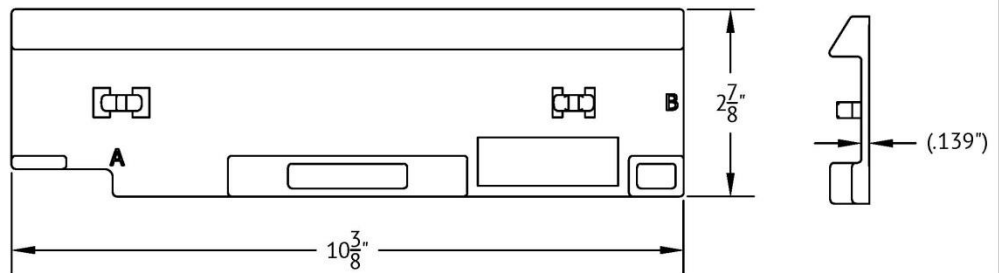


Material: TPE 70 Shore A: Santoprene 201-73,  
 Elastocon 2870 or Unisoft TPE ST-70A BK-2-01.  
 Color: Black



TOP VIEW

SIDE VIEW



 A HILTI GROUP COMPANY 1411 BROADWAY BLVD NE ALBUQUERQUE, NM 87102 USA WWW.UNIRAC.COM	PRODUCT LINE:	RM	DRAWING NOT TO SCALE ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL	<b>RM-P02</b> SHEET
	DRAWING TYPE:	PART		
	DESCRIPTION:	RM FOOT PAD	PRODUCT PROTECTED BY ONE OR MORE US PATENTS	
	REVISION DATE:	MARCH - 2014	LEGAL NOTICE	

ANEXO D  
PERFILES ESTRUCTURALES DE ACERO

# PERFILES ESTRUCTURALES Y COMERCIALES



Aceros laminados en caliente

**DEACERO**

**03** UNA NUEVA ERA  
PARA DEACERO

**04** COMPROMISO  
CON EL CLIENTE

**05** ACERCA DE  
DEACERO

**06** UBICACIÓN  
DE INSTALACIONES

**07** IR (VIGA IPR)  
PERFIL I RECTANGULAR "W"

**08** IE (VIGA IPS)  
PERFIL I ESTÁNDAR "S"

**09** CE (CANAL)  
PERFIL C ESTÁNDAR "C"

**10** LI - ÁNGULO DE  
LADOS IGUALES "L"

**11** LI - ÁNGULO DE  
LADOS IGUALES "L"

**12** SOLERA

**13** OS  
REDONDO SÓLIDO LISO

**14** CUADRADO

## Una nueva era **para Deacero**

---



Para Deacero, esta nueva etapa representa una excelente oportunidad de atender a los mercados que requieren perfiles comerciales y estructurales de alta calidad.

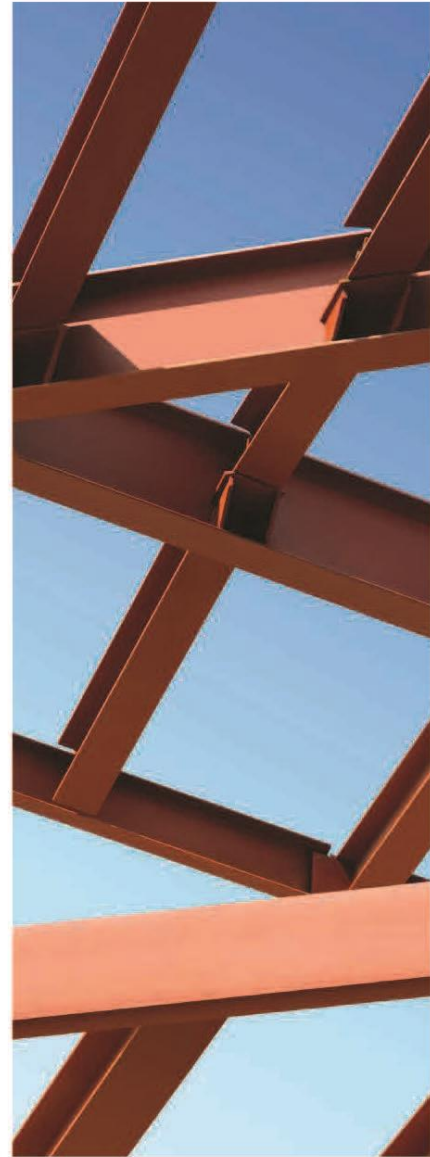
La amplia selección de perfiles laminados en caliente que ofrece Deacero, cumple con normas internacionales de fabricación:

ASTM A6 | ASTM A36 | ASTM A529-50 | ASTM A529-55 | ASTM A572-50  
| ASTM A992

Por su ubicación estratégica en Ramos Arizpe, Coahuila, México, la nueva acería distribuye eficientemente sus productos a lo largo de México, Estados Unidos, Canadá y otros destinos de América.

La Acería Ramos es una de las más modernas del mundo. Su infraestructura presenta lo último en tecnología para la fabricación de acero, lo que refleja el compromiso de Deacero con la innovación.

Como resultado de lo anterior, la Acería Ramos fabrica productos de manera confiable, eficiente, segura y acorde con la iniciativa sustentable de la empresa.



## Compromiso con el cliente

---



### **ALTA CALIDAD DEL ACERO**

Deacero es un fabricante verticalmente integrado que parte de material reciclado y ejecuta estrictos controles de calidad sobre la recolección y procesamiento de la chatarra, con el fin de contar con la más alta calidad de materia prima. Estos estrictos controles de calidad se extienden a los procesos de manufactura y a las normas ASTM e internacionales de calidad.

### **ASISTENCIA ALTAMENTE PROFESIONAL**

La fuerza de ventas y producción de Deacero cuenta con una extensa experiencia y conocimiento de las necesidades de los mercados de perfiles comerciales y estructurales. Siempre están disponibles para responder sus dudas y ofrecer la mejor asistencia técnica.

### **ENTREGA EFICIENTE**

Con una red maestra en logística, Deacero cuenta con centros de distribución estratégicamente ubicados en Norteamérica para optimizar la entrega de producto a donde sea necesario.



04

## Acerca de **Deacero**



Clientes en México y a lo largo del mundo, en diversas industrias.

Infraestructura e instalaciones en México y E.U.A.

Fabricante con patios de reciclaje, acerías, centros de desarrollo, plantas fabricantes de productos terminados y centros de distribución.

Producción de más de 3,800 diseños en más de 80 líneas de productos.

Dueño de desarrollos sustentables de avanzada tecnología para el reciclaje de acero y su conversión en productos.

Enfoque de producción hacia la eficiencia, seguridad y confiabilidad.

Uno de los fabricantes más grandes de acero en América con más de 60 años de experiencia en la industria.

Tecnología de punta en sus procesos de fabricación para el cumplimiento de normas de calidad ASTM y otras a nivel internacional.

Deacero tiene un firme compromiso con un crecimiento sustentable que beneficie a la empresa, su medio ambiente, sus empleados y las comunidades donde está presente.

05

# Ubicación de instalaciones



## ● PLANTAS DE ALAMBRES

- . Mexicali, BCN
- . Saltillo, COAH
- . Monterrey, NL
- . Guadalupe, NL
- . León, GTO
- . Celaya, GTO
- . Tlalnepantla, EDO MÉX
- . Puebla, PUE

### EUA

- . Houston, TX
- . Poplar Bluff, MO

## ● ACERÍAS

- . Ramos Arizpe, COAH
- . Saltillo, COAH
- . Celaya, GTO

## ● PLANTAS ALAMBRES INDUSTRIALES

- . Morelia, MICH
- . Celaya, GTO
- . Querétaro, QRO

## ● CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

- . Tijuana, BCN
- . Chihuahua, CHIH
- . Culiacán, SIN
- . Guadalupe, JAL
- . Veracruz, VER
- . Villahermosa, TAB
- . La Chontalpa, TAB
- . Tapachula, CHIS
- . Mérida, YUC

### EUA

- . Laredo, TX
- . Chicago, IL
- . Spokane, WA
- . Fontana, CA
- . Birmingham, AL
- . Chambersburg, PA

## ● PLANTAS DE RECICLAJE

- . Ensenada, BCN
- . Mexicali, BCN
- . Tijuana, BCN
- . Mérida, YUC
- . Guadalupe, JAL
- . Hermosillo, SON
- . Puebla, PUE
- . Cuernavaca, MOR
- . Tlalnepantla, EDO MÉX
- . Tepeyac, EDO MÉX
- . Tultitlán, EDO MÉX
- . Saltillo, COAH
- . Matamoros, TAMP
- . San Luis P, SLP
- . San Nicolás, NL
- . Guadalupe, NL

### EUA

- . Corpus Christi, TX (H&H)

3 ACERÍAS  
13 PLANTAS DE ALAMBRE  
15 CENTROS DE DISTRIBUCIÓN  
17 PLANTAS DE RECICLAJE  
7 OFICINAS DE VENTA

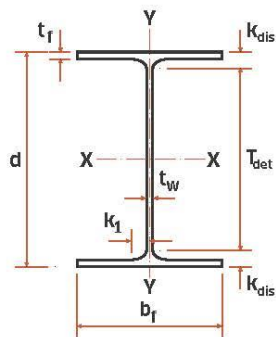


# IR (VIGA IPR) Perfil I Rectangular "W"



Sección Peralte x Peso Nominales (in X lb/ft)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES								PROPIEDADES								
		Peralte d (mm)	Espesor del Alma t <sub>w</sub> (mm)	Patín		k <sub>dis</sub> (mm)	T <sub>det</sub> (mm)	k <sub>f</sub> (mm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X				Eje Y-Y				J (cm <sup>4</sup> )
				Ancho b (mm)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)					I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	
W 6 X 8.5	12.6	148	4.32	100	4.95	11.3	114	12.7	16.26	620	83.6	6.17	93.9	82.8	16.6	2.26	25.6	1.39
W 6 X 9	13.4	150	4.32	100	5.46	11.8	114	12.7	17.29	683	91.1	6.27	102	91.6	18.2	2.30	28.2	1.69
W 6 X 12	17.9	153	5.84	102	7.11	13.5	114	14.3	22.90	920	120	6.32	136	124	24.6	2.33	38.0	3.76
W 6 X 16	23.8	160	6.60	102	10.3	16.6	114	14.3	30.58	1336	167	6.60	192	184	36.1	2.46	55.6	9.28
W 8 X 10	14.9	200	4.32	100	5.21	12.8	165	12.7	19.10	1282	128	8.18	145	87.0	17.4	2.14	27.2	1.77
W 8 X 13	19.3	203	5.84	102	6.48	14.1	165	14.3	24.77	1648	162	8.15	187	114	22.5	2.14	35.2	3.63
W 8 X 15	22.3	206	6.22	102	8.00	15.6	165	14.3	28.65	1998	193	8.36	223	142	27.9	2.23	43.8	5.70
W 8 X 18	26.8	207	5.84	133	8.38	16.0	165	14.3	33.94	2576	249	8.71	279	332	49.8	3.12	76.4	7.16
W 8 X 21	31.3	210	6.35	134	10.2	17.8	165	14.3	39.74	3134	298	8.86	334	407	60.8	3.20	93.2	11.7
W 10 X 12	17.9	251	4.83	101	5.33	13.0	213	14.3	22.84	2239	179	9.91	206	90.7	18.0	1.99	28.5	2.28
W 10 X 15	22.3	254	5.84	102	6.86	14.5	213	14.3	28.45	2868	226	10.0	262	120	23.8	2.06	37.7	4.33
W 10 X 17	25.3	257	6.10	102	8.38	16.0	213	14.3	32.19	3409	265	10.3	306	148	29.2	2.15	45.9	6.49
W 10 X 19	28.3	260	6.35	102	10.0	17.7	213	15.9	36.26	4008	308	10.5	354	179	35.1	2.22	54.9	9.70

- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 12.2 m.



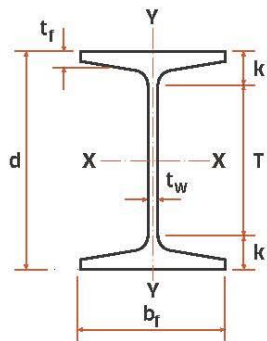
Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A572-50	3515 MIn.	4570 MIn.
ASTM A992	3515 a 4570	4570 MIn.
ASTM (A992/A572-50)	3515 a 4570	4570 MIn.

# IE (VIGA IPS) Perfil I Estándar "S"



Sección Peralte x Peso Nominales (in X lb/ft)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES						PROPIEDADES									
		Peralte d (mm)	Espesor del Alma t <sub>w</sub> (mm)	Paltín		k (mm)	T (mm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X				Eje Y-Y				J (cm <sup>4</sup> )
				Ancho b <sub>f</sub> (mm)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)				I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	
S 4 X 7.7	11.5	102	4.90	67.6	7.44	19.0	63.5	14.58	252	49.7	4.17	57.4	31.1	9.21	1.46	15.9	3.05
S 5 X 10	14.9	127	5.44	76.3	8.28	19.0	88.9	18.97	512	80.3	5.21	92.8	49.5	13.0	1.62	22.5	4.75
S 6 X 12.5	18.6	152	5.89	84.6	9.12	20.6	111	23.68	916	120	6.22	138	74.9	17.7	1.78	30.5	6.95

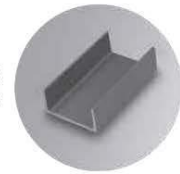
- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m y 12.2 m.
- Longitud especial de 15.3 m.



Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 MIn.	4080 - 5625
ASTM A572-50 *	3515 MIn.	4570 MIn.
ASTM (A36/A572-50) *	3515 MIn.	4080 - 5625

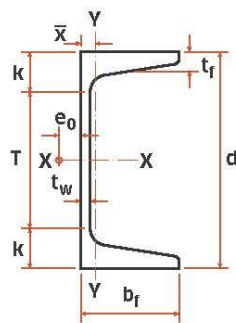
\* Fabricación Especial.

# CE (CANAL) Perfil C Estándar "C"



Sección Peralte x Peso Nominales (In X lb/ft)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES							PROPIEDADES										
		Peralte d (mm)	Espesor del Alma t <sub>w</sub> (mm)	PatIn		k (mm)	T (mm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	e <sub>0</sub> (cm)	Eje X-X				Eje Y-Y				J (cm <sup>4</sup> )	
				Ancho b <sub>f</sub> (mm)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)					I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	X̄ (cm)		Z (cm <sup>3</sup> )
C 3 X 3.5	5.21	76.2	3.35	34.8	6.93	17.5	41.3	6.65	1.25	65.3	17.0	3.05	20.3	7.03	2.98	1.00	1.13	5.96	0.94
C 3 X 4.1	6.10	76.2	4.32	35.8	6.93	17.5	41.3	7.81	1.17	68.7	18.0	2.97	21.6	7.95	3.21	1.01	1.11	6.54	1.12
C 4 X 4.5	6.70	102	3.17	40.2	7.52	19.0	63.5	8.52	1.49	152	30.0	4.14	34.7	12.0	4.34	1.16	1.25	8.70	1.34
C 4 X 5.4	8.04	102	4.67	40.2	7.52	19.0	63.5	10.26	1.27	160	31.5	3.96	37.5	13.0	4.54	1.13	1.16	9.26	1.66
C 6 X 8.2	12.2	152	5.08	48.8	8.71	20.6	111	15.48	1.52	545	71.3	5.94	84.6	28.6	8.00	1.36	1.30	16.2	3.06
C 6 X 10.5	15.6	152	7.98	51.7	8.71	20.6	111	19.94	1.23	629	82.6	5.64	101	35.8	9.19	1.34	1.27	18.7	5.33
C 6 X 13	19.3	152	11.1	54.8	8.71	20.6	111	24.71	0.97	720	94.7	5.41	119	43.7	10.5	1.33	1.31	22.1	9.86
C 8 X 11.5	17.1	203	5.59	57.4	9.91	23.8	156	21.81	1.77	1353	133	7.90	158	54.5	12.7	1.58	1.45	25.7	5.41
C 8 X 13.75	20.5	203	7.70	59.5	9.91	23.8	156	26.06	1.53	1503	148	7.59	180	63.3	13.9	1.56	1.41	28.3	7.74
C 8 X 18.75	27.9	203	12.4	64.2	9.91	23.8	156	35.55	1.09	1827	180	7.16	228	82.0	16.6	1.52	1.44	35.6	18.1
C 10 X 15.3	22.8	254	6.10	66.0	11.1	25.4	203	28.97	2.02	2801	221	9.83	261	94.5	18.8	1.81	1.61	38.3	8.7
C 10 X 20	29.8	254	9.63	69.6	11.1	25.4	203	37.94	1.62	3284	259	9.30	318	117	21.5	1.75	1.54	44.2	15.3
C 10 X 25	37.2	254	13.4	73.3	11.1	25.4	203	47.42	1.25	3792	298	8.94	379	139	24.1	1.71	1.57	52.1	28.6
C 10 X 30	44.6	254	17.1	77.0	11.1	25.4	203	56.90	0.93	4287	339	8.69	438	164	27.0	1.70	1.65	61.9	50.8

- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m y 12.2 m.



Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 Mfn.	4080-5625
ASTM A529-50	3515 Mfn.	4570-7030
ASTM A572-50 *	3515 Mfn.	4570 Mfn.
ASTM (A36/A529-50)	3515 Mfn.	4080-5625
ASTM (A36/A572-50) *	3515 Mfn.	4080-5625

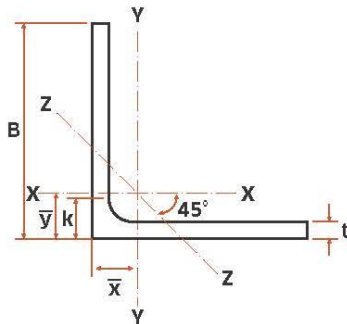
\* Fabricación Especial.

# LI - Ángulo de lados iguales "L"



Sección Lado y Espesor Nominales  (in)	Peso  (kg/m)	DIMENSIONES			PROPIEDADES									
		Lado B (mm)	Espesor t (mm)	k (mm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X = Eje Y-Y					Eje Z-Z			J (cm <sup>4</sup> )
		l (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)		$\bar{y} = \bar{x}$ (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	l (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)				
L 3/4 x 1/8	0.88	19.0	3.17	6.17	1.11	0.36	0.27	0.57	0.59	0.50	0.15	0.19	0.37	0.04
L 1 X 1/8	1.19	25.4	3.17	6.17	1.51	0.91	0.51	0.77	0.75	0.91	0.38	0.36	0.50	0.05
L 1 X 3/16	1.73	25.4	4.76	7.76	2.19	1.25	0.72	0.75	0.81	1.30	0.54	0.47	0.49	0.17
L 1 X 1/4	2.22	25.4	6.35	9.35	2.83	1.54	0.91	0.74	0.86	1.65	0.70	0.57	0.50	0.38
L 1 1/4 X 1/8	1.50	31.7	3.17	7.17	1.92	1.84	0.81	0.97	0.90	1.46	0.76	0.60	0.63	0.06
L 1 1/4 X 3/16	2.20	31.7	4.76	8.76	2.80	2.57	1.16	0.95	0.96	2.09	1.08	0.80	0.62	0.21
L 1 1/4 X 1/4	2.86	31.7	6.35	10.3	3.63	3.20	1.48	0.93	1.02	2.68	1.39	0.97	0.62	0.49
L 1 1/2 X 1/8	1.83	38.1	3.17	7.17	2.32	3.25	1.18	1.18	1.06	2.13	1.34	0.90	0.76	0.08
L 1 1/2 X 3/16	2.68	38.1	4.76	8.76	3.40	4.59	1.71	1.16	1.12	3.08	1.91	1.20	0.75	0.26
L 1 1/2 X 1/4	3.48	38.1	6.35	10.3	4.44	5.77	2.20	1.14	1.18	3.96	2.45	1.47	0.74	0.60
L 2 X 1/8	2.46	50.8	3.17	9.52	3.12	7.87	2.11	1.57	1.36	3.77	3.13	1.63	0.99	0.12
L 2 X 3/16	3.63	50.8	4.76	11.1	4.61	11.3	3.08	1.55	1.42	5.54	4.54	2.25	0.99	0.38
L 2 X 1/4	4.75	50.8	6.35	12.7	6.05	14.4	4.00	1.54	1.49	7.21	5.87	2.80	0.98	0.87
L 2 1/2 X 1/8	3.15	63.5	3.17	9.52	4.02	15.9	3.40	1.99	1.68	6.11	6.58	2.77	1.28	0.47
L 2 1/2 X 3/16	4.57	63.5	4.76	11.1	5.81	22.3	4.83	1.96	1.74	8.67	8.74	3.54	1.22	0.47
L 2 1/2 X 1/4	6.10	63.5	6.35	12.7	7.68	28.8	6.34	1.94	1.81	11.4	11.4	4.49	1.22	1.09
L 3 X 3/16	5.52	76.2	4.76	14.3	7.03	39.5	7.10	2.37	2.06	12.7	15.6	5.34	1.49	0.57
L 3 X 1/4	7.29	76.2	6.35	15.9	9.29	51.2	9.32	2.35	2.12	16.7	20.4	6.80	1.49	1.30
L 3 X 5/16	9.08	76.2	7.94	17.5	11.48	62.4	11.5	2.33	2.18	20.6	25.1	8.13	1.48	2.48
L 3 X 3/8	10.7	76.2	9.52	19.0	13.61	72.8	13.5	2.31	2.25	24.3	29.6	9.34	1.48	4.20
L 4 X 1/4	9.82	102	6.35	15.9	12.52	125	16.9	3.17	2.74	29.8	49.1	12.7	1.99	1.82
L 4 X 5/16	12.2	102	7.94	17.5	15.48	153	20.8	3.15	2.82	37.0	60.8	15.3	1.98	3.46
L 4 X 3/8	14.6	102	9.52	19.0	18.45	180	24.6	3.12	2.87	44.1	72.0	17.7	1.98	5.87
L 4 X 1/2	19.0	102	12.7	22.2	24.19	230	32.1	3.07	3.00	57.4	93.7	22.1	1.97	13.4
L 6 X 3/8	22.2	152	9.52	22.2	28.13	641	57.5	4.75	4.11	103	257	44.1	3.02	9.07
L 6 X 1/2	29.2	152	12.7	25.4	37.10	828	75.2	4.72	4.24	135	335	55.7	3.00	20.9
L 6 X 5/8	36.0	152	15.9	28.6	45.87	1003	92.4	4.67	4.37	166	409	66.2	2.97	39.8
L 6 X 3/4	42.7	152	19.0	31.7	54.45	1170	109	4.62	4.50	195	483	75.9	2.97	67.0

- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m y 12.2 m.
- Realización de Prueba Charpy sobre pedido.



Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 MIn.	4080-5625
ASTM A529-50	3515 MIn.	4570-7030
ASTM A572-50 *	3515 MIn.	4570 MIn.
ASTM (A36/A529-50)	3515 MIn.	4080-5625

\* Fabricación Especial

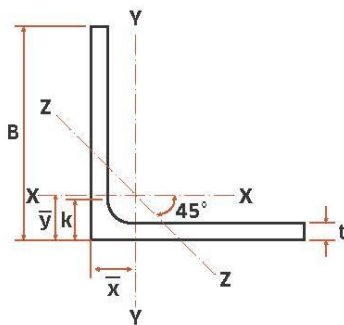
# LI - Ángulo de lados iguales "L"



## Medidas Especiales

Sección Lado y Espesor Nominales  (in)	Peso  (kg/m)	DIMENSIONES			PROPIEDADES									
		Lado B	Espesor t	k	Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X = Eje Y-Y					Eje Z-Z			J (cm <sup>4</sup> )
		(mm)	(mm)	(mm)		I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	$\bar{y} = \bar{x}$ (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	
L 1 X 0.109	1.06	25.4	2.77	5.77	1.35	0.81	0.45	0.77	0.73	0.81	0.34	0.33	0.50	0.03
L 1 1/4 X 0.109	1.35	31.7	2.77	6.77	1.72	1.63	0.71	0.98	0.89	1.29	0.68	0.54	0.63	0.04
L 1 1/2 X 0.109	1.62	38.1	2.77	6.77	2.07	2.88	1.04	1.18	1.04	1.88	1.19	0.81	0.76	0.05
L 2 X 0.109	2.22	50.8	2.77	9.12	2.82	7.05	1.89	1.58	1.34	3.40	2.96	1.56	1.02	0.07
L 2 1/2 X 0.109	2.77	63.5	2.77	9.12	3.53	14.0	2.98	1.99	1.66	5.36	5.83	2.48	1.29	0.09
L 2 X 0.156	3.10	50.8	3.96	10.3	3.96	9.72	2.64	1.57	1.40	4.76	4.04	2.04	1.01	0.20
L 2 X 0.230	4.46	50.8	5.84	12.2	5.68	13.5	3.76	1.54	1.47	6.78	5.64	2.71	1.00	0.64

- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m y 12.2 m en ángulos de 1 1/2" y mayores.
- Longitud estándar de 6.1 m en ángulos de 1" y 1 1/4".
- Realización de Prueba Charpy sobre pedido.



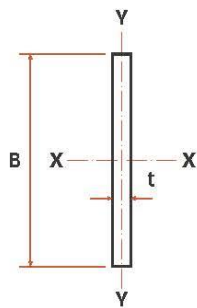
Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 Mfn.	4080-5625
ASTM A529-50	3515 Mfn.	4570-7030
ASTM A572-50 *	3515 Mfn.	4570 Mfn.
ASTM (A36/A529-50)	3515 Mfn.	4080-5625

\* Fabricación Especial.

# Solera



Sección Ancho x Espesor Nominales (in)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES			PROPIEDADES							
		Ancho B (mm)	Espesor t (mm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X				Eje Y-Y			
					I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )
1/2 x 1/8	0.32	12.7	3.17	0.40	0.05	0.09	0.37	0.13	0.003	0.02	0.09	0.03
1/2 x 3/16	0.47	12.7	4.76	0.60	0.08	0.13	0.37	0.19	0.01	0.05	0.14	0.07
3/4 x 1/8	0.47	19.0	3.17	0.60	0.18	0.19	0.55	0.29	0.01	0.03	0.09	0.05
3/4 x 3/16	0.71	19.0	4.76	0.91	0.27	0.29	0.55	0.43	0.02	0.07	0.14	0.11
1 X 1/8	0.63	25.4	3.17	0.81	0.43	0.34	0.73	0.51	0.01	0.04	0.09	0.06
1 X 3/16	0.95	25.4	4.76	1.21	0.65	0.51	0.73	0.77	0.02	0.10	0.14	0.14
1 X 1/4	1.27	25.4	6.35	1.61	0.87	0.68	0.73	1.02	0.05	0.17	0.18	0.26
1 1/4 X 1/8	0.79	31.7	3.17	1.01	0.85	0.53	0.92	0.80	0.01	0.05	0.09	0.08
1 1/4 X 3/16	1.19	31.7	4.76	1.51	1.27	0.80	0.92	1.20	0.03	0.12	0.14	0.18
1 1/4 X 1/4	1.58	31.7	6.35	2.02	1.69	1.07	0.92	1.60	0.07	0.21	0.18	0.32
1 1/2 X 3/16	1.42	38.1	4.76	1.81	2.19	1.15	1.10	1.73	0.03	0.14	0.14	0.22
1 1/2 X 1/4	1.90	38.1	6.35	2.42	2.93	1.54	1.10	2.30	0.08	0.26	0.18	0.38
2 X 1/4	2.53	50.8	6.35	3.23	6.94	2.73	1.47	4.10	0.11	0.34	0.18	0.51
2 X 3/8	3.80	50.8	9.52	4.84	10.4	4.10	1.47	6.15	0.37	0.77	0.27	1.15
2 1/2 X 1/4	3.16	63.5	6.35	4.03	13.5	4.27	1.83	6.40	0.14	0.43	0.18	0.64
2 1/2 X 3/8	4.75	63.5	9.52	6.05	20.3	6.40	1.83	9.60	0.46	0.96	0.27	1.44
2 1/2 X 1/2	6.33	63.5	12.7	8.06	27.1	8.53	1.83	12.8	1.08	1.71	0.37	2.56
3 X 1/4	3.80	76.2	6.35	4.84	23.4	6.15	2.20	9.22	0.16	0.51	0.18	0.77
3 X 3/8	5.70	76.2	9.52	7.26	35.1	9.22	2.20	13.8	0.55	1.15	0.27	1.73
3 X 1/2	7.60	76.2	12.7	9.68	46.8	12.3	2.20	18.4	1.30	2.05	0.37	3.07
3 X 5/8	9.49	76.2	15.9	12.10	58.5	15.4	2.20	23.0	2.54	3.20	0.46	4.80
3 X 3/4	11.4	76.2	19.0	14.52	70.2	18.4	2.20	27.7	4.39	4.61	0.55	6.91
3 X 1	15.2	76.2	25.4	19.35	93.7	24.6	2.20	36.9	10.4	8.19	0.73	12.3
4 X 1/4	5.06	102	6.35	6.45	55.5	10.9	2.93	16.4	0.22	0.68	0.18	1.02
4 X 3/8	7.60	102	9.52	9.68	83.2	16.4	2.93	24.6	0.73	1.54	0.27	2.30
4 X 1/2	10.1	102	12.7	12.90	111	21.8	2.93	32.8	1.73	2.73	0.37	4.10
6 X 1/2	15.2	152	12.7	19.35	375	49.2	4.40	73.7	2.60	4.10	0.37	6.15
6 X 5/8	19.0	152	15.9	24.19	468	61.5	4.40	92.2	5.08	6.40	0.46	9.60
6 X 3/4	22.8	152	19.0	29.03	562	73.7	4.40	111	8.78	9.22	0.55	13.8
6 X 1	30.4	152	25.4	38.71	749	98.3	4.40	147	20.8	16.4	0.73	24.6



- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m.

Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 MIn.	4080-5625
ASTM A529-50	3515 MIn.	4570-7030
ASTM A529-55 *	3865 MIn.	4920-7030
ASTM A572-50 *	3515 MIn.	4570 MIn.
ASTM (A36/A529-50)	3515 MIn.	4080-5625

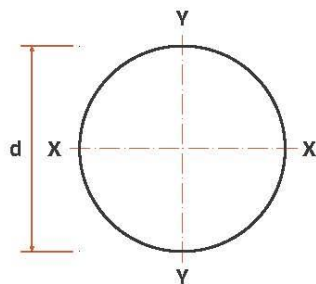
\* Fabricación Especial.

# OS Redondo Sólido Liso



Sección Diámetro Nominal (in)	Peso (kg/m)	Diámetro d (mm)	PROPIEDADES				
			Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X = Eje Y-Y			
				I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )
3/8	0.56	9.52	0.71	0.04	0.08	0.24	0.14
1/2	0.99	12.7	1.27	0.13	0.20	0.32	0.34
5/8	1.55	15.9	1.98	0.31	0.39	0.40	0.67
3/4	2.24	19.0	2.85	0.65	0.68	0.48	1.15
7/8	3.05	22.2	3.88	1.20	1.08	0.56	1.83
1	3.98	25.4	5.07	2.04	1.61	0.63	2.73
1 1/8	5.03	28.6	6.41	3.27	2.29	0.71	3.89
1 1/4	6.21	31.7	7.92	4.99	3.14	0.79	5.33
1 1/2	8.95	38.1	11.40	10.3	5.43	0.95	9.22

- Se pueden fabricar diámetros de hasta 2 1/2" sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m.



Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 Mfn.	4080-5625
ASTM A529-50 *	3515 Mfn.	4570-7030
ASTM (A36/A529-50) *	3515 Mfn.	4080-5625

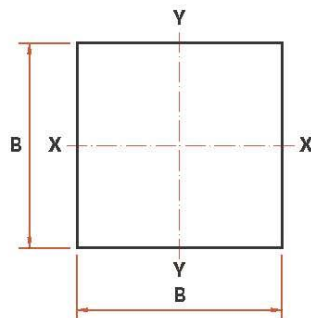
\* Fabricación Especial.



# Cuadrado

Sección Lado Nominal (in)	Peso (kg/m)	Lado B (mm)	PROPIEDADES				
			Área A (cm <sup>2</sup> )	Eje X-X = Eje Y-Y			
				I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )
3/8	0.71	9.52	0.91	0.07	0.14	0.27	0.22
1/2	1.27	12.7	1.61	0.22	0.34	0.37	0.51
5/8	1.98	15.9	2.52	0.53	0.67	0.46	1.00
3/4	2.85	19.0	3.63	1.10	1.15	0.55	1.73
1	5.06	25.4	6.45	3.47	2.73	0.73	4.10
1 1/4	7.91	31.7	10.08	8.47	5.33	0.92	8.00

- Se pueden fabricar otros diseños sobre pedido.
- Longitud estándar de 6.1 m.



Calidad Acero	F <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
ASTM A36	2530 MIn.	4080-5625
ASTM A529-50 *	3515 MIn.	4570-7030
ASTM (A36/A529-50) *	3515 MIn.	4080-5625

\* Fabricación Especial.



---

**México**  
01 800 8315 700  
deacero.com

**Monterrey, N.L.**  
T. (81) 8368 1100  
F. (81) 8368 1298

**México, D.F.**  
T. (55) 5366 5202  
F. (55) 5366 5201

**Guadalajara, Jal.**  
T. (33) 3110 1025  
F. (33) 3110 0897

**Puebla, Puebla**  
T. (222) 223 6840  
F. (222) 223 6841

**León, Guanajuato**  
T. 01 800 733 2526  
F. (477) 740 1114

---

**Costa Rica**  
01 800 052 1578

**Guatemala**  
1 800 835 0375

**Nicaragua**  
001 800 226 0398

**Honduras**  
800 2 791 9028

**El Salvador**  
800 6917

**Panamá**  
01100 800 052 1405

---



---

01 800 8315 700

deacero.com

ventas@deacero.com

---

 GrupoDeacero

 @GrupoDeacero

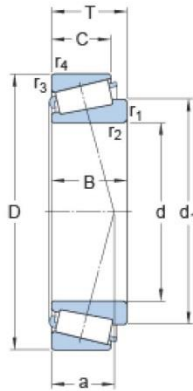
 GrupoDeacero1



ANEXO E  
RODAMIENTO SKF 33205/Q

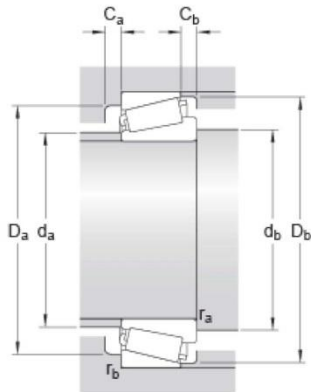
## 33205/Q

### Dimensiones



d	25	mm
D	52	mm
T	22	mm
d <sub>1</sub>	38.7	mm
B	22	mm
C	18	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 1	mm
a	14	mm

### Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	max. 30	mm
d <sub>b</sub>	min. 31	mm
D <sub>a</sub>	min. 43	mm
D <sub>a</sub>	max. 46	mm
D <sub>b</sub>	min. 49	mm
C <sub>a</sub>	min. 4	mm
C <sub>b</sub>	min. 4	mm
r <sub>a</sub>	max. 1	mm
r <sub>b</sub>	max. 1	mm

### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	47.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	56	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	6	kN
Velocidad de referencia		9000	r/min

Velocidad límite		13000	r/min
Factor de cálculo	e	0.35	
Factor de cálculo	Y	1.7	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	0.9	

---

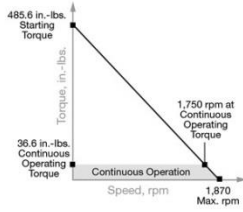
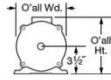
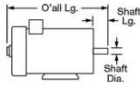
**Masa**

Rodamiento de masa		0.221	kg
--------------------	--	-------	----

---

ANEXO F  
MOTOR 6215K83

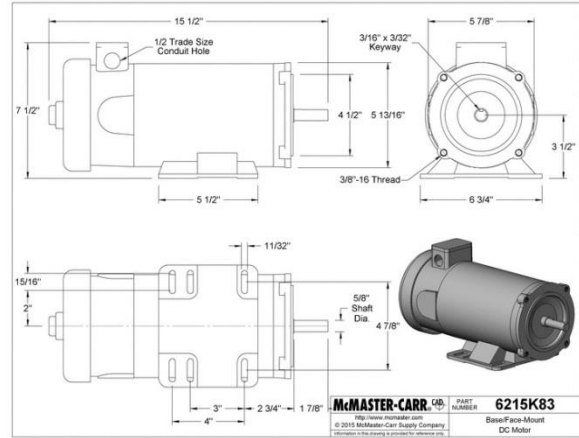
**Base/Face-Mount DC Motor**  
180V DC, NEMA 56C, 1/4hp



Each In stock  
\$915.17 Each  
6215K83

**ADD TO ORDER**

hp	1/4
rpm @ Continuous Operating Torque	1,750
Continuous Operating Torque	36.6 in.-lbs.
Maximum rpm	1,870
Starting Torque	485.6 in.-lbs.
Motor Type	Brushed Permanent Magnet
Voltage	180 Volts DC
Amps @ Full Load	5
Electrical Connection	Wire Leads
Electrical Rating	UL Recognized Components UL CSA Certified
Frame Size	NEMA 56C
Enclosure Type	TEFC
Enclosure Material	Aluminum and Steel
Bearing Type	Ball
Overall Length	15 1/2"
Width	6 3/4"
Height	7 1/2"
Shaft Diameter	5/8"
Length	1 7/8"
Center to Base	3 1/2"
Base Type	Removable
Insulation Class	F
Maximum Temperature	311° F



The information in this 3-D model is provided for reference only. Details

ANEXO G  
PLANOS