

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Centro de Investigaciones de Soldadura**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título: Tecnología para la fabricación por  
soldadura de estructura fija tipo “King Post”  
para posicionamiento de antenas parabólicas**

**Autor: Iván Pedro López Escobar**

**Tutor: Dr. Juan A. Pozo Morejón**

**M Sc. Tamara M. Ortiz Méndez**

**Santa Clara**

**2014**

**"Año 56 de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de  
Departamento donde se  
defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## PENSAMIENTO

*(...) El futuro de nuestro país tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencias, tiene que ser un futuro de hombres de pensamiento, porque precisamente es lo que más estamos sembrando, lo que más estamos sembrando es oportunidades a la inteligencia (...)*<sup>1</sup>

*Fidel Castro Ruz.*

---

<sup>1</sup>Castro Ruz Fidel. I Seminario nacional para Educadores. Una profunda Revolución en la Educación año 2000

## **DEDICATORIA**

### **Dedicado a:**

- A mis hijos Reinier y Raidel.
- A mi esposa, por su apoyo, paciencia y amor.
- A la Revolución, a nuestro querido, Fidel y Raúl, que han sido la inspiración permanente por brindarnos la oportunidad que hoy tenemos.

## AGRADECIMIENTOS

- A mi familia por su amor y dedicación.
- A Tamara M Ortiz Méndez, por dedicarme con paciencia, las horas de su tiempo y descanso.
- A mi tutor Juan A. Pozo Morejón, por confiar en mí.
- A mi compañero de trabajo Ing. Tuan Córdovi, por brindarme horas de su tiempo y su ayuda desinteresada.
- A mis hijos que son la fuente inspiradora de esta tesis.
- A la dirección de la Empresa de Antenas.
- Al estudiante de 5<sup>to</sup> Año de Ing. Mecánica Líber Días Aguilar.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio del diseño de la estructura de soporte y posicionamiento “King Post” de antenas parabólicas, con vistas a su fabricación por soldadura. Se estudian las características de las antenas parabólicas y los requisitos de operación que se requieren en el sistema mecánico que las soporta, en función de garantizar su calidad constructiva. Mediante el uso de software basado en el método de elementos finitos se valida la calidad del diseño previamente ejecutado en trabajos anteriores, mediante los métodos tradicionales de diseño. Se obtienen además las solicitaciones que actúan en las zonas de las uniones soldadas con vistas al correcto dimensionamiento de las costuras. Finalmente se elabora la tecnología de soldadura para la fabricación de esta estructura, que incluye la selección del metal de aporte, las diferentes variables del régimen de soldadura, secuencia de ensamble y cordoneo, además se obtienen los costos del proceso de fabricación, se establecen los elementos básicos del control de la calidad necesarios por este tipo de construcción y se recomiendan las medidas de seguridad ocupacional requeridas para la ejecución de este proceso de manera segura. Este trabajo ha sido demandado a la Empresa de Antenas por la Estación Terrena de Jaruco, perteneciente a ETECSA, para un tipo de antena parabólica de 4.5 m de diámetro, modelo “Andrew”.

## **ABSTRACT**

The present work consists on study about “King Post” fixed support structure of parabolic antennas, in order to his fabrication. The parabolic antenna characteristics and working requirement of the mechanical supporting system are studied, to guarantee his constructive feature. Is tested the quality of this design, made by traditional methods, using software which play by Finite Element Analyses Method. The charges that act in the welding zones are obtained in view to an adequate dimensionality of welds. Finally, the welding fabrication technology of this structure is elaborated, including the filler metal selection, the different welding regimen variables, the ensemble and cordoning sequence, and the cost of the fabrication are obtained, establishing too the basic elements of the quality control which are needed in this type of welding construction and the basic roles for the occupational safety during the welding. This project was demanded to the Antennas Enterprises for the Jaruco Terrene Station, owing to ETECSA, for a type of “Andrew” model 4.5 m diameter parabolic antenna.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLA DE CONTENIDOS .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LAS ANTENAS SATELITALES DE COMUNICACIÓN Y LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO.....	7
1.1 Generalidades sobre el tema de las Antenas Satelitales.....	7
1.1.1 Características Generales de las Antenas Satelitales.....	7
1.1.2 Tipos de Antenas Satelitales.....	9
1.2 Parámetros de Antenas Satelitales.....	13
1.3 Comunicación Satelital.....	13
1.3.1 Beneficios de la Comunicación por Satélite.....	14
1.3.2 Posicionamiento de una antena satelital.....	15
1.4 Aplicación de herramientas basadas en software para el diseño y análisis de resistencia de estructuras mecánicas.....	18
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA Y CÁLCULO DE LAS UNIONES SOLDADAS.....	22
2.1 Particularidades de la estructura del tipo “King-Post” de soporte y posicionamiento para antenas parabólicas de 4.5m.....	22
2.2 Análisis de la distribución de las cargas sobre la estructura.....	23
2.2.1 Cálculo de la carga de viento sobre la estructura.....	23
2.2.2 Análisis de resistencia de la estructura.....	25
2.3 Cálculos de dimensionamiento de las costuras soldadas.....	29
2.3.1 Cálculo del cateto de las costuras soldadas.....	31
Capítulo 3: Tecnología para la fabricación por soldadura de la estructura de soporte y posicionamiento “King Post”.....	41
3.1 Desarrollo de la Tecnología de Soldadura.....	41
3.1.1 Análisis Preliminar.....	41
3.1.2 Establecimiento de los procedimientos de soldadura.....	46
3.1.3 Establecimiento del Sistema de Control de la Calidad del conjunto soldado.....	64
3.2 Medidas de Seguridad Ocupacional a tener en consideración durante la ejecución del proceso de soldadura .....	66
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	70
Referencia Bibliográfica .....	71
Anexo.....	74

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad las personas han tenido la necesidad de comunicarse, ya sea mediante voz o de forma escrita (Torre, 2007). Uno de los desarrollos más sorprendentes en los últimos años y que ha marcado un hito en la historia de la humanidad es sin lugar a dudas la posibilidad de poder conectar todas las redes de cobertura limitada en una red global que permita enlazar y comunicar usuarios ubicados en cualquier parte de mundo, Internet.

Las primeras redes de telecomunicaciones surgieron con la aparición de la telegrafía óptica en el año 1794 inventada por Claude Chape, pero no fue hasta el año 1844 cuando se perfeccionó el código Morse que se logró la primera transmisión telegráfica eléctrica entre Washington y Baltimore seguido en 1866 de la colocación del primer cable submarino trasatlántico entre EEUU e Inglaterra lo que hizo posible la primera comunicación transatlántica.

Tomas Edison en el año 1885 patentó un sistema de comunicaciones utilizando antenas monopolo con carga capacitiva y en 1891 Edouard Branly inventó un dispositivo que permitía recibir ondas electromagnéticas el cual llamó cohesor, posibilitando que en 1895 Guillermo Marconi lograra establecer la primera comunicación entre antenas parabólicas y en el año 1899 se efectuara entre Inglaterra y Francia la primera comunicación por radio en el mundo (Pérez, 2004).

En el año 1938 Grote Reber construyó una antena parabólica de 9 metros de diámetro, con la que estableció el primer radio mapas del cielo (Torres, 2007). Durante la segunda guerra mundial se alcanza un desarrollo considerable en todas las tecnologías asociadas a las comunicaciones y a los sistemas de radar, enfatizando en este último el uso de antenas de microondas para aplicaciones militares, lo cual sentó las bases para futuros desarrollos en aplicaciones civiles.

---

A finales de 1945, Arthur C. Clarke propone la utilización de tres satélites de órbita geoestacionaria espaciados por  $120^\circ$  para dar cobertura a todo el mundo. Con el lanzamiento del Sputnik (primer satélite lanzado al espacio) en el año 1957 se abre un nuevo camino a las comunicaciones y se inicia una carrera espacial permitiendo lo antes mencionado (Pérez, 2004). No fue hasta la puesta en órbita del "Echo I A" en 1960 por la NASA, que se logró hablar de comunicación satelital; y con el satélite "TELSTAR I" se realiza la primera transmisión de imágenes de televisión entre Estados Unidos y Francia.

La comunicación comercial vía satélite comienza en el año 1965 con el lanzamiento del satélite "INTELSAT", el cual fue posicionado en órbita geoestacionaria con lo que se inicia la telecomunicación espacial. Las antenas para comunicaciones espaciales han evolucionado mucho en los últimos años, siendo la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Espacial Norteamericana (NASA) las dos organizaciones responsables de los avances en dicha materia.

Todo este progreso tecnológico ha pasado a su vez por el desarrollo en el tema de las antenas, dispositivos estos fundamentales en una red de telecomunicaciones, los cuales ajustan sus características de diseño al tipo de transmisión y los requerimientos de trabajo. En el caso de la transmisión satelital, las más comúnmente utilizadas son las antenas parabólicas, cuyos diámetros varían desde unos pocos metros hasta decenas de ellos, además de existir una amplia gama de diseños de estas, en dependencia de los requerimientos técnicos a cumplir dentro de la red.

Las antenas satelitales han evolucionado desde las de cobertura global, para satélites no estabilizados, hasta las de gran ganancia en los satélites en órbita geoestacionaria (Moya, 2006). Se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten lanzar satélites con grandes antenas, basadas en dos conceptos: antenas desplegadas y antenas hinchables. También se han desarrollado nuevos procesos para la construcción de paraboloides con elevadas resistencia y bajo peso, como la tecnología de la fibra de carbono. La tendencia actual se perfila hacia las grandes agrupaciones activas, con el control total de la amplitud y de la fase de todos los elementos del array.

---

El sector de las comunicaciones en Cuba ha sido objeto de un gran desarrollo en los últimos años ya que se encuentra encaminado cada vez más al perfeccionamiento de todos los sistemas de comunicaciones y enlaces. Un elemento fundamental dentro de este sistema lo constituyen las antenas parabólicas, uno de los equipos más importantes en la transmisión y captación de señales para nuestro país (Raymundo, 2012). En estos momentos prácticamente todas las comunicaciones con el exterior se hacen por medio de comunicación satelital debido al bloqueo impuesto por el gobierno de lo Estados Unidos, lo que no ha posibilitado la conexión con los cables marítimos que rodean al país. A partir del pasado año entró en funcionamiento el cable submarino que comunica con Venezuela, pero este aún se utiliza a baja escala.

La estación Terrena de Jaruco, ubicada en la provincia de Mayabeque, es la que se encarga actualmente de las comunicaciones internacionales del país. Aquí se encuentran instaladas y en servicio unas siete antenas de gran y mediano porte, así como varias de pequeño porte. De forma general sus diámetros varían desde 1,2 a 16 m, en dependencia del tráfico que garantizan. Varias de estas antenas cuentan ya con sistema de posicionamiento automático, pero algunas de ellas, como el caso de la Andrew, del tipo Gregoriana, con modelo ES45P. MP, de 4,5 metros de diámetro, se posicionan de forma manual, lo que incide directamente en la calidad de la recepción y trasmisión de las comunicaciones. Como paso previo al diseño e instalación de un sistema de control automático para el posicionamiento se hace necesario el diseño y fabricación de la estructura mecánica que soportará la antena. Esta se compone de una parte móvil y una fija, anclada a cimientos. Estas estructuras ya han sido diseñadas por parte de los especialistas de la empresa de Antenas y en estos momentos se trabaja en la tecnología de fabricación, donde el peso fundamental lo tiene el proceso de soldadura, para lo cual se hace necesario elaborar la tecnología para la construcción por soldadura de las mismas (Raymundo, 2012). Por otra parte es interés de la Empresa comenzar a introducir el uso de software de diseño y simulación en los proyectos de desarrollo de nuevos productos, para lo cual este proyecto constituye un punto de partida. Lo anteriormente descrito constituye la situación problémica de este trabajo.

### Hipótesis:

El establecimiento de un diseño y tecnología de fabricación por soldadura correcta, de la estructura fija, que forma parte del sistema mecánico de soporte y posicionamiento “King-Post”, de la antena Andrew de 4,5 metros de diámetro, permitirá obtener un producto de elevada calidad desde el punto de vista de reducción de costos, integridad estructural, fiabilidad y vida útil.

### Objetivo general:

Elaborar la tecnología para la fabricación por soldadura de la estructura fija, que forma parte del sistema mecánico de soporte y posicionamiento “King-Post”, de la antena Andrew de 4,5 metros de diámetro, del tipo Gregoriana, con modelo ES45P, comenzando por el estudio de las cargas que actúan en los puntos de la estructura donde se ubican las uniones soldadas, y con ello el dimensionamiento de las mismas, en función de asegurar la construcción con calidad de esta estructura.

### Objetivos específicos:

- Realizar un estudio del diseño del sistema mecánico de posicionamiento “King-Post” desarrollado en la Empresa de Antenas, mediante el uso de software de diseño que aplican el método de elementos finitos (“Autodesk Inventor”, versión 2014), para validar el proyecto elaborado mediante los métodos tradicionales por los especialistas de la empresa.
- Realizar el cálculo de resistencia de las uniones soldadas.
- Elaborar la tecnología de fabricación por soldadura del sistema de soporte y posicionamiento de la antena, incluyendo el cálculo de los costos y los métodos de control de la calidad requeridos.

### Tareas:

1. Estudio de las características de las antenas de la estación terrena de Jaruco, cuyo sistema mecánico de soporte y posicionamiento se persigue modernizar.
2. Estudio del diseño del sistema mecánico de soporte y posicionamiento que se pretende aplicar en estas antenas, así como de la distribución de

---

cargas en la estructura mecánica, de manera que permita comprobar el diseño de la misma, realizado previamente por métodos tradicionales.

3. Análisis de las solicitaciones mecánicas que actúan en las zonas de la estructura fija donde se ubican las uniones soldadas y ejecución del cálculo de resistencia de las mismas.
4. Elaboración de la tecnología de soldadura para la fabricación de esta estructura fija, lo que incluye el establecimiento de las medidas de control de la calidad necesarias.
5. Establecimiento de las medidas de seguridad ocupacional imprescindibles para la ejecución segura de estos trabajos.

#### Aportes:

El trabajo aporta la tecnología de fabricación mediante soldadura de la estructura fija que forma parte del sistema mecánico de soporte y posicionamiento del tipo “King-Post”, de una antena parabólica Andrew de 4,5m, de la Estación de ETECSA en Jaruco, de forma que permita su fabricación, garantizando así la calidad de la recepción y transmisión de las comunicaciones con esta antena.

#### Viabilidad:

Se considera viable la solución del problema planteado, ya que se cuenta en el CIS y la Empresa de Antenas con los recursos requeridos, entre los que se pueden enumerar:

- Los software “Autodesk Inventor” versión 2014 y “Working Model 2D” versión 2004 necesarios para la realización de un adecuado trabajo.
- La orientación de profesores y especialistas de la Facultad de Mecánica de la UCLV.
- Información alrededor del tema en artículos, tesis, etc.

### Consecuencias y repercusiones:

La ejecución de una tecnología de soldadura siguiendo los pasos adecuados para ello, va a garantizar una elaboración con calidad del producto. Esto es de gran importancia para la empresa de antenas donde existe una pobre cultura en este tema y las decisiones al respecto la toman los soldadores sobre la base de su experiencia práctica, lo cual no garantiza la fiabilidad del producto. Por otra parte la introducción de software para el diseño y su evaluación va a mejorar grandemente la eficiencia en la elaboración de proyectos de nuevos productos, con la consiguiente reducción en los costos de operación.

---

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LAS ANTENAS SATELITALES DE COMUNICACIÓN Y LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO**

En este capítulo se presentan las generalidades sobre las comunicaciones vía satélite, las antenas utilizadas con este fin, el diseño típico de sus sistemas mecánicos de soporte y posicionamiento y las tendencias mundiales sobre este tema. Se aborda además el uso de los métodos de elementos finitos como herramientas para el diseño de estructuras de soporte y posicionamiento de estas antenas.

### **1.1 Generalidades sobre el tema de las Antenas Satelitales**

A nivel mundial el empleo de antenas satelitales se hace cada vez más imprescindible ya que el hombre sigue avanzando hacia lugares más intrincados donde no puede implementar la misma infraestructura de comunicaciones que en lugares urbanos (Aznar,2002).La automatización del posicionamiento de las mismas propicia notables mejoras en cuanto a calidad de las comunicaciones que a través de ellas se efectúan, lo cual pasa por un adecuado diseño y construcción del sistema mecánico de soporte y posicionamiento.

#### **1.1.1 Características Generales de las Antenas Satelitales**

Una antena es un dispositivo diseñado para emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia o desde el espacio libre (Aznar, 2002; EVELIUX, 2001). Como dispositivo transmisor, la antena debe convertir los componentes de tensión y corriente de la señal en campos electromagnéticos para que, combinados, se propaguen a través del espacio. Inversamente, durante la recepción, la antena debe interceptar los campos electromagnéticos que constituyen la energía de la

---

señal transmitida para reconvertirla en los valores de tensión y corriente, con vista a su amplificación y demodulación.

Las antenas deben dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección, es decir, deben acentuar un sólo aspecto de dirección y anular o mermar los demás. Esto es necesario ya que solamente interesa radiar hacia una dirección determinada. Otro aspecto importante en su empleo es la polarización de la onda radiada, la cual se refiere a la orientación del campo electromagnético; esta se puede polarizar de forma lineal, elíptica o circular. Existen una gran diversidad de antenas parabólicas dependiendo del uso que estas tengan. Sus características obedecen a la potencia, la frecuencia de trabajo y la precisión exigida.

Existen muchos tipos de antenas terrestres para la comunicación con satélites, estas dependen del tipo de estación terrena, la cual comprende desde los centros internacionales de tráfico alto (antenas grandes de hasta 32 metros), pasando por los receptores domésticos de televisión (antenas de entre 3 y 0,5 metros), hasta pequeños terminales de comunicación de datos (antenas de hasta 0,1 metros).

Una antena terrestre de trabajo satelital se instala generalmente sobre tierra firme, aunque puede instalarse sobre un barco o incluso en aviones (servicios aeronáuticos), todo ello hace que existan multitud de tipos de antenas terrestres de trabajo satelital, casi todas estas son reflectores de apertura circular. De ser necesario un mejor desempeño se pueden utilizar reflectores dobles, llamados Cassegrain o Gregorianos.

La antena y el sistema de alimentación son soportados por un pedestal, el cual posee un diseño mecánico que permite orientar el haz de la antena hacia el satélite. Este pedestal está compuesto generalmente por 2 ejes móviles. En el caso de las antenas de gran dimensión (Fig. 1.1), estos subsistemas están motorizados y controlados por un sistema de posicionamiento automatizado.



Fig.1.1 Ejemplo de Antena Satelital (Aznar, 2002).

Estas grandes antenas (de más de 10 metros de diámetro), están colocadas en un poste o pedestal llamado base, compuesto por un gran soporte circular que permite la rotación azimutal (en el plano horizontal) y una transmisión de tornillo sinfín que permite el movimiento en elevación (en el plano vertical). El reflector de la antena debe estar construido con una alta exactitud y rigidez para conseguir los requerimientos especificados (especialmente en cuanto a ganancia y eficiencia de la antena) incluso en extremas condiciones ambientales.

En las antenas grandes debe incluirse un sistema de corrección cuya finalidad es mantener el haz de la antena en la dirección exacta del satélite, debido a movimientos residuales de este último, corrimientos mecánicos de la antena (efectos de viento y peso) y efectos de propagación atmosférica en altas frecuencias.

### **1.1.2 Tipos de Antenas Satelitales**

Cada aplicación y banda de frecuencia presentan características diferentes que dan origen a diversos tipos y diseños de antenas satelitales (López, 2009). Los tipos más comunes de antenas se pueden agrupar en los siguientes bloques:

## Antenas de Apertura y Reflectores

Son aquellas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético de forma que concentran la emisión y recepción de su sistema radiante en una dirección. Dentro de las más conocidas se encuentran la antena parabólica (Fig. 1.1) y la bocina electromagnética, esta última generalmente utilizada como alimentador de reflectores parabólicos (Fig. 1.2) que se puede emplear, tanto en enlaces de radio terrestres como de satélite.

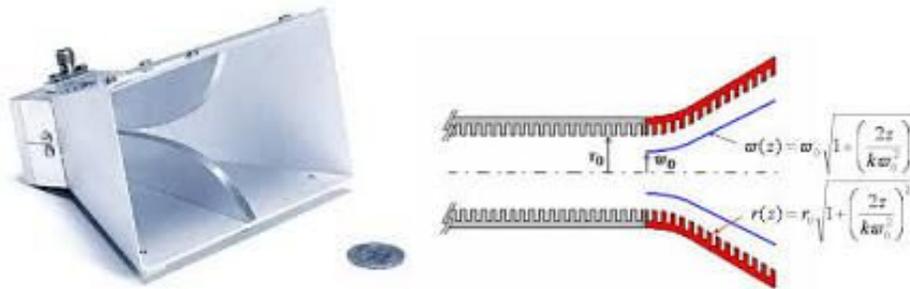


Fig.1.2 Antena de bocina (Autor desconocido, 2014. (3)).

Entre las antenas parabólicas más importantes se pueden destacar:

### 1. Antena parabólica de foco primario

Entre sus características principales se encuentra que la superficie de la antena es un paraboloide de revolución. Todas las ondas que inciden paralelamente al eje principal, se reflejan y van a parar al foco el cual está centrado en el paraboloide. Tiene un rendimiento máximo del 60 % aproximadamente, es decir, de toda la energía que llega a la superficie de la antena, el 60 % llega al foco y se aprovecha. Suelen ser de tamaños entre 1,5 y 7 m de diámetro.

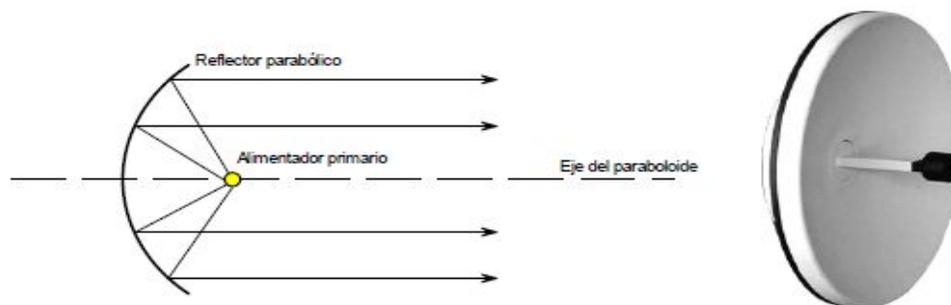


Fig. 1.3: Antena parabólica de foco primario (Autor desconocido, 2014. (1)).

## 2. Antena parabólica OFFSET

Este tipo de antena está formada por una sección de un reflector paraboloide de forma oval. Tienen el foco desplazado, de tal forma que queda fuera de la superficie de la antena. Debido a esto, el rendimiento es algo mayor que en la de foco primario llegando a ser de un 70 %. El diagrama de directividad tiene forma de óvalo y las ondas que llegan a la antena, se reflejan, algunas se dirigen al foco, y el resto se pierde. Estas antenas son las más usadas para recepción de TV satelital.

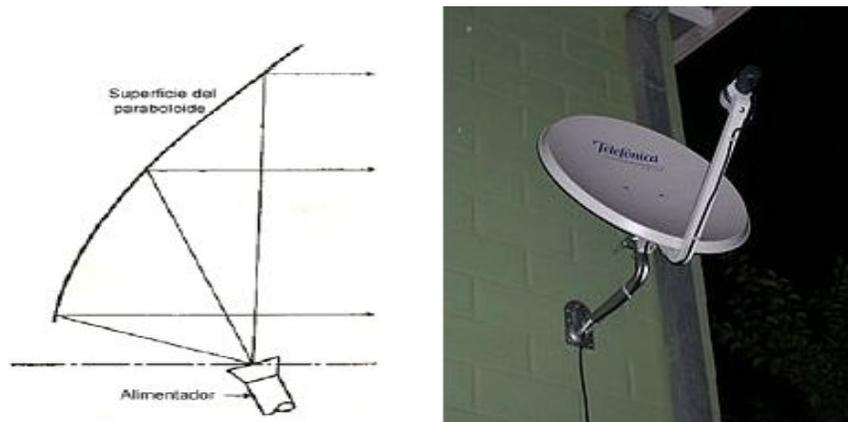


Fig. 1.4: Antena parabólica Offset (Autor desconocido, 2014. (1)).

## 3. Antena parabólica Cassegrain

Es similar a la de foco primario, sólo que tiene dos reflectores, el mayor apunta al lugar de recepción y las ondas al chocar se reflejan y van al foco donde está el reflector menor. Al chocar, las ondas van al foco último donde estará colocado el alimentador. Se suelen utilizar en antenas muy grandes, con vistas a lograr una alta eficiencia en su funcionamiento y además este diseño facilita llegar al foco para el mantenimiento de la antena. Dentro de estas se encuentran las de sub reflector hiperbólico y sub reflector elíptico, este último se conoce como Gregoriano.

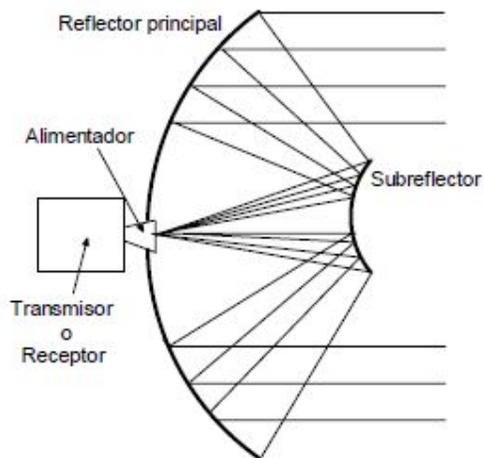


Fig. 1.5: Antena parabólica Gregoriana (Autor desconocido, 2014. (1)).

### **Agrupaciones de Antenas (Arreglos)**

Están formadas por un conjunto de dos o más antenas idénticas distribuidas y ordenadas de tal forma que en su conjunto se comportan como una única antena con un diagrama de radiación propio (Fig. 1.6). La característica principal de los arreglos de antenas es que su diagrama de radiación es modificable, pudiendo adaptarlo a diferentes aplicaciones o necesidades. Generalmente este tipo de arreglos se utilizan en estaciones bases de telefonía, trasmisores de TV, satélites, radio telescopios, etc.



Fig. 1.6: Agrupaciones de antenas (Arreglos) (Autor desconocido, 2014. (2)).

## 1.2 Parámetros de Antenas Satelitales

Para realizar una comunicación por satélite se imponen requerimientos de diseño de las antenas utilizadas (Eveliux.2001). A continuación se exponen algunos principios de funcionamiento y posicionamiento:

- Gran ancho de banda: del orden de 4 GHz para el enlace descendente y de 6 GHz para el enlace ascendente.
- Elevada ganancia de antena para conseguir una alta figura de mérito. Para ello son necesarios grandes reflectores y altas eficiencias de antena, lo que se consigue con una iluminación casi uniforme y una alta precisión en la fabricación.
- Mínima temperatura de ruido: para ello, entre otras cosas, es necesario una baja radiación en la dirección del suelo.
- Bajo nivel de radiación del lóbulo secundario: para minimizar la recepción y transmisión de señales interferentes.
- Alta pureza de polarización: para evitar interferencias de señales de polarización cruzada especialmente en el caso de satélites de doble polarización.

## 1.3 Comunicación Satelital

Las comunicaciones por satélites se ejecutan mediante un sistema de telecomunicaciones que utilizan uno o más satélites, para lograr la reflexión de señales de microondas (desde 2 a 18 GHz), generadas por una estación transmisora con el objeto de hacerla llegar a otra estación receptora (Torre, 2007). Generalmente, ambas estaciones están situadas en puntos geográficos distantes, sin alcance visual.

El sistema consiste de tres secciones básicas: una subida, un “transponder” satelital y una bajada (Fig. 1.7).

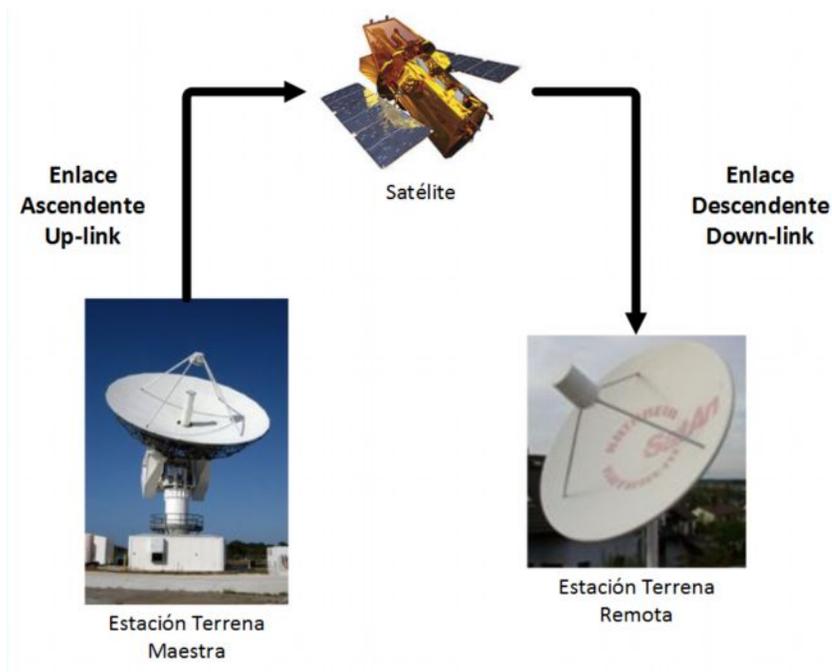


Fig. 1.7: Sistema Satelital.

### 1.3.1- Beneficios de la Comunicación por Satélite

Las comunicaciones por satélite tienen varias ventajas en comparación con las alternativas terrestres (López, 2009). Estas pueden salvar grandes distancias sin importar la topografía del terreno, además se pueden utilizar antenas que tengan coberturas geográficas amplias de tal manera que muchas estaciones receptoras terrenas puedan recibir y distribuir simultáneamente la misma señal que fue transmitida una sola vez.

Por ser universales están disponibles prácticamente en cualquier lugar del planeta, y sólo es necesario un pequeño grupo de satélites para producir una amplia cobertura. Son muy versátiles ya que tienen la capacidad de transmitir cualquier tipo de comunicación actualmente existente, como son las aplicaciones multimedia, video, audio, etc. dando posibilidad de habilitar comunicaciones de banda ancha en sitios muy inaccesibles o demasiado caros para alcanzar por medios terrestres.

De forma general se puede plantear que entre las principales ventajas de las comunicaciones vía satélite se encuentran:

- Comunicaciones sin cables, independientes de la localización.
- Cobertura de zonas grandes: país, continente, etc.
- Disponibilidad de banda ancha.
- Independencia de la estructura de comunicaciones en tierra.
- Instalación rápida de una red.
- Costo bajo por añadir un nuevo receptor.
- Características del servicio uniforme.
- Servicio total proporcionado por un único proveedor.

### **1.3.2 Posicionamiento de una antena satelital**

El rastreo de un satélite es utilizado para corregir tanto la posición del mismo, como de una antena en una estación terrena (Tomasi, 2003). Cuando el satélite se encuentra en órbita, existen algunas fuerzas no deseadas que dificultan que el satélite permanezca con la misma orientación con respecto a la superficie terrestre.

Debido a las fuerzas perturbadoras, la comunicación de la estación terrena con el satélite puede no ser confiable; en este caso, se requiere de algún sistema de posicionamiento para mantener la antena de la estación terrena con la mejor orientación tanto para la transmisión como para la recepción de la señal.

Para poder orientar una antena es necesario tener un montaje que permita realizar movimientos del reflector. Existen tres tipos de montajes que puede tener una antena: X-Y, Ecuatorial o Polar y Azimut-Elevación.

#### ***Montaje X-Y***

Este montaje es empleado para antenas de tamaño medio (10 a 13 m). En este montaje el eje más bajo (x) es paralelo al suelo y su rotación la elevación de la antena. El eje más alto (y), se encuentra en un plano vertical perpendicular al x. La posición del eje y en el plano vertical depende de la rotación sobre el eje x (Fig. 1.8). Éste es el montaje más simple que existe pero la cobertura es muy limitada siendo capaz de proveer una cobertura sobre los 90° en el eje x en algunos casos y solamente  $\pm 5^\circ$  en el eje (y).

---

## **Azimut- Elevación**

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite con un montaje Azimut - Elevación se realiza ajustando dos ángulos: elevación y azimut. Los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud) y de la ubicación del satélite.

### **Azimut**

El ángulo de azimut es la cantidad de grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra) para que el eje de simetría pase por la posición de longitud del satélite (Fig. 1.9) (Tomasi, 2003). Se toma como referencia el Norte como cero grados, y si se continúa girando en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este, se llega a los 90° de Azimut. Hacia el sur están los 180°, hacia el Oeste los 270° y por último llegaremos al punto inicial donde los 360° coinciden con el 0° del Norte.

### **Elevación**

Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal (Fig. 1.9), o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal (Tomasi, 2003). Entre más pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la Tierra. Como cualquier onda propagada a través de la atmósfera, sufre absorción y también puede contaminarse severamente por el ruido. De esta forma, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que está dentro de la atmósfera de la Tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado de proporcionar una transmisión inadecuada. Generalmente, 5° es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

### **Montaje Polar**

Este tipo de montaje se utiliza cuando se requiere recibir la señal de varios satélites (Fig. 1.10). Permite recorrer los satélites en órbita geoestacionarias con la

rotación de un sólo eje polar. Su ajuste es más delicado, complicado y resulta más caro. Para la orientación se debe enfocar la antena hacia el polo Sur (estando en el hemisferio Norte) y se eleva un número de grados igual a la latitud del lugar de recepción, luego se ajusta el ángulo de declinación para encontrar la órbita geoestacionaria.

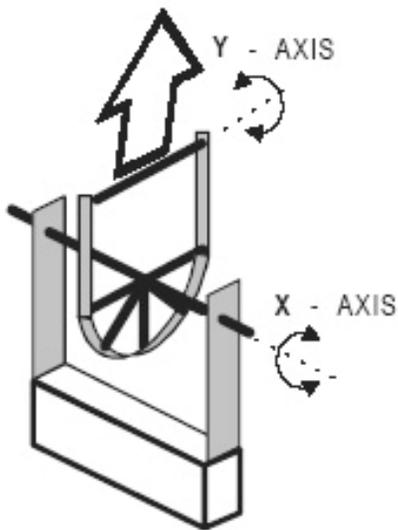


Fig. 8 Montaje X-Y (López, 2009).

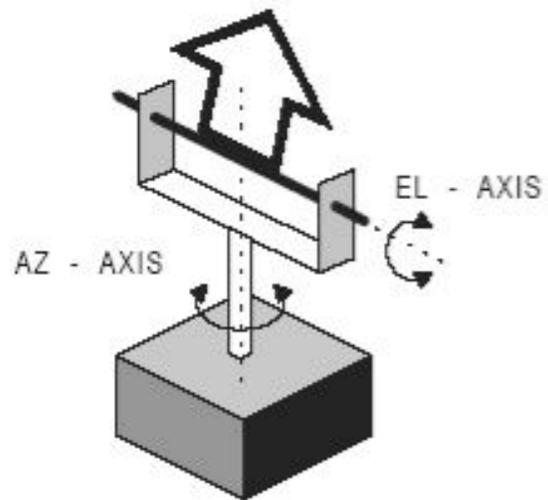


Fig.9 Montaje Azimuty Elevación (López, 2009).

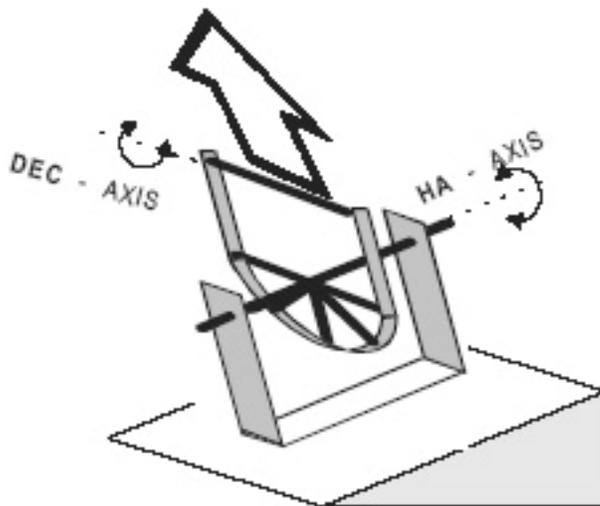


Fig.10 Montaje Polar (López, 2009).

---

#### **1.4- Aplicación de herramientas computacionales para el diseño y análisis de resistencia de estructuras mecánicas**

Los recientes avances en Diseño Asistido por Computadoras (CAD) e Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) están produciendo un cambio trascendental en la etapa de desarrollo y optimización de productos y procesos (Ramos, 2013).

Muchas empresas recurren a la simulación de sus productos en la etapa de diseño, previa a la concreción física, para de esta manera poder predecir y corregir problemas que se presentarían en futuras etapas. Esta posibilidad de simular el producto mediante un medio informático permite acortar drásticamente los tiempos de proyecto, con la consiguiente reducción de los costos (González, 2004).

Hace algunos años el diseño de cualquier pieza mecánica se llevaba a cabo realizando hipótesis simplificadas en los cálculos, tales como asimilar un elemento complejo a una viga simple y realizar un cálculo estático, afectándolo luego por coeficientes que tuvieran en cuenta el efecto de concentración de tensiones, comportamiento dinámico, etc.

Este proceso se vuelve mucho más eficiente, confiable y racional mediante el uso de software que basan sus operaciones en el análisis por elementos finitos.

El Método de Elementos Finitos – MEF (Finite Element Method) o Análisis por Elementos Finitos – AEF (Finite Element Analysis), se basa en la idea de construir objetos complicados con simples bloques o dividir un objeto complicado en pequeñas piezas mucho más manejables. Esta simple idea encuentra campo de aplicación en la vida práctica y por tanto en la ingeniería (Ramos, 2013).

El desarrollo de los elementos finitos (MEF) tal y como se conoce hoy en día ha estado ligado al cálculo estructural (Courant R, 1943; Ramos, 2013). Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión: es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Las computadoras han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo de las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de las computadoras (González, 2004). Entre estas, además de permitir la

---

descentralización de los programas de elementos finitos, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Entre los paquetes más conocidos en aplicaciones de diseño mecánico se encuentran el Autodesk Inventor, Ansys Multiphysics, Solid Word, fundamentalmente.

Previo al uso de estos métodos, para la elaboración de los proyectos de diseño se realizaba una pieza prototipo y se sometía a complicados ensayos, muchas veces destructivos y con un costo significativo, para evaluar su funcionamiento y modificar en consecuencia el diseño original. Si se utiliza un programa de MEF se puede ayudar a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipo-pruebas-ensayos-evaluación. Incluso, en algunos casos, no es deseable o práctico el realizar un prototipo: aplicaciones biomecánicas, aeroespaciales, etc. El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método.

En la actualidad es posible realizar un modelo exacto de la geometría de la pieza en cuestión, por más complicada que esta sea. Dicho modelo se puede someter a las más variables solicitaciones, de manera tal que se acerca considerablemente al caso real. Empleando métodos computacionales no solo se realiza un estudio estático lineal, sino que es posible el espectro de las deformaciones al campo plástico, incluyendo solicitaciones dinámicas y considerando todo tipo de comportamiento y propiedades de los materiales (no-linealidad, endurecimiento por deformación plástica, anisotropía, dependencia de la temperatura, etc.). Una vez realizado el modelo geométrico, el estudio de diferentes hipótesis de carga resulta sumamente sencillo y en tiempos relativamente cortos, con lo cual se llega a la optimización del diseño aún en etapas de ante proyectos.

Mediante las técnicas de modelación paramétrico, los usuarios comienzan diseñando piezas que se pueden combinar en ensamblajes (“Autodesk inventor”, 2014). Corrigiendo piezas y ensamblajes pueden obtenerse diversas variantes. En

---

el caso del “Autodesk Inventor”, versión 2014, software que ha ganado alta popularidad en este campo, este se utiliza en diseños de ingeniería para producir y perfeccionar productos nuevos. Como modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que si se alteran las dimensiones, la geometría se actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo, a diferencia del modelado no paramétrico, que está más relacionado con un “tablero de bocetos digitales”.

La ventaja de este diseño es que todos los bocetos y las características se pueden corregir más adelante, sin tener que hacer de nuevo la partición entera. Este sistema de modelado es mucho más intuitivo que en ambientes antiguos de modelado, en los que para cambiar dimensiones básicas era necesario generalmente suprimir el archivo entero y comenzar de cero. Como parte final del proceso, las partes se conectan para hacer ensamblajes. Los ensamblajes pueden consistir en piezas u otros ensamblajes. Las piezas son ensambladas agregando entre las superficies, bordes, planos, puntos y ejes.

Las últimas versiones del “Autodesk Inventor” incluyen funcionalidades que poseían muchos modeladores 3D de mediano y alto nivel. Utiliza el Gestor de Formas (Shape Manager) como soporte del modelaje geométrico, el cual pertenece a Autodesk y derivado a su vez del modelaje ACIS.

Este software ha sido ampliamente validado su uso y se considera uno de los de mayor aplicación a nivel internacional para el diseño y modelación de piezas y estructuras mecánicas (Deitz, 1997; Wales, 2001). Por tanto el uso de esta herramienta constituye un modo de aumentar la eficiencia y calidad en el diseño, disminuyendo tiempo y costo a los trabajo de diseño, así como mejorando su fiabilidad y racionalidad.

Una de las herramientas CAD de mayor uso profesional es “Working Model 2D” (Wales, 2001). El principio de trabajo es el “método de Raben”, o polígonos vectoriales cerrados. Esta es una herramienta de diseño conceptual que permite crear simulaciones, reemplazando los cálculos imprecisos, que consumen

excesivo tiempo. El "Working Model 2D" ha sido adoptado por miles de profesionales para crear y analizar los sistemas mecánicos reales. Se ha diseñado desde la base para optimizarse con los sistemas operativos Windows 95/98/Me/NT/2000/XP. Incluye detección de colisión automática y respuestas para la geometría NURBS. La última versión del producto, Working Model 2004, también incluyen populares 'scripts' como Flexbeam, Shear y Bending Moment, así como Pin Friction. Estos 'scripts' se han configurado para ampliar la utilización de este software.

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA Y CÁLCULO DE LAS UNIONES SOLDADAS**

En este capítulo se realiza un análisis mediante MEF, con la aplicación del software “Autodesk Inventor”, de la estructura fija de soporte y posicionamiento diseñada en trabajos previos, para la antena parabólica Andrew de 4,5 m. Se determina además la resistencia de cada zona de la estructura con relación a las cargas externas aplicadas al conjunto, así como el factor de seguridad. Por otra parte se calculan las dimensiones de las costuras de cada unión, considerando las sollicitaciones mecánicas que en ellas se generan, las cuales se obtuvieron mediante el uso del software “Working Model 2D”.

### **2.1 Particularidades de la estructura del tipo “King-Post” de soporte y posicionamiento para antenas parabólicas de 4,5 m**

Esta estructura fija fue proyectada por especialistas de la Empresa de Antenas en trabajos previos (Raymundo, 2012). A partir de los planos del proyecto se introdujeron las características dimensionales de esta estructura al software “Autodesk Inventor” versión 2014 y se obtuvieron los esquemas y planos.

En la figura 2.1 se muestra un esquema general de esta estructura y en el anexo 1 se muestran los planos de fabricación. Como se aprecia, la misma está integrada de un tubo central de 220 mm de diámetro, al cual se sueldan dos cartelas de 30 mm de espesor, las cuales van a sujetar el eje que soporta la carga del resto del sistema. Este tubo se fija a una platina cuadrada en su base, la cual está empotrada a una superficie de hormigón, diseñada para soportar este sistema. A su vez la estructura está reforzada por dos pies de amigos fabricados con vigas I-20, como se muestra

en los planos. Estas tendrán la función de asegurar la verticalidad del tubo dentro de las tolerancias dimensionales del diseño, en el plano perpendicular a la dirección de máxima resistencia al viento.

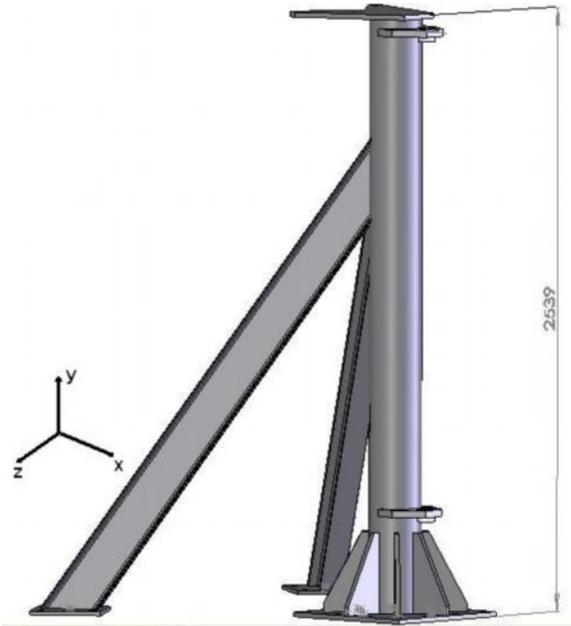


Fig. 2.1: Esquema general de la estructura fija de soporte y posicionamiento.

Los materiales utilizados en esta estructura fueron el ASTM A501 para el tubo central y el ASTM A36 para el resto de las piezas que conforman la estructura soldada.

## 2.2 Análisis de la distribución de las cargas sobre la estructura

Este paso se realizó mediante el uso del software “Autodesk Inventor”, versión 2014. Como datos de entrada para la simulación se introdujeron las cargas externas que afectan la estructura tales como el peso de la antena y las cargas de viento, las cuales se calcularon según el procedimiento establecido en la norma NC 285 de 2003 “Carga de viento. Método de cálculo” (NC 285, 2003). También se introdujeron los materiales de fabricación de la estructura.

### 2.2.1 Cálculo de la cargas de viento sobre la estructura

La norma cubana NC 285 de 2003 “Carga de viento. Método de cálculo” establece que la carga de viento se calcula como:

$$q = q_{10} \cdot Ct \cdot Cs \cdot Ch \cdot Cr \cdot Cra \cdot Cf \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.1)$$

donde  $q_{10}$  es la presión básica del viento y está determinado ya por la norma para las distintas zonas del país, estableciéndose para la Ciudad de la Habana (Zona 1) que el valor de  $q_{10}$  es de  $1.3 \text{ kN/m}^2$ .

A continuación se nombran cada uno de los coeficientes incluidos en la expresión 2.1 y se brindan los valores establecidos para el caso de este proyecto por la norma cubana.

Ct: coeficiente de recurrencia (0,9)

Cs: coeficiente de topografía o sitio (1,10)

Ch: coeficiente de altura (0,65)

Cr: coeficiente de ráfaga (1,46)

Cra: coeficiente de reducción (0,83)

Cf: Coeficiente de forma (1,1)

Finalmente, sustituyendo en la expresión 1 queda:

$$q = 1,3 \text{ kN/m}^2 * 0,9 * 1,10 * 0,65 * 1,46 * 0,83 * 1,1 = 1,1 \text{ kN/m}^2$$

Este es el valor de la presión del viento sobre la parábola que forma parte del conjunto de la antena. A partir de este valor de presión del viento se calcula la fuerza de viento que actúa sobre la parábola.

$$A = \left( \frac{\pi}{4} * d_p^2 \right) * 1,10 \quad (2.2)$$

Donde  $d_p$  es el diámetro de la parábola y 1.10 es un coeficiente de forma establecido para los paraboloides en revolución (Raymundo, 2012).

Sustituyendo en 2 queda:

$$A = \left( \frac{\pi}{4} * 4,5^2 \right) * 1,10 = 20 \text{ m}^2$$

Con estos valores se calcula la fuerza que se genera debido a la carga de viento, la cual se obtiene de multiplicar la carga de viento distribuida por esta área equivalente para un paraboloide en revolución, quedando:

---

$$F_{\text{viento}} = 1,1 \text{ kN/m}^2 * 20 \text{ m}^2 = 22 \text{ kN}$$

### **2.2.2 Análisis de resistencia de la estructura**

En el software “Autodesk Inventor”, versión 2014, se realiza el dibujo en 3D del sistema mecánico completo de soporte y posicionamiento de la estructura, basado en los planos incluidos en el proyecto de diseño (Raymundo, 2012). Este contiene un sistema móvil al cual se acopla la antena parabólica. Se definieron los materiales que conforman la estructura, a partir de la biblioteca del software. Este sistema se muestra en la figura 2.2.

Buscando precisión en los cálculos este paso se realizó trabajando con el ensamble completo del sistema de soporte y posicionamiento de la antena, por lo cual se adiciona a la estructura fija objeto de este estudio la estructura móvil que va acoplada por las cartelas. Esto permitió la aplicación de las cargas externas en los puntos por donde en realidad entran al sistema y por otra parte el peso de la estructura móvil constituye una carga interna, la cual se suma al efecto de las externas sobre la estructura fija. En el anexo 8 se muestra el plano de ensamble de la estructura móvil.

Por otra parte, en el anexo 6 se incluye una compilación de imágenes de cada uno de los pasos ejecutados en el software “Autodesk Inventor” para introducir las variables de entrada para la simulación.

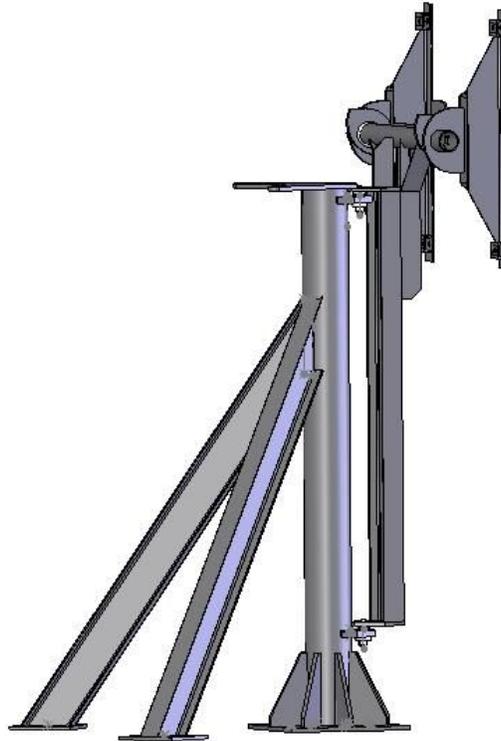


Fig. 2.2: Esquema del sistema completo de soporte y posicionamiento “King Post”, compuesto por la estructura móvil y la fija.

Los pasos para la simulación en el software “Autodesk Inventor” se relacionan a continuación:

- Definición de los materiales que componen el ensamble.
- Aplicación de las restricciones de movimiento a la estructura, las cuales se ubican en las zonas de la estructura fija que quedan ancladas al suelo.
- Aplicación de las cargas generadas por el peso de la antena parabólica en los 4 puntos de fijación de la misma a la estructura móvil del sistema de soporte y posicionamiento.
- Aplicación de las cargas de viento, lo cual se aplicó como una carga distribuida en el área donde apoya la antena parabólica a la estructura móvil del sistema.
- Asignación del tamaño de malla. Se fijó un tamaño de malla de 0,1 cm, dado que este es el tamaño predeterminado por el software y se considera adecuado para el análisis de las diferentes zonas de la estructura. Se demostró además que la

posterior reducción del tamaño de los elementos influye muy poco en la respuesta, con errores relativos siempre por debajo del 5 %.

- Simulación y realización del reporte.

Las imágenes que muestran la forma de realización de cada uno de estos pasos en el software se muestran en el anexo 6.

El reporte de la simulación realizada por el software está íntegramente expuesto en el anexo 7.

Se tomaron como criterios para evaluar la calidad del diseño desde el punto de vista de resistencia y rigidez, los resultados obtenidos en cuanto a factor de seguridad y desplazamientos en los diferentes ejes. En la figura 2.3 se muestra el reporte obtenido del comportamiento del factor de seguridad en toda la estructura.

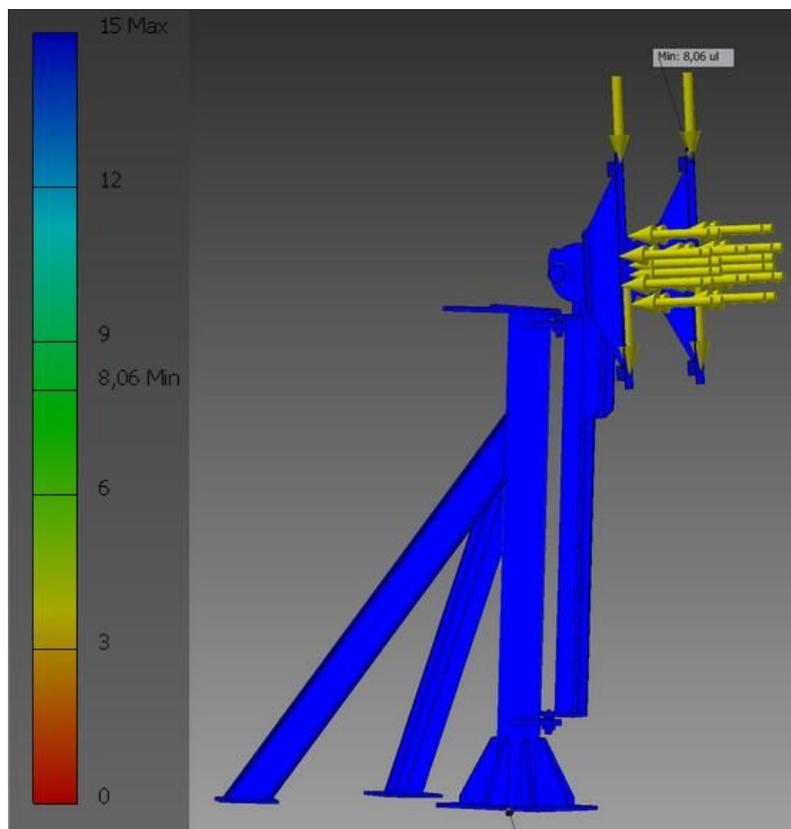


Fig. 2.3: Distribución del factor de seguridad en la estructura cuando se aplican las cargas máximas que soportará durante su explotación.

En el caso de la estructura fija del sistema objeto de este estudio, el factor de seguridad estuvo cercano a 15 en toda la estructura, lo que significa que los esfuerzos en todas las zonas tienen una magnitud 15 veces inferior a la resistencia del material, lo cual implica que esta estructura es capaz de soportar las máximas sollicitaciones mecánicas que actuarán sobre ella durante su explotación.

En el caso de los desplazamientos el comportamiento se muestra en la figura 2.4.

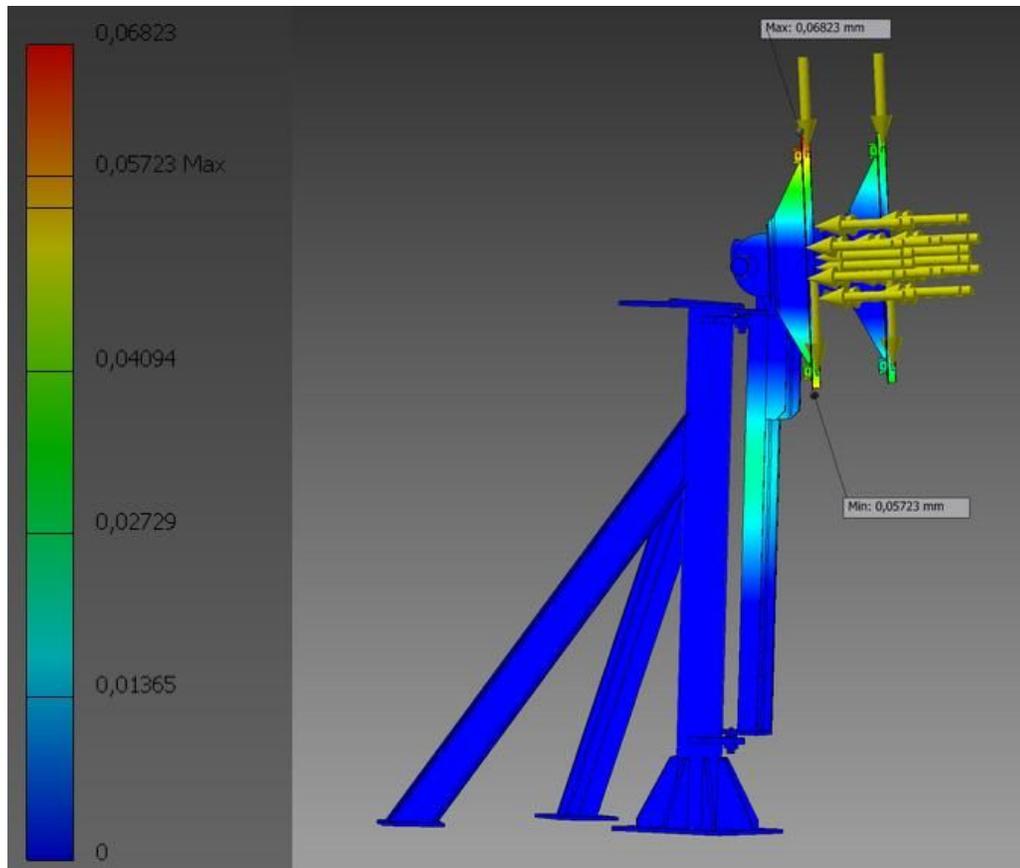


Fig. 2.4: Desplazamientos en las distintas zonas de la estructura luego de la aplicación de las cargas.

Como puede verse en la estructura fija objeto de este estudio los desplazamientos pueden considerarse nulos para las cargas máximas de trabajo. En el caso de la estructura móvil sí se presentan desplazamientos, pero en todos los casos por debajo de 0,07, como puede apreciarse en el anexo 7. Aunque esta parte del sistema de soporte y posicionamiento no constituye objeto de estudio en este trabajo, vale la pena destacar que los desplazamientos en la estructura móvil son admisibles según

los requisitos de trabajo establecidos en el diseño, ya que la antena admite un desplazamiento de 0,1 mm en cualquiera de los ejes, luego de ser posicionada y sintonizada (Raymundo, 2012).

### **2.3 Cálculos de dimensionamiento de las costuras soldadas**

Para desarrollar este tema es necesario analizar el efecto de las cargas de entrada a la estructura, sobre las diferentes zonas donde se ubican las uniones soldadas. Para esto se utilizó como herramienta de cálculo el software “Working Model 2D”, versión 2004.

Se consideraron como cargas de entrada en la estructura las que actúan en el plano x-y (ver figura 2.1), teniendo en consideración que la estructura móvil que se acopla en las cartelas es simétrica con respecto a su eje central, como puede comprobarse en la figura 2.2 y en el anexo 8. Por esta razón las cargas que actúan en el plano y-z (ver figura 2.1) se van a compensar y por tanto su sumatoria es cero.

En este caso fue necesario introducir las cargas de entrada en el esquema de la estructura fija que se realizó con este software “Working Model” (ver figura 2.5), las cuales se introdujeron en las zonas donde se ubica el eje central del buje de la cartela superior, que se sujeta la estructura móvil.

Por cálculos de diseño se conoce que el peso de la parábola de 4,5 m, fabricada con aluminio principalmente, es de 360 kg, lo cual es equivalente a 3600 N. Por otra parte, el peso de la estructura móvil se obtuvo del software “Autodesk Inventor” versión 2014, el cual es de 185,25 kg (ver anexo 10). Cuando se adiciona al peso de la parábola se obtiene que el conjunto tenga un peso total de 545,25 kg, lo cual equivale a 5452,5 N.

#### Cálculo del momento generado por la aplicación del peso.

El centro de masa del conjunto de la estructura móvil está separado del eje central de los bujes que se ubican en las cartelas, esto ocasiona que la fuerza del peso genere además un momento, cuando es trasladada como variable de entrada a la estructura fija. Este momento se calculará como el valor de la fuerza multiplicado por

la distancia del centro de masa de la estructura móvil al eje central de los bujes de las cartelas. A partir del reporte del Software Autodesk Inventor se obtuvo que el centro de masa de la estructura móvil está a una distancia de la cartela superior (en el plano XY) de 958 mm (ver anexo 10). Por tanto el momento flector quedaría:

$$M_{f_{\text{peso}}} = 5,5 \text{ kN} \cdot 958 \text{ mm} = 5\,362,5 \text{ kNmm}$$

En la figura 2.5 se muestra el dibujo realizado en el software y la forma de aplicación de las cargas de entrada a la estructura fija (Brochure, 2004).

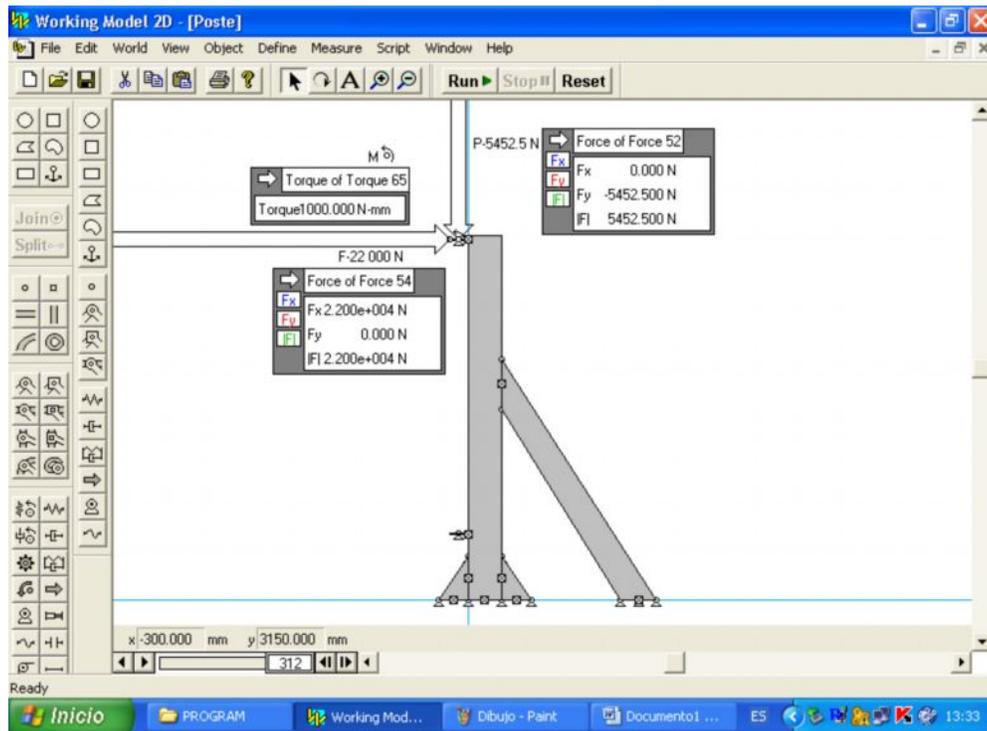


Fig. 2.5. Aplicación de las cargas de entrada para el cálculo de las solicitaciones en las zonas de la costura.

Luego se señalaron en el esquema las zonas de la estructura donde van a ubicarse las uniones soldadas, y se solicitaron los reportes de fuerzas y momento en estos puntos, como se muestra en la figura 2.6.

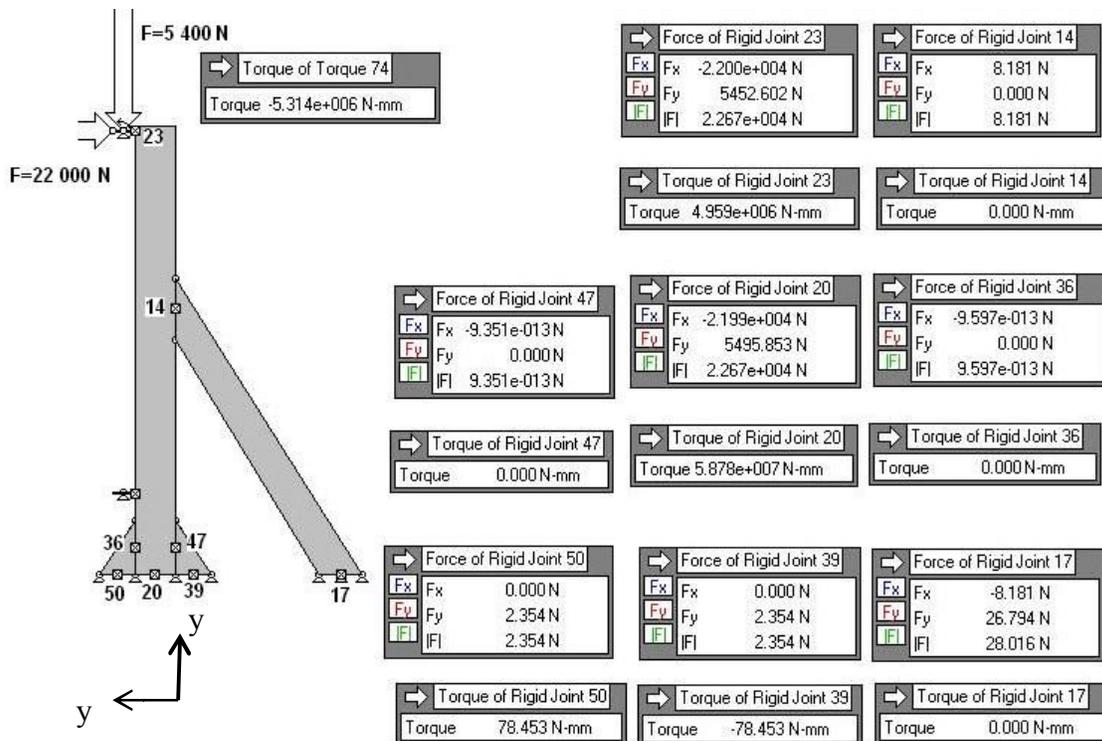


Fig. 2.6 Reporte del software “Working Model 2D” donde se muestran los resultados del cálculo de las cargas que actúan en las zonas de las uniones soldadas.

En el anexo 2 se muestran detalles de la ubicación de las uniones soldadas en la estructura fija y las solicitaciones que actúan en sus puntos centrales, obtenidas a partir de este reporte.

Analizando este reporte que entregó el software se puede plantear que las mayores cargas van a actuar en los puntos 20 y 23, por tanto los cálculos para el dimensionamiento de las costuras se comenzará por estas uniones.

### 2.3.1 Cálculo del cateto de las costuras soldadas

Como paso previo a los cálculos para el dimensionamiento de la estructura es necesario ejecutar la selección del material de aporte a utilizar.

Los materiales utilizados en esta estructura fueron el ASTM A501 para el tubo central, con un diámetro exterior de 220 mm y espesor de 10 mm, así como el ASTM A36 para el resto de las piezas que conforman la estructura soldada (espesor de 30 mm para las cartelas y 19 mm para el resto de las planchas). El acero ASTM A501 presenta una resistencia a la tracción de 58 ksi (400 MPa) y el acero ASTM A36

según se plantea en la bibliografía consultada tienen un rango de resistencia en tres 58 a 80 ksi (400-550 MPa), el cual es un rango muy amplio para ser utilizado en los cálculos, por esto se tomará una media de 69 ksi (478 Mpa) con este sentido. El Manual de procedimiento de la Lincoln Electric Company (Pérez, 2004), brinda una guía para la selección de electrodos para aceros de especificación ASTM, donde recomienda utilizar para estos metales base electrodos del tipo E7018. Estos electrodos aportan un material con una resistencia máxima de 70 ksi (480 MPa).

El proyecto de diseño de esta estructura establece que todas las uniones serán en “T”, con costuras de filete. En el caso de la unión del tubo central con la platina base, la unión será en “T” con costura de filete unilateral, en el resto será bilateral.

#### Cálculo de las dimensiones de la costura de las uniones donde actúan las cargas del punto 20.

El punto 20 está ubicado, como se muestra en el anexo 2, en el centro de la platina base (pieza 6) que se une con el tubo central (pieza 2). Es el punto de mayor carga de toda la estructura ya que a él se trasladan las solicitaciones de entrada, a la que se le suman las cargas internas del sistema como es el peso del tubo y las cartelas. Por otra parte la fuerza en x que entra a la estructura producto de la carga del viento va a generar un torque en el plano x-y que será máximo en la base del tubo central. En la figura 2.6 se muestra un esquema que representa las uniones soldadas que van a soportar las cargas que actúan en el punto 20. Se considerará para los cálculos que la carga estará uniformemente distribuida en todas las costuras soldadas que unen la platina base (pieza 6) con el tubo central (pieza 2) y los cartabones (piezas 5). Otro aspecto a señalar consiste en que las solicitaciones máximas actuarán en los extremos de los cartabones, en el plano x-y (ver figura 2.6).

En el caso del extremo derecho será donde se hará máxima la sumatoria de fuerzas en y, por lo cual este es el sitio más crítico de las costuras y los cálculos de resistencia se realizarán para este punto.

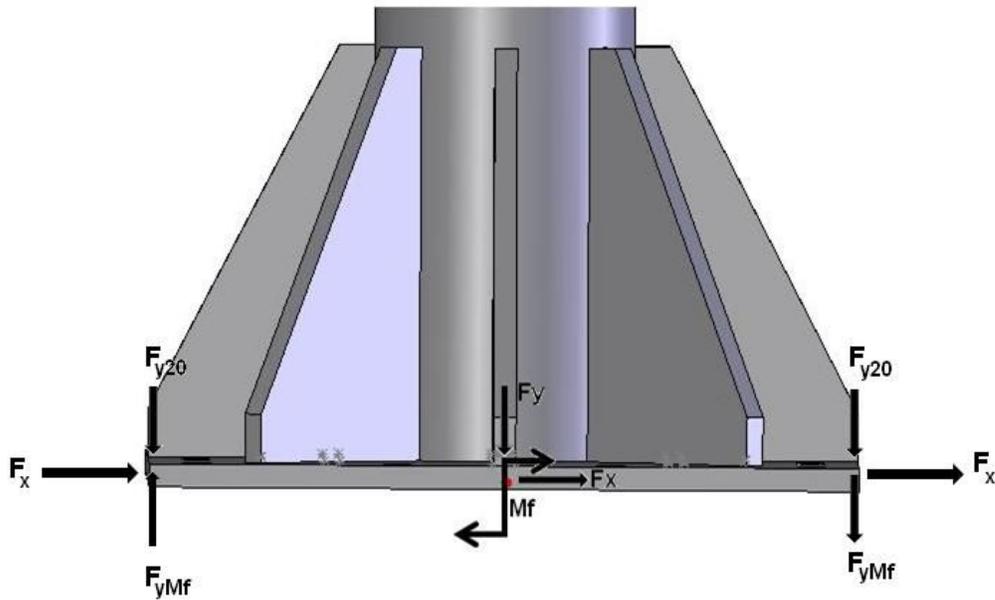


Fig. 2.6 Esquema de las uniones soldadas a la platina base.

Del reporte brindado del software de cálculo se conoce que en este punto las magnitudes de las cargas son las siguientes:

Fuerza en el eje x:  $F_{x20}=21,99$  kN

Fuerza en el eje y:  $F_{y20}=5,5$  kN

Momento en el plano x-y:  $M_{20}=58\ 780$  kN.mm

La fuerza  $F_{x20}$  va a generar en las costuras una carga de cortante, las cuales serán longitudinales o transversales en dependencia de la orientación de la costura con respecto al eje x.

Para el cálculo de las dimensiones de la costura se utilizará la metodología propuesta en la bibliografía (Pozo, 1998). Para ello se utilizará el método de la costura tratada como una línea.

La fuerza unitaria en la costura producto  $F_{x20}$  se calcula como:

$$f_x = \frac{F_x}{A_w} \quad (2.3)$$

Para las costuras afectadas por las cargas del punto 20 quedaría:

$$f_{x_{20}} = \frac{F_{x_{20}}}{A_{W_{20}}}$$

Donde:

$A_w$ : es la longitud total de la costura que une la platina base con el tubo central y los cartabones.

Las propiedades de las uniones soldadas tratadas como una línea se obtienen de la bibliografía consultada (Pozo, 1998).

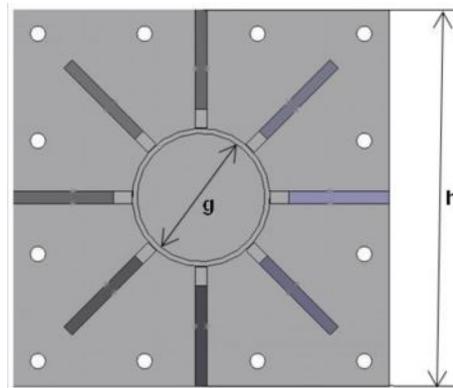


Fig. 2.7. Vista superior de las uniones a la platina base.

$$A_{W_{20}} = \pi * g + 8 * l_{cartabón} + n_{costuras} \quad (2.4)$$

Donde:

$l_{cartabón}$ : longitud de la costura de cada cartabón con la platina base

$n_{costuras}$ : Número de costuras en cada cartabón.

Sustituyendo en la expresión 2.4 queda:

$$A_{W_{20}} = \pi * 220 \text{ mm} + 8 * 180 * 2$$

$$A_{W_{20}} = 3570,8 \text{ mm}$$

Con esto ya puede calcularse la fuerza unitaria en la costura producto de la  $F_{x_{20}}$

$$f_{x_{20}} = \frac{21,99 \text{ kN}}{3570,8 \text{ mm}} = 0,006 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

La fuerza unitaria en la costura producto  $F_{y20}$  se calcula como:

$$f_y = \frac{F_y}{AW} \quad (2.5)$$

$$f_{y20} = \frac{F_{y20}}{AW_{20}}$$

Sustituyendo en 2.5 las magnitudes de la fuerza y la longitud se obtiene:

$$f_{x20} = \frac{5,5 \text{ kN}}{3570,8 \text{ mm}} = 0,002 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

El momento sobre el plano x-y en el punto 20 va a provocar flexión en las costuras.

La fuerza unitaria provocada por este momento se calculará según la expresión 2.6.

$$f_{yM_f} = \frac{M_f}{S_w} \quad (2.6)$$

$$f_{yM_{f20}} = \frac{M_{f20}}{S_{w20}}$$

dónde:

$$M_{f20} = 58\,780 \text{ kNmm}$$

$$S_{w20} = \frac{I_T}{h/2} \quad (2.7)$$

donde:

$I_T$ : Momento total de Inercia, que se calcula según (2.8)

$$I_t = I_{cartabones} + I_{circulo} \quad (2.8)$$

$$I_{cartabones} = 2 \left( \frac{h^2 - b^2}{6} \right) \quad (2.9)$$

Sustituyendo en 2.9:

$$I_{cartabones} = 2 \left( \frac{600^2 - 220^2}{6} \right)$$

$$I_{\text{cartabones}} = 61\,480\,000 \text{ mm}^2$$

$$I_{\text{circulo}} = \pi \left( \frac{g}{2} \right)^3 \quad (2.10)$$

Sustituyendo en 2.10:

$$I_{\text{circulo}} = \pi \left( \frac{220 \text{ mm}}{2} \right)^2$$

$$I_{\text{circulo}} = 4179\,340 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo en (2.8) se calcula el momento total de inercia

$$I_t = 61\,480\,000 \text{ mm}^2 + 4\,179\,340 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo este valor de  $I_t$  en (2.7) se obtiene  $S_w$

$$S_w = \frac{65\,659\,340 \text{ mm}^2}{600 \text{ mm}/2} = 226\,411,5 \text{ mm}^2$$

Con estos datos ya es posible calcular el valor de la fuerza unitaria en x producida por el momento flector, mediante la expresión (2.6).

$$f_{yMf20} = \frac{58\,780 \text{ kNmm}}{226\,411,5} = 0,26 \text{ kN/mm}$$

A continuación se pasa al cálculo de la fuerza unitaria resultante en la costura, mediante la expresión (2.11).

$$f_r = \sqrt{\left( \sum f_x \right)^2 + \left( \sum f_y \right)^2} \quad (2.11)$$

Para las costuras sobre las que actúan las cargas del punto 20 quedaría:

$$f_{r20} = \sqrt{(f_{x20})^2 + (f_{y20} + f_{yMf20})^2}$$

Sustituyendo los valores antes calculados en queda:

$$f_{r20} = \sqrt{\left(0,006 \frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(0,02 \frac{kN}{mm} + 0,26 \frac{kN}{mm}\right)^2} = 0,261 \frac{kN}{mm}$$

Con este valor se va a la tabla del anexo 3 y se busca el valor del cateto para estas costuras soldadas. Esta tabla no brinda el valor del cateto para una fuerza permisible de 0,261, cuando se utiliza electrodo E7018, pero si da una ecuación para calcularlo (expresión 2.12).

$$f_{unitaria\ permisible} = 0,102 * C \quad (2.12)$$

Donde C es la dimensión del cateto (mm). Dónde  $f_{r20} = f_{unitaria\ permisible}$ .

$$c = \frac{0,261 \frac{kN}{mm}}{0,102} = 2,54 \text{ mm}$$

De este método se obtiene un cateto de 2,54 mm.

En la literatura consultada (Pozo, 1998) se brinda una recomendación de la dimensión del cateto en función del espesor de la chapa más gruesa a unir. Esta recomendación se basa en la teoría de que de las dimensiones mínimas requeridas de la costura garantizan una adecuada entrada de calor de soldadura en la chapa, que brinda la velocidad de enfriamiento lenta deseada (Pozo, 1998). Entrando con un espesor de 19 mm, se obtiene un cateto de 6 mm.

### Cálculo de las dimensiones de la costura de las uniones donde actúan las cargas del punto 23.

El punto 23 está ubicado, como se muestra en el anexo 2, en la zona de la unión en T con costura de filete bilateral que une el tubo central (pieza 2) con la cartela superior (pieza 1). En la figura 2.8 se muestra un esquema que representa la unión soldada y las solicitaciones que va a actuar en ella.

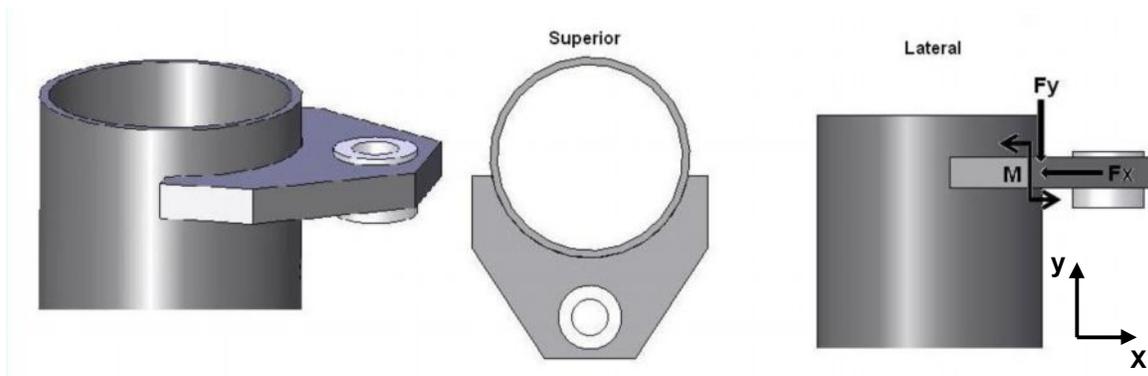


Fig. 2.8: Esquema de la unión soldada entre el tubo central (pieza 2) y la cartela superior (pieza 1).

Del reporte brindado del software de cálculo se conoce que en este punto las magnitudes de las cargas son las siguientes:

Fuerza en el eje x:  $F_{x23}=22$  kN

Fuerza en el eje y:  $F_{y23}=5,45$  kN

Momento en el plano x-y:  $M_{23}=4\ 959$  kN.mm

La fuerza  $F_{x23}$  va a generar en las costuras una carga de compresión transversal.

La fuerza unitaria en la costura producto  $F_{x23}$  se calcula según la expresión (2.3). En este caso el largo total de la costura  $A_{w23}$  se calcula mediante la expresión 2.13.

$$A_{w23} = 2\pi \cdot r_{pieza\ 2} + 2 \cdot s_{pieza\ 1} \quad (2.13)$$

donde:

$r_{pieza\ 2}$ : radio del tubo central (220 mm)

$s_{pieza\ 2}$ : espesor de la pieza 1 (30 mm)

Sustituyendo en (2.13) queda:

$$A_{w23} = 2 \cdot \pi \cdot 110\ mm + 2 \cdot 30\ mm = 688\ mm$$

Sustituyendo en 2.3 queda:

$$f_{x23} = \frac{22\ kN}{688\ mm} = 0,03\ \frac{kN}{mm}$$

La fuerza lineal en la costura producto  $F_{y23}$  se calcula según la ecuación 2.5.

$$f_{y23} = \frac{5,45 \text{ kN}}{688 \text{ mm}} = 0,01 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

El momento sobre el plano x-y en el punto 23 va a provocar flexión transversal en las costuras. Este momento provocará una fuerza unitaria en dirección del eje x, que se calcula según la expresión 2.6. En este caso se considera para cálculos que las costuras horizontales son rectas y no rodean el tubo central, como se muestra en la figura 2.9 (Pozo, 1998).

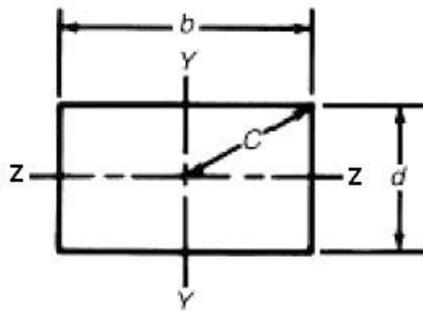


Fig. 2.9. Esquema utilizado para los cálculos, de la costura que une la cartela superior (pieza 1) con el tubo central (pieza 2).

Para este caso  $S_w$  se calcula según la expresión (2.14).

$$S_{w_{2a}} = \frac{d}{3} \cdot (3 \cdot b + d) \quad (2.14)$$

Donde  $b$  es la mitad del perímetro del tubo central y  $d$  el espesor de la chapa de la pieza 1 (cartela).

$$b = \pi \cdot \frac{220 \text{ mm}}{2} = 354,2 \text{ mm}$$

Sustituyendo en (2.14) queda:

$$S_{w_{2a}} = \frac{30 \text{ mm}}{3} \cdot (3 \cdot 354,2 \text{ mm} + 30 \text{ mm}) = 9720 \text{ mm}^2$$

$$f_{x_{Mf2a}} = \frac{M_{2a}}{S_{w_{2a}}}$$

$$f_{x_{M23}} = \frac{4959 \text{ kNmm}}{9720 \text{ mm}^2} = 0,51 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

A continuación se pasa al cálculo de la fuerza unitaria resultante en la costura, mediante la expresión (2.11).

$$f_{r230} = \sqrt{\left(0,03 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} + 0,51 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}\right)^2 + \left(0,01 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}\right)^2} = 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Con este valor de fuerza unitaria en la costura se obtiene en la tabla del anexo 3 un cateto de 5 mm. Esta dimensión es menor que la que recomienda la tabla 2.1 (Colectivo de autores, 2006), en la cual para un espesor de chapa de 30 mm se establece un cateto de 8 mm, por lo que este último será la dimensión seleccionada para la costura que une las piezas 1 y 2.

Teniendo en consideración que las solicitaciones que actúan sobre las uniones soldadas restantes, son apreciablemente inferiores a las utilizadas para los cálculos anteriormente realizados, (como se muestra en el reporte del software “Working Model 2D”), es evidente que las fuerzas unitarias que actuarán en dichas costuras serán mucho menores a las obtenidas anteriormente para los catetos obtenidos por los cálculos serán inferiores a los recomendados según la bibliografía consultada (Pozo, 1998), donde se establecen las dimensiones mínimas requeridas de la costura que garantizan una adecuada entrada de calor de soldadura en la chapa y la velocidad de enfriamiento lenta deseada. De esta forma la dimensión del cateto de estas uniones que no han sido calculadas se obtendrá mediante el uso de recomendación antes citada. Debido a que en el resto de las uniones que no han sido calculadas el espesor máximo de las chapas a unir será de 19 mm, el cateto de estas costuras de filete se establece como 6 mm.

## **CAPÍTULO 3. Tecnología para la fabricación por soldadura de la estructura de soporte y posicionamiento “King Post”**

En este capítulo se desarrolla la tecnología de soldadura, se calculan los costos de este paso tecnológico y se establecen recomendaciones acerca de los métodos de inspección de la calidad a aplicar en las uniones soldadas, así como de las medidas de seguridad ocupacional a tener en consideración durante la fabricación por soldadura de esta estructura.

### **3.1 Desarrollo de la Tecnología de Soldadura**

#### **3.1.1. Análisis Preliminar**

##### Análisis de las características del conjunto soldado.

El conjunto soldado es una estructura de acero, la cual no fue diseñada sobre la base de ningún código de fabricación, según consta en el proyecto de diseño (Raymundo, 2012). Los planos de la estructura se muestran en el anexo 1. Es una producción unitaria por el momento en la empresa de antenas, aunque se preparan las condiciones para incluirla dentro de la cartera de productos de la empresa.

Esta estructura llamada de soporte y posicionamiento del tipo “King Post” tendrá como principal función sostener una estructura móvil a la que se acopla la antena parabólica de 4,5 m de diámetro. Las principales características que debe cumplir es asegurar la rigidez e integridad estructural, de manera que garantice que la antena parabólica se mantenga enfocada luego de su sintonización. En el capítulo 2 se pudo

---

comprobar que el diseño mecánico de esta estructura soporta las cargas que actúan sobre la misma, por lo cual de esta forma se garantiza la rigidez de la estructura. La integridad estructural debe ser amparada a través de un adecuado procedimiento de soldadura, que garantice el dimensionamiento apropiado de las costuras, así como la falta de defectos en las uniones soldadas, de manera que estas transmitan las cargas que actúan en las zonas de la estructura donde ellas se ubican, sin que ocurran fallos en las uniones.

#### Análisis de las condiciones del taller.

En el taller se cuenta con un equipo para soldar ESAB del tipo rectificador de soldadura modelo “Heliart – 355”, serie No F 0723402, el cual es adecuado para la realización de los procesos de soldadura manual con electrodo revestido (SMAW) y soldadura con protección gaseosa y electrodo de tungsteno (GTAW). Posee un voltaje en vacío de 77 V, y una potencia nominal 35 Kw, con amperaje máximo de 350 A. Tiene un peso de 280 kg.

Por otra parte el taller cuenta con el proceso de oxicorte para las operaciones de pailería y preparación de las piezas, esmerilado manual, grúa viajera, que permite el desplazamiento e izaje de las piezas. Se cuenta con dispositivos de posicionamiento llamados “tambores” que permite la rotación horizontal de piezas tipo eje.

La empresa posee un capital humano calificado en las labores de soldadura, tanto especialistas como soldadores, los cuales tienen una calificación, la que es respaldada por más de 20 años de experiencia.

#### Preselección de los procesos de soldadura.

La estructura de soporte y posicionamiento diseñada está constituida de piezas de acero ASTM A36 y ASTM 501. Estos materiales pueden soldarse mediante todos los procesos tradicionales de soldadura, tanto manuales como semiautomáticos y automáticos. Por tratarse de una producción unitaria, no se requiere el empleo de un proceso de alta productividad. El taller dispone de equipamiento para la soldadura SMAW y cuenta dentro de su plantilla con tres soldadores de más de 20 años de experiencia en la aplicación de este tipo de proceso en aceros. Lo cual hace que el proceso SMAW sea el idóneo en este caso para la fabricación por soldadura de esta

estructura. Este proceso permite soldar en posiciones fuera de la plana y constituye además uno de los más económicos, aspecto este de gran importancia ya que va a tener un gran peso en el costo final del producto.

#### Prestablecimiento de la secuencia de ensamble y soldadura del conjunto:

A continuación se expondrá el orden en que fue soldada la estructura de soporte y posicionamiento. En los planos de la estructura (anexo 2) aparecen señalizadas cada una de las uniones soldadas. En el anexo 2 se muestran las uniones y las piezas que la conforman. Es importante aclarar que en todos los casos en que se manipularon las piezas pesadas, tales como el tubo central y las vigas I, se realizó el izaje mediante el uso de la grúa, hacia la mesa de trabajo.

#### Unión 1-2 y 2-8:

Para la ejecución de ambas uniones, las cuales unirán las cartelas con el tubo central, se utiliza un dispositivo especial diseñado con este fin, el cual se muestra en la figura 3.1. En el anexo 4 se muestra el plano de esta pieza.



Fig. 3.1. Dispositivo especial para la realización de las uniones cartelas-tubo central. Se muestran en sus extremos los tornillos y arandelas que sirven para su fijación.

En la figura 3.2 se muestra como las cartelas (piezas 1 y 8) se fijan al dispositivo para su posterior soldadura con la el tubo central (pieza 2), permitiendo garantizar la alineación de los ejes centrales de los orificios de las cartelas con el eje central del tubo, así como la distancia entre estas, previstas en el diseño.

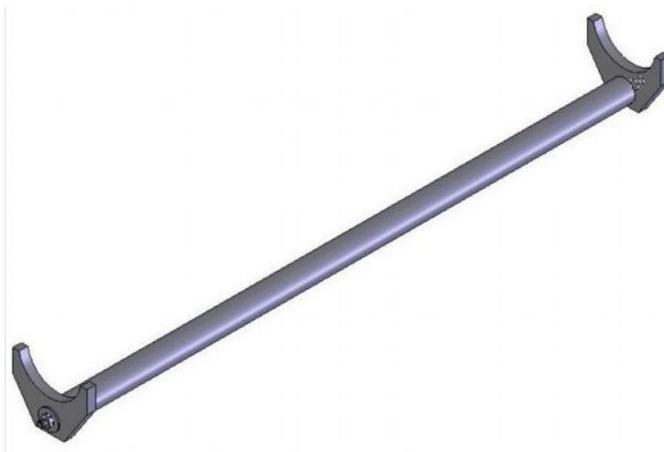


Fig. 3.2: Esquema del ensamblaje del dispositivo a las cartelas para su soldadura al tubo central.

Estas piezas fueron primeramente punteadas en las esquinas de las uniones para la luego pasar a la ejecución de las costuras soldadas, las cuales se realizaron en posición horizontal.

#### Unión 2-6

Esta soldadura se encargará de unir el tubo central (pieza 2) con la platina base (pieza 6).

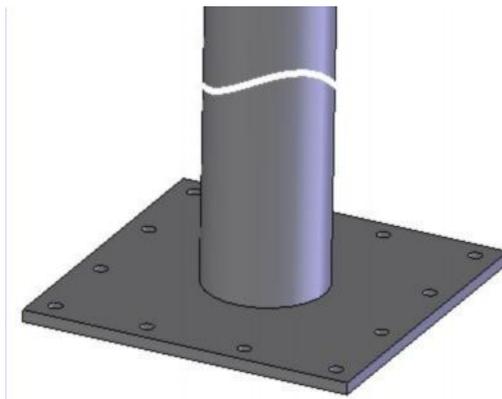


Fig. 3.3. Esquema de la unión circunferencial del tubo central (pieza 2) con la platina base (pieza 6)

En este caso se garantiza la perpendicularidad entre el eje central del tubo y la cara superior de la platina mediante el uso de escuadras y niveles. Estas costuras de filete se realizaron en posición horizontal.

### Unión 2-4

Esta unión va a unir la tapa superior del tubo, cuya única función será hermetizar esta estructura para evitar que entre la humedad y ocurra la corrosión del metal (ver anexo 2).

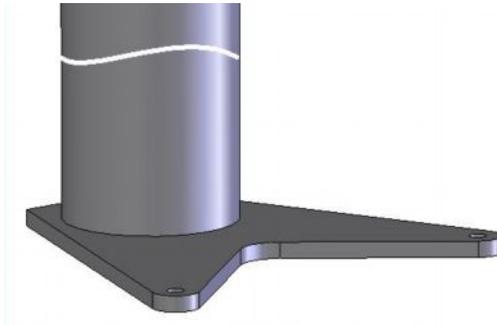


Fig. 3.4. Esquema de la unión circunferencial del tubo central (pieza 2) con la platina base (pieza 4)

A igual que en la unión anterior, en este caso se garantiza la perpendicularidad entre el eje central del tubo y la cara superior de la platina mediante el uso de escuadras y niveles. Estas costuras de filete se realizaron en posición horizontal, voleando el tubo, luego de la realización de la unión 2-6.

### Unión 6-5-2:

En este paso se realiza lo que los soldadores denominan “cartaboneo” (ver anexo 2). Para esto se confeccionó de cartón una plantilla para el marcado en las piezas de la ubicación de los catetos de los cartabones.

Para ejecutar estas uniones se fijan primeramente, mediante puntos de soldadura los vértices del cartabón que convergen a las piezas 6 y 2, y se realiza otro punto a 10 mm del vértice que choca con la unión pieza 2-6, ya previamente ejecutada.

Esta operación se realiza para cada uno de los cartabones. Luego de punteadas las piezas se pasa a realizar la operación de soldadura comenzando en todos los casos por la ejecución de las costuras que unen los cartabones (pieza 5) con la platina central (pieza 6). Estas se ejecutan en posición horizontal sobre una mesa de trabajo.

Luego de soldados todos los cartabones a la platina base se realiza la soldadura se realizan las costuras de estos al tubo central (pieza 2). Para la realización de estas costuras se emplea como dispositivo de posicionamiento el “tambor de rotación, lo que permite realizar las costuras de filete en posición plana.

#### Unión 3-7 y 9-10

Para la realización de esta unión se realizó previamente el oxicorte de la viga I-20 a 30 grados con respecto al plano transversal de la viga. Esta zona del corte es la que se une a la plancha rectangular base que va en el extremo inferior de los pies de amigo (ver anexo 2). Para garantizar el ángulo de inclinación se utilizó una plantilla metálica calculada para el ángulo antes expuesto. Luego se realizó el punteado de esta estructura, primero en los vértices internos y posteriormente en los externos, con un orden simétrico. A continuación se realizaron las costuras de filete, en posición horizontal.

#### Unión 2-3 y 2-9:

Estas uniones son las últimas para el ensamble final de la estructura (ver anexo 2). Para ello se fija a la mesa previamente la estructura por la platina base. Luego se marcan las zonas de las uniones en el tubo central, mediante el uso de plantillas metálicas que garanticen el posicionamiento relativo entre los dos pies de amigo y esta pieza.

Posteriormente se realiza el punteado de las vigas I, ya oxicortadas y preparada la superficie con el ángulo adecuado para la unión, primero en los vértices internos y posteriormente en los externos, con un orden simétrico. Esto se hace fijando antes la plancha rectangular base que va en el extremo inferior de la viga I-20 a la mesa de trabajo. La posición de soldadura de estas costuras incluirá vertical, plana y sobre cabeza.

### **3.1.2. Establecimiento de los procedimientos de soldadura**

Evaluación de la soldabilidad del material y determinación de la necesidad de precalentamiento o tratamiento térmico posterior.

La estructura objeto de este estudio se fabricó, como ya se ha explicado anteriormente, de aceros de diferentes clasificaciones. Estos fueron el ASTM A501 para el tubo central de la estructura, con un diámetro exterior de 220 mm y espesor de 10 mm, el acero ASTM A36 para el resto de las piezas con espesores de 30 mm para las cartelas y 19 mm para el resto de las piezas.

La composición química de estos materiales se muestra en la tabla 3.1. (Sabo, 1994).

Tabla 3.1: Composición química de los aceros ASTM utilizados en la fabricación de la estructura de soporte y posicionamiento “King Post”.

Material base	Piezas	Espesor (mm)	Composición química (%)					
			C	Mn	Si	P	S	Cu
ASTM A501	2	10,0	0,26	-	-	0,04	0,05	0,20
ASTM A36	1, 8	30,0	0,25	0,8-1,20	0,4	0,04	0,05	0,20
ASTM A36	3, 4, 5, 6, 7,9, 10	19,0	0,25	-	0,4	0,04	0,05	0,20

Existen diferentes métodos para evaluar la soldabilidad del material, varios de los cuales se tienen en consideración en este trabajo (Colectivo de Autores, 2006).

Primeramente se valorará la susceptibilidad al agrietamiento en frío de los aceros que conforman la estructura.

- a) Según el Instituto Internacional de Soldadura, para aceros con contenido de elementos de aleación es inferior a los siguientes valores: 0.50 % de C, 1.60 % de Mn, 3.50 % de Ni, 0.60 % de Mo, 1.00 % de Cr, 1.00 % de Cu, el carbono equivalente (CE) se determina:

$$CE (\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (3.1)$$

Sustituyendo los valores de la tabla 3.1 en la expresión anterior se obtiene el carbono equivalente para los aceros que se evalúa se obtiene como sigue:

- CE (ASTM A36, 30 mm): 0.42 % ; CE (ASTM A36, 19 mm): 0.27 %
- CE (ASTM 501): 0.26 %

Según lo establecido en este método, cuando el CE es menor de 0.45 % el precalentamiento es opcional.

b) Método de control de hidrógeno, establecido en el Código AWS D1.1 (Códigos AWS D1.1, 2010).

Este método se basa en asumir que el agrietamiento no ocurrirá si la cantidad de hidrógeno promedio que permanece en la unión, después de su enfriamiento por debajo de los 50°C aproximadamente, no excede un valor crítico que depende de la composición del acero y del nivel de restricción de la misma. Con este método se determina la temperatura de precalentamiento necesaria que permita que el hidrógeno se difunda al exterior de la unión y que por tanto evite el agrietamiento. El Carbono Equivalente (Pcm) se calcula según la expresión siguiente:

$$Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (3.2)$$

Sustituyendo los valores de la tabla 3.1 en la expresión anterior se obtiene el carbono equivalente para los aceros que se evalúa se obtiene como sigue:

CE (ASTM A36, 30 mm): 0,32 %

CE (ASTM A36, 19 mm): 0,27 %

CE (ASTM 501): 0,27 %

El nivel de hidrógeno que aporta el metal de aporte es otro criterio evaluado por este método. En el epígrafe 2.3.1 se seleccionó el material de aporte AWS A 5.1 E 7018, a partir de una recomendación del Manual de procedimiento de la “Lincoln Electric Company” (Sabo, 1994). Estos electrodos aportan un nivel de hidrógeno extra bajo (H1), ya que introducen menos de 5 ml/100 g de metal depositado, siempre que sean extraídos de cajas herméticas, secados a 370 – 430 °C durante una hora y usados dentro del intervalo de 2 horas luego que se extraen del mismo; la temperatura de mantenimiento recomendada es de 150 °C. Esto debe ser un requisito indispensable a la hora de la ejecución de este procedimiento de soldadura.

El grupo de índice de susceptibilidad se determina según recomendación de la literatura (Colectivo de autores, 2006) de donde se extrae que el acero ASTM A36, de 30 mm de espesor tiene un índice de susceptibilidad “C” y los aceros

ASTM A36, con 19 mm, así como el ASTM A 501 de 10 mm, poseen un índice de susceptibilidad "B".

Otro aspecto a valorar en este método es el nivel de restricción de la unión. En la estructura objeto de este trabajo, hay varias uniones soldadas que según su ubicación presentan diferentes niveles de restricción.

Las siguientes uniones soldadas tendrán un nivel de restricción bajo, debido a libertad de movimiento razonable de los miembros (ver anexo 2).

- pieza 1 --- pieza 2
- pieza 8 — pieza 2
- pieza 2 — pieza 6
- pieza 4 — pieza 6
- piezas 5 – pieza 6
- pieza 3 --- pieza 7
- pieza 9 --- pieza 10

Las uniones que se relacionan a continuación tendrán un nivel de restricción medio, en las que se ha reducido la libertad de los miembros, debido a que han sido previamente fijados a otras partes del conjunto soldado.

- pieza 2 — pieza 3
- pieza 2 — pieza 9
- piezas 5 – pieza 2

Con los criterios anteriores ya establecidos y sobre la base de lo recomendado en la Metodología para el establecimiento de un procedimiento de soldadura, del colectivo de autores del CIS (Colectivo de Autores, 2006) se obtiene la temperatura de precalentamiento e interpasadas para las diferentes uniones soldadas que unen la estructura.

Según esta referencia para todas las uniones soldadas, excepto para las que unen las piezas 1- 2 y 2-8, se recomienda una temperatura de precalentamiento de 18 °C, lo cual, considerando la temperatura ambiente media de Cuba, implica que no es necesario dar precalentamiento a la pieza. En el caso de la soldadura de las piezas 1- 2 y 2-8 recomienda una temperatura de precalentamiento de 74 °C.

Según la recomendación del código AWS D1.1-96 de Estructuras Metálicas (Código AWS D1.1, 2010), se establece que cuando se sueldan los aceros ASTM que se utilizan en esta estructura con electrodos de bajo hidrógeno, no es necesaria la realización de precalentamiento.

Teniendo en cuenta los criterios antes analizados, y considerando que los cálculos de los índices de susceptibilidad al agrietamiento se realizan con los valores máximos de contenidos de elementos de aleación, composición que es improbable de aparecer en los aceros reales, se decide no realizar precalentamiento en la ejecución de estas uniones soldadas. De esta manera se da crédito a la exigencia de la tabla del código AWS D1.1, por los años de experiencia de trabajo con estos aceros.

A continuación se evaluará la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de los materiales empleados en esta estructura. Como se conoce este es un tipo de agrietamiento que ocurre debido al efecto combinado de la contracción térmica con la falta de ductilidad del metal a temperaturas elevadas para soportar esas tensiones. Estas fisuras se presentan en la etapa final de la solidificación de la piletta líquida, por lo que el fenómeno es llamado agrietamiento en caliente.

c) Determinación de la susceptibilidad al agrietamiento en caliente.

Para esto se utilizará el índice de susceptibilidad UCS establecido por el Instituto Internacional de soldadura, el cual se obtiene según la expresión (3.3) (Rodríguez, 2013). Siempre que el UCS tome valores mayores de 30 mm el acero es susceptible al agrietamiento en caliente.

$$UCS=230*(\% C) +190*(\% S) +75*(\% P)-12,3*(\% Si)-5,4*(\% Mg)-1 \quad (3.3)$$

Con el uso de las composiciones químicas de la tabla 3.1, se obtiene el índice UCS para los distintos aceros que conforman la estructura.

$$UCS \text{ ASTM A 501} = 71,3$$

$$UCS \text{ ASTM A 36 (30 mm)} = 59,4$$

$$UCS \text{ ASTM A 36 (19 mm)} = 64,8$$

Con estos resultados puede plantearse que los materiales base que serán empleados para la fabricación de la estructura presentan susceptibilidad al

agrietamiento en caliente (considerando los niveles máximos de composición química de los aceros).

Existen varias recomendaciones aplicables en este caso para contrarrestar la susceptibilidad al agrietamiento en caliente, las cuales se relacionan a continuación:

- Usar electrodos básicos.
- Asegurar la limpieza de las superficies a unir.
- Controlar la dilución con el metal base, disminuyendo el calor aportado.
- Disminuir el área transversal de la pasada, de manera que no se formen granos columnares que converjan al centro de la costura, para evitar la segregación de impurezas a la línea central que provoca las fisuras de solidificación.

Elección de los metales de aporte.

Como se ha planteado anteriormente, en el epígrafe 2.3.1, se seleccionó para esta aplicación un electrodo clasificación AWS A5.1 E7018, siguiendo las recomendaciones que brinda el Manual de procedimiento de la Lincoln Electric Company (Sabo, 1994), en la guía para la selección de electrodos para aceros de especificación ASTM, donde los establece como metal de aporte adecuado para la soldadura de los metales bases como los que componen la estructura objeto de estudio.

Las uniones soldadas con costuras de filete que unen las partes de esta estructura transfieren la carga completa en el punto donde ellas son localizadas, por tanto son uniones primarias, en las que el metal de aporte debe tener una resistencia a la tracción equivalente o inferior a la de los metales base que une.

Estos electrodos aportan un material con una resistencia máxima de 70 ksi (480 MPa), por tanto es equivalente a la de los aceros que establece la norma ASTM para la resistencia del A 36 (400-550 MPa), así como la del acero ASTM A 501 (400 MPa).

Por otra parte, anteriormente cuando se evaluó la soldabilidad del metal base pudo comprobarse que los aceros que se van a utilizar en la fabricación de esta estructura presentan susceptibilidad al agrietamiento en caliente y una recomendación para contrarrestar este problema es el uso de electrodos básicos, lo cual es otro elemento a favor de la selección de un metal de aporte E 7018.

En la Empresa de Antenas, que es la que fabrica la estructura de soporte y posicionamiento “King Post”, se cuenta con varios tipos de electrodos de la firma japonesa “Kobe Steel”. Con el uso del catálogo de materiales para soldar se selecciona un metal de aporte homólogo al AWS A5.1 E7018, que se nombra LB-52-18. Este es un electrodo recubierto con polvo de hierro en el revestimiento, del tipo de bajo hidrógeno, recomendado para soldar en todas las posiciones. Esto último es necesario debido a que, como se vio previamente cuando se preestableció la secuencia de ensamble, varias costuras serán ejecutadas en posiciones fuera de la plana.

Las recomendaciones dadas por el fabricante para su uso son:

- Secar los electrodos a temperaturas entre 300 y 350 °C, de 30 a 60 minutos, temperatura de mantenimiento 150 0C.
- Romper el arco en una chapa pequeña fuera de la unión o dentro de la trayectoria del arco de soldadura para garantizar la fusión del punto de inicio, evitando defectos en el inicio de la costura.
- Mantener el arco tan corto como sea posible.

La composición del metal depositado es de 0,07 % C, 0,59 % Si, 0,97 % Mn, 0,013 % P y 0,007 % S.

Determinación de la geometría de la unión soldada.

En el proyecto de fabricación de la estructura de soporte y posicionamiento “King Post” (Raymundo, 2012), se establece que todas las uniones soldadas son en “T”, con costura de filete bilateral, excepto en la unión de la platina base (pieza 6) con el tubo central (pieza 2) que se establece una unión en “T” (ver anexo 2), con costura de filete unilateral.

En el capítulo II, epígrafe 2.3.1 se calcularon las dimensiones de los catetos para las diferentes costuras, en dependencia de la cargas actuantes en la zona donde se ubican cada una de ellas, de lo cual resultó que todos los catetos tendrán dimensión de 6 mm, excepto el de las costura que unen el tubo central (pieza 2) con las cartelas (piezas 1 y 8) que es de 8 mm.

#### Determinación del régimen de soldeo.

##### *Selección del diámetro de electrodo (de).*

El diámetro del electrodo que va a usarse dependerá de varios factores, tales como el espesor del metal base, geometría de la unión y la posición de soldadura. En la Metodología para el establecimiento de una tecnología de soldadura, del colectivo de autores del CIS, aparece una recomendación de los diámetros de los electrodos en dependencia del espesor del metal base a unir (Colectivo de Autores, 2006).

En el caso de la estructura que nos ocupa el rango de espesores de las piezas a unir va desde 10 a 30 mm.

En el caso de la unión soldada de las cartelas con el tubo central, el espesor menor a unir es de 10 mm. En este caso la tabla recomienda un rango de diámetros de 4 – 4,8 mm. El cateto calculado para esta unión es de 8 mm.

Un aspecto a considerar es la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de los metales base que componen la estructura. Como se ha planteado antes, una medida para contrarrestar este problema es el control de la dilución, esto se logra disminuyendo el calor aportado, el cual va a depender para el proceso SMAW de la intensidad de corriente que se utilice, lo que a su vez va a estar determinado por el diámetro del electrodo. Esto también va a definir el área de la sección transversal del depósito, que como se explicó anteriormente debe minimizarse en función de que no se formen granos columnares que converjan al eje central de la costura. Todo esto apunta a que debe utilizarse el diámetro del electrodo más pequeño posible, dentro del rango recomendado. Otro aspecto a tener en cuenta es que las uniones soldadas se van a realizar en posiciones fuera de la plana, por lo que debe controlarse la razón de depósito para evitar defectos en la apariencia de la costura. Teniendo en

consideración lo anterior se establece un diámetro de electrodo (de) para la unión de las piezas 2- 1 y 2-8 de 4 mm.

En el resto de las uniones el cateto calculado es de 6 mm, inferior al de la unión antes analizada, por lo que, siendo coherente con el análisis anterior, y tomando en consideración que el área del metal a depositar que se requiere para llenar ese cateto es relativamente pequeña, se decide utilizar para el resto de las uniones un diámetro del electrodo de 4 mm.

*Selección del tipo de corriente y polaridad.*

Del catálogo del fabricante (“Kobe Steel”) se obtiene el rango de corrientes de operación del electrodo seleccionado (Is), LB-52-18, para diámetro de 4 mm y posiciones fuera de la plana, de 110 a 170 A (Catalogo Kobe Steel, 2005). Tomando un valor medio de este parámetro se selecciona Is de 140 A.

Este electrodo puede soldar con corriente alterna (CA) ó corriente directa polaridad invertida (CD+). Se elige CD+ con vistas a garantizar una mejor estabilidad del electrodo y facilidad de operación.

*Determinación del Número de Pasadas ( $N_{TP}$ ).*

El número de pasadas necesarias para realizar la unión soldada se puede determina a través de la siguiente expresión:

$$N_{TP} = \frac{A_{MD} - N_R \cdot A_R - N_{RE} \cdot A_{RE}}{A_P} + N_R + N_{RE} \quad (3.4)$$

donde:

$N_{TP}$  – representa el número total de pasadas

$A_{MD}$ - área de metal a depositar en la unión (se determina geométricamente)

$N_R$ - número de pasadas de raíz, que depende del tipo de unión.

$A_R$ - área de la sección transversal de la pasada de raíz.

$N_{RE}$ - número de pasadas de revés o respaldo, que depende del tipo de unión.

$A_{RE}$ - área de la sección transversal de la pasada de revés o respaldo; que se determina geoméricamente en dependencia del tipo de unión.

$A_{PP}$ - área de la sección transversal de las pasadas posteriores.

$$A_{PP} = (8 \div 12) \cdot d_{eP} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

$d_{eP}$ - diámetros de electrodo para pasada posterior (mm).

Para el caso de las costuras con cateto (C) 8 mm (cartelas – tubo central), el área del metal depositado se determina como el área de un triángulo isósceles con cateto 8 mm:

$$A_{MD} = C^2/2 = (8 \text{ mm})^2/2 = 32 \text{ mm}^2$$

En estas uniones no se realizarán pasadas de raíz ni de respaldo.

Sustituyendo en (3.5) se calcula el área de una pasada, la cual queda:

$$A_{PP} = (8) \cdot 4 \text{ mm} = 32 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo en la expresión (3.4) queda que

$$N_{TP} = \frac{A_{MD}}{A_P} = \frac{32 \text{ mm}^2}{32 \text{ mm}^2} = 1$$

La costura de cateto 8 se realizará con una sola pasada.

Para el caso de las costuras con cateto (C) 6 mm (todas las costuras restantes de la estructura), el área del metal depositado se determina como se explicó anteriormente:

$$A_{MD} = C^2/2 = (6 \text{ mm})^2/2 = 18 \text{ mm}^2$$

En estas uniones no se realizarán pasadas de raíz ni de respaldo.

El área de una pasada será:

$$A_{PP} = (8) \cdot 4 \text{ mm} = 32 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo en la expresión (3.4) queda que

$$N_{TP} = \frac{A_{MD}}{A_P} = \frac{18 \text{ mm}^2}{32 \text{ mm}^2} = 0,5$$

Como puede verse con un electrodo diámetro 4 se obtendría un área de metal depositado que es el doble que la que se requiere. Sólo aumentando severamente la velocidad de soldadura podría disminuirse el área, lo cual en un proceso manual como el SMAW resulta extremadamente difícil para el soldador, a pesar de que puede entrenarse para soldar a diferentes velocidades.

Por esta razón se decide disminuir el diámetro previamente seleccionado a 3,2 mm para las costuras de cateto de 6 mm. Consultando algunos procedimientos de uso común, elaborados a partir de la experiencia, que muestra la bibliografía (Colectivo de Autores, 2006), se comprueba que la selección de un diámetro de electrodos de 3,2 mm para la ejecución de un cateto de 6 mm es adecuada. Del catálogo del fabricante se obtiene el rango de corriente de soldadura (Is) en el que opera el electrodo LB-52-18 de 3.2 mm de diámetro, el cual es de 80 a 120 A, por lo que se toma como Is un valor de 100 A.

La costura de cateto 6 se realizará con una sola pasada, controlando la velocidad de soldadura al valor que se calculará a continuación.

#### *Determinación de la Velocidad de Soldadura ( $v_s$ ).*

La velocidad de soldadura por pasada se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$v_s = \frac{RD}{\gamma_{MD} \cdot A_{MD}} \quad (3.6)$$

donde:

$v_s$ : representa la velocidad de soldadura (m/h)

RD – razón de depósito del electrodo (kg/h); se determina según recomendación. (Colectivo de Autores, 2006)

$\gamma_{MD}$  – densidad del metal depositado ( $\text{kg/m}^3$ ). Para aceros al carbono y de baja aleación se puede asumir  $\gamma_{\text{Ac al carb}} = 7860 \text{ kg/m}^3$ .

$A_{MD}$  – área de la sección transversal de metal depositado en la pasada ( $\text{m}^2$ )

Para la costura de cateto 8 mm la velocidad de soldadura queda:

$$V_{S(8\text{ mm})} = \frac{RD}{\gamma_{MD} \cdot A_{MD}} = \frac{3,11\text{ kg/h}}{7860\text{ kg/m}^3 \cdot 32 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2} = 12,3\text{ m/h}$$

Para la costura cateto 6 mm se calcula Vs como:

$$V_{S(6\text{ mm})} = \frac{RD}{\gamma_{MD} \cdot A_{MD}} = \frac{2,58\text{ kg/h}}{7860\text{ kg/m}^3 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2} = 18,2\text{ m/h}$$

A continuación se resumen en la tabla 3.2 los parámetros del régimen de soldeo obtenidos para las costuras que unen la estructura.

Tabla 3.2: Parámetros del régimen de soldadura para las diferentes costuras de la estructura.

Uniones	Cateto (mm)	de (mm)	Is (A)	Np	Vs (m/h)
Tubo central – cartelas	8	4	140	1	12,3
Uniones restantes	6	3.2	100	1	18,2

Establecimiento de la secuencia de realización de los cordones en cada unión soldada.

*Unión 1–2 y 2-8:*

En la figura 3.5 se muestra un esquema de la unión soldada entre esas piezas. Es importante aclarar que antes de ejecutar la soldadura de las costuras, estas piezas fueron punteadas en los extremos de la unión donde se ubican las costuras verticales.

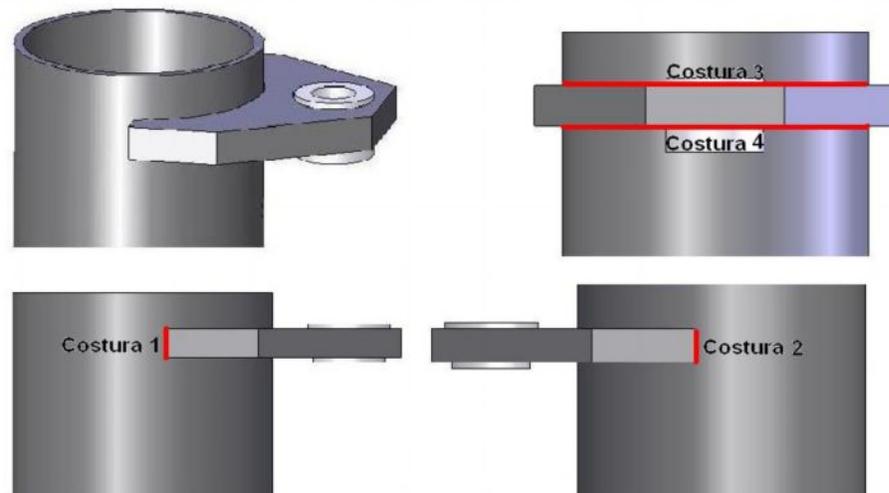


Fig. 3.5. Esquema la secuencia de cordoneo en las uniones 1-2 y 2-8.

*Unión 2-3, 2-9, 3-7 y 9-10*

Para la unión de estas vigas se soldarán primeras las costuras interiores de manera simétrica y luego las exteriores, como se muestra en la figura 3.6. Las piezas fueron primeramente punteadas en sus esquinas interiores y luego en los vértices exteriores, de manera simétrica.

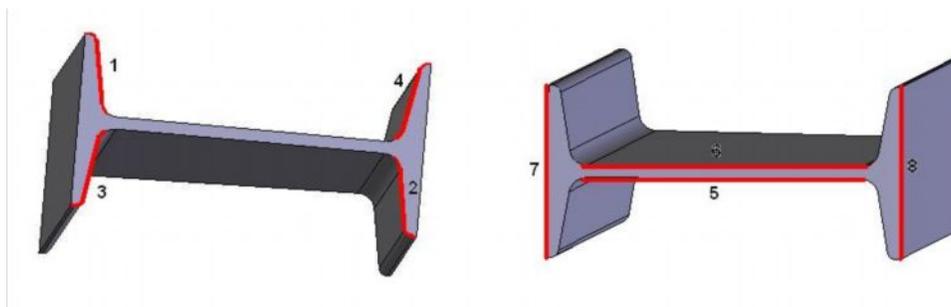


Fig. 3.6. Esquema la secuencia de cordoneo en las uniones 2-3 y 2-9.

*Unión 4-2 y 6-2*

En este caso la sección transversal del tubo se divide en 4 sectores de circunferencias. Estos se sueldan en el orden de los sectores que se establece en la figura 3.7.

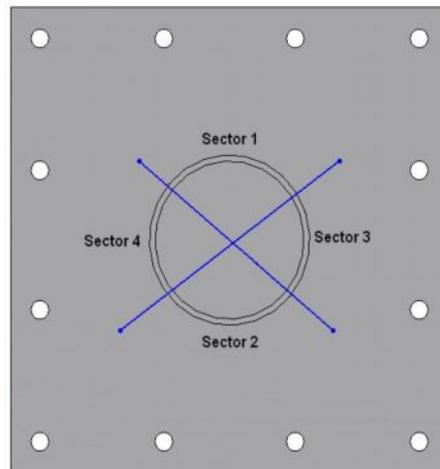


Fig. 3.7. Esquema de la división por sectores de la unión 6-2 para la realización de la costura.

Igual método al representado anteriormente se utiliza para soldar la tapa (pieza 4) con el tubo central (2)

*Unión 5-6 y 5-2*

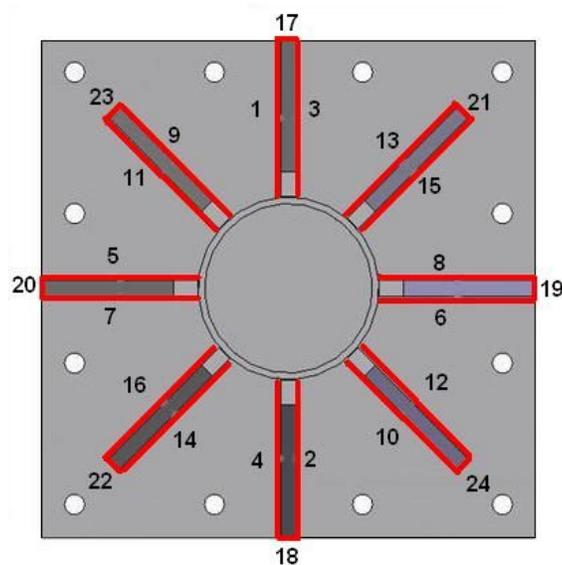


Fig. 3.8. Esquema la secuencia de cordoneo en las uniones 5-6 y 5-2.

Luego de ejecutar las costuras de los cartabones a la platina base, en un orden similar al de la figura 3.7 se realiza las uniones del tubo central y los cartabones.

Llenado de los Modelos de Procedimientos de Soldadura.

En el anexo 5 se encuentran los procedimientos de soldadura de cada unión soldada.

Determinación de los costos de realización de la soldadura.

El costo de realización de una costura soldada se compone del costo de mano de obra y administrativos, el costo de los consumibles de soldadura y finalmente del costo de la energía eléctrica. De este modo el costo total de realización de una costura soldada se determina según la siguiente expresión:

$$C_{TS} = C_{MO+ADM} + C_{CS} + C_{EE} \quad (3.7)$$

Donde:

$C_{TS}$  – representa el costo total de soldadura (\$)

$C_{MO+ADM}$  – costo de mano de obra y administrativos (\$)

$C_{CS}$  – costo de consumibles de soldadura (\$)

$C_{EE}$  – costo de energía eléctrica (\$)

*Determinación del costo de los consumibles.*

El costo de los consumibles de soldadura para el proceso SMAW representa el costo de los electrodos, el cual puede ser calculado de varias formas diferentes. La más común se basa en el costo por metro de costura el que se determina:

$$C_E (\$/m) = \frac{RD \text{ (kg/h)} \cdot P_E (\$/kg)}{v_s \text{ (m/h)} \cdot E_T (\%)} \quad (3.7)$$

Donde:

$P_E$  – representa el precio del electrodo, el cual tendrá componentes en ambas monedas que circulan en el país, CUC y CUP. Según datos de los inventarios de almacenes de la Empresa de Antenas estos consumibles tienen un precio de 3,6 CUC/kg y 0.89 CUP/kg

$E_T$  – representa la eficiencia total del electrodo. Para el proceso SMAW esta se determina según la expresión (3.8).

$$E_T = \frac{(L_E - L_C) \cdot E_D}{L_E} \quad (3.8)$$

Siendo:

$L_E$  – la longitud del electrodo empleado. Según el catálogo del fabricante el electrodo LB-52-18, con diámetro 4 mm, tiene una longitud de 450 mm y con diámetro de 3,2, su longitud será de 400 mm.

$L_C$  – longitud de las colillas. Se recomienda utilizar un valor promedio de  $L_C = 75$  mm.

$E_D$  – representa la eficiencia de deposición, la cual se obtiene en la tabla 3.6 (Colectivo de Autores, 2006), de donde se extrae un valor de 75 %, para el electrodo de 4 mm y de 71,6 % cuando se utiliza electrodo de 3,2 mm de diámetro.

$RD$  – razón de depósito del electrodo, según la tabla 3.6, para diámetro de 4 mm es de 3,11 kg/h, y para diámetro 3.2 mm toma un valor de 2,58 kg/h.

Sustituyendo estos valores en la expresión (3.8) queda:

Para diferenciar los parámetros calculados para las costuras con diferentes catetos, se pondrá el subíndice 8 ó 6 para los parámetros calculados para las costuras de cateto 8 mm o cateto 6 mm respectivamente.

$$E_{T8} = \frac{(450 \text{ mm} - 75 \text{ mm}) \cdot 0,75}{450 \text{ mm}} = 0,63$$

$$E_{T6} = \frac{(400 \text{ mm} - 75 \text{ mm}) \cdot 0,72}{400 \text{ mm}} = 0,58$$

Sustituyendo este valor en la expresión (3.7) se obtiene el costo del consumible, en CUC y en CUP.

$$C_{E8} \text{ (CUC/m)} = \frac{3,11 \text{ kg/h} \cdot 3,6 \text{ CUC/kg}}{12,3 \text{ m/h} \cdot 0,63} = 1,44 \text{ CUC/m}$$

$$C_{E8} \text{ (CUP/m)} = \frac{3,11 \text{ kg/h} \cdot 0,89 \text{ CUP/kg}}{12,3 \text{ m/h} \cdot 0,63} = 0,36 \text{ CUP/m}$$

$$C_{E6} \text{ (CUC/m)} = \frac{2,58 \text{ kg/h} \cdot 3,6 \text{ CUC/kg}}{18,2 \text{ m/h} \cdot 0,8} = 0,87 \text{ CUC/m}$$

$$C_{E6} \text{ (CUP/m)} = \frac{2,58 \text{ kg/h} \cdot 0,89 \text{ CUP/kg}}{18,2 \text{ m/h} \cdot 0,58} = 0,22 \text{ CUP/m}$$

Los costos de mano de obra y administrativos se determinan según la expresión (3.9):

$$C_{MO+ADM}(\$/m) = \frac{T_{MO+ADM} (\$/h)}{v_s \text{ (m/h)} \cdot FO} \quad (3.9)$$

Donde:

$T_{MO+ADM}$  – representa la tarifa de costos de mano de obra y administrativos de la empresa en cuestión. En la empresa de antenas el salario básico de un soldador por hora es de 1,50 CUP/h. El coeficiente de gastos indirectos es de 1,60.

$$T_{MO+ADM} = 1,50 \text{ CUP/h} \cdot 1,60 = 2,4 \text{ CUP/h}$$

FO – factor operador. Según la recomendación de la literatura, este parámetro depende del proceso de soldadura que se emplee, siendo este de 30% para SMAW (Colectivo de Autores, 2006).

Con estos datos, sustituyendo en la expresión (3.9), se obtiene el costo de mano de obra y administrativos.

$$C_{MO+ADM8}(\text{CUP/m}) = \frac{2,4 \text{ CUP/h}}{12,3 \text{ m/h} \cdot 0,3} = 0,65 \text{ CUP/m}$$

$$C_{MO+ADM6}(\text{CUP/m}) = \frac{2,4 \text{ CUP/h}}{18,2 \text{ m/h} \cdot 0,3} = 0,44 \text{ CUP/m}$$

#### *Determinación del costo de Energía Eléctrica.*

El costo directo de energía eléctrica se determina según la expresión (3.10):

$$C_{EE}(\$/m) = \frac{P_{kWh}(\$/kWh) \cdot V_a(V) \cdot I_s(A) \cdot M_{MD}(\text{kg/m})}{1000 \text{ RD}(\text{kg/h}) \cdot FO \cdot E_{FE}} \quad (3.10)$$

Donde:

$P_{kWh}$  – representa el precio del kWh de energía eléctrica. Este valor para las empresas en Cuba es de 0,2 CUP/kWh

$V_a$  – voltaje de arco. Mediante pruebas experimentales en el equipo de soldar con que cuenta la empresa se determinó que para electrodo LB-52-18 de diámetro 4 mm y corriente de soldadura de 140 A, el voltaje de arco alcanza valores de 18 V. Para ese mismo tipo de electrodos pero de diámetro 3.2 mm y corriente de soldadura de 100 A, el voltaje de arco es de 15 V.

$I_s$  – corriente de soldadura.

$E_{FE}$  – eficiencia de la fuente de energía, que se determina según su curva de funcionamiento o datos técnicos que brindan los fabricantes. Según los datos del equipo de soldadura con que cuenta el taller de la Empresa de Antenas,  $E_{FE}$  es 0,68.

$M_{MD}$  – es la masa de metal depositado en kg/m que se obtiene de dividir la razón de depósito en kg/h entre la velocidad de soldadura en m/h.

$$M_{MD8} = (3,11 \text{ kg/h}) / (12,3 \text{ m/h}) = 0,25 \text{ kg/m}$$

$$M_{MD6} = (2,58 \text{ kg/h}) / (18,2 \text{ m/h}) = 0,14 \text{ kg/m}$$

Sustituyendo estos valores en la expresión 3.10 queda:

$$C_{EE8} (\text{CUP/m}) = \frac{0,2 \text{ CUP/kWh} \cdot 18 \text{ V} \cdot 140 \text{ A} \cdot 0,25 \text{ kg/m}}{1000 \cdot 3,11 \text{ kg/h} \cdot 0,3 \cdot 0,68} = 0,2 \text{ CUP / m}$$

$$C_{EE6} (\text{CUP/m}) = \frac{0,2 \text{ CUP/kWh} \cdot 15 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} \cdot 0,14 \text{ kg/m}}{1000 \cdot 2,58 \text{ kg/h} \cdot 0,3 \cdot 0,68} = 0,1 \text{ CUP / m}$$

Sustituyendo los valores de los diferentes costos en la expresión 3.7 se obtienen los costos por metros para las costuras.

$$C_{TS8} (\text{CUP/m}) = C_{MO+ADM8} + C_{CS8} + C_{EE8} = 0,65 \text{ CUP/m} + 0,36 \text{ CUP/m} + 0,2 \text{ CUP/m}$$

$$C_{TS8} (\text{CUP/m}) = 1,21 \text{ CUP/m}$$

El único costo que tiene componente en CUC es el de los consumibles.  $C_{TS8}$  (CUC/m) =  $C_{CS8} = 1,44 \text{ CUC/m}$

$$C_{TS6} (\text{CUP/m}) = C_{MO+ADM6} + C_{CS6} + C_{EE6} = 0,44 \text{ CUP/m} + 0,22 \text{ CUP/m} + 0,1 \text{ CUP/m}$$

$$C_{TS6} \text{ (CUP/m)} = 0,76 \text{ CUP/m}$$

$$C_{TS6} \text{ (CUC/m)} = C_{CS6} = 0,87 \text{ CUC/m}$$

$$C_{TS} \text{ (CUC/m)} = C_{TS6} \text{ (CUC/m)} + C_{TS8} \text{ (CUC/m)} = 0,87 \text{ CUC/m} + 1,44 \text{ CUC/m} = 2,31 \text{ CUC/m}$$

$$C_{TS} \text{ (CUP/m)} = C_{TS6} \text{ (CUP/m)} + C_{TS8} \text{ (CUP/m)} = 0,76 \text{ CUP/m} + 1,21 \text{ CUP/m} = 1,97 \text{ CUP/m}$$

La cantidad de metros de costura se obtiene de sumar las longitudes totales de cada costura.

$L_1$  – la longitud de la costura de la pieza 1 - pieza 2 y la pieza 8 – pieza 2, las cuales son iguales, por lo que se calcula una y se multiplica por 2.

$L_2$  - la longitud de la costura pieza 2 – pieza 6

$L_3$  - la longitud de la costura pieza 5 – pieza 6

$L_4$  - la longitud de la costura pieza 2 – pieza 3, la cual se multiplica por 2, ya que son dos pies de amigo.

$L_5$  - la longitud de la costura pieza 5 – pieza 2

$L_6$  - la longitud de la costura pieza 3 – pieza 7, la cual se multiplica por 2, ya que son dos “pies de amigo”.

$L_7$  - la longitud de la costura pieza 2 – pieza 4

De los planos de la pieza que se muestran en el anexo 1 se extraen las dimensiones necesarias para realizar estos cálculos:

$$L_1 = 2 \cdot 688 \text{ mm} = 1376 \text{ mm}$$

$$L_2 = L_7 = \pi \cdot \text{diámetro ext. Del tubo central} = 690,8 \text{ mm}$$

$$L_3 = 8 \cdot \text{largo del cartabón} \cdot \text{\#costuras por cartabón} = 8 \cdot 180 \text{ mm} \cdot 2 = 2880 \text{ mm}$$

$$L_4 = (2 \cdot 100 \text{ mm} + 2 \cdot 240 \text{ mm} + 2 \cdot 93 \text{ mm} + 4 \cdot 15 \text{ mm}) \cdot 2 = 1852 \text{ mm}$$

$$L_5 = L_3 = 2880 \text{ mm}$$

$L_6$  se asume igual a  $L_4$

$$L_6 = 1852 \text{ mm}$$

$$L_{\text{total}} = 1376 \text{ mm} + (690,8 \text{ mm}) \cdot 2 + 2880 \text{ mm} + 1852 \text{ mm} + 2880 \text{ mm} + 1852 \text{ mm}$$

$$L_{\text{total}} = 12\,211,6 \text{ mm} = 12,21 \text{ m}$$

Con este valor se determina el costo total de la soldadura de la estructura.

$$C_{\text{TS}} (\text{CUC}) = 1,97 \text{ CUC/m} \cdot 12,21 \text{ m} = 24,05 \text{ CUC}$$

$$C_{\text{TS}} (\text{CUP}) = 2,31 \text{ CUP/m} \cdot 12,21 \text{ m} = 28,20 \text{ CUP}$$

### **3.1.3 Establecimiento del Sistema de Control de la Calidad del conjunto soldado**

El Sistema de Control de la Calidad se establece según los Códigos y Normas de fabricación del conjunto soldado, de forma que se garantice la calidad final y fiabilidad necesaria del mismo durante el servicio. Generalmente este sistema abarca desde el control de la elaboración del proyecto del producto, pasando por el control de todas las etapas de fabricación, hasta los controles finales, previos a la puesta en servicio (Código AWS D1.1 2010; Certificación AWS 1993; Cary, 1994).

En este caso como se planteó anteriormente, el proyecto de diseño de la estructura no se realizó por ningún código específico, por lo cual las recomendaciones para el control de la calidad se realizarán a partir de criterios generales abordados en la bibliografía, aplicables en el caso de la estructura objeto de este estudio, los cuales se relacionan a continuación:

Antes de la soldadura:

- Verificar la existencia de Procedimientos de soldadura aprobados a los niveles establecidos por el productor, según contrato con el cliente.
- Verificar la existencia de los materiales correctos, según el proyecto de diseño del producto, tanto del metal base como de los consumibles de soldadura, por ejemplo la cantidad y dimensiones, verificar la especificación de material, cualquier requerimiento especial de tratamiento térmico, la existencia de defectos superficiales resultantes de la fabricación del material, cambios dimensionales o deformaciones debido a malas prácticas durante su transportación y almacenamiento, entre otras.
- Comprobar regularmente que los hornos de calcinado y mantenimiento están operando correctamente y ajustados a la temperatura correcta.

- 
- Verificar la calificación de los soldadores que van a ejecutar los procesos de fabricación del producto.
  - Verificar el ensamblaje y la preparación de la soldadura (limpieza de las uniones, posiciones de soldadura según proyecto, temperatura de precalentamiento, secado del metal de aporte, etc.).
  - Verificar estado técnico de la fuente de soldeo.

Durante la soldadura:

- Velar que se cumpla con el procedimiento de soldadura establecido.

Después de la Soldadura:

- Verificar que las dimensiones de cateto obtenidas cumplan con lo normado en el procedimiento de soldadura para cada costura.
- Inspeccionar visualmente las costuras de la estructura, para lo cual puede utilizarse la guía para la inspección visual establecida en el código para estructuras AWS D1.1 (Código AWS D1.1, 2010) y que se muestra en el anexo 9.
- Realizar control mediante líquidos penetrantes luego de 72 horas de realizada cada costura.

### **3.2 Medidas de Seguridad Ocupacional a tener en consideración durante la ejecución del proceso de soldadura**

A continuación se relacionan las medidas necesarias que garanticen el control de los riesgos a la salud de los soldadores durante la ejecución de este procedimiento de soldadura (Ortiz, 2001).

- 1- Utilizar las prendas protectoras de soldadura, tales como las que se muestran en la figura 3.9.



Fig. 3.9. Prendas protectoras necesarias para la seguridad del soldador.

- 5- Uso de espejuelos de protección con cristales adecuados para la absorción de la radiación ultravioleta.
- 6- Uso de guantes y delantales apropiados.
- 7- El ayudante-soldador debe usar también los mismos medios de protección.
- 8- Aislar el sitio de soldadura del resto del taller y de los trabajadores vecinos por medio de paraban es incombustibles de 2 m de altura, con el fin de evitar la propagación de la radiación ultravioleta.
- 9- El soldador debe usar ropa protectora, la cual ayuda a aislarlo del calor excesivo, con características específicas como, por ejemplo, que no tengan aberturas para evitar que los rayos del arco entren en contacto con la piel. Estas ropas deben ser usadas también por las personas que trabajen cerca del lugar en que se realiza la soldadura.

- 
- 10- No deben llevar pantalones con dobladillos, ni tener bolsillos abiertos ya que en ellos pueden retenerse metal fundido o chispas.
  - 11- Deben usar zapatos protectores, polainas de cuero, delantales y guantes resistentes para soldar.
  - 12- Al soldar sobre cabeza deben usar tapones en los oídos para impedir que las salpicaduras penetren en ellos.
  - 13- Mantener la ropa libre de grasa y aceite, además limpia de materiales combustibles.
  - 14- Antes de abandonar el área de trabajo, deben marcarse las piezas calientes para alertar a otras personas de este riesgo.
  - 15- Deben utilizarse orejeras o tapones para prevenir la pérdida de audición como resultado del trabajo constante alrededor de equipos ruidosos, fuentes de corriente y procesos de altos niveles de ruido.
  - 16- Nunca deben tocarse las zonas cargadas eléctricamente que no posean un aislante adecuado, ni cerrarse un circuito eléctrico con el cuerpo.
  - 17- Los cables deben poseer la sección necesaria para soportar la intensidad de corriente utilizada ya que la sobrecarga sostenida puede causar fallos en el cable, lo que puede traer consigo un posible choque eléctrico o riesgo de fuego.
  - 18- Asegurarse de que todas las conexiones eléctricas estén firmes, limpias y secas. No debe permitirse que agua, grasa o suciedad se acumule en los tapones, enchufes o unidades eléctricas.
  - 19- Toda el área de trabajo debe estar limpia de materiales de desecho, especialmente de combustibles.
  - 20- Debe disponerse de extintores portátiles en el área de soldadura.
  - 21- No se deben tener sustancias inflamables o explosivas a una distancia menor de 30 m del puesto del soldador.

## CONCLUSIONES

- El sistema de soporte y posicionamiento mecánico de una antena parabólica juega un papel fundamental en la calidad de funcionamiento del sistema de transmisión, ya que influye en su eficiencia de operación, debido a que garantiza que esta se mantenga sintonizada aún cuando trabaje por encima de las cargas promedio.
- Según los resultados de la simulación del diseño de la estructura fija del sistema de soporte y posicionamiento realizado por los especialistas de la Empresa de Antenas, aplicando el software “Autodesk Inventor” versión 2014, el diseño de este producto soporta las cargas máximas a que se somete esta estructura durante su trabajo y garantizando además la rigidez requerida.
- Las uniones soldadas en las que serán máximas las solicitaciones, y por tanto los requisitos de resistencia de la costura, son las que unen los cartabones con la platina base, así como la unión entre la cartela superior y el tubo central, en las que las costuras de filete fueron dimensionadas a partir del cálculo de resistencia resultando dimensiones de catetos de 8 y 6 mm, respectivamente. El resto de las costuras se dimensionaron con cateto de 6 mm, teniendo en consideración el espesor máximo de la chapa a unir.
- Se establecieron los procedimientos de soldaduras que garantizan la fabricación de la estructura, de manera económica y que se cumpla con los requisitos de diseño necesarios para el funcionamiento del sistema de comunicación del que forma parte integrante.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar la certificación de los soldadores, así como la calificación de los procedimientos de soldadura para la fabricación de esta estructura fija de soporte y posicionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

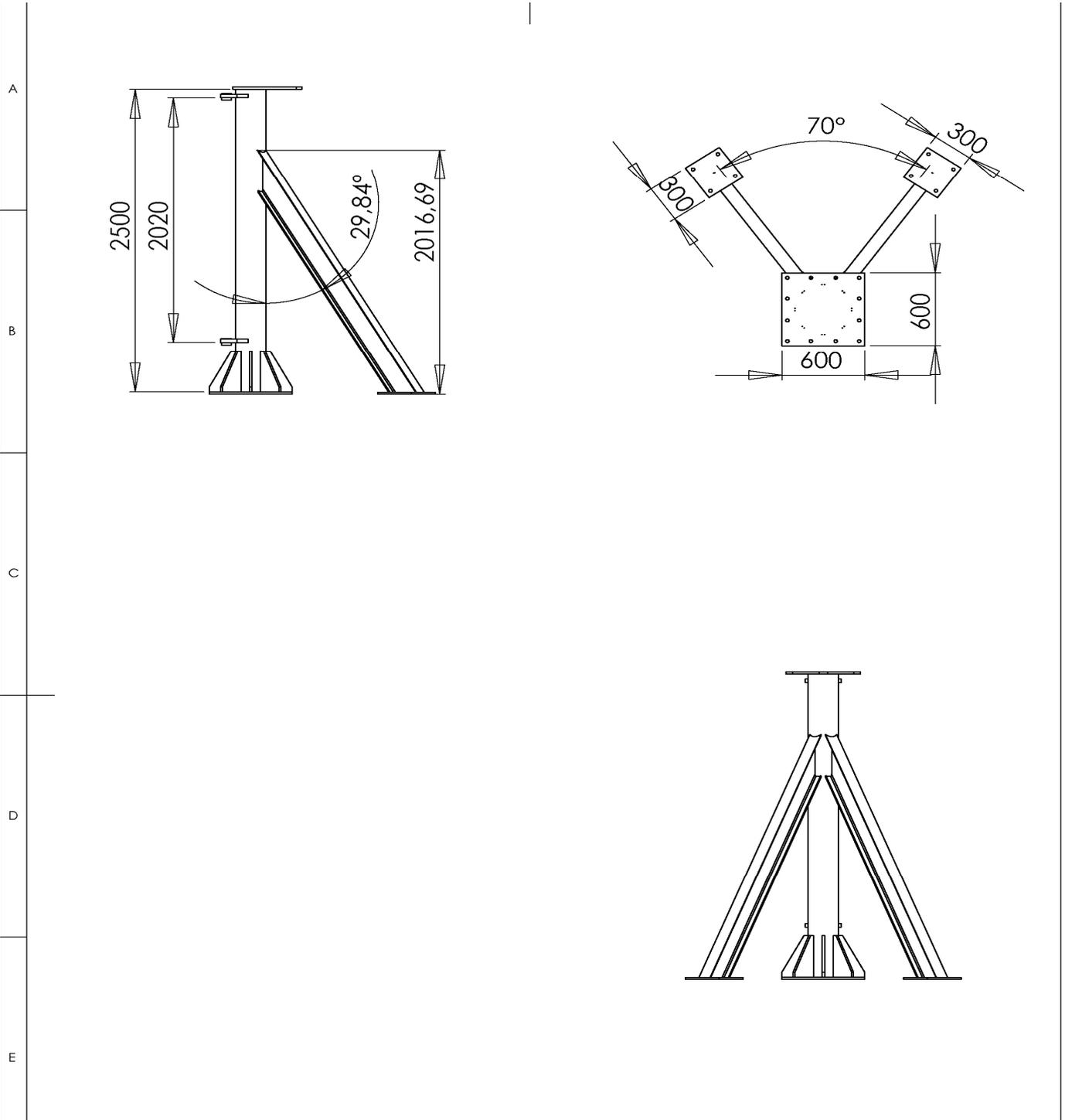
1. "Autodesk Inventor, 2014" versión 2014. Tutorial de software. Obtenido en Internet, 15 de enero. <http://www.autodesk.com>.
2. Autor, desconocido, [http://personales.unican.es/perezv/pdf/Antenas%20con%20Reflector%](http://personales.unican.es/perezv/pdf/Antenas%20con%20Reflector%20). Bajado el día 26 de Enero de 2014 (1).
3. Autor, desconocido, <http://serval.pntic.mec.es/srug0007/archivo/radiocomunicaciones/2%20ANTENAS6%20Agupaci%F3n%20%20Antenas.pdf.pdf> Bajado el día 26 de Enero de 2014 (2).
4. Autor, desconocido, <http://www.triquin.com/products/teclibrary/docs/WJclassic/Directatennas.pdf>. Bajado el día 26 de Enero de 2014 (3).
5. Aznar, Á. C. 2002, Roca, L. J., Casals, J. M. R., Robert, J. R., Boris, S. B. & Bataller, M. F.. Antenas, Ed. UPC., 642 p.
6. Brochure, 2004. Working Model 2D, the world's most popular 2D computer aided engineering tool Tutorial: Welcome to Working Model 2D. [www.design-simulation.com/WM2D/Index.php](http://www.design-simulation.com/WM2D/Index.php) .2004. 145 p
7. Cary, 1994, Howard B. Modern Welding Technology. 3<sup>ra</sup> Edición. Regents/Prentice Hall. New Jersey.. 769p
8. Catálogo de consumibles para soldadores de la Kobe Steel .Japón. Año 2005.
9. Certification Manual for Welding Inspectors. AWS Miami, Florida. 3<sup>ra</sup> Edición. 1993.
10. Código AWS D1.1. Año 2010. de soldadura de estructuras de acero.

11. Colectivo de Autores, Año 2006. Metodología para el establecimiento de una tecnología de soldadura. Manual de apoyo a la docencia de la Asignatura Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. UCLV.
12. Courant R, 1943. "Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations, Bulletin of American Mathematical Society". 1-43, 49.
13. Deitz D. 1997. "FEA for real World". Mechanical engineering. Vol. 119. May
14. Eveliux. 2001. Antenas (Reflectores Parabólicos). Ed. Monterrey. 120p.
15. González Cabrera. 2004. O. "Dimensionamiento del cateto de soldadura utilizando análisis por elementos finitos". Tesis Maestría en Ingeniería Mecánica (mención soldadura).
16. López, Año 2009. A. M. V. D. S. Control de una antena parabólica para seguir a órbita do satélite SSETI-ESEO. Universidad do Porto. 238 p
17. MOYA, 2006. J. M. H. Tecnologías de Telecomunicaciones, México, Alfa omega, 255p
18. Norma Cubana, 2003. NC 285 "Carga de viento. Método de cálculo" de
19. Ortiz .2001. Méndez, Tamara O; Quintana Puchol, Rafael. Salud y Seguridad en la Soldadura. Monografía. Editorial Feijoo.. 88p.
20. Pérez, 2004. E. H. Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, México, Limusa. 357p
21. Pozo , 1998. Morejón. Juan A. Diseño de Construcciones soldadas. Manual de apoyo a la docencia en la Maestría de Ingeniería Mecánica. UCLV.
22. Ramos , 2013. Martínez, Ariasny. Cálculo de resistencia de uniones soldadas auxiliado en el análisis por elementos finitos. Trabajo de Diploma. Tutor Juan Alberto Pozo Morejón. Fac. Mecánica. UCLV.
23. Raymundo , 2012. Martín, José M.; Arañó Rodríguez, José R. Sistemas de Posicionamiento de antenas parabólicas. Informe de Investigación terminado. Empresa de Antenas.
24. Rodríguez, 2013. Pérez, Manuel. Material didáctico para la asignatura tecnología de soldadura. Maestría en Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. UCLV. Año

25. Sabo, 1994. Richard S. The procedure handbook of arc welding. The Lincoln Electric Company. Edition VIII. 640 p.
26. Tomasi, 2003. W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ed. Pearson. 345p
27. Torres, 2007.Á. Telecomunicaciones y Telemática. De las Señales de Humo a las Redes de Información y a las Actividades por Internet. Ed. Pearson. Colombia.
28. Wales, 2001. Jimmy; Sanger, Larry. Wikipedia. 15 enero.

# Anexo 1: Estructura Fija

2

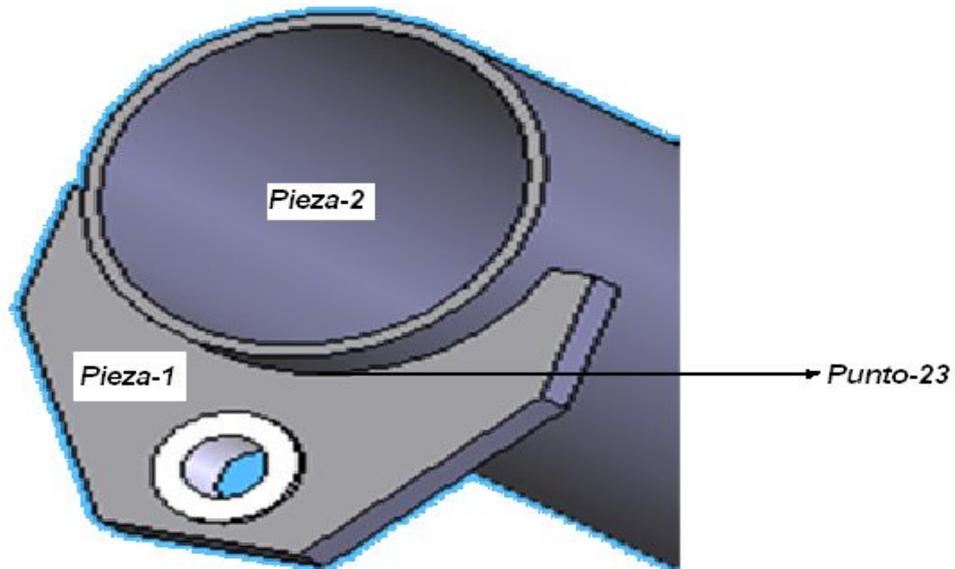


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		estructura fija	
						SCALE:1:50		A4	
				WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			

**Anexo 2:** Ubicación de las Uniones soldadas y las solicitaciones que actúan en sus puntos centrales.

Unión piezas 1-2.

Es válido además para la otra unión cartelas-tubo central (unión piezas 2-8) la cual tiene igual configuración y dimensiones.



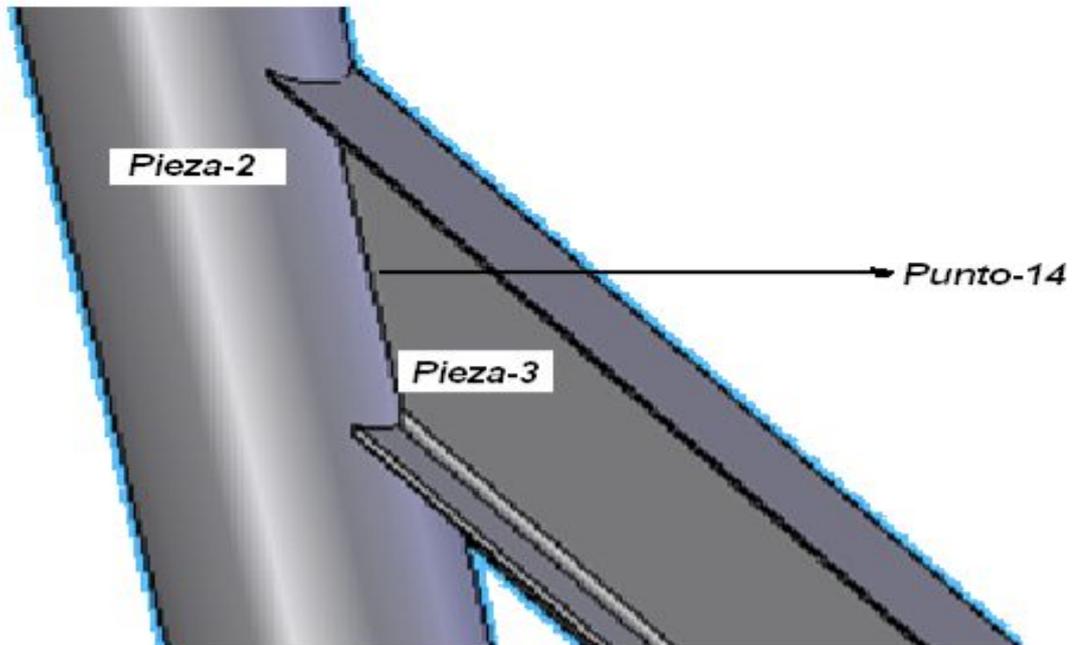
Reporte de las cargas que actúan en el punto 23

→	Force of Rigid Joint 23
F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> -2.200e+004 N
F <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> 5452.602 N
F	F  2.267e+004 N
→	Torque of Rigid Joint 23
	Torque 4.959e+006 N-mm

## Cont. Anexo 2

### Unión Pieza 2-3

Es válido además para la otra unión pie de amigo-tubo central (piezas 2-9) la cual tiene igual configuración y dimensiones.



Reporte de las cargas que actúan en el punto 14

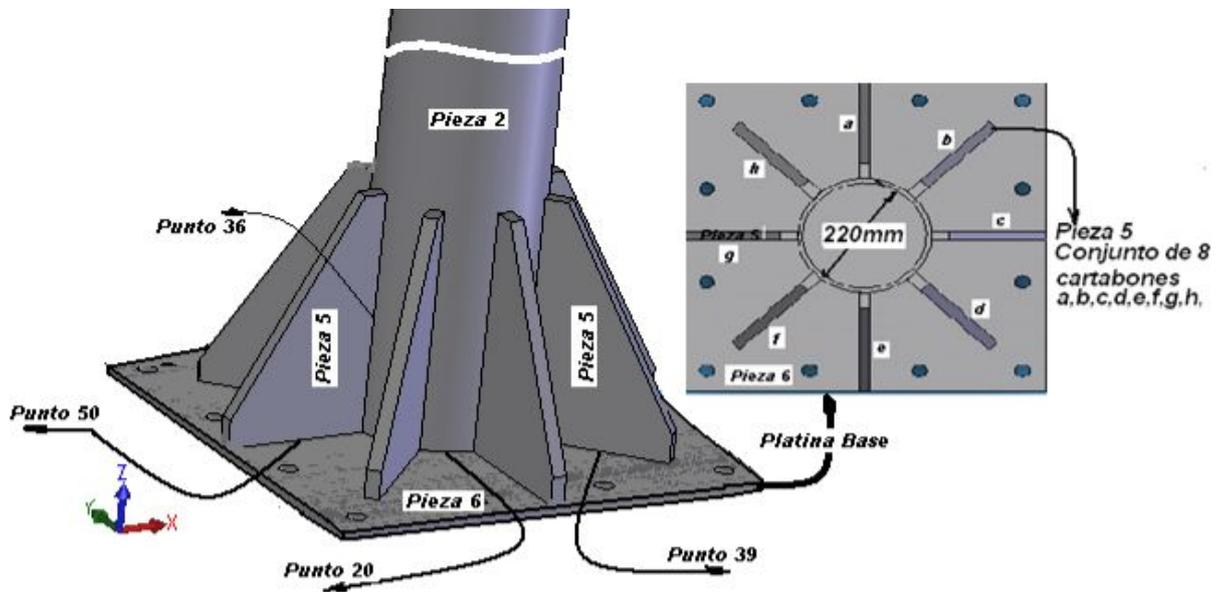
Force of Rigid Joint 14	
$F_x$	$F_x$ 8.181 N
$F_y$	$F_y$ 0.000 N
$ F $	$ F $ 8.181 N

Torque of Rigid Joint 14	
Torque	0.000 N-mm

## Cont. Anexo 2

### Uniones tubo central-platina-cartabones



Reporte de las cargas que actúan en el punto 20, 36, 39 y 50

Force of Rigid Joint 20	
Fx	$-2.199 \times 10^4$ N
Fy	5495.853 N
F	$2.267 \times 10^4$ N

Torque of Rigid Joint 20	
Torque	$5.878 \times 10^7$ N-mm

Force of Rigid Joint 36	
Fx	$-9.597 \times 10^{-13}$ N
Fy	0.000 N
F	$9.597 \times 10^{-13}$ N

Torque of Rigid Joint 36	
Torque	0.000 N-mm

Force of Rigid Joint 39	
Fx	0.000 N
Fy	2.354 N
F	2.354 N

Torque of Rigid Joint 39	
Torque	-78.453 N-mm

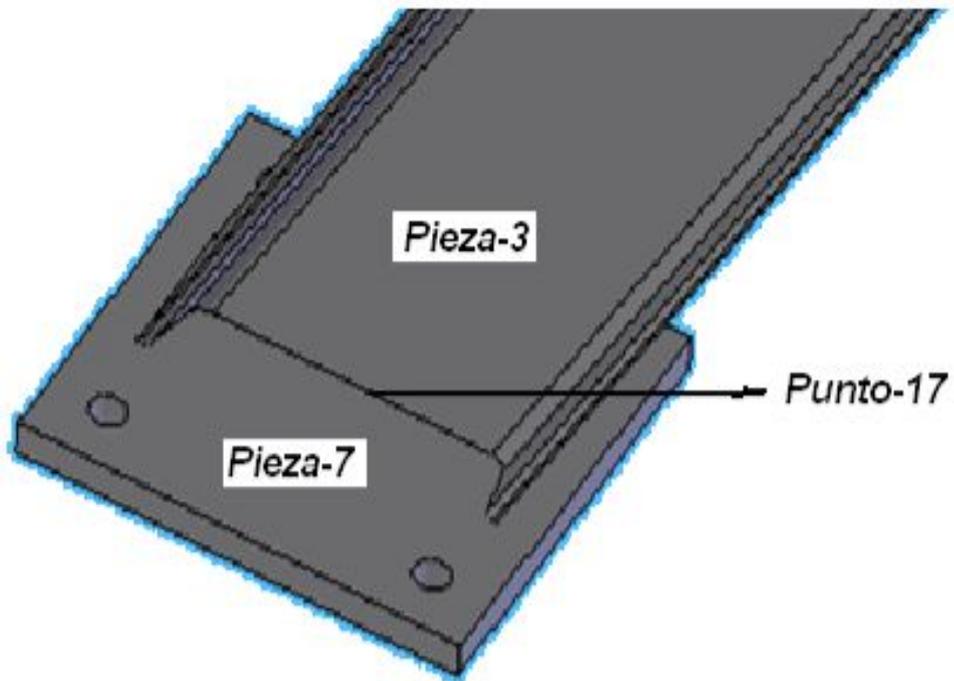
Force of Rigid Joint 50	
Fx	0.000 N
Fy	2.354 N
F	2.354 N

Torque of Rigid Joint 50	
Torque	78.453 N-mm

**Cont. . Anexo 2**

Uniones pieza 3-7

Es válido además para la otra unión pie de amigo plancha base (unión piezas 9-10) la cual tiene igual configuración y dimensiones.



Reporte de las cargas que actúan en el punto 17

→ Force of Rigid Joint 17	
<b>F<sub>x</sub></b>	F <sub>x</sub> -8.181 N
<b>F<sub>y</sub></b>	F <sub>y</sub> 26.794 N
<b> F </b>	F  28.016 N

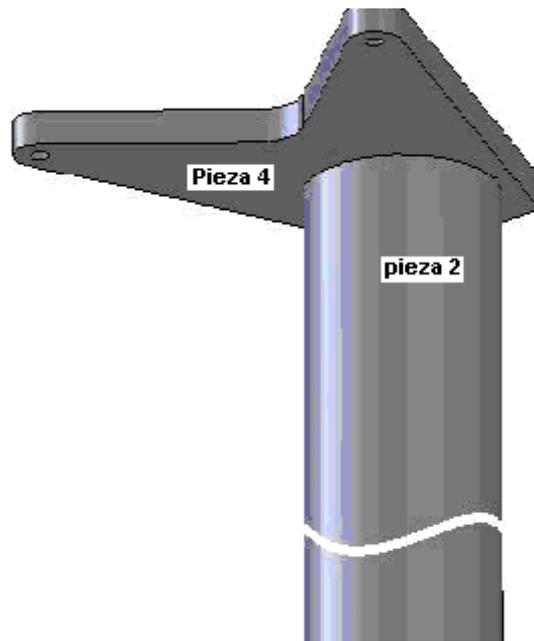
  

→ Torque of Rigid Joint 17	
Torque	0.000 N-mm

**Cont. . Anexo 2**

Uniones pieza 2-4

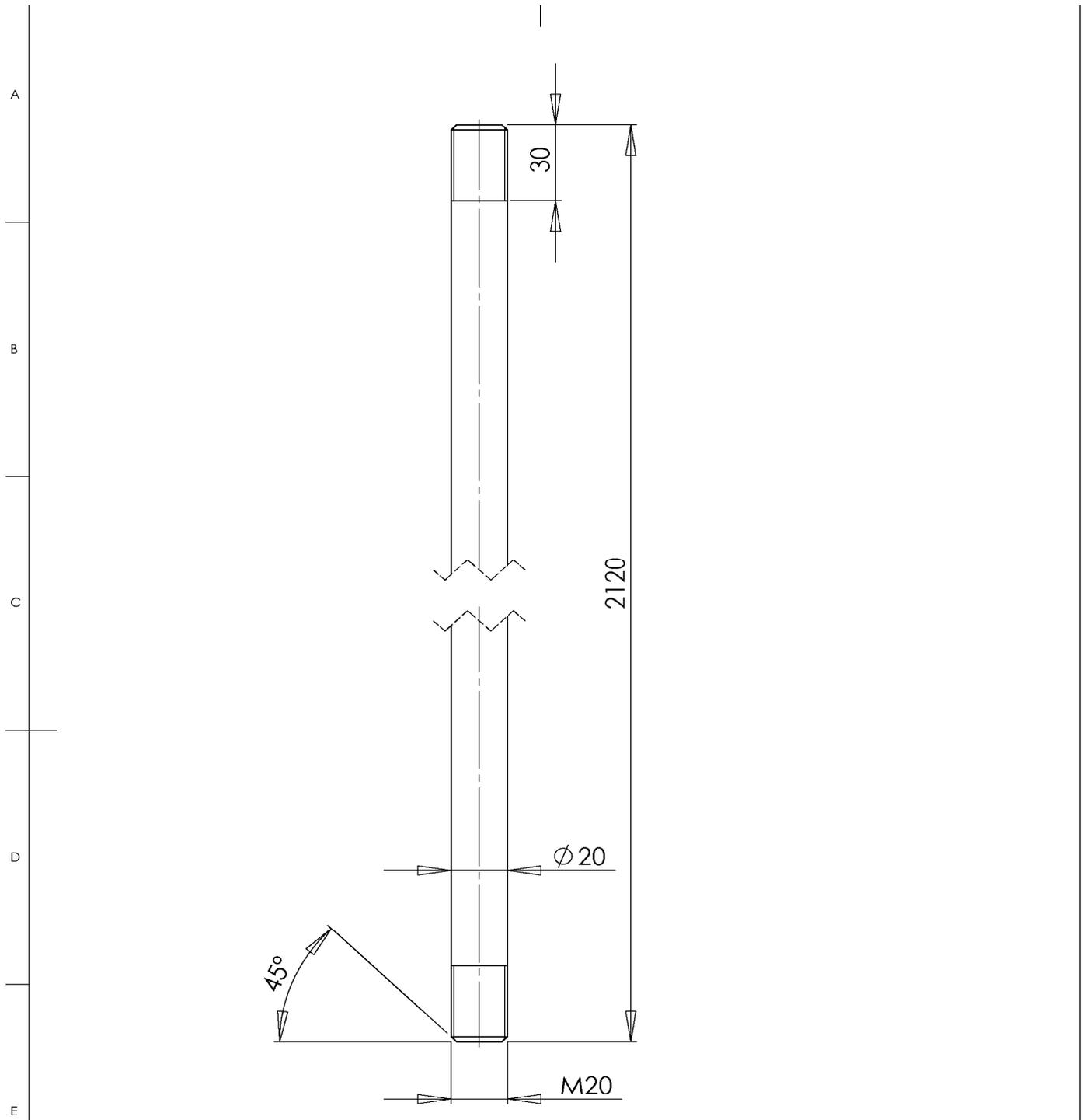
En esta unión las costuras secundarias no se analizan las cargas



**Anexo 3: Resistencia permisible del metal de la costura(Colectivo de autores, 2006).**

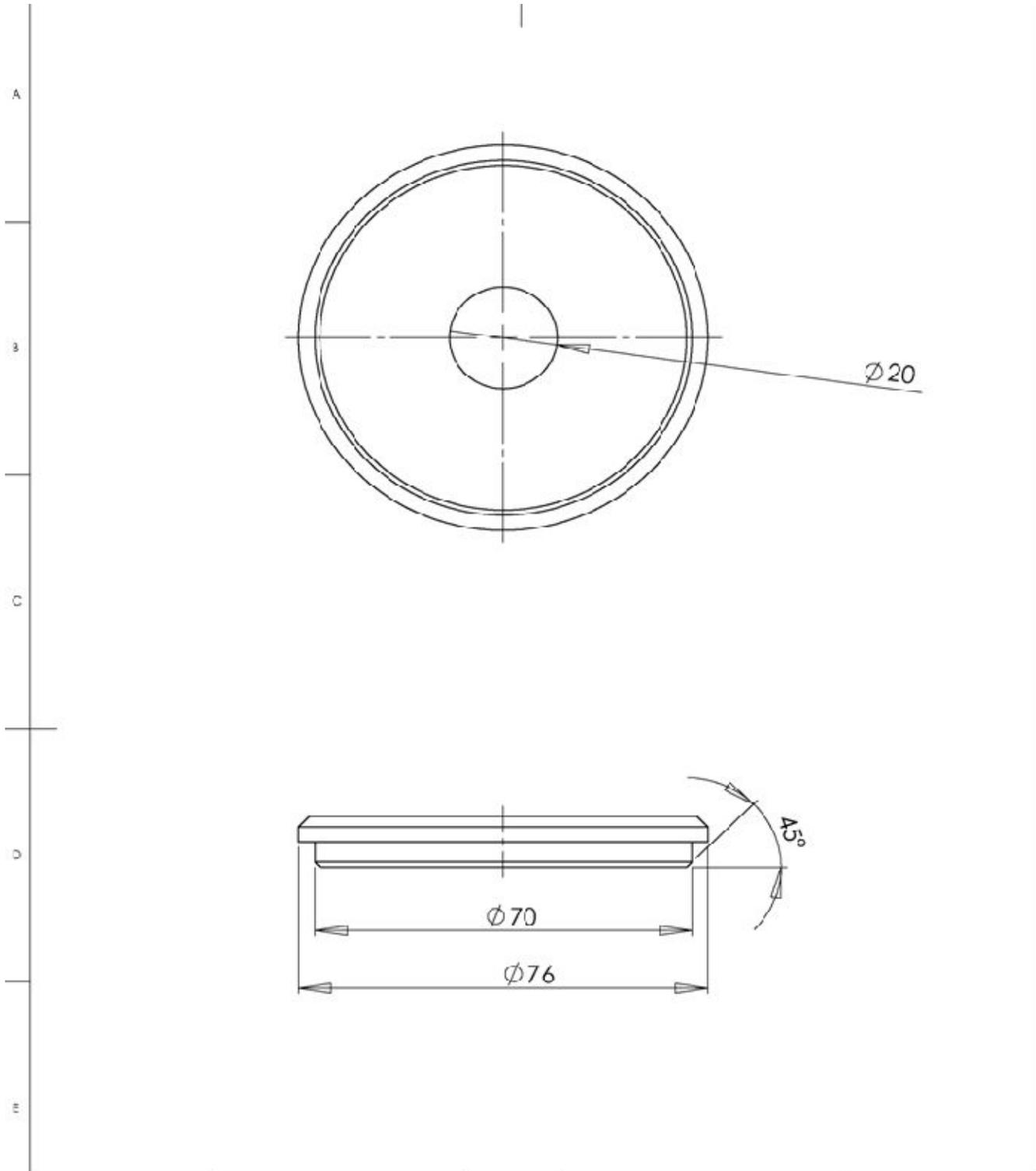
Nivel de resistencia del metal de la costura EXXX (MPa)									
	E410 (E60)	E480 (E70)	E550 (E80)	E620 (E90)	E690 (E100)	E760 (E110)	E830 (E120)		
Tensión admisible sobre la garganta de la costura del filete o de costura de ranura con penetración parcial									
τ=	123		144		t = 0.30 EXXX (MPa)			228	249
					165	186	207		
Fuerza unitaria sobre la costura de filete (kN/mm)					$f = \frac{0.707 * C * 0.3 * EXXX}{1000}$			Masa de costura de filete (kg/m)	
f=	0.087*C	0.102*C	0.117*C	0.312*C	0.146*C	0.161*C	0.176*C		
Tamaño del cateto (mm)	Fuerza unitaria permisible sobre costura de filete (kN/mm)								
3	0.26	0.30	0.35	0.40	0.44	0.48	0.53	0.043	
4	0.35	0.41	0.47	0.53	0.58	0.64	0.70	0.076	
5	0.43	0.51	0.58	0.66	0.73	0.81	0.86	0.119	
6	0.52	0.61	0.70	0.79	0.88	0.97	1.06	0.171	
7	0.61	0.71	0.82	0.92	1.02	1.13	1.23	0.233	
8	0.70	0.81	0.93	1.05	1.17	1.29	1.41	0.304	
9	0.78	0.92	1.05	1.18	1.32	1.45	1.58	0.385	
10	0.87	1.02	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	0.476	
12	1.04	1.22	1.40	1.58	1.76	1.93	2.11	0.685	
14	1.22	1.43	1.63	1.84	2.05	2.26	2.46	0.932	
16	1.39	1.63	1.87	2.10	2.34	2.58	2.82	1.22	
18	1.57	1.83	2.10	2.37	2.63	2.90	3.17	1.54	
20	1.74	2.04	2.33	2.63	2.93	3.22	3.52	1.90	
22	1.91	2.24	2.57	2.89	3.22	3.55	3.87	2.30	
24	2.09	2.44	2.80	3.16	3.51	3.87	4.23	2.74	
27	2.35	2.75	3.15	3.55	3.95	4.35	4.75	3.47	
30	2.61	3.05	3.50	3.95	4.39	4.84	5.26	4.28	
33	2.87	3.36	3.85	4.34	4.83	5.32	5.81	5.18	
36	3.13	3.67	4.20	4.73	5.27	5.80	6.34	6.16	
39	3.39	3.97	4.55	5.13	5.71	6.29	6.87	7.23	
42	3.65	4.28	4.90	5.52	6.15	6.77	7.39	8.39	
45	3.91	4.58	5.25	5.92	6.59	7.25	7.92	9.63	
48	4.17	4.89	5.60	6.31	7.02	7.74	8.45	10.96	
51	4.44	5.19	5.95	6.71	7.46	8.22	8.98	12.37	

Cont. .Anexo 4

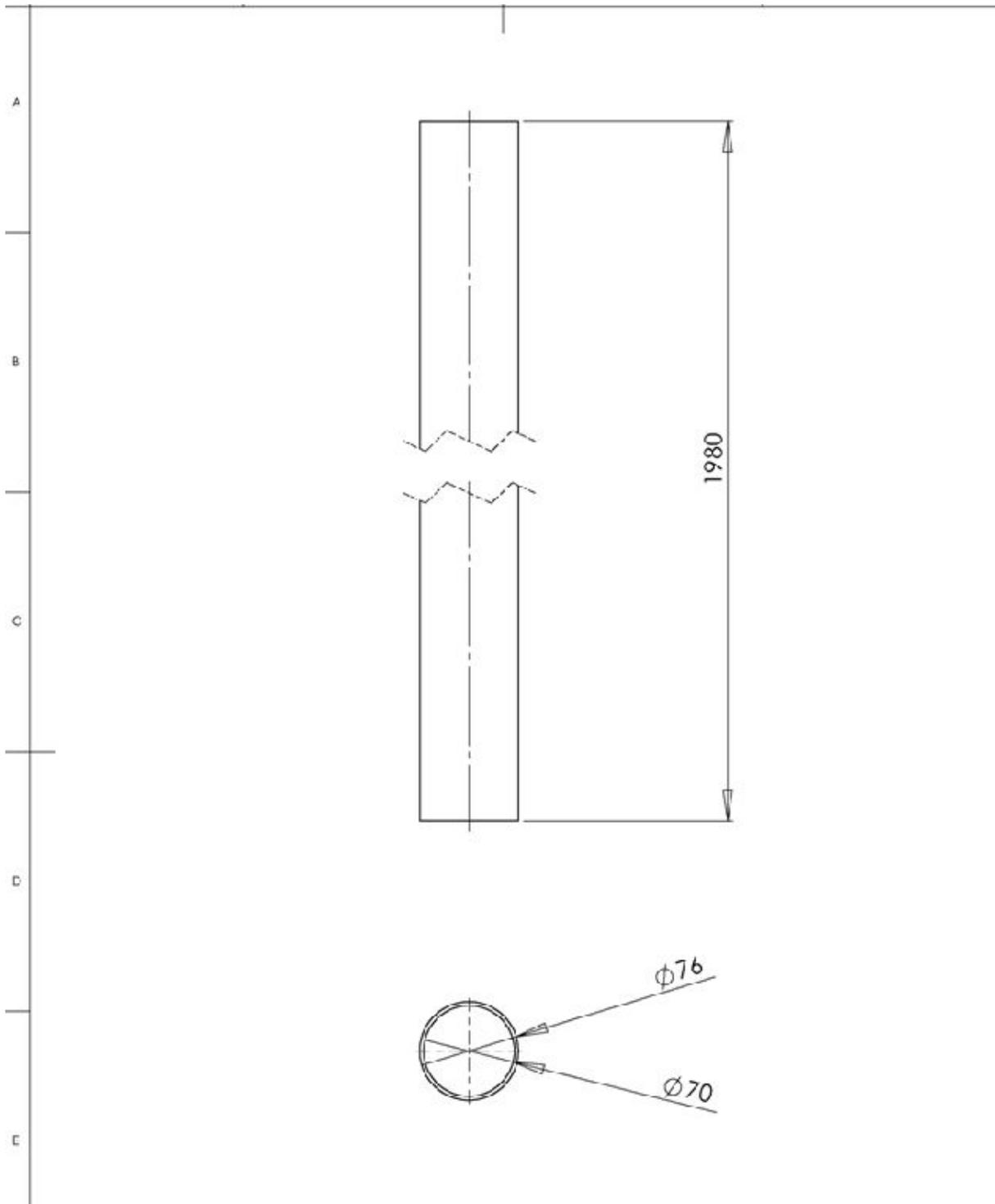


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:	
DRAWN							
CHK'D							
APP'VD							
F MFG							
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.	barra interior
							A4
					WEIGHT:	SCALE:1:50	SHEET 1 OF 1

Cont.Anexo 4

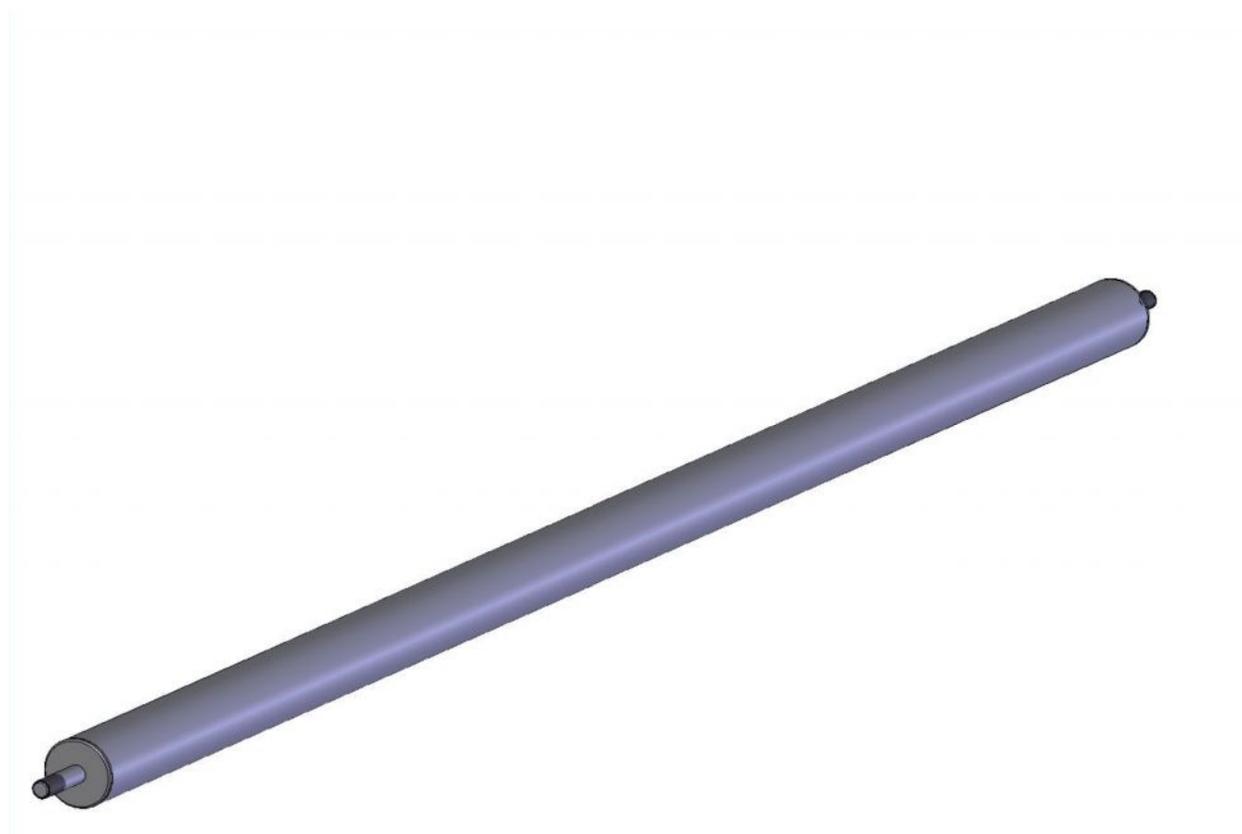


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TO FRANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHKD									
APPVD									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						TAPA			
				WEIGHT:		SCALE: 1-1		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHKD									
APP'VD									
MFC									
Q.A.				MATERIAL:		DWG NO. <b>TUBO SEPARADOR</b>		A4	
				WEIGHT		SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1	

**Anexo4 Mandril.**



**Anexo 5:**

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Empresa **Emp Antenas VC**  
 No.de RCP que soporta \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de soldadura **SMAW**

Procedimiento No. 1  
 Revisión \_\_\_ Fecha \_\_\_ Por \_\_\_  
 Tipo: Manua l[**X**] Semiaut.[-] Mecaniz. [-] Autom.[-]

**Diseño de unión empleada**

Tipo: \_\_\_\_\_  
 Costura unilateral[-] bilateral[**X**]  
 Respaldo Si [-] No[-]  
 Material del respaldo \_\_\_\_\_ -  
 Abertura de raíz \_\_\_\_\_ - Altura del talón \_\_\_\_\_ -  
 Ángulo de ranura \_\_\_\_\_ - Radio (J-U) \_\_\_\_\_ -  
 Resanado: Si[**X**] No[-] Método \_\_\_\_\_ -

**METALES BASE**

Especificación del material **ASTM**  
 Tipo o grado **A-36 A-501**  
 Espesor: Ranura \_\_\_\_\_ - Filete **C-8**  
 Diámetro (tubo) \_\_\_\_\_ -

**METALES DE APORTE**

Especificación AWS **A-5.1**  
 Clasificación AWS **E-7018**

**PROTECCIÓN**

Fundente \_\_\_\_\_ - Gas \_\_\_\_\_ -  
 Composición \_\_\_\_\_ -  
 Electrodo-Fundente (Clas.) Flujo \_\_\_\_\_ -  
 \_\_\_\_\_ - Diám. de tobera de gas \_\_\_\_\_ -

**PRECALENTAMIENTO**

Temp.de Pre calentamiento, Min. \_\_\_\_\_ -  
 Temp. entre pasadas: Mín. \_\_\_\_\_ - Máx. \_\_\_\_\_ -

**POSICIÓN**

Posición para cost.de Ranura \_\_\_\_\_ Filete **H**  
 Progresión: Ascendente[-] Descendente[-]

**Características Eléctricas**

Modo de transferencia (GMAW):  
 Cortocircuito[-] Globular [-] Gota Fina[-]  
 Corriente: CA [-] CDEP [**X**] CDEN[-] Pulsada[-]  
 Otra \_\_\_\_\_ -  
 Electrodo de tungsteno (GTAW):  
 Tipo: \_\_\_\_\_ - Diámetro **CDEP** -

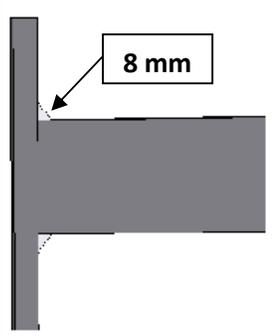
**TÉCNICA**

Cordón estrecho u oscilado **oscilado**  
 Pasada(s) simple o múltiple (por lado) **simple**  
 Número de electrodos \_\_\_\_\_ -  
 Espacio entre electrodos: Longitudinal \_\_\_\_\_  
 Lateral \_\_\_\_\_  
 Ángulo \_\_\_\_\_  
 Distancia pieza- boquilla de contacto \_\_\_\_\_  
 Martillado \_\_\_\_\_  
 Limpieza entre pasadas **NO**

**Tratamiento Térmico Posterior**

Temperatura \_\_\_\_\_ -  
 Tiempo \_\_\_\_\_ -

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

No.de Pasada	Proceso	Clasif.		Corriente		Voltaje (V)	Veloc de Sold (m/h)	Detalles de la unión
		Clasif.	Diám (mm)	Tipo y Polarid.	Intensid oVeloc. De Alim			
1	SMAW	E-7018	4	CD +	140	18	12,3	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Empresa Emp Antenas VC  
 No.de RCP que soporta \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de soldadura SMAW

**Diseño de unión empleada**

Tipo: Unión en T  
 Costura unilateral[] bilateral[X]  
 Respaldo: Si[] No[X]  
 Material del respaldo \_\_\_\_\_  
 Abertura de raíz \_\_\_\_\_ Altura del talón \_\_\_\_\_  
 Ángulo de ranura \_\_\_\_\_ Radio (J-U) \_\_\_\_\_  
 Resanado: Si[] No[X] Método \_\_\_\_\_

**METALESBASE**

Especificación del material ASTM  
 Tipo o grado A-36 -A501  
 Espesor: Ranura \_\_\_\_\_ Filete C-8  
 Diámetro (tubo) \_\_\_\_\_

**METALES DE APORTE**

Especificación AWS A-5.1  
 Clasificación AWS E-7018

**PROTECCIÓN**

Fundente \_\_\_\_\_ Gas \_\_\_\_\_  
 Composición \_\_\_\_\_  
 Electrodo-Fundente (Clas.)Flujo \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Diám. de toberade gas \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO**

Temp.de Pre calentamiento, Min. \_\_\_\_\_  
 Temp. entre pasadas: Mín. \_\_\_\_\_ Máx. \_\_\_\_\_

Procedimiento No. 2  
 Revisión \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Por \_\_\_\_\_  
 Tipo: Manual[X] Semiaut.[] Mecaniz.[]Autom.[]

**POSICIÓN**

Posición para cost.de Ranura \_\_\_\_\_ Filete H  
 Progresión: Ascendente[] Descendente[]

**Características Eléctricas**

Modo de transferencia (GMAW):  
 Cortocircuito[] Globular [] Gota Fina[]  
 Corriente: CA [] CDEP[X] CDEN[] Pulsada[]  
 Otra \_\_\_\_\_  
 Electrodo de tungsteno (GTAW):  
 Tipo: \_\_\_\_\_ Diámetro \_\_\_\_\_

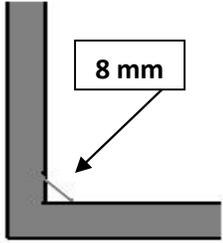
**TÉCNICA**

Cardones estrechos u oscilado oscilado  
 Pasada(s) simple o múltiple (por lado) simple  
 Número de electrodos 1  
 Espacio entre electrodos: Longitudinal \_\_\_\_\_  
 Lateral \_\_\_\_\_  
 Ángulo \_\_\_\_\_  
 Distancia pieza- boquilla de contacto \_\_\_\_\_  
 Martillado \_\_\_\_\_  
 Limpieza entre pasadas NO

**Tratamiento Térmico Posterior**

Temperatura \_\_\_\_\_  
 Tiempo \_\_\_\_\_

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

No.de Pasada	Proceso			Corriente		Voltaje (V)	Veloc de Sold (m/h)	Detalles de la unión
		Clasif.	Diám (mm)	Tipo y Polarid.	Intensid oVeloc. De Alim			
1	SMAW	E-7018	3.2	CD +	100	15	18,2	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Empresa EmpAntenasVC  
 No.de RCP que soporta -  
 Proceso(s) de soldadura SMAW

ProcedimientoNo 4  
 Revisión - Fecha - Por -  
 Tipo: Manual  Semiaut.  Mecaniz.  Autom.

**Diseño de unión empleada**

Tipo: Unión en T  
 Costura unilateral  bilateral   
 Respaldo: Si  No   
 Material del respaldo -  
 Abertura de raíz - - - Altura del talón -  
 Ángulo de ranura - Radio (J-U) -  
 Resanado: Si  No  Método -

**METALESBASE**

Especificación del material ASTM  
 Tipo grado A-36- A-501  
 Espesor: Ranura - Filete C-6  
 Diámetro (tubo) -

**METALESDE APORTE**

Especificación AWS A 5.1  
 Clasificación AWS E-7018

**PROTECCIÓN**

Fundente - Gas -  
 Composición -  
 Electrodo-Fundente (Clas.) Flujo -  
 Diám. de tobera de gas -

**PRECALENTAMIENTO**

Temp. De Pre calentamiento, Min. -  
 Temp. entre pasadas: Mín. - Máx. -

**POSICIÓN**

Posición para cost.de Ranura - Filete H  
 Progresión: Ascendente  Descendente

**Características Eléctricas**

Modo de transferencia (GMAW):  
 Cortocircuito  Globular  Gota Fina   
 Corriente: CA  CDEP  CDEN  Pulsada   
 Otra -  
 Electrodo de tungsteno (GTAW):  
 Tipo: - Diámetro -

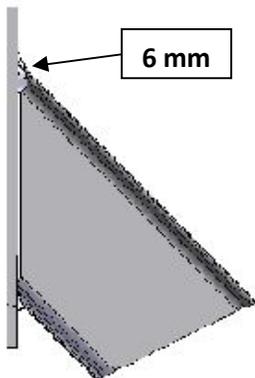
**TÉCNICA**

Cordón estrecho u oscilado osilación  
 Pasada(s) simple o múltiple (por lado) simple  
 Número de electrodos 1  
 Espacio entre electrodos: Longitudinal -  
 Lateral -  
 Ángulo -  
 Distancia pieza- boquilla de contacto -  
 Martillado -  
 Limpieza entre pasadas NO

**Tratamiento Térmico Posterior**

Temperatura -  
 Tiempo -

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

No.de Pasada	Proceso			Corriente		Voltaje (V)	Veloc de Sold (m/h)	Detalles de la unión
		Clasif.	Diám (mm)	Tipo y Polarid.	Intensid oVeloc. De Alim			
1	EMAW	E-7018	3, 2	CD +	100	15	18.2	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Empresa EmpAntenasVC  
 No.de RCP que soporta -  
 Proceso(s) de soldadura SMAW

Procedimiento No 5  
 Revisión    Fecha    Por     
 Tipo: Manual  Semiaut.  Mecaniz.  Autom.

**Diseño de unión empleada**

Tipo: Unión en T  
 Costura unilateral  bilateral   
 Respaldo: Si  No   
 Material del respaldo -  
 Abertura de raíz - - Altura del talón -  
 Ángulo de ranura - Radio(J-U) -  
 Resanado: Si  No  Método   

**METALES BASE**

Especificación del material ASTM  
 Tipo grado A-36  
 Espesor: Ranura    Filete C-6  
 Diámetro (tubo)   

**METALES DE APORTE**

Especificación AWS A 5.1  
 Clasificación AWS E-7018

**PROTECCIÓN**

Fundente - Gas -  
 Composición -  
 Electrodo-Fundente (Clas.)Flujo -  
- Diám. de tobera de gas -

**PRECALENTAMIENTO**

Temp. De Pre calentamiento, Min. -  
 Temp. Entre pasadas: Mín. - Máx. -

**POSICIÓN**

Posición paracost.de Ranura    Filete H  
 Progresión: Ascendente  Descendente

**Características Eléctricas**

Modo de transferencia (GMAW):  
 Cortocircuito  Globular  Gota Fina   
 Corriente: CA  CDEP  CDEN  Pulsada   
 Otra     
 Electrodo de tungsteno (GTAW):  
 Tipo:    Diámetro   

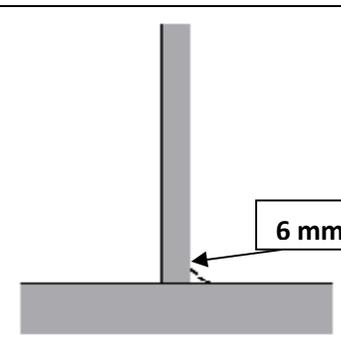
**TÉCNICA**

Cordón estrecho u oscilado osilación  
 Pasada(s) simple o múltiple (por lado) simple  
 Número de electrodos 1  
 Espacio entre electrodos: Longitudinal     
 Lateral     
   Ángulo     
 Distancia pieza- boquilla de contacto     
 Martillado     
 Limpieza entre pasadas NO

**Tratamiento Térmico Posterior**

Temperatura     
 Tiempo   

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

No.de Pasada	Proceso			Corriente		Voltaje (V)	Veloc de Sold (m/h)	
		Clasif.	Diám (mm)	Tipo y Polarid.	Intensid O Veloc. De Alim			
1	EMAW	E-7018	3.2	CD +	100	15	18,2	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Empresa EmpAntenasVC  
 No.de RCP que soporta -  
 Proceso(s) de soldadura SMAW

Procedimiento No 3  
 Revisión    Fecha    Por     
 Tipo: Manual  Semiaut.  Mecaniz.  Autom.

**Diseño de unión empleada**

Tipo: Unión en T  
 Costura unilateral  bilateral   
 Respaldo: Si  No   
 Material del respaldo -  
 Abertura de raíz - - Altura del talón -  
 Ángulo de ranura - Radio (J-U) -  
 Resanado: Si  No  Método   

**METALES BASE**

Especificación del material ASTM  
 Tipo/grado A-36- A-501  
 Espesor: Ranura    Filete C-6  
 Diámetro (tubo)   

**METALES DE APORTE**

Especificación AWS A 5.1  
 Clasificación AWS E-7018

**PROTECCIÓN**

Fundente - Gas -  
 Composición -  
 Electrodo-Fundente (Clas.) Flujo -  
- Diám. de tobera de gas -

**PRECALENTAMIENTO**

Temp.de Pre calentamiento, Min. -  
 Temp. entre pasadas :Min. - Máx. -

**POSICIÓN**

Posición para cost.de Ranura    Filete H  
 Progresión: Ascendente  Descendente

**Características Eléctricas**

Modo de transferencia (GMAW):  
 Cortocircuito  Globular  Gota Fina   
 Corriente: CA  CDEP  CDEN  Pulsada   
 Otra     
 Electrodo de tungsteno (GTAW):  
 Tipo:    Diámetro   

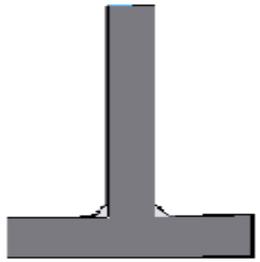
**TÉCNICA**

Cordón estrecho u oscilado oscilación  
 Pasada(s) simple o múltiple (por lado) simple  
 Número de electrodos 1  
 Espacio entre electrodos: Longitudinal     
 Lateral     
   Ángulo     
 Distancia pieza- boquilla de contacto     
 Martillado     
 Limpieza entre pasadas NO

**Tratamiento Térmico Posterior**

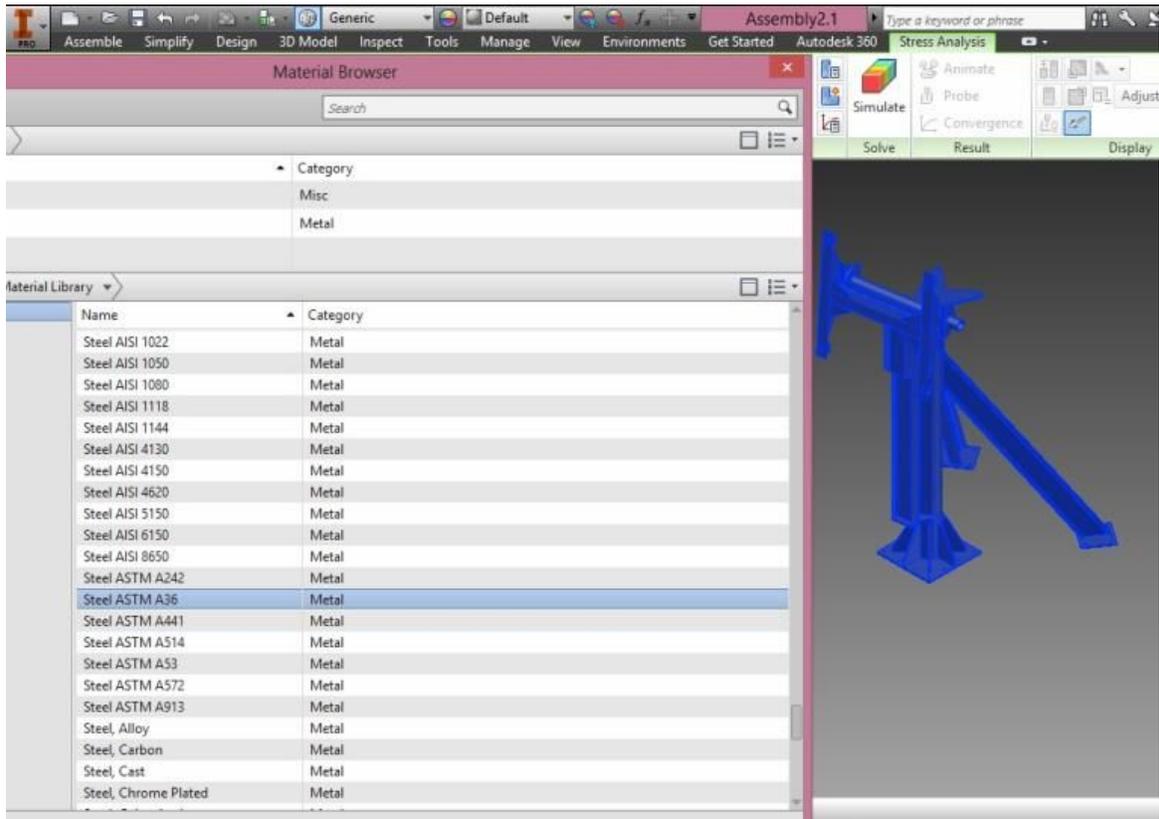
Temperatura     
 Tiempo   

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

No.de Pasada	Proceso			Corriente		Voltaje (V)	Veloc de Sold (m/h)	Detalles de la unión
		Clasif.	Diám (mm)	Tipo y Polarid.	Intensid oVeloc. De Alim			
1	EMAW	E-7018	3.2	CD +	100	15	18,2	

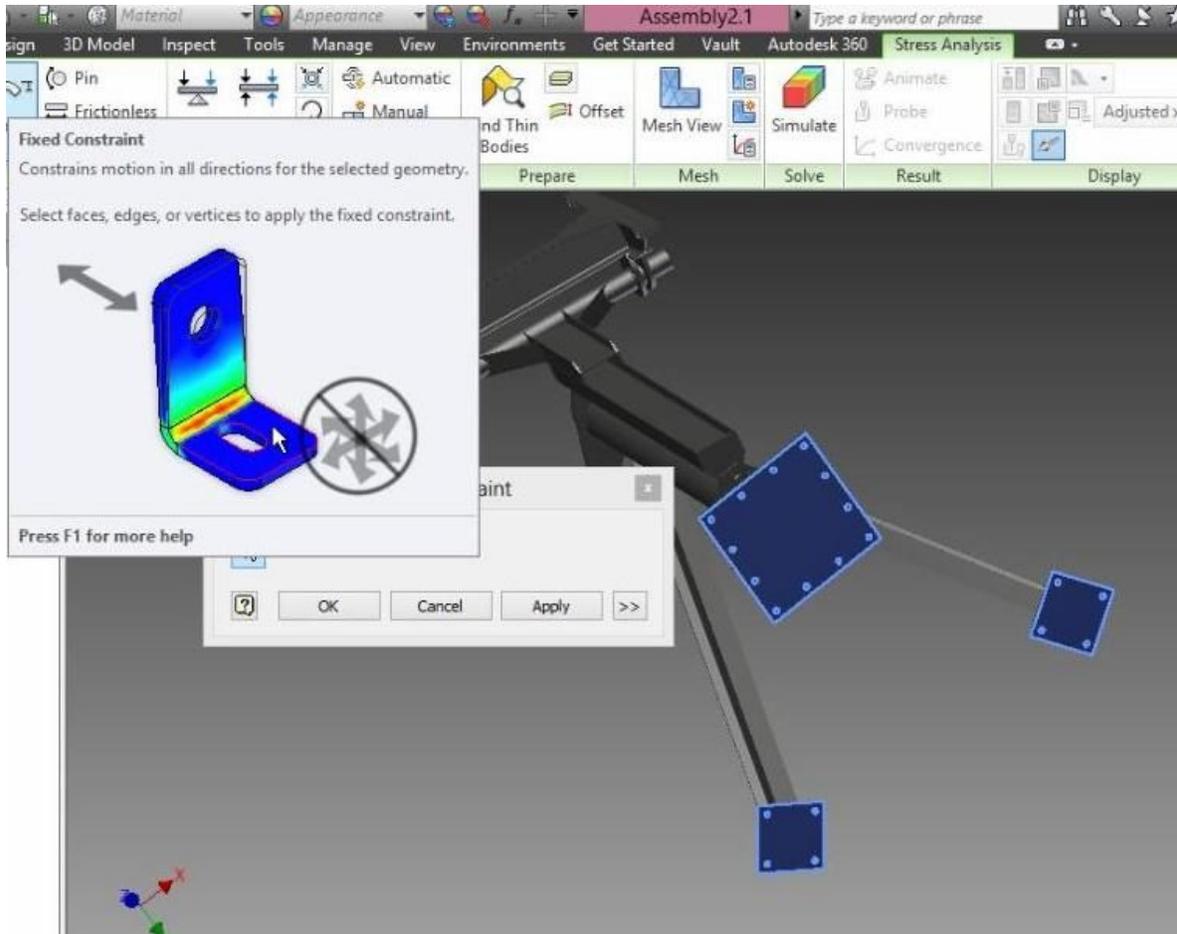
Anexo 6: Pasos para la simulación de las cargas en el sistema de soporte y posicionamiento (“Autodesk Inventor”, 2014).

Ventana de diálogo del software para la selección de los materiales.



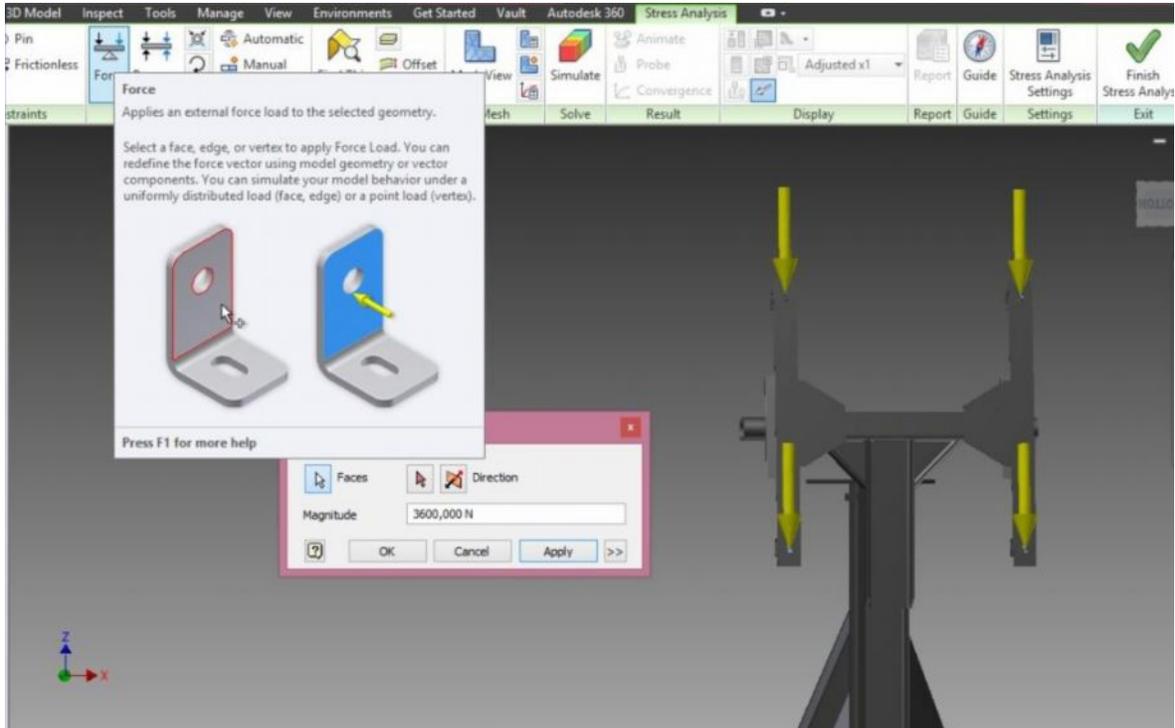
## Continuación Anexo 6

Ventana de diálogo del software para la aplicación de las restricciones de movimiento.



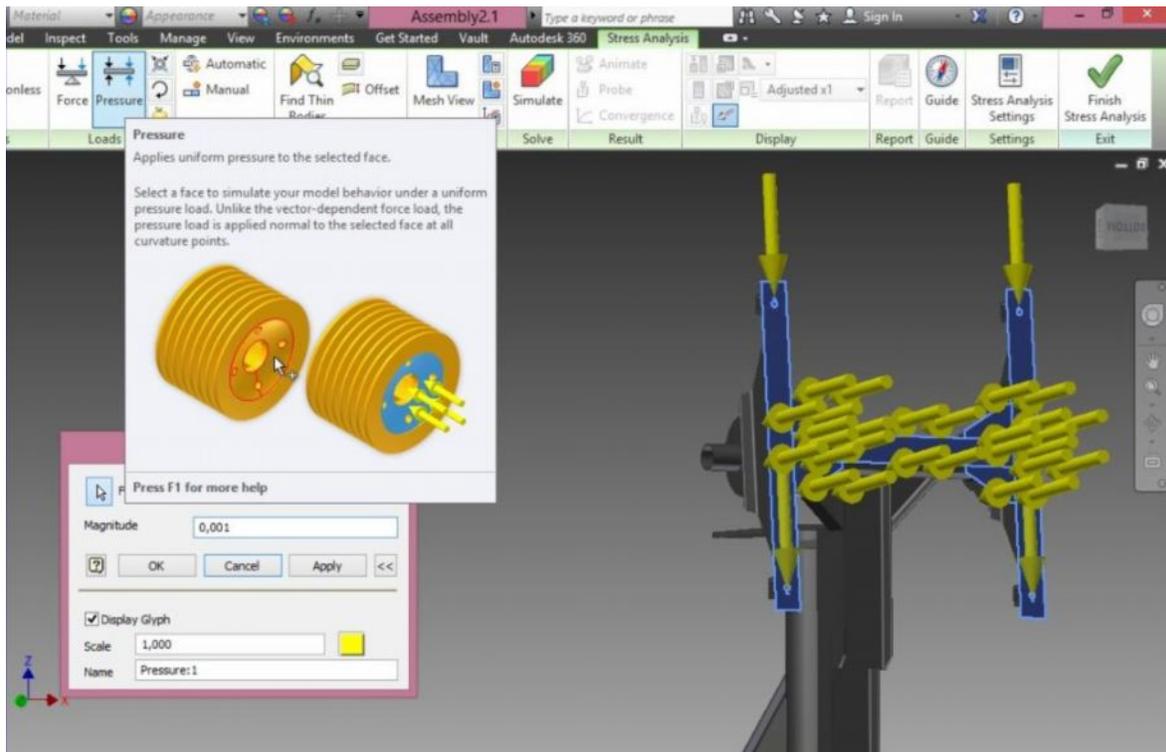
## Continuación Anexo 6

Ventana de diálogo del software para la aplicación de las cargas producto al peso de la antena parabólica.



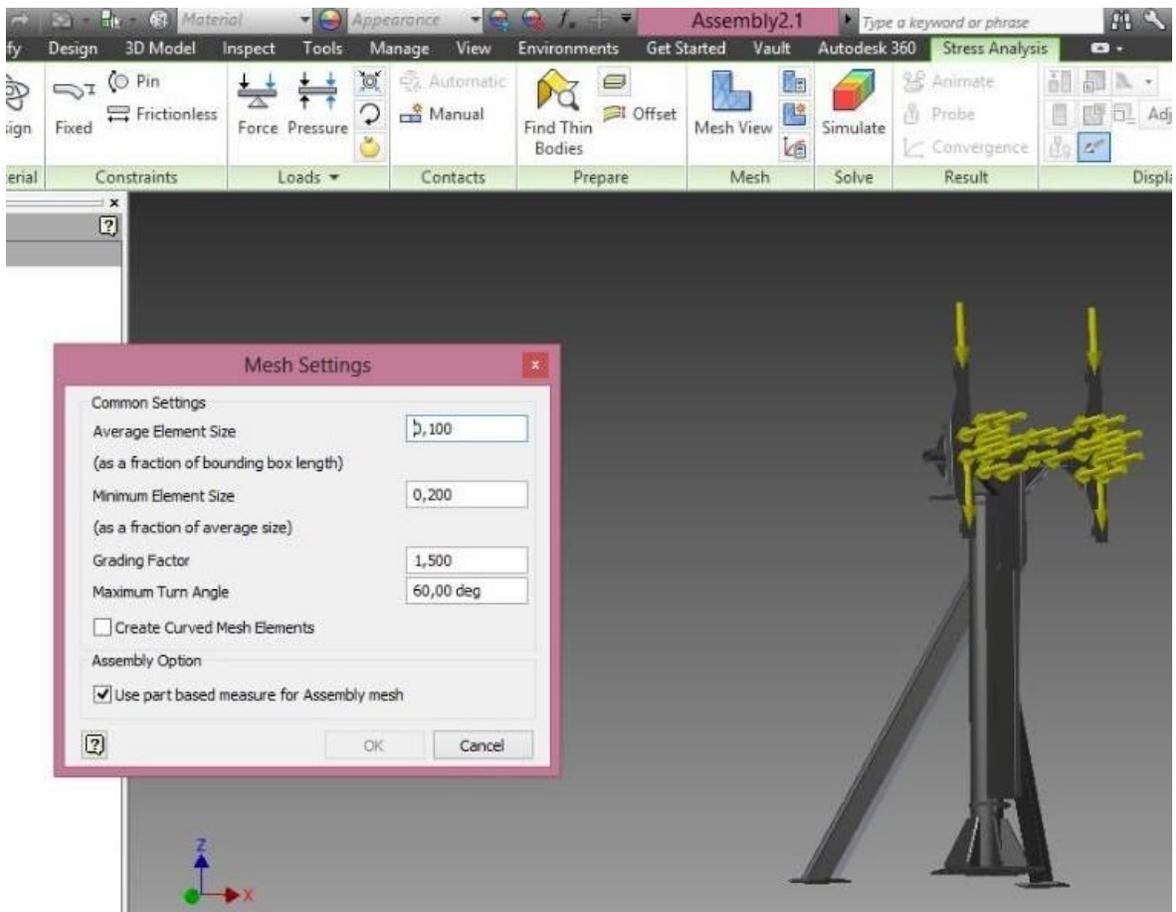
Continuación del anexo 6

Ventana de diálogo del software para la aplicación de las cargas producto la presión del viento sobre el sistema de soporte y posicionamiento.



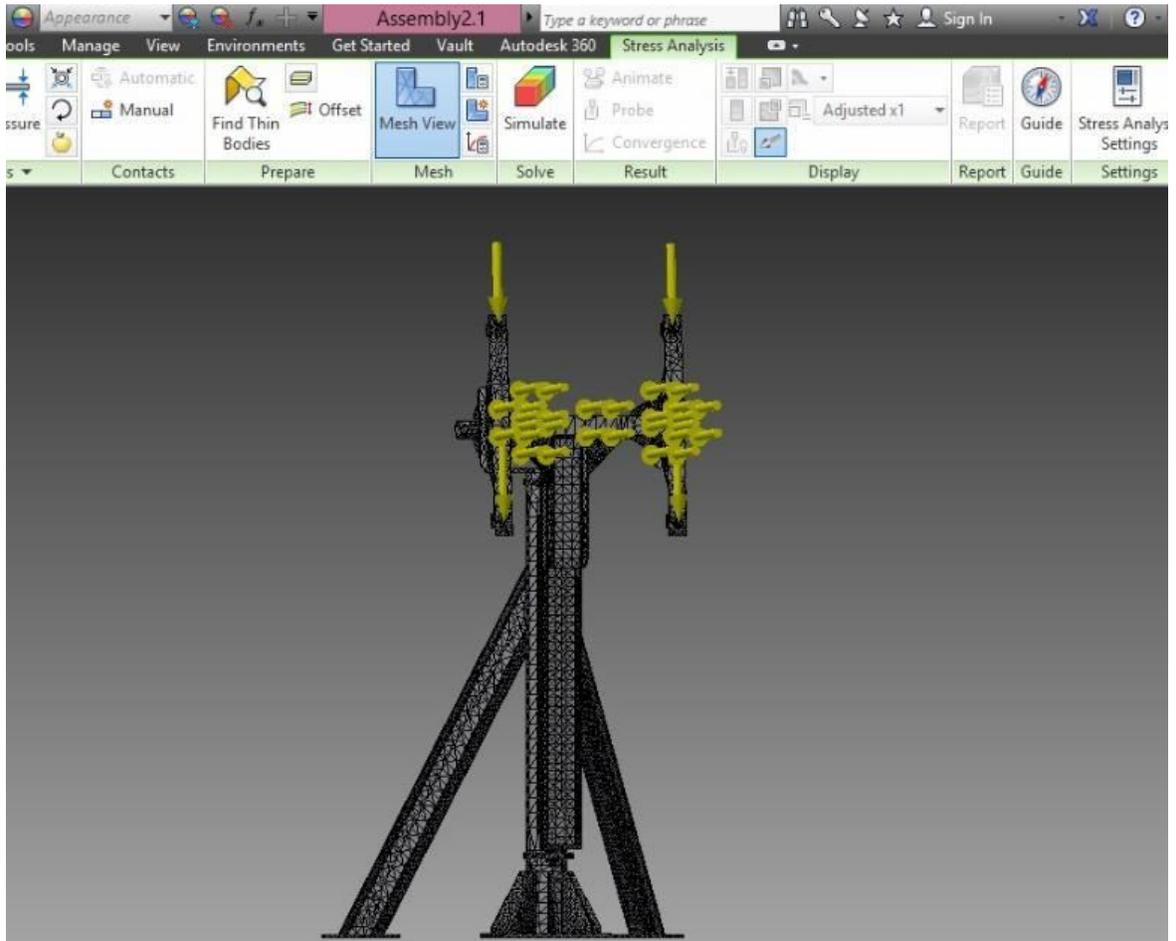
Continuación del anexo 6

Ventana de diálogo del software para el establecimiento del tamaño de la malla.



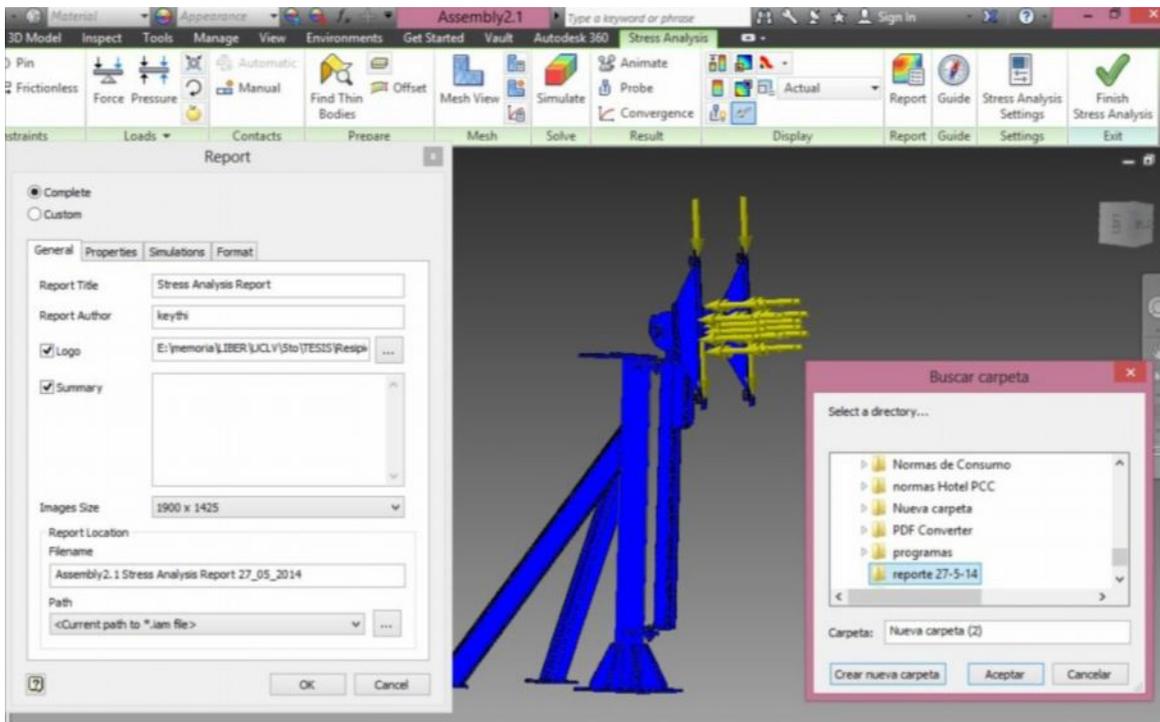
Continuación del anexo 6

Aplicación del mallado en la estructura.



Continuación del anexo 6

Cuadro de diálogo para comenzar la simulación.



## Anexo 7: Reporte de resultados de la simulación en el Software Autodesk Inventor (“Autodesk Inventor”, 2014).

### Stress AnalysisReport



Analyzed File: Assembly2.1.iam  
Autodesk Inventor Version: 2014 (Build 180170000, 170)  
Creation Date: 27/05/2014, 7:19  
SimulationAuthor: keythi  
Summary:

#### Project Info (iProperties)

##### Summary

Author KeythiRoxanna

##### Project

PartNumber Assembly2.1  
Designer KeythiRoxanna  
Cost 0,00 €  
Date Created 02/04/2014

##### Status

Design Status WorkInProgress

##### Physical

Mass 582,023 kg  
Area 15011400 mm<sup>2</sup>  
Volume 74152100 mm<sup>3</sup>  
Center of Gravity x=-9,55661 mm  
y=-490,887 mm  
z=145,877 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

## Cont. Anexo 7

### Simulation:1

#### General objective and settings:

DesignObjective	Single Point
SimulationType	StaticAnalysis
LastModification Date	27/05/2014, 7:16
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
MotionLoadsAnalysis	No

#### Meshsettings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. TurnAngle	60 deg
CreateCurvedMeshElements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

#### Material(s)

Name	Steel ASTM A36
MassDensity	7,84905 g/cm <sup>3</sup>
General YieldStrength	248,225 MPa
UltimateTensileStrength	399,9 MPa
Young'sModulus	199,959 GPa
Stress Poisson's Ratio	0,3 ul
ShearModulus	76,9073 GPa

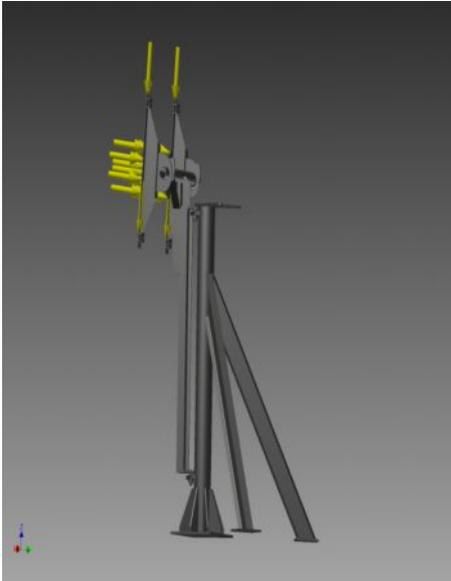
#### Operatingconditions

##### Force:2

Load Type	Force
Magnitude	900.000 N
Vector X	11.141 N
Vector Y	-68.823 N
Vector Z	-897.296 N

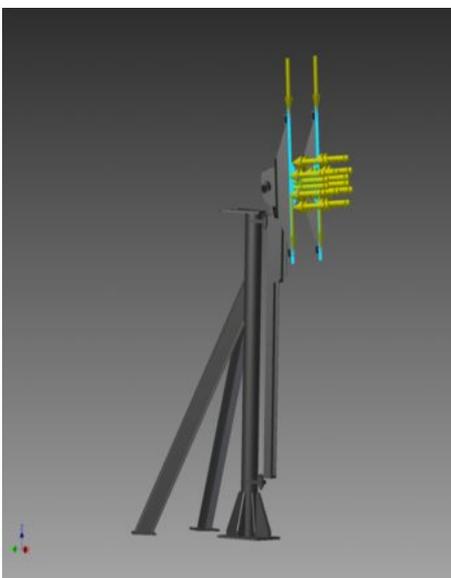
## Cont. Anexo 7

### Selected Face(s)



**Pressure:1** Load Type Pressure

Magnitude: 0.001 MPa



**Selected Face(s)**

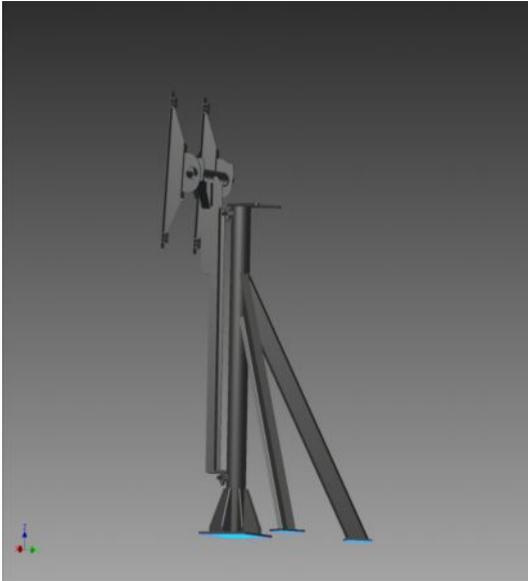
**Fixed Constraint:1**

ConstraintType FixedConstraint



## Cont. Anexo 7

### SelectedFace(s)



### Results

#### Reaction Force and Moment on Constraints

ConstraintName	ReactionForce		ReactionMoment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1		52,0391 N		141,676 N m
	983,498 N	-321,476 N	225,238 N	173,484 N m
		928,016 N	m	23,7328 N m

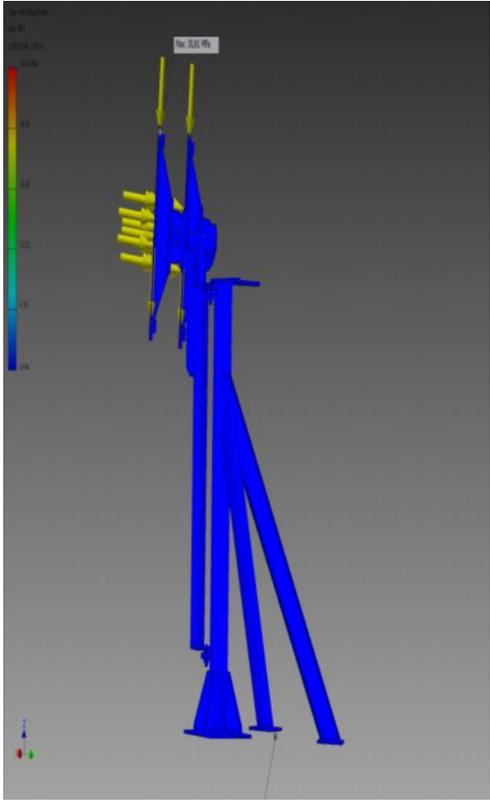
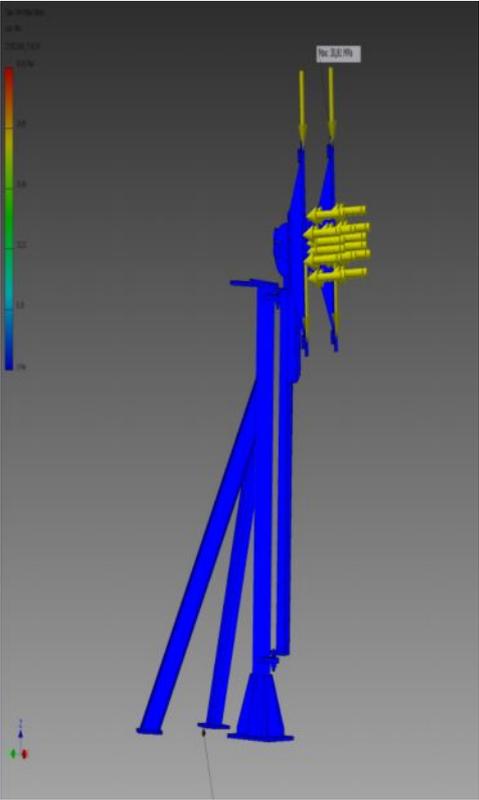
**Cont. Anexo 7**

**ResultSummary**

<b>Name</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Volume	74152100 mm <sup>3</sup>	
Mass	582,024 kg	
Von Mises Stress	0,00000139861 MPa	30,8069 MPa
1st Principal Stress	-5,50944 MPa	33,1667 MPa
3rd Principal Stress	-35,6295 MPa	3,66767 MPa
Displacement	0 mm	0,0918764 mm
Safety Factor	8,05743 ul	15 ul
Stress XX	-8,12525 MPa	5,5952 MPa
Stress XY	-5,67275 MPa	7,55877 MPa
Stress XZ	-3,24817 MPa	3,63903 MPa
Stress YY	-33,1666 MPa	32,7132 MPa
Stress YZ	-5,58537 MPa	6,63514 MPa
Stress ZZ	-9,97911 MPa	9,78012 MPa
X Displacement	-0,0207646 mm	0,00225318 mm
Y Displacement	-0,0682279 mm	0,0572289 mm
Z Displacement	-0,0707748 mm	0,00060675 mm
EquivalentStrain	0,0000000000695039 ul	0,000136461 ul
1st Principal Strain	-0,000000655002 ul	0,000156211 ul
3rd Principal Strain	-0,000155454 ul	0,000000847662 ul
Strain XX	-0,0000333269 ul	0,0000362425 ul
Strain XY	-0,0000368804 ul	0,0000491421 ul
Strain XZ	-0,0000211174 ul	0,0000236586 ul
Strain YY	-0,000144935 ul	0,000153263 ul

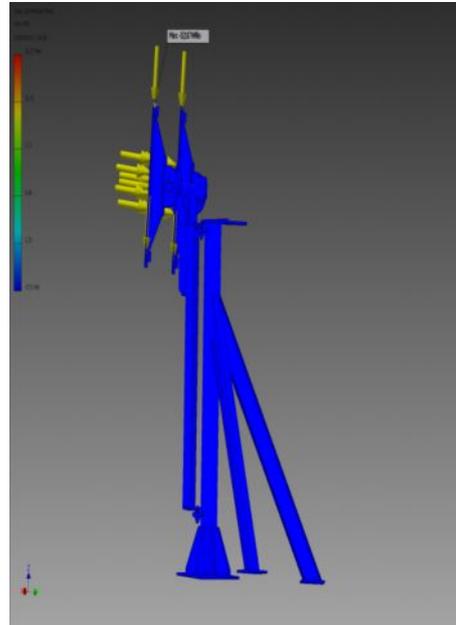
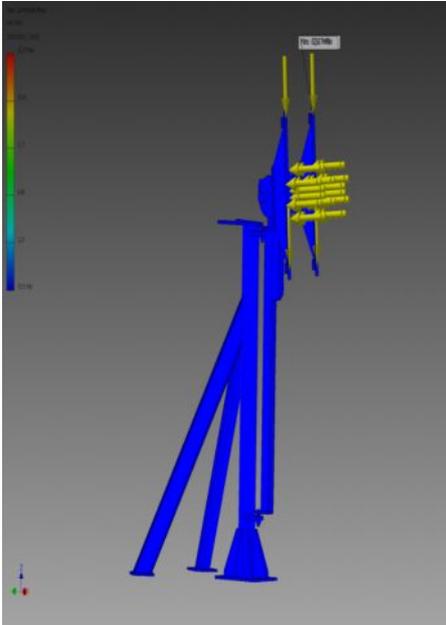
Strain YZ	-0,0000363123 ul	0,0000431373 ul
Strain ZZ	-0,0000558784 ul	0,0000449868 ul
ContactPressure	0 MPa	77,8689 MPa
ContactPressure X	-25,4239 MPa	16,5943 MPa
ContactPressure Y	-60,904 MPa	75,9064 MPa
ContactPressure Z	-37,141 MPa	21,9456 MPa

**Von Mises Stress**

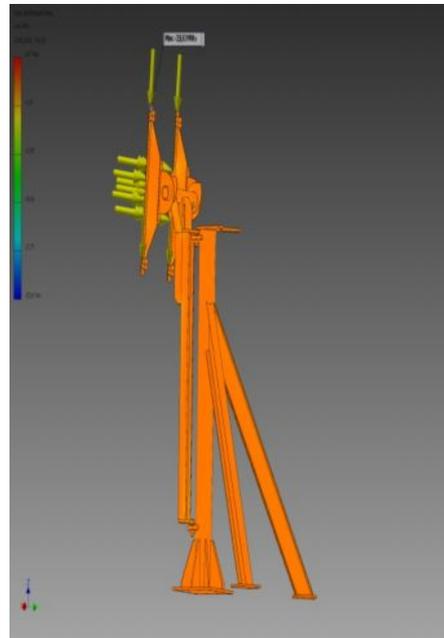
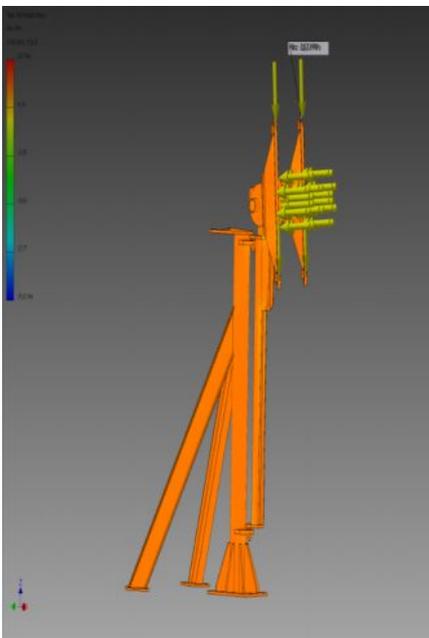


## Cont. Anexo 7

### 1st Principal Stress

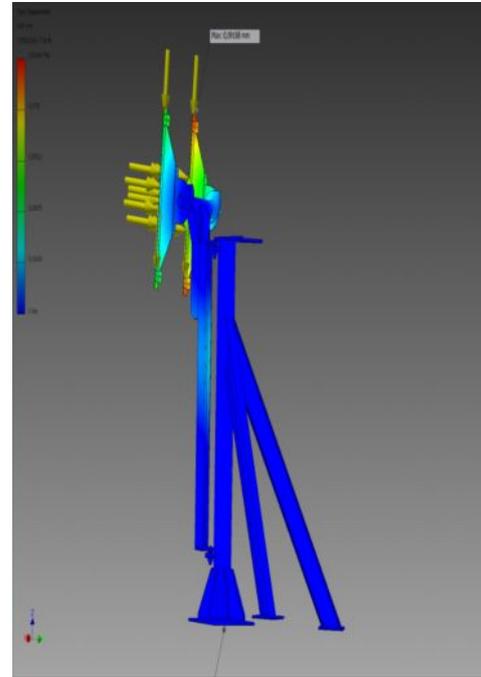
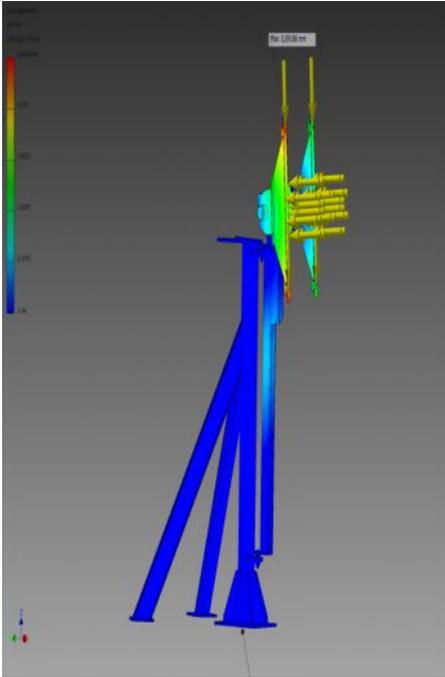


### 3rd Principal Stress

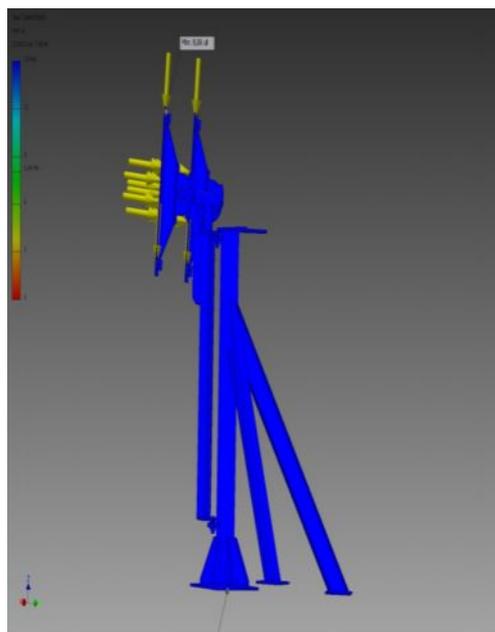
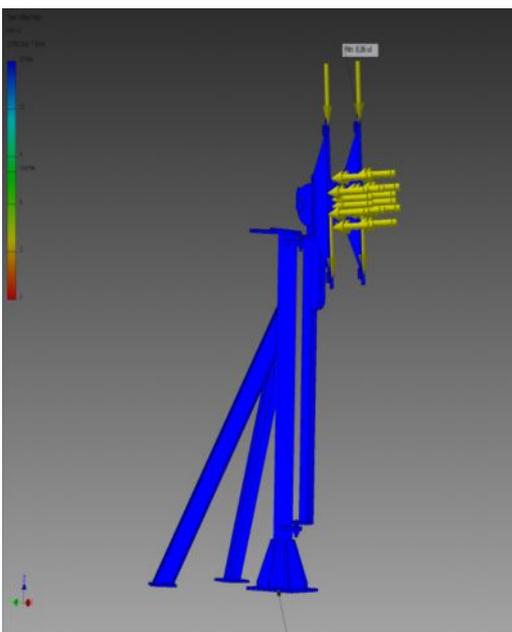


## Cont. Anexo 7

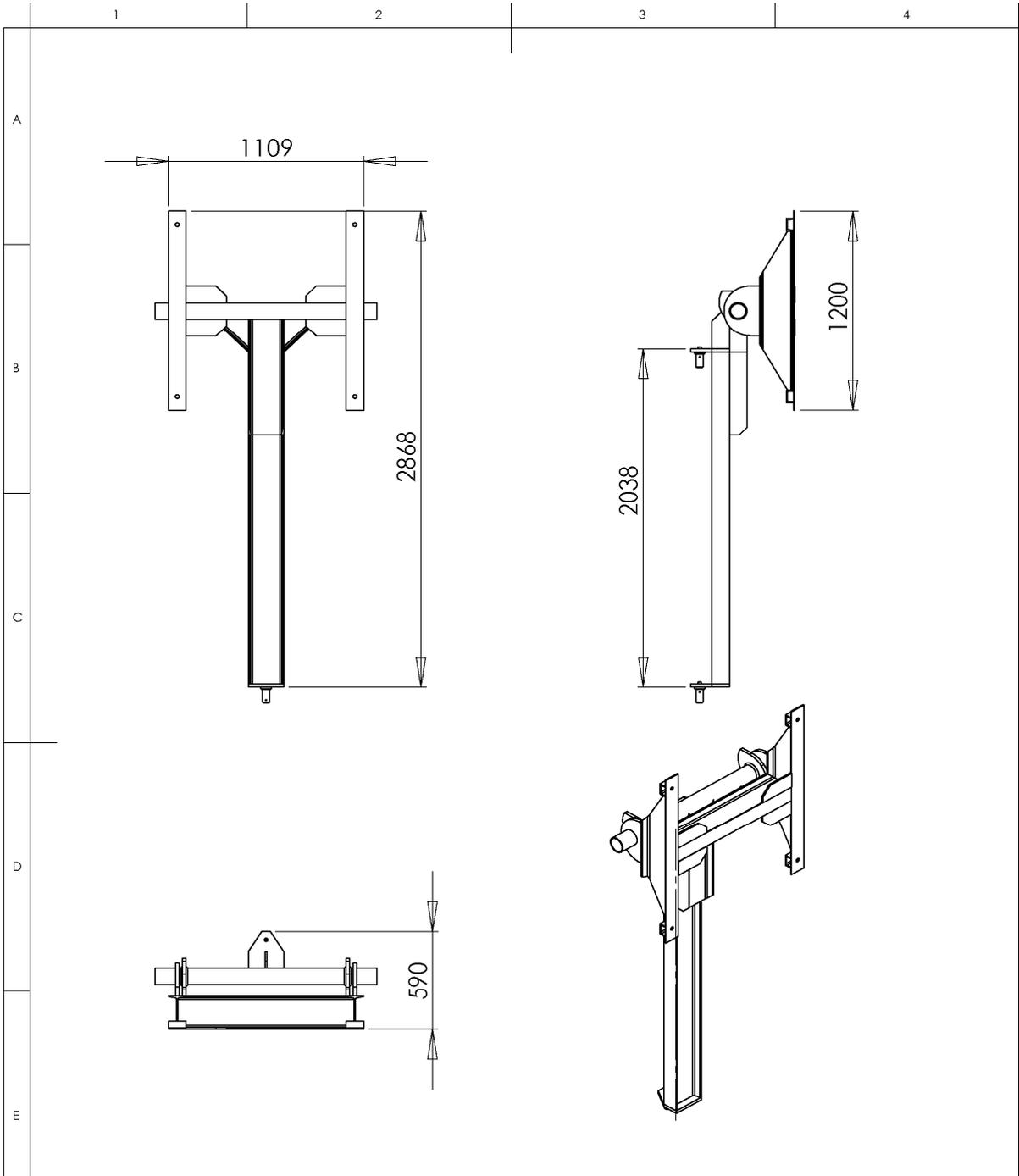
### Displacement



### Safety Factor



# Anexo 8: Plano de ensamble estructura móvil.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								TITLE:			
								DWG NO. <b>Estructura Movil</b> A4			
								SCALE:1:50 SHEET 1 OF 1			

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN						
CHKD						
APPVD						
MFG						
Q.A						
				MATERIAL:		
				WEIGHT:		

**Anexo 9: Criterio de Aceptación de Inspección Visual según Código AWS D1.1 (Colectivo de autores, 2006).**

Categoría de Discontinuidad y Criterio de Inspección	Uniones No Tubulares Cargadas Estáticamente	Uniones No Tubulares Cargadas Cíclicamente	Uniones Tubulares (Todas las Cargas)												
(1) Prohibición de Fisuras La soldadura no debe tener fisuras.	X	X	X												
(2) Fusión de Soldadura / Metal Base Debe existir fusión a través de los cordones adyacentes de metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X	X												
(3) Cráter en la Sección Transversal Todos los cráteres deben ser llenados, excepto para los extremos de soldadura de filete discontinuos fuera de su largo efectivo.	X	X	X												
(4) Perfiles de Soldadura Los perfiles de soldadura deben estar conformes a 5.24.	X	X	X												
(5) Tiempo de Inspección La inspección visual de soldaduras en todos los aceros puede empezar inmediatamente después que la soldadura terminada se haya enfriado hasta temperatura ambiente. El criterio de aceptación para aceros de alta resistencia (del tipo ASTM A514, A517, y A709 Grado 100 y 100W) debe estar basado en una inspección visual realizada no menos de 48 horas luego de la terminación de la soldadura.	X	X	X												
(6) Soldaduras subdimensionadas El tamaño de filete de soldadura en cualquier soldadura continua puede ser menor que el especificado (L) sin necesitar corrección, para los siguientes valores (U):	X	X	X												
<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">L</td> <td style="text-align: center;">U</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><u>Tamaño de soldadura nominal</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Diferencia admisible respecto de L</u></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">en mm</td> <td style="text-align: center;">en mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">2.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> </table>				L	U	<u>Tamaño de soldadura nominal</u>	<u>Diferencia admisible respecto de L</u>	en mm	en mm	5	2	6	2.5	8	3
L				U											
<u>Tamaño de soldadura nominal</u>				<u>Diferencia admisible respecto de L</u>											
en mm	en mm														
5	2														
6	2.5														
8	3														
En todos los casos la disminución del tamaño de soldadura será $\leq 10\%$ del largo de la soldadura. En las soldaduras alma con ala en vigas, no se permite subdimensionamiento en los extremos para un largo igual a dos veces el ancho del ala.															
(7) Socavación															
(A) Para materiales de espesores menores que 25 mm, la socavación será $\leq 1$ mm, excepción: se permitirá una socavación máxima de 2 mm en un largo acumulado de 50 mm en cualquier tramo de 300 mm. Para materiales de espesores $\geq 25$ mm, la socavación deberá ser $\leq 2$ mm para cualquier largo de soldadura.	X														
(B) En miembros principales, la socavación será $\leq 0.25$ mm de profundidad cuando la soldadura es transversal a esfuerzos de tracción bajo cualquier condición de cargas de diseño. La socavación deberá ser $\leq 1$ mm de profundidad para los otros casos.		X	X												
(8) Porosidad	X														
(A) Las soldaduras a tope con JPC, transversales a la dirección de los esfuerzos de tracción computados no deberán tener ninguna porosidad vermicular visible. Para todas las otras soldaduras con bisel o soldaduras de filete, la suma de la porosidad vermicular visible $\geq 1$ mm en diámetro, será $\leq 10$ mm en cualquier tramo lineal de 25 mm de soldadura y $\leq 20$ mm en cualquier tramo de 300 mm de largo de la soldadura.															
(B) La frecuencia de porosidad vermicular en soldadura de filete será menor o igual que una cada 100 mm de la largo de la soldadura y el diámetro máximo tramo lineal de 25 mm de soldadura y $\leq 20$ mm en cualquier tramo de 300 mm de largo de la soldadura.															
(B) La frecuencia de porosidad vermicular en soldadura de filete será menor o igual que una cada 100 mm de la largo de la soldadura y el diámetro máximo será $\leq 2,5$ mm. Excepción: las soldaduras de filete que unen los rigidizadores a la viga, la suma de los diámetros de la porosidad vermicular deberá ser $\leq 10$ mm en cualquier tramo lineal de 25 mm de soldadura y $\leq 20$ mm en cualquier tramo de 300 mm de largo de la soldadura.															
(C) Las soldaduras a tope con JPC, transversales a la dirección de los esfuerzos de tracción calculados no deberán tener ninguna porosidad vermicular visible. Para todas las otras soldaduras con bisel, la frecuencia de porosidad vermicular en soldadura de filete será menor o igual que una cada 100 mm de la largo de la soldadura y el diámetro máximo será $\leq 2,5$ mm.															

1. Una "X" indica aplicabilidad para el tipo de unión; el área sombreada indica no aplicabilidad.

**Anexo 10:** Imagen de la ventana del software Autodesk Inventor de la cual se extrajo el peso de la estructura móvil y la ubicación de su centro de masa (“Autodesk Inventor”, 2014).

