

**DISEÑO, MODELADO Y PROTOTIPADO VIRTUAL  
DE UN ELEVADOR PARA OPERARIOS DE  
INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**OSCAR JAVIER CULMAN MORA  
EDUARDO ANDRÉS CULMAN MORA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.005**

**DISEÑO, MODELADO Y PROTOTIPADO VIRTUAL  
DE UN ELEVADOR PARA OPERARIOS DE  
INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**OSCAR JAVIER CULMAN MORA  
EDUARDO ANDRÉS CULMAN MORA**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
ALFREDO PARADA CORRALES  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.005**

## DEDICATORIA

A Dios por su eterno e inmenso amor,

A Silvia Fernanda mi hija y José Onías mi padre, descendencia y ascendencia de mi vida.

A mis hermanos, Eduardo Andrés, Juan José, María Alejandra, Juan Carlos, Camilo Ernesto.

A Angelita, mi madre y Eliana María, las mujeres de mi vida

### **Oscar**

A Dios,

A mi padre José Onías, que a le debo todo lo que soy por su constante ayuda y deseos que todos sus hijos tengamos muchos éxitos, su ejemplo de vida y consejos que me han formado como persona

A mis hermanos, Oscar Javier, Juan José, María Alejandra, Juan Carlos y Camilo Ernesto.

A Angelita, que ha sido el apoyo incondicional de mi padre, por su paciencia con nosotros; a Carmenza mi madre que por lejos que estemos siempre esta presente.

A mis amigos de Santa Catalina donde viví mi infancia y adolescencia.

A mis amigos del LEY ACROPOLIS.

A la persona que en este periodo me ha acompañado, Jenny M. Sanchez

### **Eduardo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor **Alfredo Parada Corrales**, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A nuestros familiares, que nos motivaron de una u otra forma a culminar este trabajo.

A José David Verdeza, por su apoyo y colaboración durante este proyecto.

A todos aquellas personas que con su amistad, confianza y consejos nos hicieron y harán lo que somos y seremos.

**Oscar Javier Culman Mora.**

**Eduardo Andrés Culman Mora.**

A todos mis amigos, Diego, Iván Javier, Luís Carlos, Julián, Jorge, Javier, Andrés Felipe, Pedro por su apoyo y estímulos.

A mis entrenadores y amigos, Fernando Ballesteros, Fabio Gómez y Gustavo Montealegre.

**Oscar Javier Culman Mora.**

# CONTENIDO

pág.

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.</b> .....                                                                                | <b>1</b>  |
| <b>1. FASE DE INVESTIGACIÓN.</b> .....                                                                    | <b>4</b>  |
| 1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.....                                                                  | 4         |
| 1.2. CONCEPTUALIZACIÓN.....                                                                               | 5         |
| 1.2.1. Salud ocupacional y trabajos en alturas.....                                                       | 5         |
| 1.2.2. Sistema de permisos para trabajos en alturas. ....                                                 | 6         |
| 1.2.3. Aporte de la ingeniería en la solución de problemas de<br>seguridad industrial y ocupacional. .... | 7         |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO. ....                                                             | 7         |
| 1.4. FASE DE ESTUDIO.....                                                                                 | 9         |
| 1.4.1. Posibilidades existentes en el mercado para trabajos en alturas. 9                                 |           |
| 1.5. VISIÓN GLOBAL DEL DISEÑO GRÁFICO FUNCIONAL Y<br>ESTRUCTURAL DEL APARATO. ....                        | 10        |
| 1.6. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DEL ELEVADOR DISEÑAR. 16                                                 |           |
| <b>2 FASE DE MODELADO.</b> .....                                                                          | <b>17</b> |
| 2.1. DEFINICIÓN DE DISEÑO. ....                                                                           | 17        |
| 2.2. CAD/ CAE /CAM.....                                                                                   | 19        |
| 2.3. C.A.D. DEL ELEVADOR. ....                                                                            | 24        |
| 2.3.1. Partes del elevador.....                                                                           | 25        |
| 2.3.1.6. Sistema de elevación y de potencia .....                                                         | 26        |
| 2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DESLIZANTE DE COLUMNAS. ....                                                      | 27        |
| 2.4.1. Principio.....                                                                                     | 27        |
| 2.4.2. Perfiles móviles.....                                                                              | 29        |
| 2.4.3. Perfiles estáticos. ....                                                                           | 29        |
| 2.4.4. Pestañas de elevación. ....                                                                        | 29        |
| 2.4.5. Primera columna. ....                                                                              | 30        |
| 2.4.6. Columna final. ....                                                                                | 30        |
| 2.5. DISEÑO DE LA BASE. ....                                                                              | 30        |
| 2.5.1. Fundamento.....                                                                                    | 30        |
| 2.6. DISEÑO DE LA PLATAFORMA.....                                                                         | 31        |
| 2.6.1. Requisito.....                                                                                     | 31        |

|          |                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7      | SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO.....                   | 32        |
| 2.7.1    | Propiedades físicas de la aleación de aluminio 7178-T6..... | 32        |
| 2.7.2    | Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6061-T6..... | 36        |
| <b>3</b> | <b>FASE DE PROTOTIPADO, ANALISIS CAE .....</b>              | <b>42</b> |
| 3.1      | INTRODUCCIÓN.....                                           | 42        |
| 3.2      | ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS. ....                   | 43        |
| 3.2.1    | ANSYS Workbench V8.1. ....                                  | 43        |
| 3.3      | SIMULACION GENERAL.....                                     | 43        |
| 3.3.1    | Geometría.....                                              | 43        |
| 3.3.2    | Contactos.....                                              | 44        |
| 3.3.3    | Tipos de contactos.....                                     | 44        |
| 3.3.4    | Bonded.....                                                 | 44        |
| 3.3.5    | No Separation.....                                          | 44        |
| 3.3.6    | Frictionless.....                                           | 45        |
| 3.3.7    | Rouge.....                                                  | 45        |
| 3.3.8    | Frictional.....                                             | 45        |
| 3.4      | MESH.....                                                   | 46        |
| 3.4.1    | Detalle del enmallado.....                                  | 48        |
| 3.5      | ENVIRONMENT.....                                            | 49        |
| 3.5.1    | Fuerza del cable.....                                       | 49        |
| 3.5.2    | Fuerza de la plataforma.....                                | 50        |
| 3.5.3    | Compression only support.....                               | 51        |
| 3.5.4    | Estandard earth gravity.....                                | 52        |
| 3.5.5    | Solution.....                                               | 53        |
| 3.5.6    | Details of "Solution".....                                  | 54        |
| 3.6      | RAMA DE LA SOLUCIÓN.....                                    | 55        |
| 3.6.1    | Opciones en la simulación de la fatiga.....                 | 55        |
| 3.6.2    | Fatigue tool.....                                           | 55        |
| 3.6.3    | Fatigue strength factor (Kf).....                           | 58        |
| 3.6.4    | Loading.....                                                | 58        |
| 3.6.5    | Scale factor.....                                           | 58        |
| 3.7      | Options.....                                                | 59        |
| 3.7.1    | Analysis type.....                                          | 59        |
| 3.7.2    | Stress component.....                                       | 59        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....</b>                     | <b>60</b> |
| 4.1      | SIMULACIÓN GENERAL.....                                     | 60        |
| 4.2      | SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOLDADOS.....                   | 61        |
| 4.2.1    | Base.....                                                   | 61        |
| 4.3      | RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOLDADOS.....  | 63        |

|          |                                          |           |
|----------|------------------------------------------|-----------|
| 4.4      | SIMULACIÓN DE LOS EJES Y LAS POLEAS..... | 64        |
| 4.4.1    | CAD, CAE de las poleas y sus ejes. ....  | 64        |
| 4.4.2    | Enmallado .....                          | 65        |
| 4.4.3    | Entorno. ....                            | 67        |
| 4.4.4    | Fatiga.....                              | 68        |
| 4.4.5    | Fatigue strength factor (Kf).....        | 68        |
| 4.4.6    | Loading.....                             | 69        |
| 4.4.7    | Options .....                            | 69        |
| 4.5      | RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN .....        | 71        |
| 4.6      | ELEMENTOS DE SELECCIÓN.....              | 75        |
| 4.6.1    | Malacate y Cables.....                   | 76        |
| 4.6.2    | Rodamientos. ....                        | 76        |
| 4.6.3    | Elementos de fijación. ....              | 76        |
| 4.7      | ACCESORIOS.....                          | 78        |
| 4.7.1    | Unidad central de Mando. ....            | 78        |
| 4.7.2    | Sensores de Nivel. ....                  | 78        |
| 4.7.3    | Finales de carrera o de proximidad. .... | 78        |
| 4.7.4    | Sensores de peso, carga o presión.....   | 79        |
| 4.7.5    | Baterías Auxiliares. ....                | 79        |
| 4.7.6    | Sistema de rodachines o ruedas. ....     | 79        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                | <b>80</b> |
|          | <b>RECOMENDACIONES .....</b>             | <b>81</b> |
|          | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                | <b>82</b> |
|          | <b>ANEXOS .....</b>                      | <b>83</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                       | <b>pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Riesgo de trabajo en alturas.                               | 6           |
| Figura 2. Obreros y elementos de protección para trabajos en alturas. | 8           |
| Figura 3. Diseño asistido por ordenador.                              | 20          |
| Figura 4. Motor diseñado con la ayuda de computadoras.                | 23          |
| Figura 5. Sistema de rieles deslizantes de escritorio.                | 28          |
| Figura 6a. Enmallado total del conjunto del elevador.                 | 48          |
| Figura 6b. Características del enmallado.                             | 48          |
| Figura 7. Fuerza del cable.                                           | 50          |
| Figura 8. Fuerza del la plataforma.                                   | 51          |
| Figura 9. Reacciones en los apoyos.                                   | 52          |
| Figura 10. Gravedad de la tierra                                      | 53          |
| Figura 11a. Detalles de la solución.                                  | 54          |
| Figura 11b. Características de los detalles de la solución.           | 55          |
| Figura 12a. Rama de la solución.                                      | 56          |
| Figura 12b. Características de la rama de la solución.                | 56          |
| Figura 13a. Herramienta de Fatiga.                                    | 57          |
| Figura 13b. Características de la herramienta de Fatiga.              | 58          |
| Figura 14a. Simulación de la base soldada.                            | 62          |
| Figura 14b. Características de la simulación de la base soldada.      | 62          |
| Figura 15a. Factor de seguridad de la base.                           | 63          |
| Figura 15b. Punto crítico de la base.                                 | 64          |
| Figura 16. Enmallado de eje y poleas.                                 | 66          |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17. Enmallado de eje y poleas refinado.                            | 66 |
| Figura 18. Fuerzas en el eje y las poleas.                                | 68 |
| Figura 19a. Herramienta de Fatiga en poleas y ejes.                       | 70 |
| Figura 19b. Características de la herramienta de Fatiga en poleas y ejes. | 70 |
| Figura 20. Factor de seguridad de poleas y ejes.                          | 71 |
| Figura 21. Punto crítico de las poleas y ejes.                            | 72 |
| Figura 22. Deformación máxima del eje.                                    | 73 |
| Figura 23. Conjunto poleas y ejes                                         | 74 |
| Figura 24. Factor de seguridad del conjunto poleas y ejes.                | 75 |
| Figura 25a. Estructura que eleva el malacate.                             | 77 |
| Figura 25b. Peso que eleva el malacate.                                   | 78 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                  | <b>pág.</b> |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Plataformas.                                            | 12          |
| Tabla 2. Manipuladores telescópicos.                             | 13          |
| Tabla 3. Andamios.                                               | 13          |
| Tabla 4. Propiedades físicas de la aleación de aluminio 7178-T6. | 33          |
| Tabla 5. Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6061-T6. | 37          |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                 | <b>pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| Anexo A. Perfiles y secciones de aleación de aluminio 6061-T6.  | 84          |
| Anexo B. Winches eléctricos.                                    | 88          |
| Anexo C. Reporte de ANSYS Workbench de la estructura y la base. | 93          |
| Anexo D. Reporte de ANSYS Workbench del eje y poleas.           | 114         |

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

**DISEÑO, MODELADO Y PROTOTIPADO VIRTUAL DE UN ELEVADOR PARA OPERARIOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO \***

### **AUTORES:**

Oscar Javier Culman Mora.

Eduardo Andrés Culman Mora.

### **PALABRAS CLAVES:**

Diseño, Modelado, Prototipado, Elevador.

### **DESCRIPCIÓN:**

En el trabajo de grado se diseñó, modeló y prototipó un sistema mecánico de elevación para personas, las cuales están encargadas de realizar trabajos en alturas que ponen en riesgo su integridad física, con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de atender las necesidades de las distintas empresas y personas del país.

El elevador se modeló virtualmente con la herramienta CAD SolidEdge V14, y se prototipo virtualmente esta estructura utilizando software CAE ANSYS Workbench V8.1, como resultado de la utilización de estas herramientas computacionales se obtuvo un diseño con análisis ingenieril logrando características esenciales como son, bajo peso, alta resistencia, confiabilidad, y funcionalidad.

---

\* Trabajo de Grado

## SUMMARY

**TITLE:**

**DESIGN, MODELING AND VIRTUAL PROTOTYPE OF A ELEVATOR FOR OPERATORS OF INSTALL AND MAINTENANCE \***

**AUTHORS:**

Oscar Javier Culman Mora.

Eduardo Andrés Culman Mora.

**KEY WORDS:**

Design, Modeling, Prototype, Simulation, Elevator.

**DESCRIPTION:**

The objective of this project is to endow to the mission of the Industrial University of Santander, to solve the needs of people of this country, in this degree work was designed and was made a virtual prototype a mechanical of a system to lift people who work on height and his life or fiscal integrity it's put on risk.

This elevator was virtually modeling by CAD SolidEdge V14 tool and this structure was made virtually by a software called ANSYS Workbench V8.1 CAE, the result of both computational tools, give us a design by engineering analysis, getting from this a basic features like a few weight, endurance, reliability and adequate perform.

---

\* Degree Work.

## INTRODUCCIÓN.

En el desempeño de las tareas de instalación o mantenimiento a lo largo de la historia, el hombre diseñó mecanismos que le ayudaron a lograr los propósitos que se trazó. Ayudado por experiencia o el estudio de los mismos problemas que se le presentaron fue depurando el diseño de estas unidades para lograr una utilización más racional de recursos naturales disponibles.

Con el paso del tiempo esto no fue suficiente, también descubrió que el recurso humano es tan o mas importante que los recursos materiales con los que contaba; es en este momento cuando se empieza a dar prioridad a la protección de las personas que trabajaban en lugares riesgosos, donde las mismas actividades tienen implícito amenazas para la integridad personal del trabajador; por ello actualmente todo patrono debe suministrar las herramientas y materiales necesarios para la protección del trabajador, abarcando esto desde la dotación de vestimentas adecuadas para su labor hasta los instrumentos idóneos para el desempeño apropiado en su trabajo. Estos objetos en nuestra época se fabrican bajo estándares mínimos de manufactura que garantizan un comportamiento apropiado para las condiciones de trabajo en planta.

Los instrumentos con los que cuentan actualmente los trabajadores también son resultado de un proceso de desarrollo y diseño que se ha dado paulatinamente y el cual igualmente ha optimizado el uso adecuado de los recursos materiales disponibles para su elaboración; para este efecto actualmente se cuenta con herramientas computacionales que han hecho

mucho mas eficiente y económico el desarrollo de los instrumentos que se requieren para realizar diferentes tareas de ingeniería, podemos mencionar al menos tres tipos de herramientas computacionales diferentes como son; software de diseño CAD, de análisis ingeniería CAE y de manufactura CAM. Los programas CAD facilitan el desarrollo elementos o conjuntos en cuanto a la geometría y por consiguiente aspecto físico del mismo, nos ayudan a visualizar con anterioridad como han de ser físicamente o que semblante tendrá lo diseñado. Esto no es suficiente en diseño de ingeniería y para un mismo producto final, también se necesita conocer la respuesta del diseño a las posibles condiciones de trabajo en las que se desarrollarán los diferentes modelos realizados, para esto, los software CAE nos deja simular estas condiciones, el nos permite observar y analizar entre otras la repuesta cinética a fuerzas que el diseñador impone, además de facilitar el análisis de esfuerzos y fatiga en el prototipo virtual como posiblemente se presenten en el objeto a construir y poner en funcionamiento; permite que el diseñador observe el comportamiento de la geometría y los materiales con los que finalmente se podrán fabricar con la ayuda de software CAM, que el cual optimiza la manufactura de los elementos o conjuntos que se requieran con la mínima perdida de tiempo y de material en el proceso de fabricación.

En este proyecto de grado se diseñará, un elevador de columnas deslizantes para personal que trabaja en áreas de instalación y mantenimiento en alturas hasta de 7 metros, para ayudar a solucionar el problema de la peligrosidad que implica laborar con andamios o escaleras portátiles cuyo mayor inconveniente es la fragilidad e inestabilidad que presenta al hacer trabajos en alturas; esto con la ayuda del programa CAD "Solid Edge V14", con el que se elaborará el modelado virtual del elevador, luego, con la ayuda del software CAE "ANSYS Workbench V8.1" en este caso, se realizará un prototipado

virtual con el que se analizará el comportamiento del elevador modelado anteriormente en su momento mas crítico dentro del desempeño normal que este puede tener.

## **1. FASE DE INVESTIGACIÓN.**

### **1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.**

Para realizar el mantenimiento o la instalación de dispositivos eléctricos, tales como la iluminación navideña, anuncios luminosos, cambio de bombillas que no funcionen o que estén funcionando defectuosamente, o dado el caso que se necesite instalar aparatos mecánicos o electromecánicos como ventiladores de techo o de pared, pequeños aires acondicionados o solamente cuando se necesite hacer el aseo en lugares tales como pequeños auditorios, teatros, iglesias, almacenes o centros comerciales entre otros; nos encontramos con un problema característico en estos lugares u obras, cual es el difícil manejo, instalación o remoción de los artefactos anteriormente mencionados; debido a que estas labores son hechas en altura; todo trabajo que se realiza a más de 1,8 metros de altura sobre un nivel más bajo y en lugares donde no existen plataformas permanentes protegidas en todos sus lados con barandas y retenciones; son considerados como misiones de alto riesgo.

Para realizar estas tareas se utilizan normalmente elementos mecánicos como escaleras portátiles, construidas en madera o en el mejor de los casos aluminio, ellas rara vez cumplen normas técnicas de fabricación o resistencia, desconociendo muchas veces su capacidad máxima de carga o factor de seguridad, sin contar con que normalmente no son útiles después de cuatro metros de altura. Cuando necesitamos laborar a niveles un poco más elevados, son de frecuente utilización los andamios, que no son más que un pórtico metálico que se arma con módulos hechos en acero hueco y aunque son más estables que las escaleras, su uso no es menos riesgoso e impráctico,

poniendo en peligro la vida e integridad física de las personas que trabajan ayudados de éste dispositivo; ya que cuando se necesita operar a diferentes alturas a las que obran en ese momento utilizando el andamio, los trabajadores trasladan a la elevación necesaria una tabla de madera que sirve de viga sobre la cual los operarios se desplazan dentro de esta armazón.

Otro el peligro al desplazar la tabla viga entre niveles es que el cambio normalmente lo hacen los operarios situándose a un lado de este sosteniéndose por medios propios a alturas peligrosas; para cambiar de lugar de trabajo los trabajadores deben desarmar y volver a armar el andamio para llevarlo al lugar de interés; haciendo que aumente la cantidad de tiempo muerto, como consecuencia se observa lo poco eficiente y peligroso del uso de estas herramientas para hacer mantenimientos o instalaciones.

## **1.2 CONCEPTUALIZACIÓN.**

### **1.2.1 Salud ocupacional y trabajos en alturas.**

Un programa de salud ocupacional, que tiene como meta el trabajar hacia cero lesiones especialmente graves y mortales, debe estar acompañado de un sistema uniforme de permisos que necesita ser incorporado a todas las actividades y procedimientos que tengan un riesgo potencial de accidentes. Estos, cuando se siguen apropiadamente eliminan la severidad de las lesiones y disminuyen su frecuencia dentro de la empresa.

El sistema de permisos debe de hacer parte integral del plan de ejecución de los trabajos con mayor riesgo. Cuando se combina con el buen juicio y un conocimiento apropiado del trabajo que se va a realizar, estos permisos o las listas de verificación, se convierten en una herramienta poderosa para

mejorar la comunicación en seguridad, la calidad y el impacto de los programas de salud ocupacional.

**Figura 1. Riesgo de trabajo en alturas.** Este operario se encuentra realizando un trabajo en alturas con sistemas de sujeción tradicionales y que ponen en riesgo su integridad.



### **1.2.2 Sistema de permisos para trabajos en alturas.**

Este sistema busca, además de controlar las pérdidas y reducir las lesiones causadas por caídas, promover actitudes positivas de seguridad y de salud, estimulando la cooperación y participación de todos los trabajadores implicados en este tipo de tareas. Todo esto con la ayuda de protocolos para la elaboración de estas tareas, como son; permisos para trabajo en alturas emitidos por personal autorizado, como el administrador del programa, quien además alertará al personal de emergencia para evitar cualquier tipo de emergencia o por si se presenta algún tipo de accidente en caso de falla de los

sistemas de seguridad o si es causado por una mala operación en el momento de ejecución del trabajo.

### **1.2.3 Aporte de la ingeniería en la solución de problemas de seguridad industrial y ocupacional.**

En tiempos actuales en nuestro país y en general el mundo; tenemos como premisa realizar trabajos de cualquier índole con el menor de los esfuerzos para hacer un uso eficiente de los recursos; es por ello que en el desarrollo de nuevas tecnologías, sistemas e instrumentos se debe inicialmente formular de un modo preciso y con anterioridad un modelado o prototipado de la solución del problema al que nos estamos enfrentando, para este fin la ciencia de la informática tiene herramientas que nos colaboraron a presentar esta solución. La ingeniería mecánica no es ajena a este fenómeno y gracias a la informática aplicada en este campo contamos con herramientas computacionales que nos ayudaron a elaborar diseños preliminares que evaluamos con anterioridad y se tomaron decisiones a cerca de este prediseño realizado en el computador.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.**

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de de Santander, de atender las necesidades de las distintas empresas y personas del país, en este trabajo de grado se diseñará, modelará y prototipará virtualmente un sistema mecánico de elevación para personas, las cuales están encargadas de realizar trabajos en alturas de instalación o mantenimiento de elementos electromecánicos que se encuentran a alturas de acceso restringido en sitios elevados para las cuales se utilizan habitualmente dispositivos que ponen en riesgo la integridad física de los operarios; además

de su utilización implica largos tiempos muertos entre la ubicación de los mismos en diferentes lugares.

**Figura 2. Obreros y elementos de protección para trabajos en alturas.** Estos obreros de la construcción trabajan en una complicada red de vigas, cuerdas y escaleras en lo será un edificio. Los cascos, cuerdas, guantes, un calzado resistente y un improvisado andamio les protegen de las posibles lesiones mientras construyen la robusta estructura.



El objetivo último a conseguir mediante el proyecto de grado planteado aquí es el de dar una solución virtual alternativa a quienes están interesados en construir una herramienta mas para operarios que realizan trabajos en

alturas; entendiendo como un trabajo en altura todo trabajo que se realiza a más de 1,8 metros de altura sobre un nivel más bajo y en lugares donde no existen plataformas permanentes protegidas en todos sus lados con barandas y retenciones.

Se quiere dar una opción para el cumplimiento de las labores en alturas de modo seguro, confiable y de fácil manejo. Para presentar esta opción, se realizó un estudio de las posibilidades a las que se tiene acceso para la realización de estas actividades en alturas. Se mostrará a continuación los resultados de la evaluación de las perspectivas de solución y una justificación para la selección del dispositivo final a diseñar.

#### **1.4 FASE DE ESTUDIO.**

##### **1.4.1 Posibilidades existentes en el mercado para trabajos en alturas.**

Se clasificaron únicamente los dispositivos de elevación de personas, que se operan desde el suelo, nivel inferior o de apoyo, lo que excluye otras soluciones que se instalan o ubican en niveles superiores al más bajo (dispositivos de descenso para trabajos en alturas), y aquellos que posibilitan alturas superiores a diez metros.

##### **1.4.1.1 Clasificación de elevadores mecánicos para trabajos en altura para personas.**

###### **1.4.1.1.1 Plataformas:**

**1.4.1.1.1.1** Plataformas de tijeras: remolcables, autopropulsadas y autopropulsada todo terreno.

**1.4.1.1.1.2** Plataformas telescópicas autopropulsadas.

**1.4.1.1.1.3** Plataformas Articuladas: remolcables y autopropulsadas.

**1.4.1.1.1.4** Plataformas de columnas deslizantes: remolcable y autopropulsadas.

**1.4.1.1.2 Manipuladores telescópicos:**

**1.4.1.1.2.1** Manipuladores Telescópicos autopropulsados: compacto, compacto todo terreno y rotativo todo terreno.

**1.4.1.1.3 Andamios:**

**1.4.1.1.3.1** Andamios estructurales de plataforma provisional.

## **1.5 VISIÓN GLOBAL DEL DISEÑO GRÁFICO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL APARATO.**

En el diseño funcional y estructural se estudiaron varias alternativas, tanto en la forma de la base, de la(s) columna(s) y de los apoyos horizontales sobre las cuales descansa todo el sistema de columnas deslizantes. También se presentan alternativas de diseño con perfilería abierta y lámina doblada o soldada. Se estudiaron las alternativas del mecanismo de elevación, mecánico de winche o malacate, electromecánico y otros. Estos últimos por selección de unidades compactas por medio de catálogos. Alternativa que será adicionada al proyecto como información, ya que basados en un análisis previo, se encontró que la alternativa más adecuada para este proyecto es el de malacate. Aunque el diseño final se realizará basado en un análisis racional desde el punto vista técnico y económico.

En el diagrama 1 se presentan las diferentes alternativas desde el punto de vista constructivo y de diseño, las cuales brindarán las opciones básicas a seleccionar.

Para ayudar a solucionar los problemas que implican el laborar con andamios o escaleras portátiles cuyo inconveniente como la fragilidad e inestabilidad

que presentan al hacer trabajos en alturas; se analizaron posibles soluciones como plataformas de tijeras o grúas con brazos telescópicos que son mucho más estables y seguros que las escaleras o los andamios; pero es un deber en ingeniería el buscar una solución óptima, que en nuestros problemas está compuesto por factores como comodidad para desplazamiento del instrumento a utilizar, facilidad para realizar maniobras, capacidad de carga y estabilidad, entre otros; también se observó el costo económico de la solución, que en gran parte es el inconveniente que se observa al momento de hacer la selección de la herramienta para facilitar el trabajo de sus operarios. Es por eso que soluciones costosas no tienen mucha aceptación en un medio como el nuestro, aclarando que el costo inicial alto no es comparable con los problemas que puede acarrear accidentes laborales por falta de seguridad en los sistemas utilizados para realizar tareas en alturas.

En las tablas 1, 2 y 3 se analizan los pros y contras de los distintos sistemas de elevación de personal.

**Tabla 1. Plataformas.**

|                                         | <b>PRO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>CONTRA</b>                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plataforma de brazo articulado.         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo externo e interno.</li> <li>• Costo de acuerdo a capacidad de carga y opciones.</li> <li>• Muy estable.</li> <li>• Puede ser autopropulsada, todo terreno o remolcable.</li> <li>• Diversa capacidad de carga.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento por expertos.</li> <li>• Si es auto propulsada aumentan los costos y su tamaño.</li> <li>• A mayor capacidad de carga aumenta su complejidad.</li> <li>• Alcance intermedio.</li> </ul> |
| Plataforma de tijeras.                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran capacidad de carga.</li> <li>• Puede ser todo terreno.</li> <li>• Gran estabilidad.</li> <li>• Trabajo externo e interno.</li> <li>• Fácil operación</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo.</li> <li>• Mantenimiento por expertos.</li> <li>• Si es auto propulsada aumentan los costos y su tamaño.</li> <li>• Solo elevación vertical</li> </ul>                                    |
| Plataforma de brazo lineal telescópico. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran alcance.</li> <li>• Alta capacidad de carga.</li> <li>• Mayor velocidad de elevación.</li> <li>• Fácil operación.</li> </ul>                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso limitado solo a sitios externos.</li> <li>• Mantenimiento por expertos.</li> <li>• Muy costosa</li> </ul>                                                                                      |
| Plataformas de columnas deslizantes.    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La más económica desde todo punto de vista.</li> <li>• Fácil operación.</li> <li>• Fácil mantenimiento</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo elevación vertical</li> <li>• Poca capacidad de carga.</li> <li>• Necesita estabilizadores</li> </ul>                                                                                            |

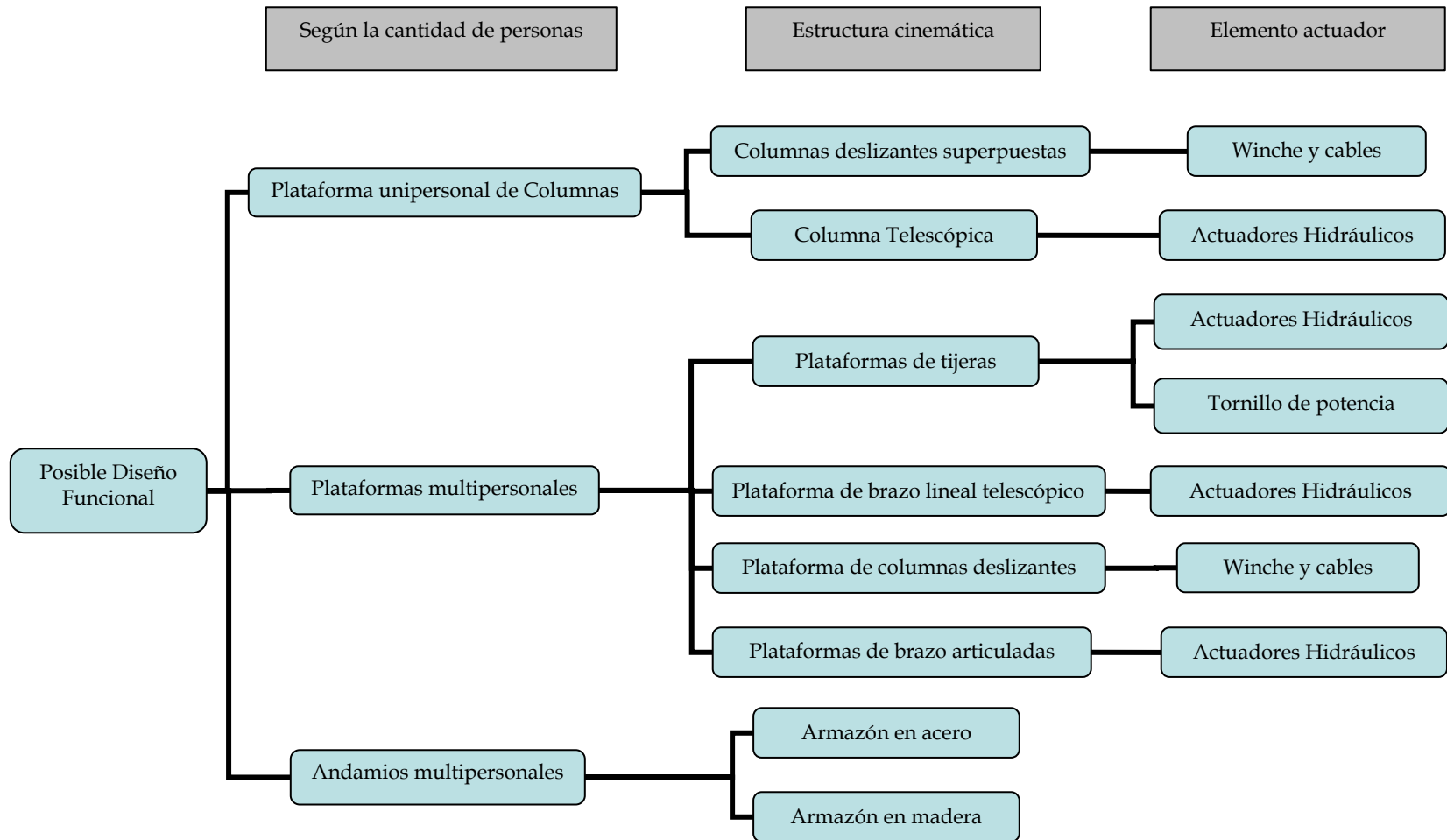
**Tabla 2. Manipuladores telescópicos.**

|                                                                                                    | PRO                                                                                                                                                                                                                    | CONTRA                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manipuladores telescópicos autopropulsado: compacto, compacto todo terreno y rotativo todo terreno | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene la opción de cambiar su extremo por diferentes opciones que le dan versatilidad incluyendo plataformas para personas.</li> <li>• Con gran capacidad de carga</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son los mas costosos del mercado por su grado de complejidad</li> </ul> |

**Tabla 3. Andamios.**

|          | PRO                                                                                                     | CONTRA                                                                                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Andamios | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesitan mantenimiento</li> <li>• Muy económico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inestable</li> <li>• Poca maniobrabilidad</li> <li>• Capacidad de carga incierta</li> </ul> |

Diagrama 1. Diferentes alternativas desde el punto de vista constructivo y de diseño.



La solución del elevador de columnas deslizantes es entonces una propuesta aceptable debido a la seguridad que presenta y a la facilidad de operación, la parte económica de esta solución presenta el inconveniente apenas obvio, este elevador será mucho más costoso que una escalera de equivalente alcance, pero la seguridad con la que el operario trabajará al observar la confiabilidad de este aparato es mucho mayor que la que le puede ofrecer una escalera, además del mayor alcance y otras ventajas que ofrecida por este.

Comparado con el andamio el elevador presenta una capacidad de carga similar, pero aquí los factores a analizar son la facilidad de maniobra que el operario tendrá para llevar a cabo la misma tarea, esto se observa al tratar de elevar la misma carga a la altura de trabajo o si hay que hacer una instalación a más de cinco metros y si se debe repetir esta tarea; mientras que con un andamio el operario debe buscar el modo de elevar la carga y las partes del mismo andamio por medios propios o con la colaboración de varios compañeros, con el elevador no debe hacer más que izarse con la carga dentro de la plataforma, sin contar con la facilidad de desplazar el elevador, más fácil por su diseño compacto y sencillez para transportarle a diversos lugares pues presenta ruedas para este fin. Inclusive se diseñará un mecanismo de apoyos que pueden extenderse desde la plataforma principal del elevador para darle una mayor estabilidad a todo el módulo. El diseño entonces del elevador de columnas deslizantes queda entonces justificado por las anteriores razones de seguridad para el operario y patrono, economía a largo plazo, facilidad de operación y capacidad de carga.

## 1.6. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DEL ELEVADOR DISEÑAR.

El diseño constará básicamente de las siguientes características funcionales:

- Capacidad máxima de carga: 150 Kg.
- Tiempo de elevación: 60 segundos.
- Número de columnas: 3 a 4.
- Número de personas a elevar: 1.
- Dimensiones de la plataforma: 0.7 m X 0.7 m.
- Altura máxima de operación: 7 m.
- Punto más bajo de la plataforma (Altura de acceso al operario): 50 cm.
- Altura máxima de la plataforma: 5.2 m.
- Mecanismo de elevación: Winche mecánico y cables.
- Potencia motor: de 0.5 a 2 Hp. Voltaje de control: 24 Volt.
- Voltaje Principal: 110 o 220 Volt.
- Alimentación de potencia eléctrica: monofásica.

## 2 FASE DE MODELADO.

### 2.1 DEFINICIÓN DE DISEÑO.

En el entorno del diseño mecánico nos encontramos con una situación que se repite frecuentemente, está relacionado con cada uno de los procesos mediante los cuales vamos a desembocar en la solución ya completamente desarrollada, es dar una definición clara a las palabras “**Diseño, Modelado y Prototipado**”.

Para Shigley la palabra **diseñar** es un compendio de actividades desarrolladas para dar una solución a un problema humano previamente ya definido en su totalidad, para él, *diseño mecánico* en *ingeniería mecánica* es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica como máquinas, estructuras, dispositivos e instrumentos entre otros, que abarcan todas las disciplinas de la ingeniería mecánica y las ciencias fundamentales requeridas por ella.

Entendida esta definición entonces nos preguntamos, ¿Qué es entonces el modelado? El **modelado** en diseño mecánico es el proceso por el cual los diseñadores empiezan a dar una apariencia geométrica al objeto a plantear, tiene que ver con la ejecución de las tareas que definirán el aspecto y la forma del sistema que puede ser la respuesta al problema que estoy solucionando, van desde los primeros trazos de la posible máquina o elemento en un papel hasta en momento cuando son comprobados los materiales y el comportamiento de sus propiedades de los elementos componentes de la respuesta, en otras palabras termina cuando el diseñador

se empieza a cuestionar a cerca de la posibilidad real de ejecutar sus propuestas en la vida real.

Todo este proceso se puede dar en muchas ocasiones simultáneamente cuando se diseña, y tiene que ver con la concepción misma de la solución del problema, aquí el ingeniero empieza a pasar por el proceso cíclico de evaluar teóricamente el resultado o los posibles resultados de su modelo, es decir arranca a meterse con una realidad que tiene que manejar y que le exige que se adapte a ella misma.

Definitivamente si se desea evaluar la respuesta del diseño el paso siguiente sería el de llevar a la realidad física la solución propuesta con anterioridad, es aquí donde se observara la validez de ella, por que la naturaleza será la encargada de probar definitivamente la validez o no de lo diseñado.

Generalmente a las primeras construcciones de estos modelos son llamados **Prototipos**, y son ellos quienes nos darán la posibilidad de observa el comportamiento de la solución del problema.

Afortunadamente con el avance de la ciencia, estas labores dejaron de ser un tanto tediosas y costosas, muchas veces el desarrollo de un **prototipo** era mas un problema de costos económicos que una oportunidad viable en ejecución, aunque existe muchas bases científicas para sustentar la viabilidad de la solución, esto a menudo no era suficiente como para validar la respuesta del diseño.

Con la aparición en escena de las herramientas computacionales, los ingenieros tenemos la posibilidad a través de estas de acercarnos mucho a la

realidad con lo que respecta a las pruebas de los modelos y su desempeño en campo.

## **2.2 CAD/CAE/CAM.**

Dentro la elaboración del diseño, se utilizaran dos herramientas computacionales que hoy día están en auge y son las herramientas CAD/CAE, y se dará una breve descripción a sus alcances y funciones primeramente, mas adelante en el momento que se requiera se hará una profundización en el tema. Los procesos CAD/CAE son aquellos en los cuales se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenada como dibujos bi y tridimensional. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo. Los sistemas CAE (CAE, acrónimo de Computer Aided Engineering) también permiten simular el funcionamiento de un

producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

**Figura 3. Diseño asistido por ordenador.** Estos ingenieros examinan el larguero de un ala de un avión de caza, mientras en la pantalla se ve su imagen diseñada por computadora. El ensayo y diseño asistido por ordenador o computadora se utiliza cada vez más en los proyectos de gran envergadura, ya que permite un gran ahorro de tiempo y dinero.



Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing). La fabricación asistida por ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de control de equipos de fabricación. Por lo general, los equipos

CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora (CNC acrónimo de Computerized Numerical Control) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM. Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo.

La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Los fabricantes de indumentaria pueden diseñar el patrón de una prenda en un sistema CAD, patrón que se sitúa de forma

automática sobre la tela para reducir al máximo el derroche de material al ser cortado con una sierra o un láser CNC. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo.

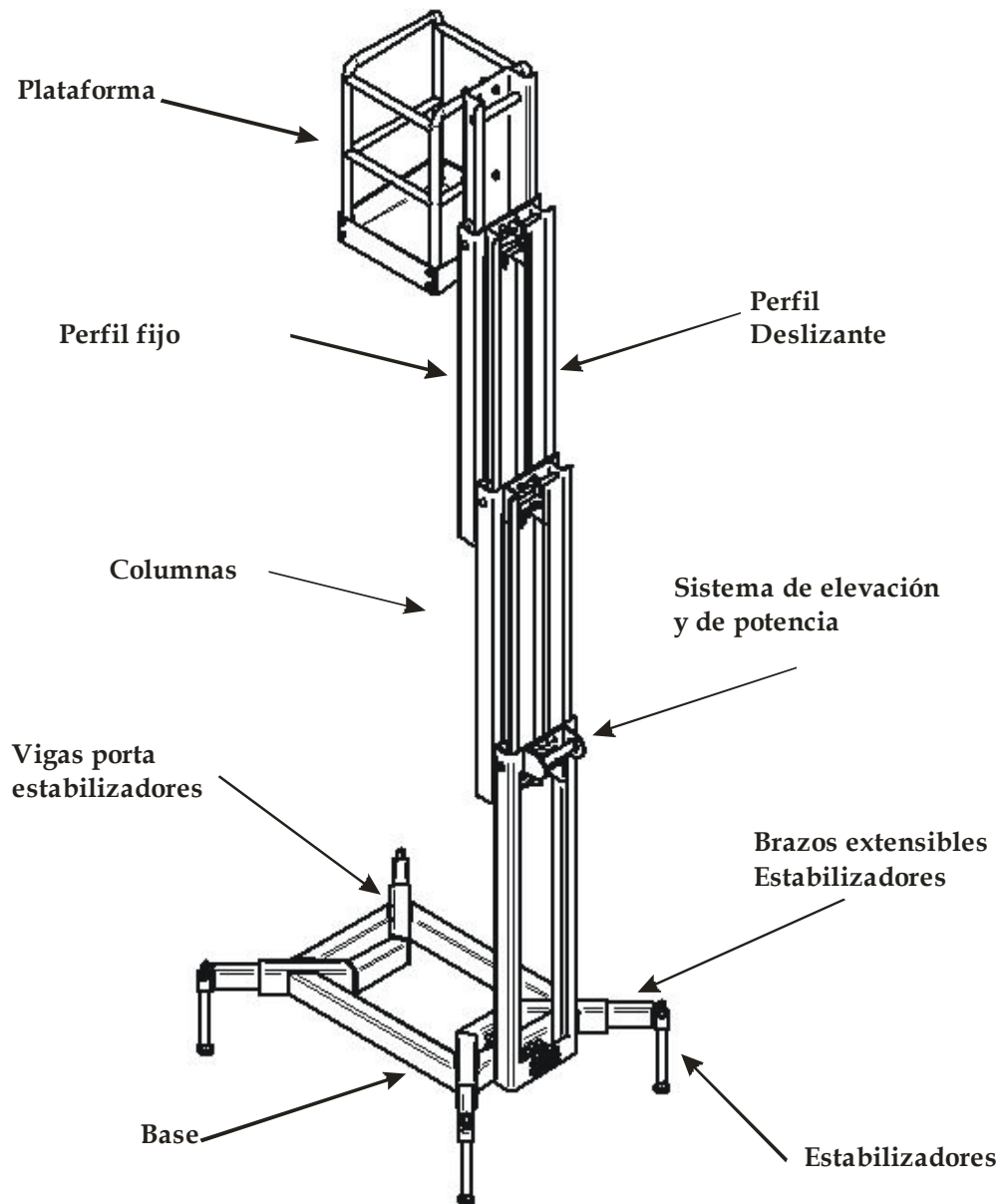
La Fabricación Integrada por Computadora (CIM, acrónimo de Computer Integrated Manufacturing) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos. La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad.

**Figura 4. Motor diseñado con la ayuda de computadoras.** Los planos para este motor de turbina de gas se realizaron mediante un programa de diseño asistido por ordenador (CAD). Los ingenieros pueden comprobar los detalles estructurales visualizando cualquier sección del plano generado por ordenador, o viendo el motor desde cualquier ángulo.



### 2.3 C.A.D. DEL ELEVADOR.

Figura 5. Elevador de columnas deslizantes totalmente extendido. Esta figura muestra las partes más importantes de la estructura del elevador.



### **2.3.1 Partes del elevador.**

**2.3.1.1 Base móvil:** Construida con perfiles estándares para obtener una sección transversal semiabierta, se apernará a la columna primaria agregando elementos rigidizadores para mejorar la estabilidad del conjunto; de acero estructural A36 y por ser de este material el centro de gravedad estará mas bajo. **Ver plano 00-3A.**

Posee las siguientes características:

- Construcción en acero estructural: ayudará a que el centro de gravedad este lo mas cercano al piso o plano de apoyo.
- Forma rectangular que permite mayor estabilidad a la estructura.

**2.3.1.2 Columnas.** El mecanismo, tiene su origen en los dispositivos de deslizamiento de algunos escritorios para computadores, donde en ellos se mueve el teclado hacia dentro o hacia fuera del escritorio.

Dos pares diseñadas en lámina doblada de aleación de aluminio 6061-T6, de gran resistencia mecánica y poco peso.

Cada columna es realmente la unión de dos perfiles diferentes, y que tienen funciones diferentes así:

- Perfil estático: Diseñado para sostener el perfil móvil.
- Perfil móvil: Pegado rígidamente al perfil estático, es quien se desplaza respecto de los otros conjuntos de columnas.

**2.3.1.3 Estabilizadores:** Son cuatro tornillos de potencia, autobloqueante, en aleación de aluminio 6061-T6, que tienen en un extremo un agujero por donde se atravesará una barra para imprimir el torque para elevar la máquina, en el otro un extremo será donde descansa toda la estructura. **Ver plano 00-1A.**

**2.3.1.4 Brazos extensibles estabilizadores:** Es el conjunto formado por los estabilizadores, su tuerca y la viga porta estabilizador, que tiene como objetivo ampliar el área de apoyo de la estructura. **Ver plano 00-1A**

**2.3.1.5 Plataforma:** Es el habitáculo donde el operario se ubicará para realizar las diferentes tareas y para casos de operaciones eléctricas de bajo voltaje; se construirá en aluminio, de no ser así podría ser en fibra de vidrio si el caso es el manejo de voltajes y corrientes elevadas. **Ver plano 00-4A.**

**2.3.1.6 Sistema de elevación y de potencia:** Compuesto por el winche eléctrico, las poleas, cables y sus respectivos sistemas de control. Estos elementos con excepción de las poleas serán seleccionados del mercado. **Ver anexo B**

**2.3.1.7 Elementos de seguridad:** Eléctricos o electrónicos como sensores de nivel y verticalidad dependiendo de los requerimientos y las limitaciones tecnológicas. El proyecto hará referencia a este sistema sin diseñarlo como tal, se harán las respectivas recomendaciones para su elaboración pero no los diagramas ni su diseño en sí.

**2.3.1.8 Vigas porta estabilizadores:** Son las vigas que se acoplan a la base móvil para aumentar el área donde se apoya el elevador para brindar mayor

equilibrio al aparato, en un extremo tiene la tuerca por donde pasa el estabilizador que es como ya se dijo un tornillo de potencia. **Ver plano 00-1A**

**2.3.1.9 Ejes de las poleas:** Son ejes de 30 mm de diámetro y 360 mm de longitud donde se albergan los rodamientos de las poleas 62206 2RS1 y sobre estos las poleas, existe una variación de este conjunto para los perfiles móviles, y es añadir a presión los manguitos de apoyo para este eje y para los rodamientos 6309-2Z de las columnas que sirven para que no exista roce entre las columnas adyacentes y si rodadura entre ellas. **Ver plano 00-6A**

**2.3.1.10 Manguitos:** Son ejes cortos con una perforación de 30 mm de diámetro y 20 mm de profundidad, que sirven para apoyar los rodamientos de los perfiles móviles y el eje de soporte de las poleas a través de la unión a presión entre estos. **Ver plano 00-1B.**

## **2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DESLIZANTE DE COLUMNAS.**

Primero hay que aclarar que para los autores la columna deslizante es el conjunto compuesto por un perfil estático y uno móvil con sus respectivos ejes, poleas y rodamientos que cada perfil y el conjunto necesite para poder deslizarse verticalmente respecto de otra columna.

### **2.4.1 Principio.**

Basado en el mecanismo deslizante de los escritorios para computador, el diseño adoptó este sistema para solucionar el problema de movimiento relativo entre las columnas deslizantes.

**Figura 5. Sistema de rieles deslizantes de escritorio.** En la fotografía se muestra el sistema de rieles que sirvió de base para el diseño de las columnas de la plataforma



El primer problema al que nos enfrentamos fue el de la disposición de una columna frente a la siguiente para lograr el desplazamiento deseado. En realidad la solución es también proveniente del modelo de los escritorios de computador, tenía que ser compuesta la solución, una columna deslizante y otra estática pegada para lograr un conjunto que fuese una sola columna que permitiera el desplazamiento de la misma respecto a las otras. **Ver plano 00-2D.**

El sistema funciona como lo muestra la simulación cinemática y la parte importante de sus características es el de su poco peso, por eso se debió seleccionar un material liviano pero a la misma vez resistente para soportar el peso deseado de la carga.

Para lograr estos perfiles de las columnas deslizantes es necesario realizar dobleces de lámina de aluminio de 5 mm de espesor con radios de 5 mm. Esto se puede lograr en la manufactura mediante el calentamiento de la lámina y su posterior doblaje, controlando la temperatura para no se comprometer las propiedades del material.

#### **2.4.2 Perfiles móviles.**

El perfil móvil es una lámina doblada de aleación de aluminio 6061-T6, esta pegada al perfil estático por medio de remaches de 24 mm de diámetro, ubicados estos de a cuatro en cada extremo del perfil, tiene también un vaciado perpendicular en la dirección perpendicular a uno de sus eje principales de inercia para permitir el paso del cable por causa de la disposición de las poleas, este permite el desplazamiento de todo el conjunto que forma una columna deslizante. **Ver plano 00-2C.**

#### **2.4.3 Perfiles estáticos.**

Los perfiles estáticos son los elementos una columna fabricados el lámina de aleación de aluminio 6061-T6 que soportan el perfil móvil, están unidos a este perfil por medio de remaches de aluminio como ya se dijo, de igual modo tiene un vaciado perpendicular para permitir el paso del cable y permitir la elevación de la plataforma. **Ver Plano 00-2B.**

#### **2.4.4 Pestañas de elevación.**

Son unos dobleces que se le hacen a la lámina de aluminio para que al entrar en contacto con la siguiente pestaña de otro conjunto de columnas este que esta en movimiento arrastre al siguiente hasta lograr el despliegue de las columnas. Son de tratamiento especial pues son el eslabón mas delicado del elevador y debido a ellas el sistema de columnas se sostiene como se verá

mas adelante, es el lugar geométrico con menor factor de seguridad a la fatiga, pero afortunadamente permite la vida infinita con un factor de seguridad mayor a la unidad. **Ver detalle H en el plano 00-2B.**

#### **2.4.5 Primera columna.**

Esta columna no es deslizante y esta adosada firmemente a la base por medio de 8 largos pernos de aleación de aluminio 6061-T6 de 24 mm de diámetro y 485 mm de longitud total, no tiene perfil móvil puesto que no es necesario. **Ver Plano 00-2A.**

#### **2.4.6 Columna final.**

Es un perfil móvil mas corto, no tiene vaciado perpendicular, ni esta pegado a un perfil estático, esta adosado a la plataforma a través de cuatro remaches de la aleación de aluminio 6061-T6 y unida a la baranda de la misma por medio de cuatro tornillos de 24 mm de diámetro y 100 mm de longitud, todos de aleación de aluminio 6061-T6, cabe comentar en este momento que debido a las características de la primera columna y la columna final se dan los nombres de perfil móvil y perfil estático a los dos componentes de una columna deslizante. **Ver Plano 00-2A.**

### **2.5 DISEÑO DE LA BASE.**

#### **2.5.1 Fundamento.**

El diseño de la base debía combinar dos cosas, la primera era que debía incluir el sistema de brazos extensibles para lograr una mayor área de apoyo, la segunda es que, por ser un sistema de elevación, lo mas seguro era que debería ser esbelto por lo tanto se necesitaba que su centro de gravedad

estuviera ubicado lo mas cercano posible al plano de apoyo para evitar que se volcara fácilmente.

Para solucionar este problema se hizo una base rectangular con brazos en sus esquinas a 45° respecto de los lados del rectángulo y que sobresalieran 50 cm de las esquinas del rectángulo. **Ver Plano N° 00-3A.**

Otra característica de la base es su resistencia, pero aunque mas pesada que las columnas y la plataforma, debería no tener un peso excesivo pues uno de los comportamientos deseados es que sea de fácil traslación de todo el conjunto, por esto se seleccionan perfiles rectangulares de acero estructural de 6 x 4 x ¼ norma ANSI.

Los perfiles de la base, donde se apoya la primera columna estática del elevador, están perforados con agujeros de 24 mm de diámetro para adosar la columna ya mencionada a la base, por medio de pernos, pues la junta del aluminio con el acero a través de soldadura es de difícil manejo y poca resistencia.

Las vigas de la base están unidas entre sí, por medio de soldadura lo mismo que todas las juntas que se requieran y que solo usan acero.

## **2.6 DISEÑO DE LA PLATAFORMA.**

### **2.6.1 Requisito.**

El requerimiento de la plataforma es que tenga el espacio para una persona, que sea resistente y liviana, aquí se parte del principio nuevamente de la lámina doblada de aluminio para lograr este objetivo, sus dimensiones están

especificadas en el plano 00-4A; además esta complementada por una baranda cuya función es enclaustrar hasta cierto punto al operario que esta dentro de todo el habitáculo, construida en tubo de aleación de aluminio hueco 6061-T6, está unida a la plataforma por medio de remaches al igual que todo este conjunto, unido también rígidamente a la ultima columna deslizable.

Como medida de precaución, se debe colocar a la plataforma una cinta rugosa en el piso de esta para evitar que el operario se pueda resbalar y que se pueda presentar un accidente, claro esta que el mismo diseño tiene una barra en la columna final, para fijar un arnés que impida la caída del operario desde la plataforma en caso de accidente. **Ver Plano 00-4A.**

## **2.7 SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO.**

### **2.7.1 Propiedades físicas de la aleación de aluminio 7178-T6.**

Una de las características esperadas del elevador es poco peso y su alta resistencia, por esta causa, se buscaron materiales que cumplieran este tipo de comportamiento y fueron las aleaciones de aluminio las que llamaron poderosamente la atención en la selección, pero debía ser una aleación especial la que se debería optar, inicialmente se seleccionó una aleación de aluminio 7178-T6 por su gran resistencia a la tracción y su resistencia a la fatiga, como se muestra en la tabla 4 pero se descarta su utilización por 2 factores; Primero por que no se encuentra información general sobre de cómo se provee comercialmente por que es un material relativamente nuevo y segundo por que desafortunadamente para hacer evaluación del comportamiento del modelo a fatiga, se debe hacer o presentar las curvas de

fatiga del material en ANSYS Workbench, por esto se descartó de plano el material.

**Tabla 4. Propiedades físicas de la aleación de aluminio 7178-T6.**

| PROPIEDADES FISICAS                     | METRICO   | INGLES                   | COMENTARIOS                                   |
|-----------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Densidad                                | 2.83 g/cc | 0.102 lb/in <sup>3</sup> | AA; Típico                                    |
| <b>PROPIEDADES MECANICAS</b>            |           |                          |                                               |
| Dureza, Brinell                         | 160       | 160                      | 500 kg carga con 10 mm esfera                 |
| Dureza, Knoop                           | 205       | 205                      | Convertido del valor de la dureza Brinell     |
| Dureza, Rockwell A                      | 55.3      | 55.3                     | Convertido del valor de la dureza Brinell     |
| Dureza, Rockwell B                      | 90        | 90                       | Convertido del valor de la dureza Brinell     |
| Dureza, Vickers                         | 189       | 189                      | Convertido del valor de la dureza Brinell     |
| Resistencia Ultima a la Tensión         | 607 MPa   | 88000 psi                | AA; Típico                                    |
| Resistencia a la fluencia               | 538 MPa   | 78000 psi                | AA; Típico                                    |
| Alargamiento porcentual<br>(Ductilidad) | 10 %      | 10 %                     | AA; Típico; 1/16 in. (1.6 mm) Espesor         |
| Alargamiento porcentual<br>(Ductilidad) | 11 %      | 11 %                     | AA; Típico; 1/2 in. (12.7 mm) Diámetro        |
| Módulo de Elasticidad                   | 71.7 GPa  | 10400 ksi                | AA; Típico; Promedio de tensión y compresión. |

|                               |                                           |                                           |                                                                       |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                               |                                           |                                           | Módulo de compresión es alrededor del 2% mayor del módulo de tensión. |
| Resistencia a la compresión   | 530 MPa                                   | 76900 psi                                 | 0.1% Permanente                                                       |
| Resistencia a la entalladura  | 386 MPa                                   | 56000 psi                                 | 2.5 cm ancho x 0.16 cm espesor espécimen de lado entallado, Kt = 17.  |
| Resistencia última            | 1089 MPa                                  | 158000 psi                                | Edge distance/pin<br>Diámetro = 2.0                                   |
| Resistencia a la ruptura      | 807 MPa                                   | 117000 psi                                | Edge distance/pin<br>Diámetro = 2.0                                   |
| Relación de Poisson's         | 0.33                                      | 0.33                                      | Estimado de las tendencias similares a las aleaciones.                |
| Resistencia a la fatiga       | 150 MPa                                   | 21800 psi                                 | 500,000,000 Ciclos                                                    |
| Maquinabilidad                | 70 %                                      | 70 %                                      | 0-100 Escala de aleaciones de aluminio                                |
| Módulo de elasticidad         | 27 GPa                                    | 3920 ksi                                  | Estimado de las aleaciones de aluminio similares.                     |
| Módulo de rigidez             | 360 MPa                                   | 52200 psi                                 |                                                                       |
| <b>PROPIEDADES ELECTRICAS</b> |                                           |                                           |                                                                       |
| Resistividad Eléctrica        | 5.49e-006 ohm-cm                          | 5.49e-006 ohm-cm                          | AA; Típico a 68°F                                                     |
| <b>PROPIEDADES TERMICAS</b>   |                                           |                                           |                                                                       |
| CTE, lineal 68°F              | 23.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$ | 13 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{°F}$ | AA; Típico; Promedio encima de un rango 68-212°F .                    |

|                                 |                                                  |                                                    |                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CTE, lineal 250°C               | 25.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ | 14.1 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$ | Promedio encima de un rango 20-300°C                                                                                                                                                               |
| Capacidad térmica               | 0.856 J/g·°C                                     | 0.205 BTU/lb·°F                                    |                                                                                                                                                                                                    |
| Conductividad térmica           | 125 W/m-K                                        | 870 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> ·°F                  | AA; Típico a 77°F                                                                                                                                                                                  |
| Punto de fundición              | 477 - 629 °C                                     | 890 - 1165 °F                                      | AA; Rango típico basado en la composición típica de productos forjados 1/4 in de espesor o mayor, La homogenización puede aumentar la temperatura eutectica 20-40°F pero usualmente no la elimina. |
| Solidificación                  | 477 °C                                           | 890 °F                                             | AA; Típico                                                                                                                                                                                         |
| Fundición                       | 629 °C                                           | 1165 °F                                            | AA; Típico                                                                                                                                                                                         |
| <b>PROPIEDADES DE PROCESADO</b> |                                                  |                                                    |                                                                                                                                                                                                    |
| Temperatura de endurecimiento   | 413 °C                                           | 775 °F                                             |                                                                                                                                                                                                    |
| Temperatura de solución         | 468 °C                                           | 875 °F                                             |                                                                                                                                                                                                    |
| Temperatura de envejecimiento   | 121 °C                                           | 250 °F                                             | por 24 hr                                                                                                                                                                                          |

**Fuente:** <http://www.matweb.com>

La selección de la aleación de aluminio 6061-T6 tiene exactamente las causas contrarias a la aleación ya descartada, primero, como lo demuestra el anexo A, se puede conseguir comercialmente, barras circulares, láminas, cuadrados y otras secciones de esta aleación de aluminio y segundo por que ANSYS

Workbench V8.1 trae por defecto en su base de datos las propiedades a fatiga de este material.

Es entonces por estos motivos que se cambia su aleación de aluminio para realizar las simulaciones.

### **2.7.2 Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6061-T6.**

En la siguiente tabla se dan algunas de las propiedades físicas del aluminio seleccionado para elaborar las columnas y elementos de aluminio del elevador.

**Tabla 5. Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6061-T6.**

| <b>PROPIEDADES FISICAS</b>              | <b>METRICO</b> | <b>INGLES</b>             | <b>COMENTARIOS</b>                        |
|-----------------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| Densidad                                | 2.7 g/cc       | 0.0975 lb/in <sup>3</sup> | AA; Típico                                |
| <b>PROPIEDADES MECANICAS</b>            |                |                           |                                           |
| Dureza, Brinell                         | 95             | 95                        | AA; Típico; 500 g carga; 10 mm esfera     |
| Dureza, Knoop                           | 120            | 120                       | Convertido del valor de la dureza Brinell |
| Dureza, Rockwell A                      | 40             | 40                        | Convertido del valor de la dureza Brinell |
| Dureza, Rockwell B                      | 60             | 60                        | Convertido del valor de la dureza Brinell |
| Dureza, Vickers                         | 107            | 107                       | Convertido del valor de la dureza Brinell |
| Resistencia Ultima a la Tensión         | 310 MPa        | 45000 psi                 | AA; Típico                                |
| Resistencia a la fluencia               | 276 MPa        | 40000 psi                 | AA; Típico                                |
| Alargamiento porcentual<br>(Ductilidad) | 12 %           | 12 %                      | AA; Típico; 1/16 in. (1.6 mm) Espesor     |
| Alargamiento porcentua<br>(Ductilidad)  | 17 %           | 17 %                      | AA; Típico; 1/2 in. (12.7 mm) Diámetro    |

|                              |                         |                            |                                                                                                                     |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Módulo de Elasticidad        | 68.9 GPa                | 10000 ksi                  | AA; Típico; Promedio de tensión y compresión. Módulo de compresión es alrededor del 2% mayor del módulo de tensión. |
| Resistencia a la entalladura | 324 MPa                 | 47000 psi                  | 2.5 cm ancho x 0.16 cm espesor espécimen de lado entallado, $K_t = 17$ .                                            |
| Resistencia última           | 607 MPa                 | 88000 psi                  | Edge distance/pin<br>Diámetro = 2.0                                                                                 |
| Resistencia a la ruptura     | 386 MPa                 | 56000 psi                  | Edge distance/pin<br>Diámetro = 2.0                                                                                 |
| Relación de Poisson's        | 0.33                    | 0.33                       | Estimado de las tendencias similares a las aleaciones.                                                              |
| Resistencia a la fatiga      | 96.5 MPa                | 14000 psi                  | AA; 500,000,000 Ciclos de esfuerzo completamente reversibles; RR maquina de Moore / espécimen                       |
| Esfuerzo a la fractura       | 29 MPa-m <sup>1/2</sup> | 26.4 ksi-in <sup>1/2</sup> | $K_{IC}$ ; TL orientación.                                                                                          |

|                               |                                             |                                               |                                                                                                |
|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maquinabilidad                | 50 %                                        | 50 %                                          | 0-100 Escala de aleaciones de aluminio                                                         |
| Módulo de elasticidad         | 26 GPa                                      | 3770 ksi                                      | Estimado de las aleaciones de aluminio similares.                                              |
| Módulo de rigidez             | 207 MPa                                     | 30000 psi                                     | AA; Típico                                                                                     |
| <b>PROPIEDADES ELECTRICAS</b> |                                             |                                               |                                                                                                |
| Resistividad Eléctrica        | 3.99e-006 ohm-cm                            | 3.99e-006 ohm-cm                              | AA; Típico at 68°F                                                                             |
| <b>PROPIEDADES TERMICAS</b>   |                                             |                                               |                                                                                                |
| CTE, linear 68°F              | 23.6 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ | 13.1 $\mu\text{in}/\text{in}^{\circ}\text{F}$ | AA; Típico; Promedio encima de un rango 68-212°F.                                              |
| CTE, linear 250°C             | 25.2 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ | 14 $\mu\text{in}/\text{in}^{\circ}\text{F}$   | Estimado de las tendencias similares a las aleaciones. 20-300°C.                               |
| Capacidad térmica             | 0.896 J/g-°C                                | 0.214 BTU/lb-°F                               |                                                                                                |
| Conductividad térmica         | 167 W/m-K                                   | 1160 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F            | AA; Típico at 77°F                                                                             |
| Punto de fundición            | 582 - 652 °C                                | 1080 - 1205 °F                                | AA; Rango típico basado en la composición típica de productos forjados 1/4 in Espesor o mayor; |

|                                 |        |         |                                                               |
|---------------------------------|--------|---------|---------------------------------------------------------------|
|                                 |        |         | La temperatura eutectica puede eliminarse por homogenización. |
| Solidificación                  | 582 °C | 1080 °F | AA; Típico                                                    |
| Fundición                       | 652 °C | 1205 °F | AA; Típico                                                    |
| <b>PROPIEDADES DE PROCESADO</b> |        |         |                                                               |
| Temperatura de solución         | 529 °C | 985 °F  |                                                               |
| Temperatura de envejecimiento   | 160 °C | 320 °F  | Rollado o extruídos; manteniendo la temperatura por 18 hr     |
| Temperatura de envejecimiento   | 177 °C | 350 °F  | Extrusiones o forjados; manteniendo la temperatura por 8 hr   |

**Fuente:** <http://www.matweb.com>

## 2.8 ANÁLISIS CINEMÁTICO:

Para lograr que la plataforma se desplace hasta el final de su recorrido de 4.8 m en 60 segundos, necesita moverse a una velocidad de 8 cm/s, El motivo por el cual las columnas se pueden deslizar con respecto de la anterior es la disposición de las poleas dentro de la estructura, si se observa, cada grupo de columnas deslizantes tiene un vacío a lo largo de las columnas móviles o estáticas, esto con la finalidad que a través de ella pasen los cables del malacate y permitan la elevación del artefacto, como se muestra en la figura siguiente se puede observar que el cable jamás rozará o tendrá alguna

interferencia con las poleas, eso si es claro que el cable no debe superar el diámetro máximo de  $\frac{1}{4}$  " para que no se presente el rozamiento ya mencionado.

Una idea de cómo es el movimiento del elevador se da en medio magnético y como complemento de estas memorias, en un formato de archivo .avi junto con los archivos que se obtuvieron durante el modelado y prototipado en este proyecto de grado.

También es oportuno decir que la elevación de las columnas es por medio de 2 cables independientes, y un solo tambor tractor, estos sistemas son más resistentes y se pueden conseguir en el mercado fácilmente.

### 3 FASE DE PROTOTIPADO, ANALISIS CAE

#### 3.1 INTRODUCCIÓN.

Después de haber modelado previamente las ideas que se tenían sobre la estructura del elevador se procede a analizar el sistema con el programa de CAE ANSYS Workbench V8.1.

El proceso de realización del análisis de ingeniería al modelo es el siguiente.

Luego de elaborar el conjunto en Solid Edge V14; el programa captura el parasólido y lo deja disponible para agregar las cargas a las que se verá sometido, estas cargas son externas y el mediante análisis de elementos finitos realizara el cálculo de el comportamiento interno de los materiales a esos factores externos ya mencionados. Es importante recalcar que el análisis (FEA acrónimo de Finite Element Analysis) del conjunto solo se le hace a los elementos que están comprometidos y afectados por las cargas externas dentro del conjunto. Accesorios como el motor, los controles, o las ruedas para movilización de la máquina no entran aquí por que no trabajan durante la operación.

Otros elementos de difícil realización en el sistema CAD, como el cable de elevación o el moto-reductor, que fueron seleccionados, no tienen relevancia en la simulación desde el punto de vista de simplificación del modelo, que es uno de los deberes del diseñador para la fácil solución del problema por el programa CAE aunque en la simulación final se deja el tambor del winche y

algunos elementos de fijación para efectos del calculo de la dirección de las fuerzas como se explica en el numeral 3.5.1.

Se tiene también especial cuidado con los factores que afectan la simulación y los cuales se explican en los numerales subsiguientes.

## **3.2 ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.**

### **3.2.1 ANSYS Workbench V8.1.**

El programa de ANSYS Workbench V8.1 es un programa que hace análisis de elementos finitos, para nuestro caso nos interesa el modulo de Fatiga.

Inicialmente se importaron los modelos desde Solid Edge y el programa requiere unas entradas para el análisis, como son verificación de la geometría, contactos, enmallados, y otros que se explica su elaboración además un anexo donde ANSYS Workbench V8.1 informa los resultados de la simulación.

## **3.3 SIMULACION GENERAL**

### **3.3.1 Geometría.**

En este espacio, se revisa la geometría importada por ANSYS Workbench V8.1 y se referencia los materiales de los elementos del conjunto.

Aquí se puede extraer datos del parasólido como el peso del conjunto, al igual que se definen los materiales de los que estarán hechos los elementos o piezas del conjunto.

### **3.3.2 Contactos.**

Los contactos son importantes dentro del análisis por que a través de ellos las fuerzas se transmiten de un cuerpo a otro, definiendo el modo en el cual se verá afectado el sistema.

### **3.3.3 Tipos de contactos.**

Las diferencias entre las opciones de los contactos determinan como los cuerpos adyacentes o unidos pueden moverse respecto a otro. Muchos de estos tipos solo se aplican a las regiones en contacto en sus caras solamente.

### **3.3.4 Bonded.**

Es la opción que está configurada por defecto para las regiones en contacto. Si las regiones en contacto tienen esta opción, entonces no hay deslizamiento o separación entre las caras o bordes considerados. Piense que la región esta pegada. Este contacto permite que en la solución lineal el área de contacto no cambie durante la aplicación de la carga. Si el contacto es determinado en el modelo matemático, cualquier brecha será cerrada y cualquier penetración inicial ignorada.

### **3.3.5 No Separation.**

Esta opción de contacto es similar al caso Bonded; Ella solo aplica a regiones o caras. La separación entre las caras no las permite, pero pequeños deslizamientos por fricción pueden ocurrir a lo largo de las caras en contacto.

### **3.3.6 Frictionless.**

Esta opción modela contactos unilaterales básicos; que son presiones normales iguales a cero si la separación ocurre. Esto solo aplica a las caras. Así que se pueden formar espacios entre los cuerpos dependiendo de las cargas. Esta solución es no lineal por que el área de contacto puede cambiar cuando se aplica la carga.

Se asume coeficiente de fricción cero, permitiendo libre deslizamiento. El modelo podría estar bien pegado cuando se utiliza esta opción. Resortes débiles son añadidos al ensamble para ayudar a la estabilidad del modelo para llegar a una solución razonable.

### **3.3.7 Rouge.**

Es una opción similar a la frictionless, esta opción modela perfectamente un contacto friccional donde no hay deslizamiento. Solo se aplica entre superficies.

Por defecto, no se cierran los espacios automáticamente en la solución. Este caso corresponde al de coeficiente de fricción infinito entre cuerpos en contacto.

### **3.3.8 Frictional.**

En esta opción, dos caras en contacto pueden traer esfuerzos cortantes de cierta magnitud a lo largo de su interfase antes de que el deslizamiento relativo empiece entre ellas; esta opción solo aplica entre caras. Este estado es conocido como "adherencia". El modelo define un esfuerzo cortante equivalente al cual el deslizamiento en la cara comienza como una fracción de la presión de contacto. Una vez el esfuerzo cortante es excedido, las dos caras

tendrán un movimiento relativo entre si. El coeficiente de fricción puede ser cualquier valor no negativo.

Escoger el tipo apropiado de contacto depende del tipo de problema que este tratando de solucionar, en toda nuestras simulaciones se seleccionó el tipo Bonded puesto que se supone que todos los cuerpos van a estar firmemente unidos en el momento mas crítico, además es el tipo de contacto que hace que se vea mas fácilmente la transmisión de esfuerzos entre los conjuntos con este tipo de contacto.

### **3.4 MESH.**

El enmallado es la etapa en la que el programa divide las piezas o los conjuntos en pequeños elementos finitos más fáciles de analizar. En esta fase hay que tener especial cuidado por que es la que permite o no realizar el análisis.

Es aquí donde el diseñador debe empezar a simplificar su modelo, dejar los elementos mas importantes de su conjunto o los que se verán afectados por la aplicación de las cargas, aquí nos damos cuenta que aunque los computadores ha ayudado a evolucionar y facilitar los cálculos por medio de análisis FEA, esto no significa que cualquier sistema tenga solución, los computadores tienen limites y los sistemas de solución de un elemento puede ser tan grande que se necesitará mas que un ordenador convencional para llegar a una solución.

Para el análisis del elevador se hizo un enmallado inicial con los parámetros que muestra la figura 6a y 6b

Los autores hacemos aquí especial caracterización del proceso de simulación y de las partes en las que se dividió y analizó.

1. La simulación general es la que implica todo el cuerpo de la estructura, de esta se van a sacar los elementos críticos para analizarlos detenidamente bajo el criterio de factor de seguridad.
2. La simulación de la base se hace con el factor de resistencia a la fatiga modificado por el factor de soldadura y dentro de la misma simulación general, pues el factor de fatiga por tener soldadura será diferente al del tratamiento general del conjunto total.
3. Elementos como las poleas que presentan diferente tipo de carga, en este caso carga alternativa y no repetitiva, se simulará aparte y con un prototipado ligeramente diferente a como se encuentra en la estructura, por el hecho de ser un nuevo modelo, el que se va a simular, ANSYS Workbench define un diferente enmallado al que tiene en el conjunto general, por esto los factores de seguridad no son exactamente los mismos pero si muy parecidos.

Figura 6a. Enmallado total del conjunto del elevador.

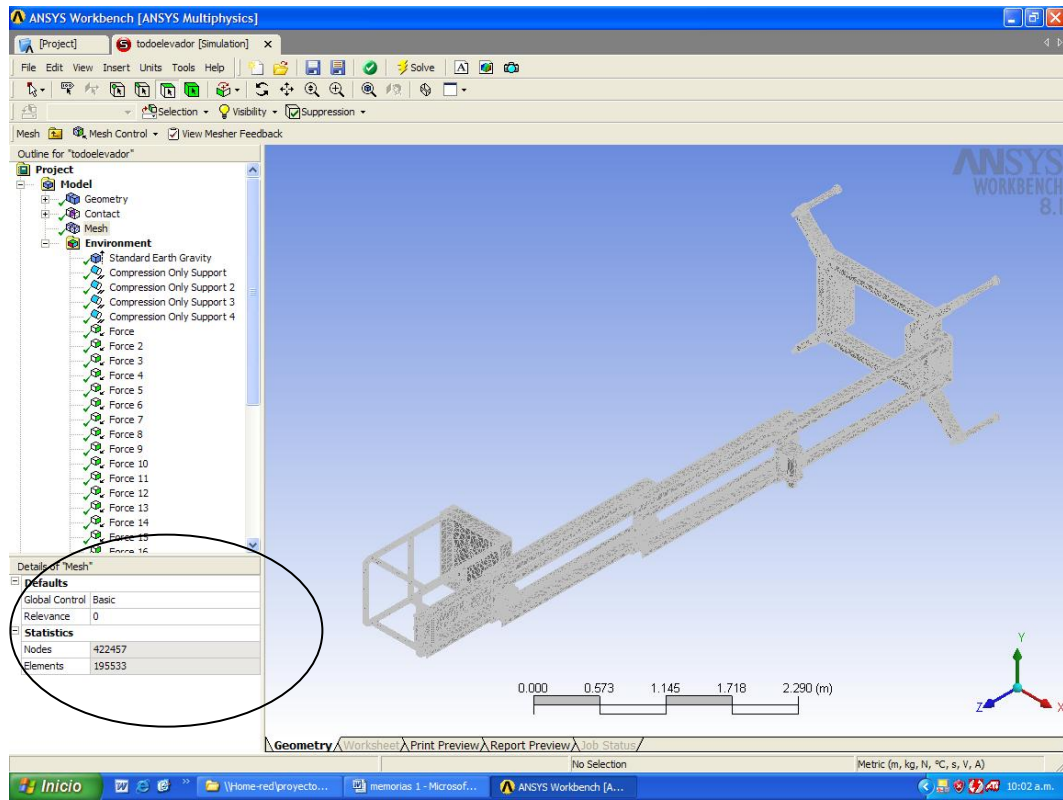


Figura 6b. Características del enmallado. Se aprecian los detalles del enmallado, la cantidad de nodos y elementos finitos del conjunto.

| Details of "Mesh" |        |
|-------------------|--------|
| <b>Defaults</b>   |        |
| Global Control    | Basic  |
| Relevance         | 0      |
| <b>Statistics</b> |        |
| Nodes             | 422457 |
| Elements          | 195533 |

### 3.4.1 Detalle del enmallado.

Se observan los detalles del enmallado como el control global y la relevancia que están seleccionados por defecto, la cantidad de nodos y elementos a analizar. Se puede visualizar la dificultad que podría tener el ordenador al

tratar de analizar ciento noventa y cinco mil elementos y cuatrocientos veinte y dos mil cuatrocientos cincuenta y siete nodos de la estructura.

### **3.5 ENVIRONMENT.**

En esta etapa del análisis, el ingeniero debe aplicar las cargas externas que afectaran el modelo, ellas son fuerzas, temperaturas, gravedad y otras que dependiendo del tipo de simulación que se quiera hacer.

Aquí un factor a tener en cuenta es la aproximación a la que esta sujeta el modelo de la realidad, es decir, muchos factores externos no pueden ser simulados a la perfección dentro del programa, estas son situaciones únicas e imposibles de visualizar por parte del ingeniero, tales como efectos o actos no controlados de fuerza mayor o casos fortuitos. Además de la limitaciones del programa para acercarse a la realidad del entorno del modelo.

Como el conjunto total del elevador no se puede evaluar fácilmente y se simplificó previamente, se colocaron las fuerzas activas que afectarán la estructura, como las describimos a continuación.

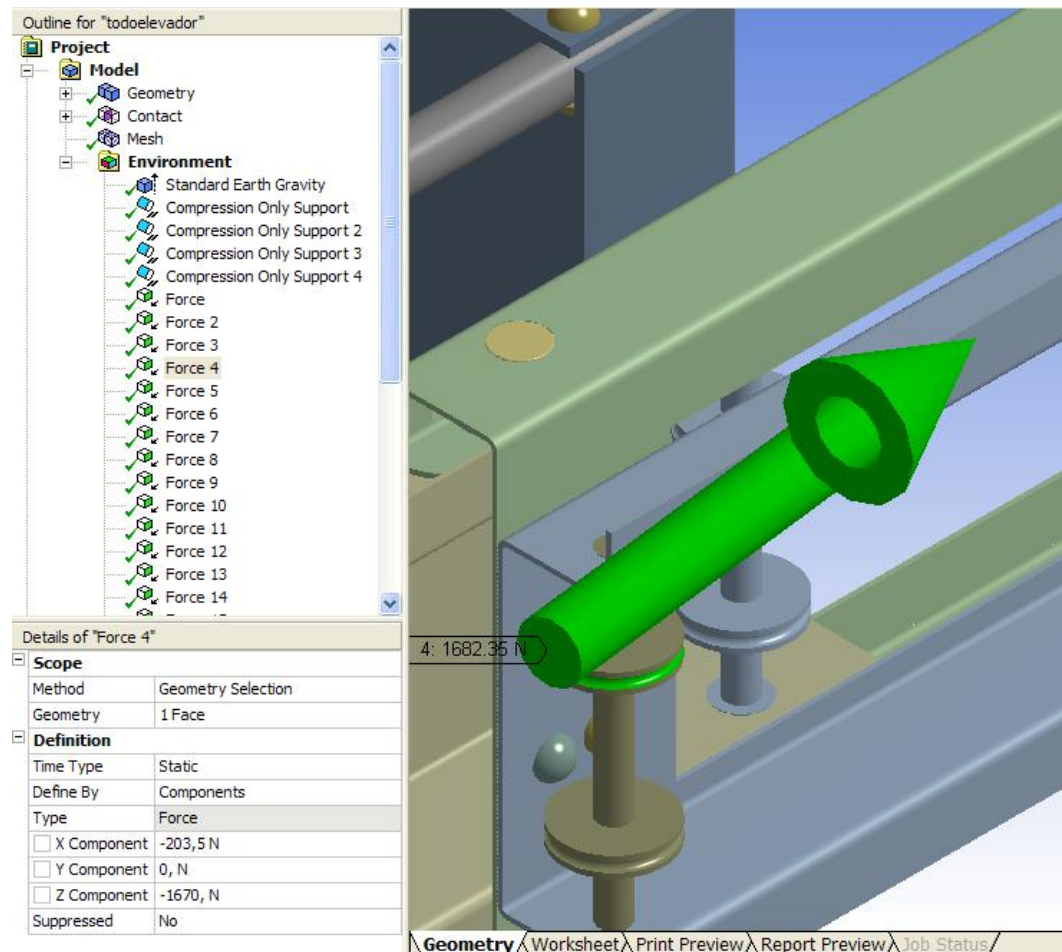
#### **3.5.1 Fuerza del cable.**

Es la que produciría el cable si estuviese trabajando para sostener el elevador en la posición de análisis.

Las fuerzas son aplicadas donde se produce el efecto del cable en la estructura, como las poleas y el tambor del malacate, su dirección es el del vector unitario de posición del cable y su intensidad el mismo valor de tensión del cable que a su vez es la carga máxima que este debe soportar.

Como el análisis es estático, la fuerza del cable es la suma del peso de la estructura menos el peso de la base y la primera columna estática.

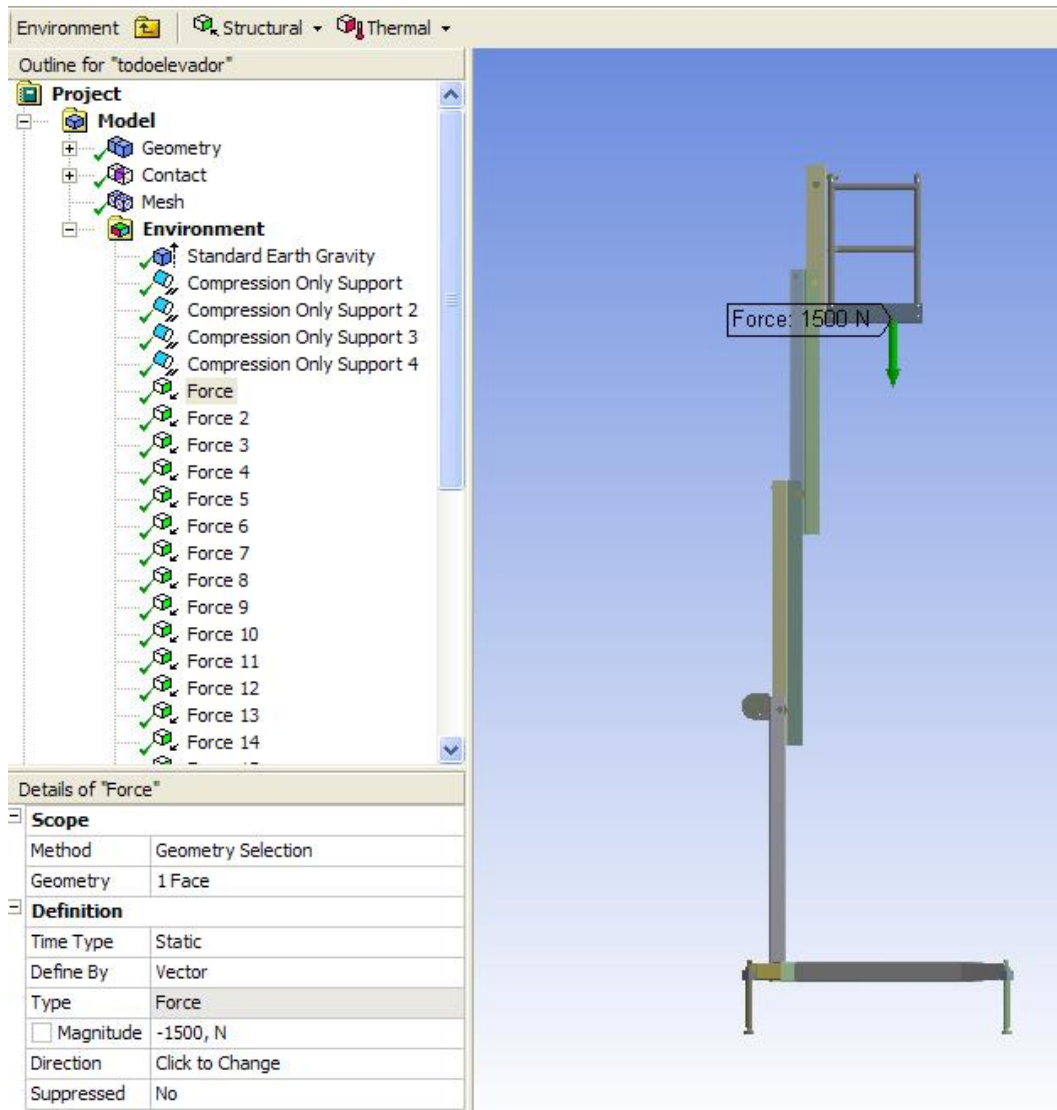
**Figura 7. Fuerza del cable.** Se aprecia la dirección de la fuerza, y el sitio donde actúa.



### 3.5.2 Fuerza de la plataforma.

Es la máxima fuerza que será aplicada en la plataforma, su valor es el máximo permitido para la operación del dispositivo de elevación.

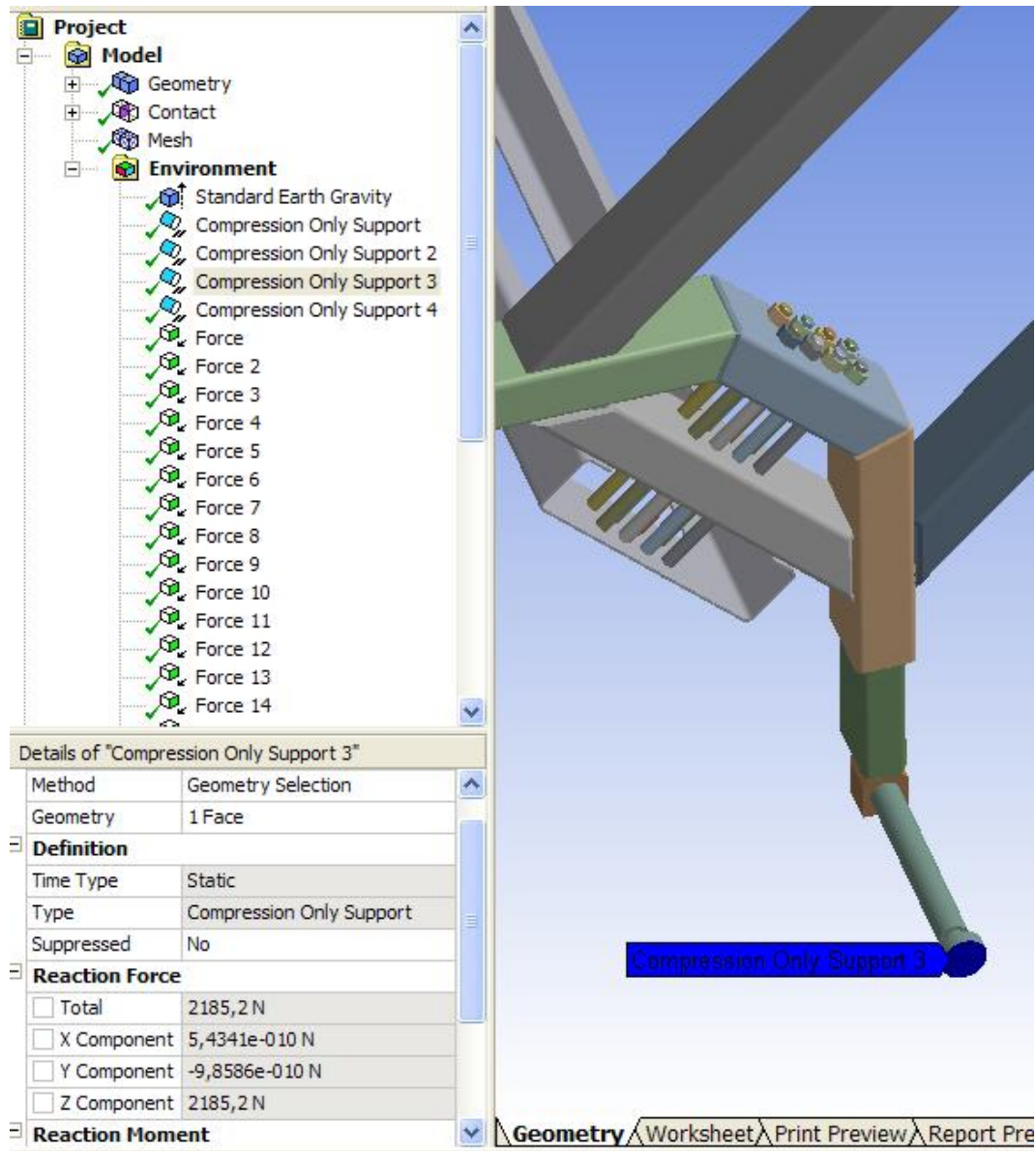
**Figura 8. Fuerza del la plataforma.** Se observa la magnitud y la dirección de la carga máxima del elevador.



### 3.5.3 Compression only support.

Es un tipo de soporte situado en los puntos donde la estructura se apoyará, aquí es donde se ubicaran las reacciones del piso sobre la estructura; en la simulación son cuatro los apoyos de la estructura y están ubicados en los tornillos de apoyo de la máquina.

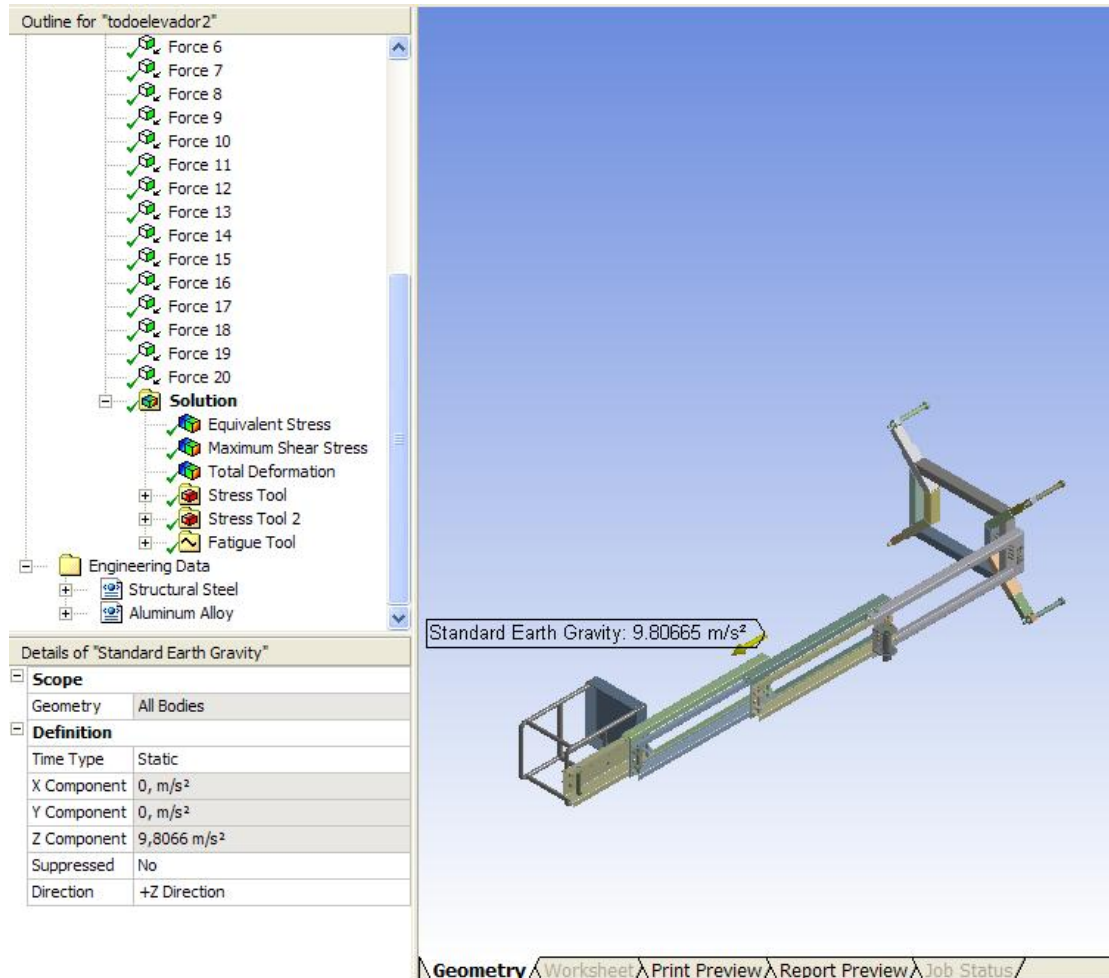
**Figura 9. Reacciones en los apoyos.** La figura muestra los sitios donde se apoya la estructura y donde se darán las reacciones del elevador.



### 3.5.4 Estandar earth gravity.

Gravedad es el valor de la aceleración de la gravedad para el sistema, en este caso, el programa ANSYS Workbench V8.1 pide que la dirección de esta aceleración sea en el sentido del eje Z positivo.

**Figura 10. Gravedad de la tierra.** Se aprecia la dirección de la gravedad que por cuestiones de los creadores del software debe tener el sentido positivo de Z.



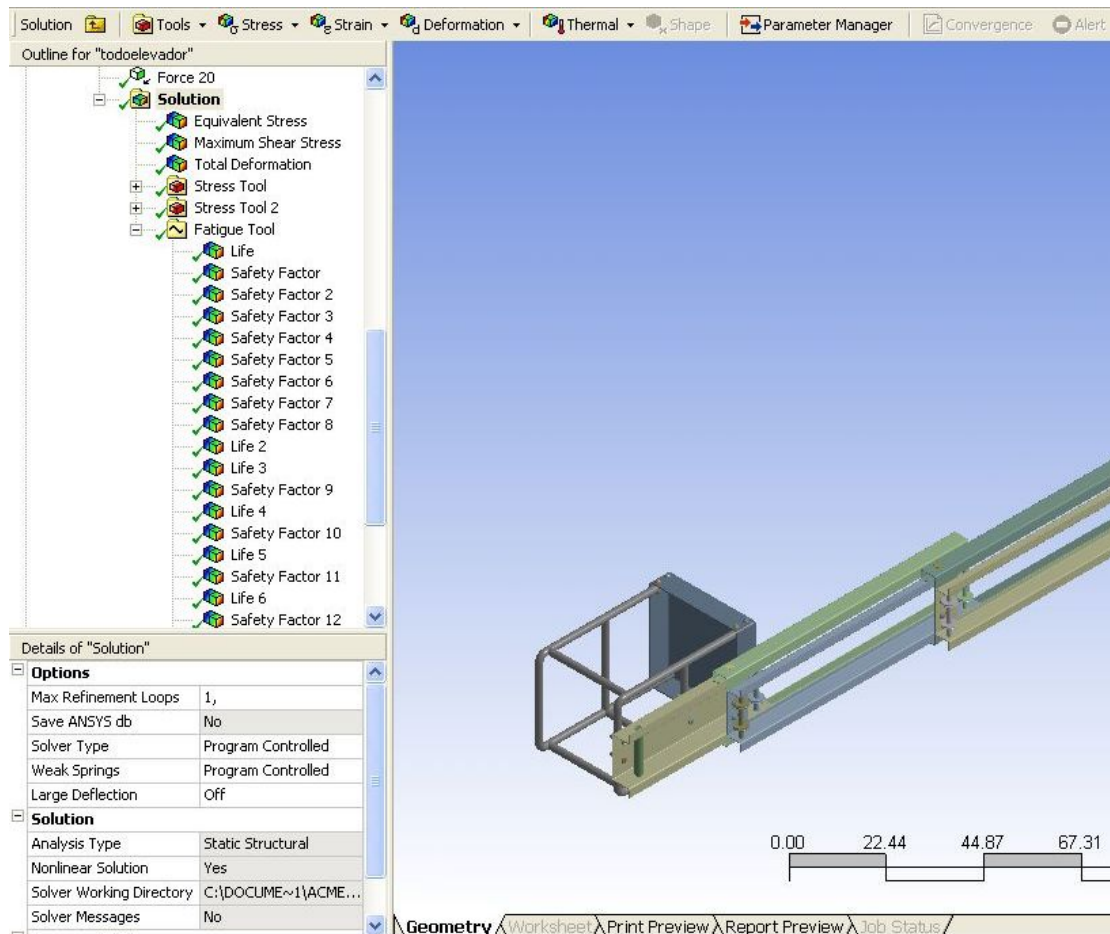
### 3.5.5 Solution.

En esta rama de la simulación, el programa nos presenta las respuestas posibles que podemos obtener, dependiendo de la rama que hallamos definido con anterioridad.

### 3.5.6 Details of "Solution".

Aquí el programa nos da los detalles de la solución y como llegara a ella, aquí se deja esta rama por defecto pues el programa hace los cálculos y toma la determinación de hacer del modo más eficiente el procesamiento de la información.

Figura 11a. Detalles de la solución.



**Figura 11b. Características de los detalles de la solución**

| Details of "Solution"    |                     |
|--------------------------|---------------------|
| [-] <b>Options</b>       |                     |
| Max Refinement Loops     | 1,                  |
| Save ANSYS db            | No                  |
| Solver Type              | Program Controlled  |
| Weak Springs             | Program Controlled  |
| Large Deflection         | Off                 |
| [-] <b>Solution</b>      |                     |
| Analysis Type            | Static Structural   |
| Nonlinear Solution       | Yes                 |
| Solver Working Directory | C:\DOCUME~1\ACME... |
| Solver Messages          | No                  |

### **3.6 RAMA DE LA SOLUCIÓN.**

ANSYS Workbench V8.1 permite seleccionar 6 modos de simulación de los cuales nos interesa solo el de fatiga, pues es para la estructura el más crítico en el uso del elevador.

#### **3.6.1 Opciones en la simulación de la fatiga.**

En esta rama, el programa nos da por defecto los parámetros que debo modificar para hacer las simulaciones mas adecuadas a la realidad física del prototipo.

#### **3.6.2 Fatigue tool.**

Esta sección del programa permite establecer los parámetros de la fatiga que presentan los componentes o el conjunto que se va a analizar, se combinaron una serie de factores que afectan a la estructura cuando se analiza su comportamiento bajo cargas que producen fatiga; ellos son:

Figura 12a. Rama de la solución.

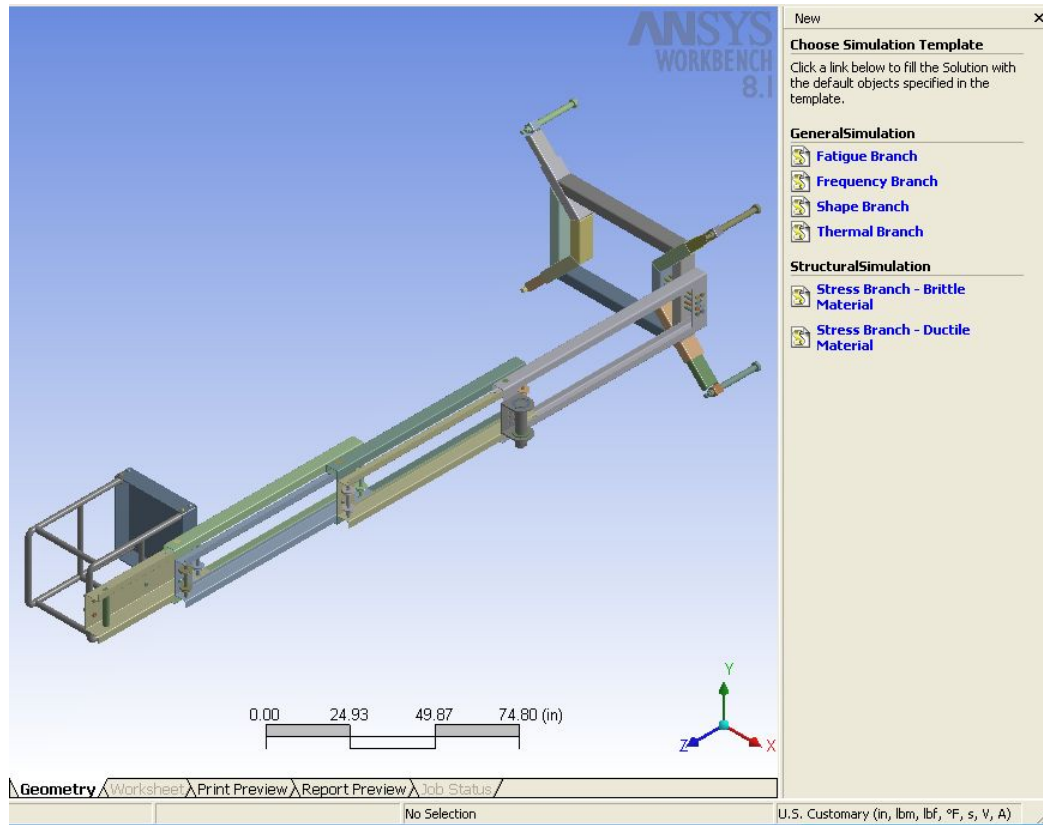
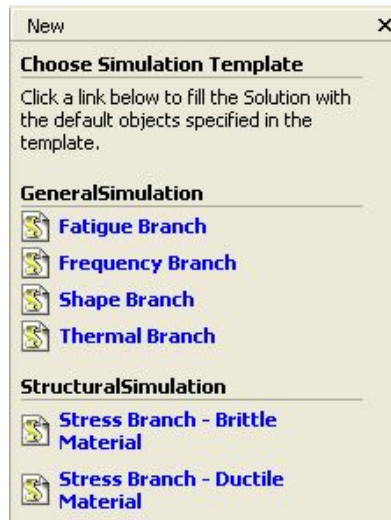
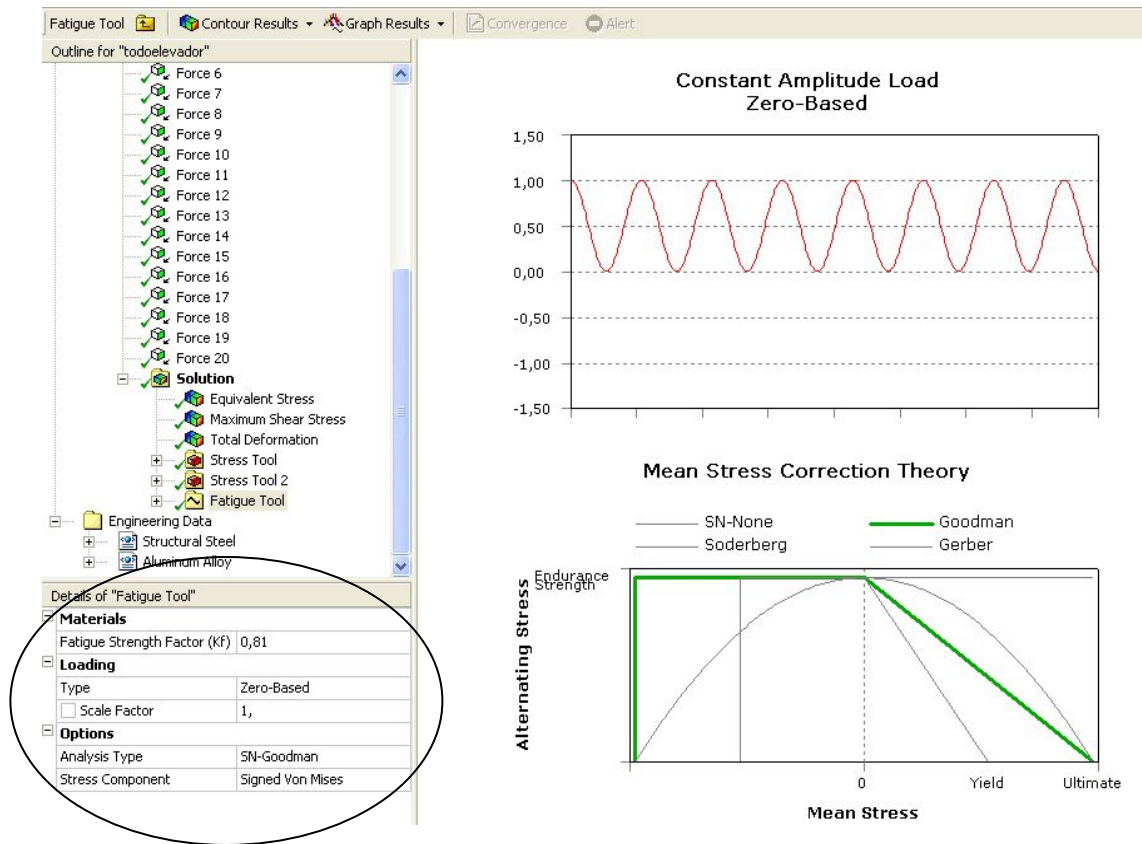


Figura 12b. Características de la rama de la solución. Detalle de Aquí se muestran las ramas de las simulaciones que puede resolver ANSYS Workbench



**Figura 13a. Herramienta para la Fatiga.** Muestra las gráficas del tipo de carga de fatiga de la estructura y la teoría de falla.



**Figura 13b. Características de la herramienta para la Fatiga.** Se muestra en esta figura los detalles de la solución del problema con fatiga y sus opciones del tipo de análisis y esfuerzos.

| Details of "Fatigue Tool"             |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| <b>Materials</b>                      |                  |
| Fatigue Strength Factor (Kf)          | 0,81             |
| <b>Loading</b>                        |                  |
| Type                                  | Zero-Based       |
| <input type="checkbox"/> Scale Factor | 1,               |
| <b>Options</b>                        |                  |
| Analysis Type                         | SN-Goodman       |
| Stress Component                      | Signed Von Mises |

### **3.6.3 Fatigue strength factor (Kf).**

Este factor es el producto de los factores que afectarían la resistencia a la fatiga de los materiales en un calculo del mismo de modo tradicional; pero por ser el programa una herramienta basada en elementos finitos, no se debe colocar factores como el factor de carga, o la sensibilidad a la entalladura etc; solo se afecta el modelo de la simulación el factor de acabado superficial, pues por ser elaborado por una herramienta C.A.D, los acabados superficiales son perfectos, cosa que no ocurre en la realidad. Por este motivo el factor Kf es establecido en 0,8 como consecuencia de la tabla en la pagina 9 de las conferencias de fatiga del profesor Alfredo Parada Corrales, sabiendo que a los materiales de acero se les va a hacer un esmerilado durante el proceso de fabricación del elevador, este factor por ser el menor en toda la estructura afecta de igual modo a todo el conjunto, existen otros factores mas altos en otras piezas pero por ser precisamente mas altos no tienen influencia en la simulación.

### **3.6.4 Loading.**

El tipo de carga seleccionado que se tendrá en la simulación es repetitiva, como lo muestra la figura 13b los esfuerzos van desde cero hasta el máximo en la elevación del aparato.

### **3.6.5 Scale factor.**

El valor de uno que se dejó se debe a que se supone que en el prototipo siempre se va a presentar la carga máxima de 150 kgf en la plataforma, esta suposición se hace por que como ya se dijo, la prueba de prototipado virtual es con las condiciones extremas para la que está diseñado el elevador, es decir, se supone que el aparato siempre va a elevar esa carga aunque en la realidad no sea cierto del todo.

### **3.7 Options.**

#### **3.7.1 Analysis type.**

Se selecciona el tipo de análisis de fatiga de Goodman.

#### **3.7.2 Stress component.**

La teoría del análisis de esfuerzos es la de Von Mises.

Para concluir el tipo de análisis de fatiga será bajo las teorías combinadas de Von Mises -Goodman.

## 4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

### 4.1 SIMULACIÓN GENERAL

Los ingenieros siempre nos preocupamos por localizar el eslabón mas débil de las máquinas o artefactos que diseñamos o analizamos, es por eso que los resultados de la simulación deja ver que, el factor de seguridad mínimo esta ubicado en las columnas estáticas de cada conjunto de columnas, exactamente en las pestañas de elevación; que son como se explica en el numeral 2.4.4; son los elementos mecánicos que permiten la elevación de las columnas, este factor de seguridad a fatiga es de 1.17 lo que indica que tendremos vida infinita o que permite mas de un millón de ciclos de subida y bajada en la estructura, cabe hacer una comparación o hacer al lector tener una idea de lo que significa en este caso la vida infinita para el elevador, si la vida del aparato fuese de 500 mil ciclos y la máquina se usara a su vez 50 ocasiones en un día, con la máxima carga, en los 7 días de la semana durante los 365 días del año, este instrumento tendría una vida de 27 años y un poco más, lo que para un usuario es excelente pues estaría comprando un instrumento duradero. Dentro del informe que se presenta en estas memorias, se aprecian los diferentes factores de seguridad de los diversos elementos del elevador, hay que aclarar que elementos mecánicos como las poleas tiene diferente comportamiento que el que se pone a prueba en la simulación, por que estas presentan esfuerzos fluctuantes al paso del cable por ellas, es por esto que el comportamiento de las poleas es nuevamente analizado con mayor detalle en otra simulación subsiguiente y donde observaremos el comportamiento real de estos elementos bajo esfuerzos fluctuantes y con otros parámetros de simulación que se explican en la respectiva simulación.

## 4.2 SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOLDADOS.

### 4.2.1 Base

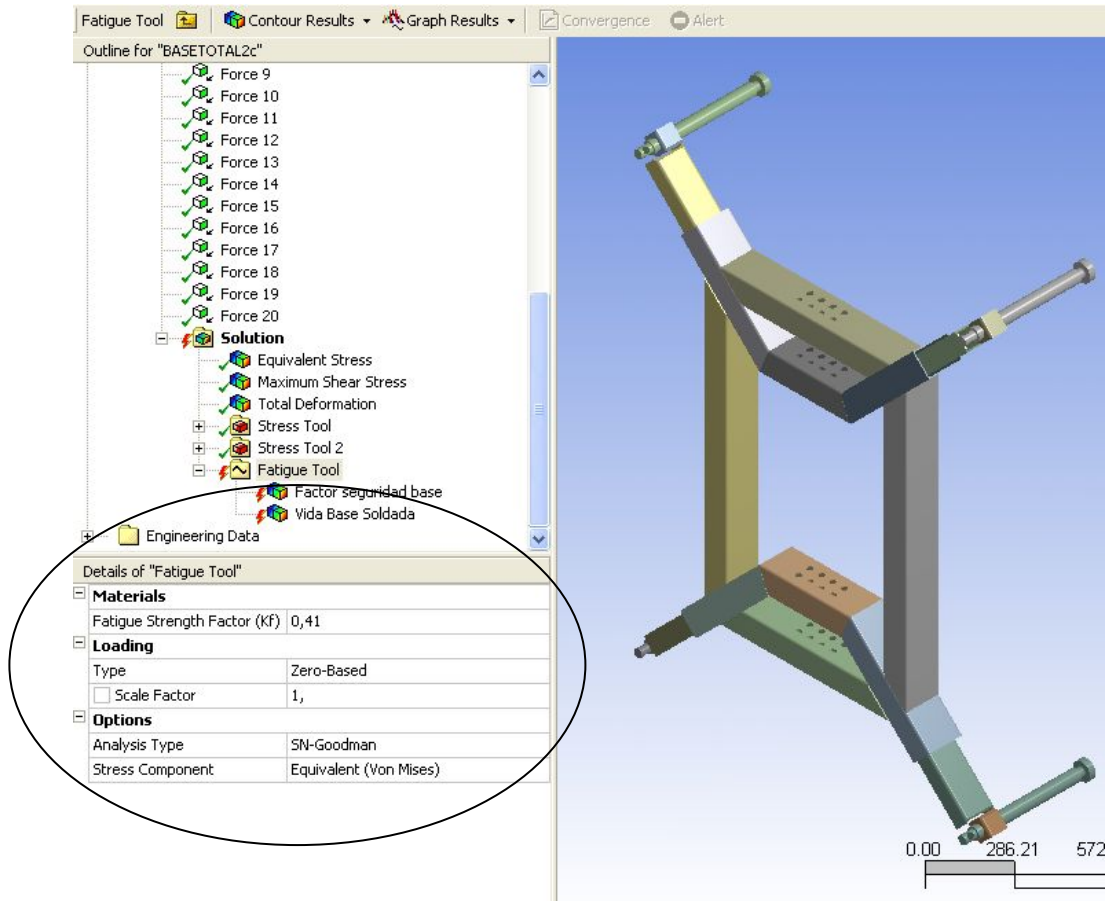
El tratamiento que tienen los elementos soldados en la estructura tiene que ser evaluado de modo diferente de los demás, esto se puede hacer dentro de la misma simulación general gracias a que ANSYS Workbench V8.1 nos permite observar factores de seguridad para elementos dentro de una misma simulación, esto implica de todos los diferentes pasos dados para lograr la simulación general son exactamente los mismos de la que se va a evaluar con excepción de el manejo que se da al factor de resistencia a la fatiga, se procedió a evaluar el conjunto de la base, que dentro de la estructura está soldado y no atornillado o remachado.

Se sabe que la soldadura tiene un efecto negativo sobre la resistencia a la fatiga de los elementos unidos por medio de este tipo de junta, es por eso que se tiene que reevaluar con diferente valor del factor de fatiga, ya que inicialmente se había tenido en cuenta un factor de solo 0.81 por que solo el modelo se diferenciaba de la realidad en el acabado superficial de los elementos, ahora que se tiene soldadura, se debe multiplicar este factor que afecta la fatiga, en el caso de uniones soldadas es de 0,5 el cual es un valor aceptado como conservativo cuando se diseña a fatiga este tipo de juntas.

**Véase Fatiga de los metales, de P.G. Forrest pag. 121**

Debido a que como ya se dijo, en la simulación el factor de seguridad de la base se obtendrá de la simulación general y lo único que cambiaremos será el factor de fatiga de 0,83 a 0,41 como lo muestra la figura 14, cosas como el enmallado, los tipos de contactos etc, no tienen que ser alterados por que ya se hizo en la simulación general.

**Figura 14a. Simulación de la base soldada.** Se muestra el conjunto de la base soldada que se va a analizar.



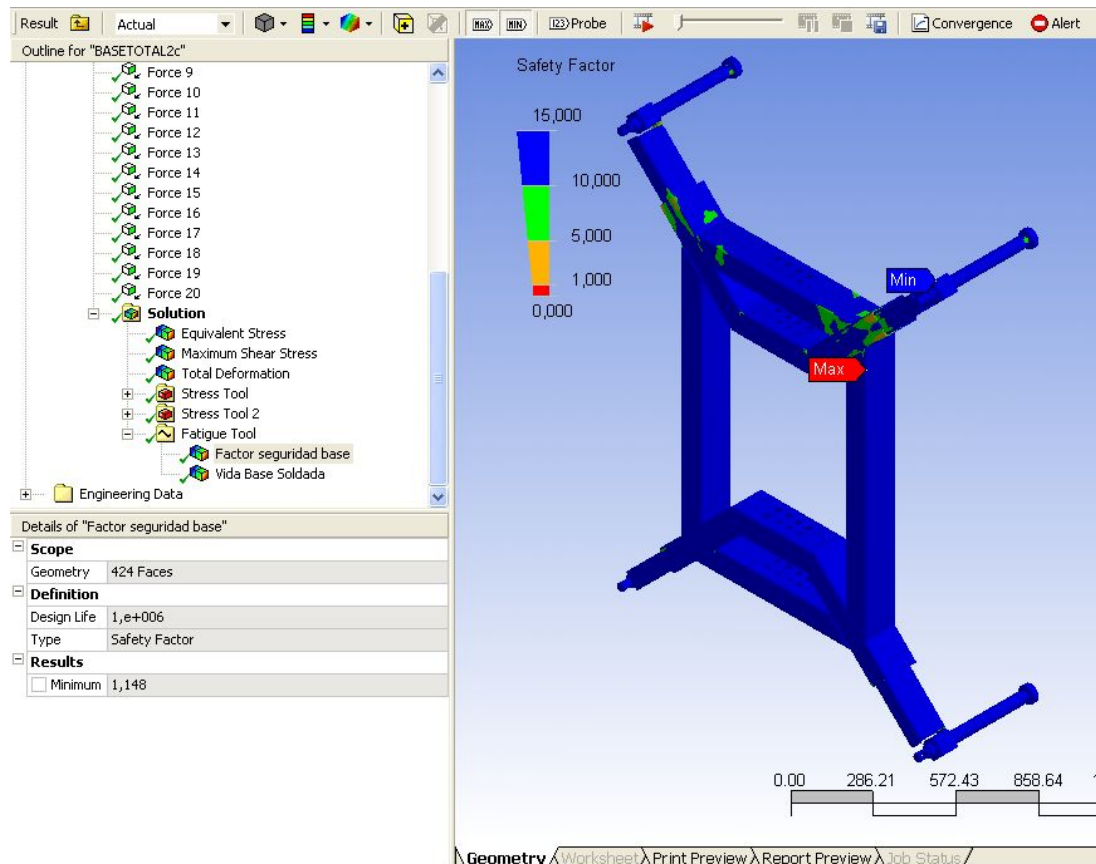
**Figura 14b. Características de la simulación de la base soldada.** Se detalla el nuevo valor de Kf modificado para obtener los resultados del factor de seguridad y la vida esperada.

| Details of "Fatigue Tool"             |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| <b>Materials</b>                      |                        |
| Fatigue Strength Factor (Kf)          | 0,41                   |
| <b>Loading</b>                        |                        |
| Type                                  | Zero-Based             |
| <input type="checkbox"/> Scale Factor | 1,                     |
| <b>Options</b>                        |                        |
| Analysis Type                         | SN-Goodman             |
| Stress Component                      | Equivalent (Von Mises) |

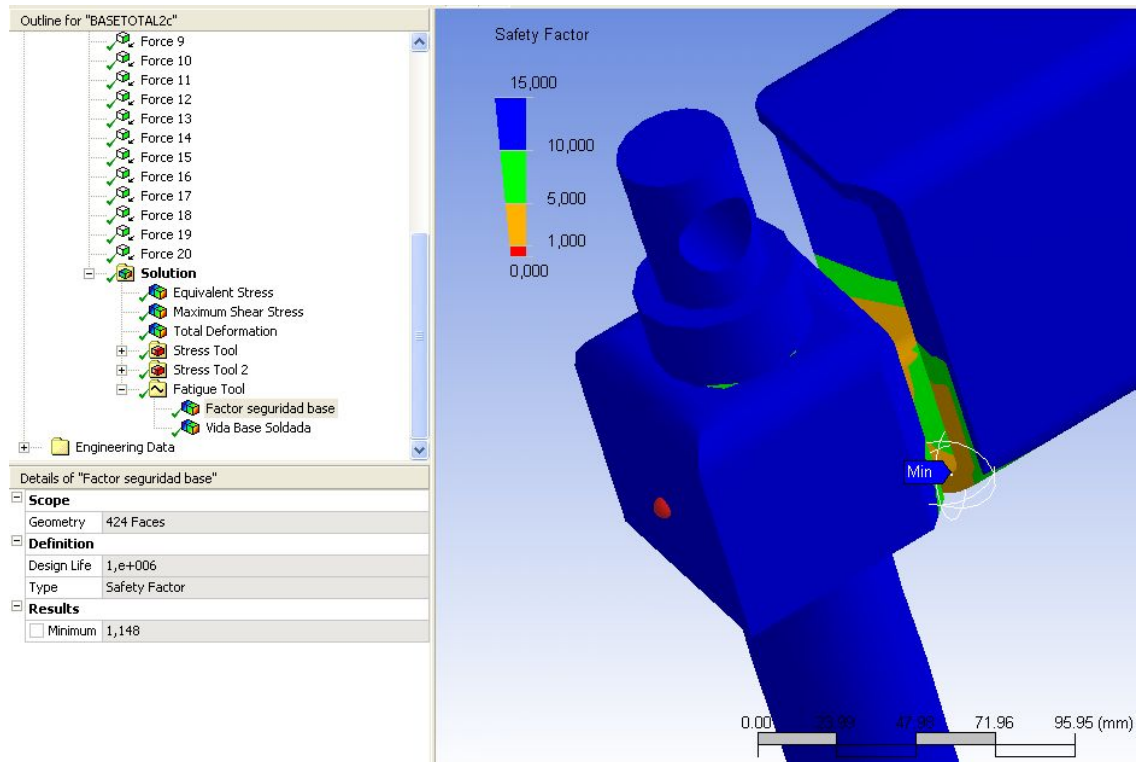
### 4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOLDADOS.

Como se puede ver en la figura 15 los resultados del factor de seguridad y de la vida a fatiga de la base son superiores a 1.14 y a un millón de ciclos respectivamente, esto nos indica que la base no sufrirá por la soldadura y que será segura en fatiga también. El punto crítico en la base es la junta soldada entre el brazo extensible y la tuerca del tornillo de apoyo de la base, es allí donde se observa el factor de seguridad de 1.148, y como se aprecia en la figura 15b.

**Figura 15a. Factor de seguridad de la base.** Se observa el factor de seguridad de 1.148 para un millón de ciclos de carga.



**Figura 15b. Punto crítico de la base.** Detalla el punto crítico y la variación del factor de seguridad en sus vecindades.



## 4.4 SIMULACIÓN DE LOS EJES Y LAS POLEAS

### 4.4.1 CAD, CAE de las poleas y sus ejes.

Los ejes, las poleas y su rodamientos se pueden apreciar en el plano 00-1B como se observa es un ensamble que presenta la unión entre el eje principal que soportan las poleas y otros dos ejes a los que denominamos manguitos, que son quienes servirán de apoyo para el conjunto en las columnas, y que tienen un ajuste forzado entre ellos y el eje.

Por ser un elemento mecánico de especial interés tiene un tratamiento distinto por que presenta carga totalmente reversible en la transmisión de potencia, pero son las poleas quienes realmente presentan carga reversible en

la simulación que se hizo, los ejes se fijan rígidamente en sus extremos y por el hecho de tener rodamientos estos no presentan carga reversible totalmente, los rodamientos se cambian por discos de acero que harán de soporte entre las poleas y el eje, esto debido a que siempre se deben en las simulaciones simplificar los modelos y además por que como se comprobó, el programa tiene problemas con el enmallado de estos elementos mecánicos.

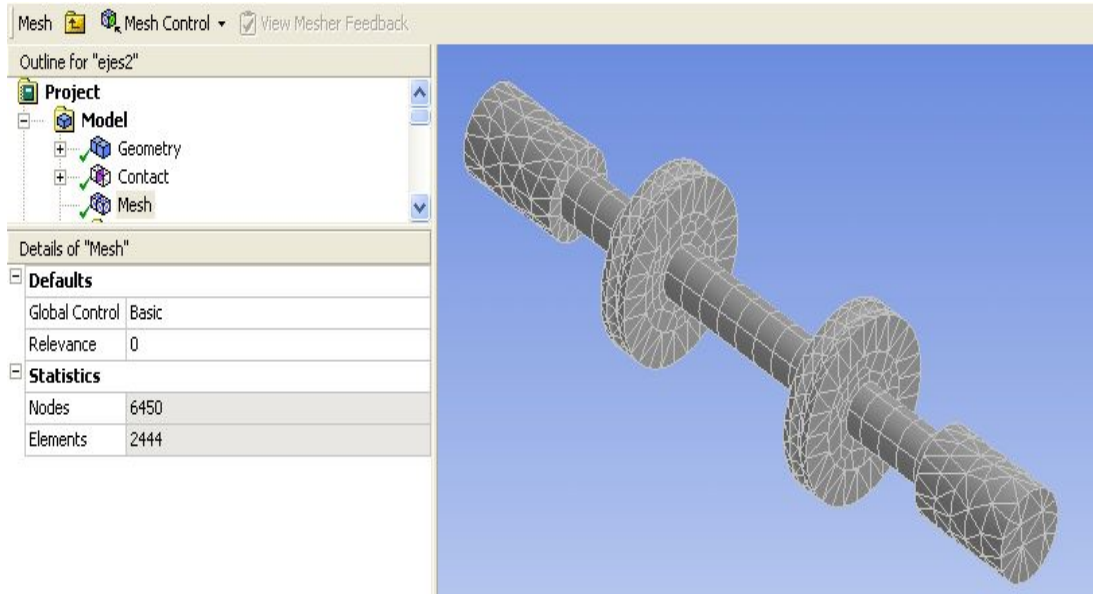
Sabiendo que vamos a simular para la fatiga este conjunto, procederemos únicamente a explicar los detalles de enmallado, entorno, fatiga y analizaremos sus resultados.

#### **4.4.2 Enmallado**

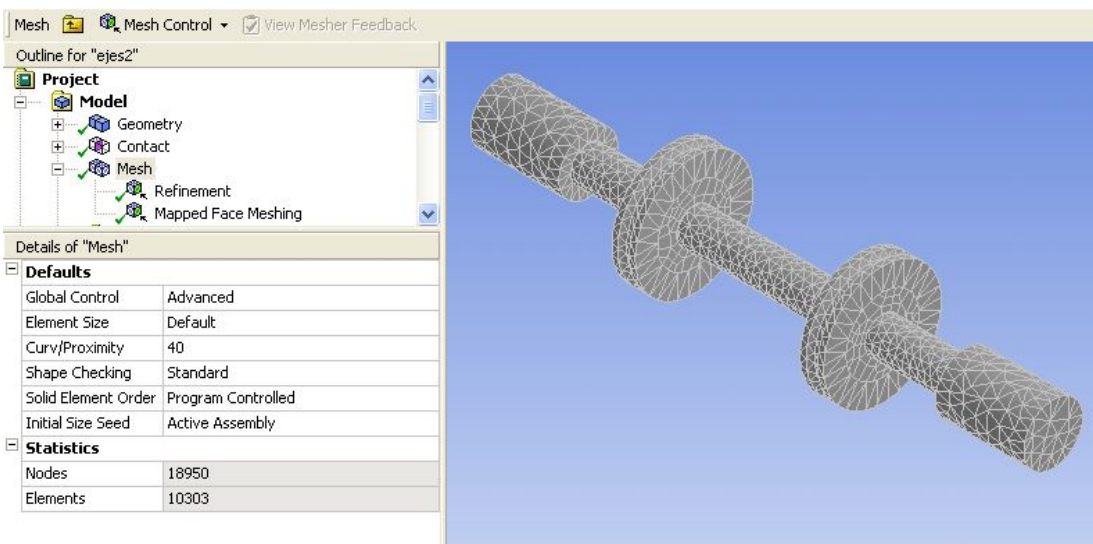
Sabiendo que la parte crítica del conjunto es el eje principal, se procedió a hacer en el enmallado un control del mismo para que el análisis fuese lo más preciso posible.

Se procedió a hacer un incremento en el detalle del enmallado de la siguiente forma; se realizó un refinamiento del eje principal y un “mapeado” o cartografiado del mismo con el fin de aumentar el detalle en el análisis de la simulación al eje, seguido de un aumento control global de la curvatura y proximidades a un valor de 40, lo que generó en un incremento de los nodos de 6450 a 18950 y de los elementos finitos de 2444 a 10303 como se puede comparara en las figuras 16 y 17.

**Figura 16. Enmallado de eje y poleas.** Se puede apreciar que sin el incremento de los detalles del enmallado los elementos finitos son pocos en el eje principal.



**Figura 17. Enmallado de eje y poleas refinado.** Después del control del enmallado en el eje principal.

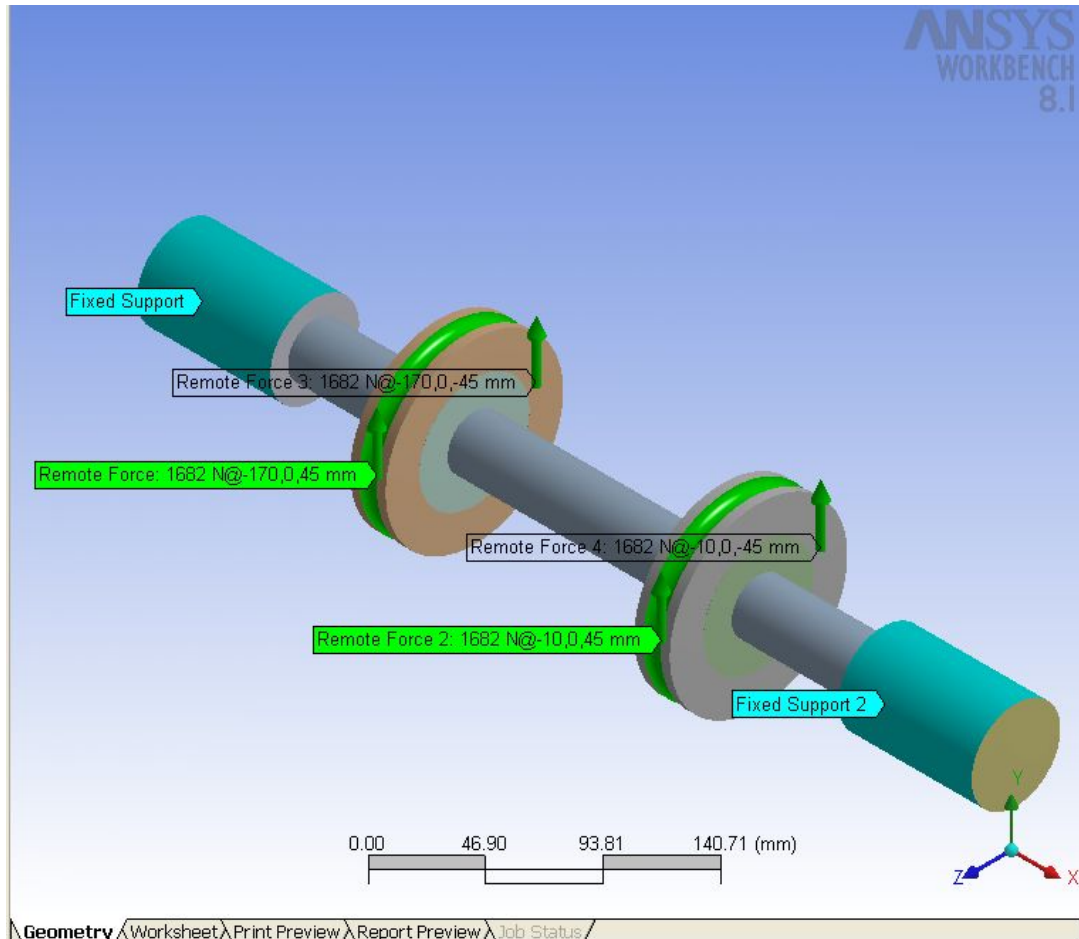


#### **4.4.3 Entorno.**

Las fuerzas sobre las gargantas de las poleas son las que ejerce el cable al paso por ellas y están ubicadas exactamente en el punto tangente en el que actúan y con la magnitud y dirección correspondiente como lo muestra la figura 18. Cabe aclarar que estas direcciones se obtuvieron de la parte CAD del elevador, ubicando los puntos tangentes en la garganta donde un mismo cable estaba ejerciendo fuerza, al hacer la resta de los puntos geométricos en el espacio nos da la línea de acción de la fuerza del cable o mejor, su vector unitario al dividir entre la magnitud de la misma resta, al multiplicar por la magnitud de la fuerza del cable obtenemos la magnitud y la dirección de las fuerzas que nos importan dentro del elevador.

Los apoyos son las caras de los maguitos del conjunto, puesto que allí se fija este conjunto a las columnas que serán donde se ubiquen finalmente dentro de todo el aparato estos elementos.

**Figura 18. Fuerzas en el eje y las poleas.** Se detalla el lugar de acción de las fuerzas, magnitud y dirección de las mismas así como los apoyos del sistema.



#### 4.4.4 Fatiga.

En el menú de fatiga se procedió a realizar los siguientes ajustes para que la simulación se ajustara lo mejor posible a la realidad que necesitamos en el prototipo,

#### 4.4.5 Fatigue strength factor (Kf).

Es de valor de 0.93 por que lo único que afecta la resistencia a la fatiga en este modelo es el acabado superficial del eje principal, se sacó de la tabla de factor de acabado superficial para todos los aceros, pagina 9 del libro de fatiga del

ingeniero Mecánico Alfredo Parada Corrales adición 2000, de donde sacamos este valor.

#### **4.4.6 Loading**

El tipo de carga es totalmente reversible, y el factor de aplicación es de uno pues la idea es que el elevador no supere nunca su carga máxima de operación, así pues ese valor es el mismo para el eje y sus poleas y todo el elevador.

#### **4.4.7 Options**

**4.4.7.1 Analysis type:** Se selecciona el tipo de análisis de fatiga de Goodman.

**4.4.7.2 Stress component:** La teoría del análisis de esfuerzos es la de Von Mises.

Para concluir el tipo de análisis de fatiga será bajo las teorías combinadas de Von Mises -Goodman. Ver figura 18a y 18b

Figura 19a. Herramienta fatiga en las poleas y ejes. Se aprecia la gráfica del tipo de carga totalmente reversible y el tipo de teoría de falla.

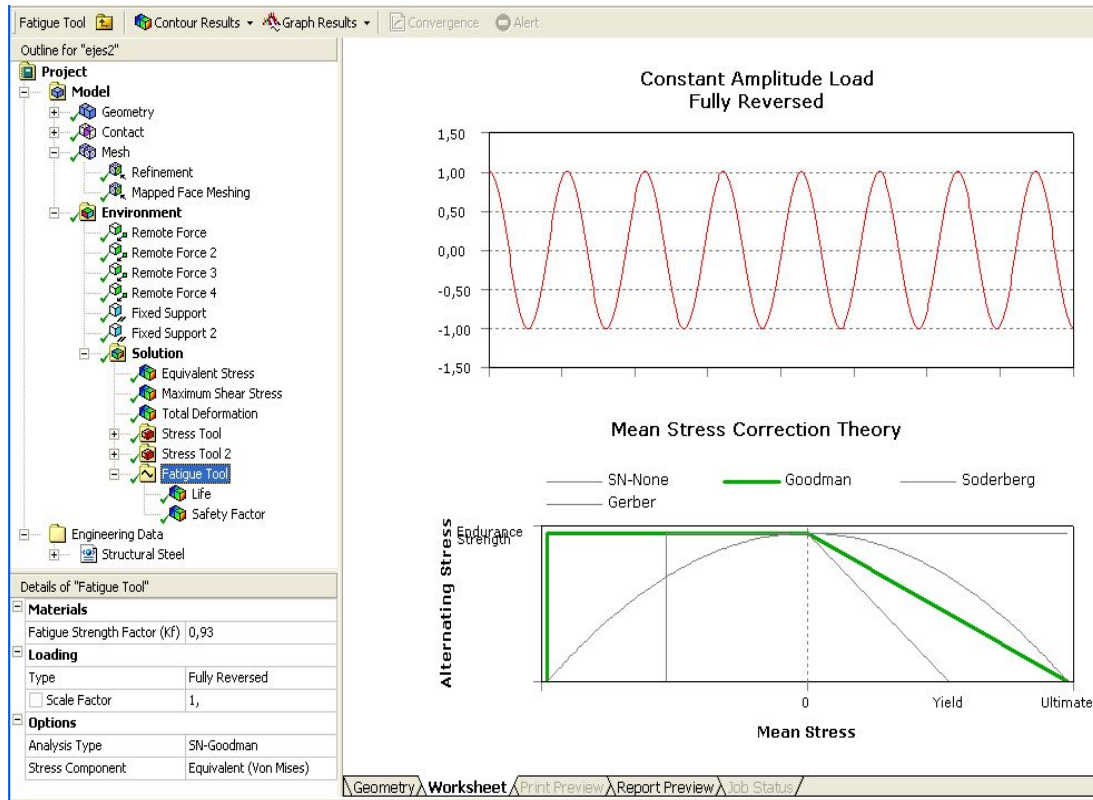


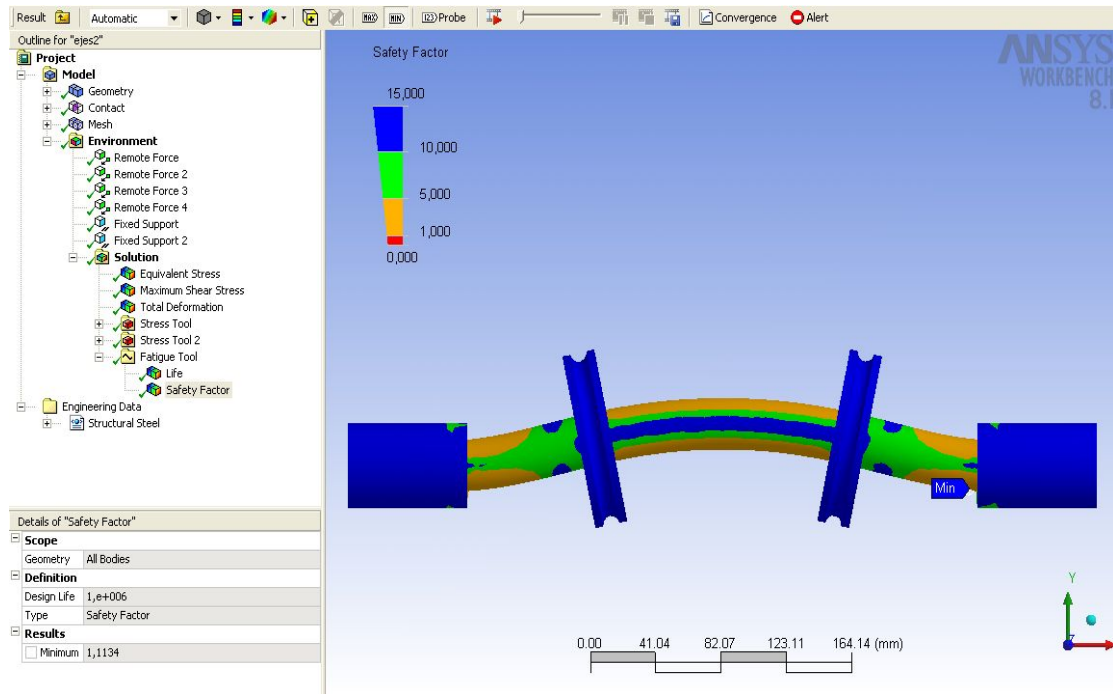
Figura 19b. Características de la herramienta fatiga en las poleas y ejes. Se aprecia el tipo de carga totalmente reversible que tienen las poleas y su factor de fatiga de 0,93 por el acabado superficial del acero.

| Details of "Fatigue Tool"    |                        |
|------------------------------|------------------------|
| <b>Materials</b>             |                        |
| Fatigue Strength Factor (Kf) | 0,93                   |
| <b>Loading</b>               |                        |
| Type                         | Fully Reversed         |
| Scale Factor                 | 1,                     |
| <b>Options</b>               |                        |
| Analysis Type                | SN-Goodman             |
| Stress Component             | Equivalent (Von Mises) |

## 4.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El resultado de la simulación fija el valor de la seguridad en 1.11 como se muestra en la figura para una vida de más de un millón de ciclos, el mínimo valor del factor de seguridad esta ubicado en el punto donde se produce la tensión en el eje como es de esperarse para un eje que experimenta ciclos repetidos de flexión – compresión.

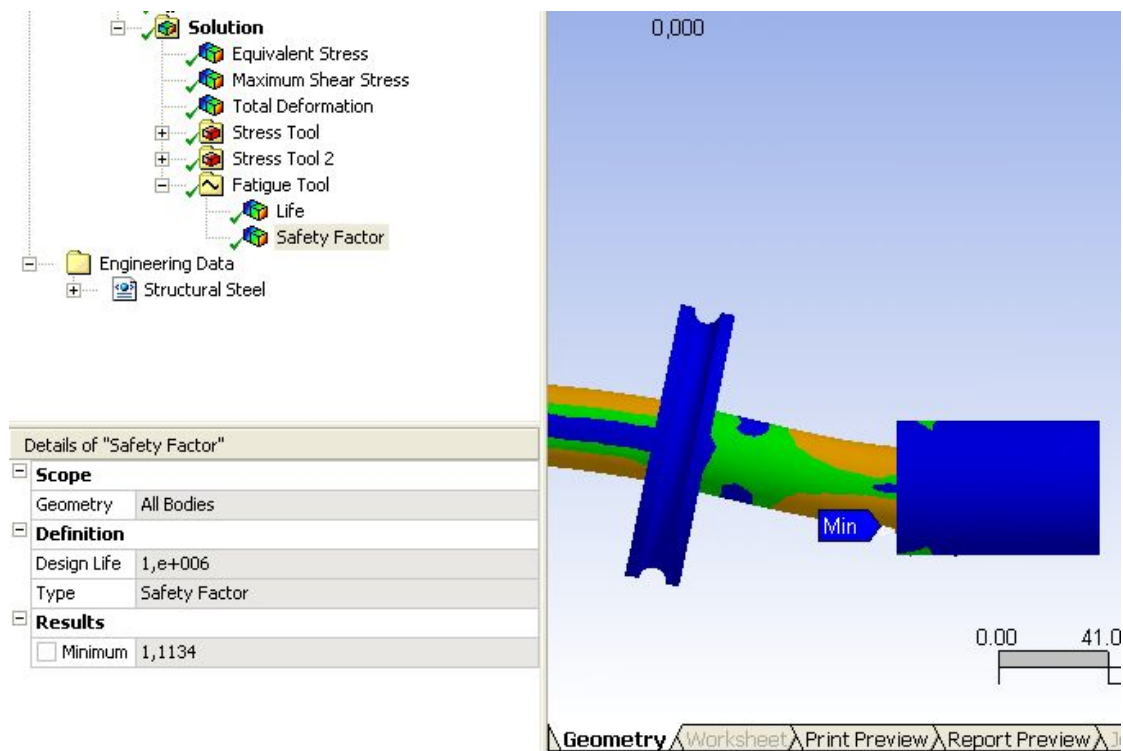
**Figura 20. Factor de seguridad de poleas y ejes.** En esta figura se aprecia en forma exagerada el efecto de la carga en las poleas sobre el conjunto total.



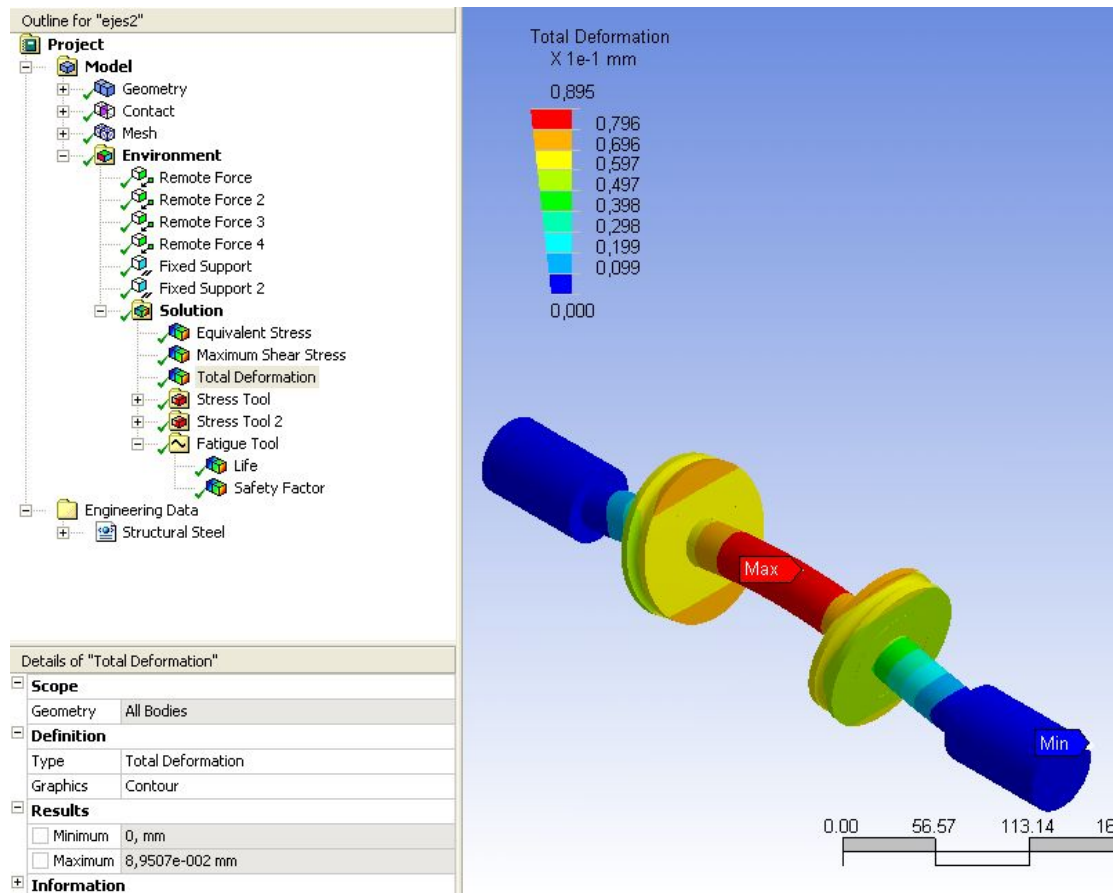
En las figuras 20 y 21 ANSYS Workbench V8.1 nos deja observar en modo exagerado la flexión a la que esta sometido el conjunto por efecto de las fuerzas sobre las poleas, aunque esta exagerado, en el centro se ve que se produce la mayor deformación, pero no tiene el mínimo valor de seguridad a la fatiga, esto se debe a el cambio de sección en el punto de apoyo entre los

ejes manguitos y el eje principal, no hay que caer en dilema de donde se encuentra el punto mas crítico, pues es claro que el extremo es un concentrador de esfuerzos por este cambio de sección, así no sea una continuidad en el material, el valor numérico de la deformación es de 0.895 mm como se puede observar en la figura 22, valor muy pequeño comparado con la magnitud de todo el conjunto simulado.

**Figura 21. Punto crítico de las poleas y ejes.** En este detalle se puede apreciar el lugar de mínimo valor del factor de seguridad, ubicado donde se produce flexión en el eje, aquí está más visible pero no distorsionada la figura, para poder apreciar el efecto de las fuerzas.



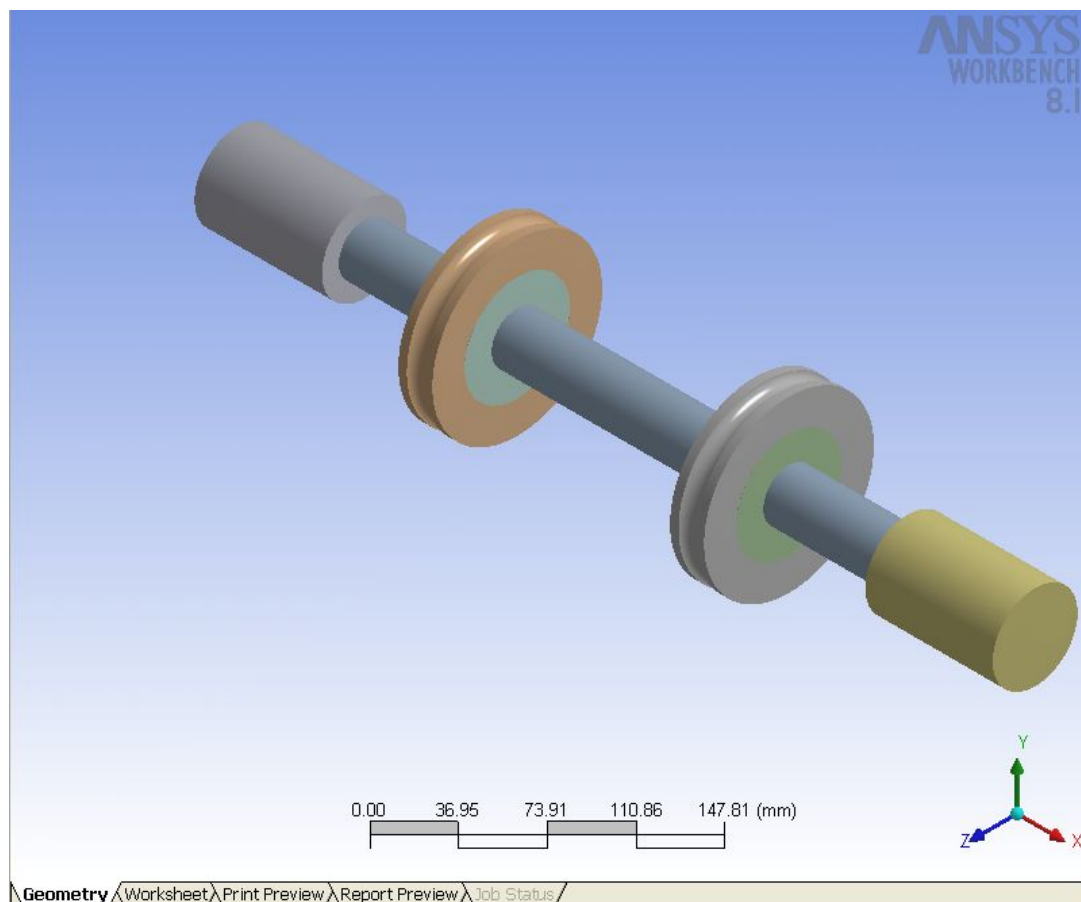
**Figura 22. Deformación máxima del eje.** Podemos observar el valor de la máxima deformación en el centro del eje, 0,895 mm valor muy pequeño, aquí nuevamente está visible pero no distorsionada la figura.



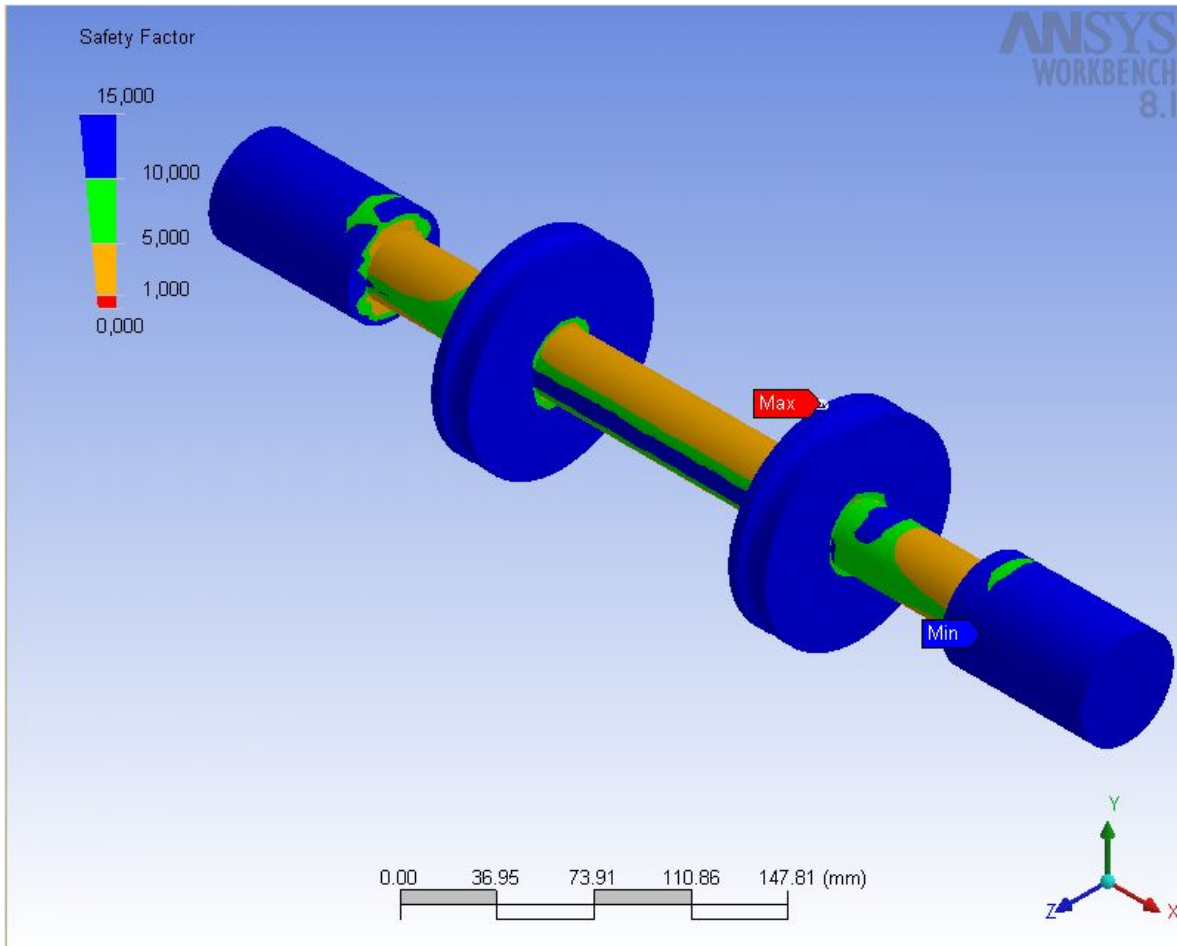
Ya se observó el conjunto completo de los ejes, pero como se dijo este elemento no presenta flexión rotativa del todo, son las poleas la que si pueden presentar este tipo de carga, por este motivo se presenta el valor del factor de seguridad de ellas, como se muestra en la figura 24; afortunadamente dentro de la misma simulación se puede ver que son las poleas los elementos con mayor factor de seguridad, con valores superiores a 10 como se compara contra la escala de colores del factor de seguridad.

Hay que ser cuidadosos por que cuando se analiza el sistema, los resultados no muestran la diferencian entre piezas en este caso, por ello se anexa la figura 23 del conjunto antes del resultado para que el lector observe que las poleas no presentan problemas con la fatiga.

**Figura 23. Conjunto poleas y ejes.** Se debe comparar contra esta figura los resultados de la simulación obtenidos en la figura 24, y ver que las poleas no presentan problemas de fatiga.



**Figura 24. Factor de seguridad del conjunto poleas y ejes.** Se puede observar en la figura que el valor del mayor factor de seguridad está en las poleas y que en estas, el valor siempre es mayor a 10.



#### 4.6 ELEMENTOS DE SELECCIÓN

Los elementos de selección son los que por razones ya mencionadas no se simularon y no se puede conocer el comportamiento dentro de la estructura, por este motivo se seleccionan de fabricantes y proveedores comerciales.

#### **4.6.1 Malacate y Cables.**

Se seleccionó un malacate de Fabricación americana, con capacidad de carga de 1000 kilogramos fuerza con dos cables de tracción, posee un cable de control remoto para instalarlo dentro de la plataforma y que el operario lo pueda manejar allí, y otro control para su operación en tierra, con cable de  $\frac{1}{4}$  ",  $\frac{3}{16}$ " o  $\frac{5}{32}$ " de diámetro para avión, tiene un sistema de reducción sin fin - corona de 1,3 Hp, velocidad máxima de 16,5 metros por minuto en el descenso de carga y de 7,5 metros por minuto en el arrollamiento con máxima carga, lo cual se cumple el objetivo que el elevador se despliegue totalmente en menos de 1 minuto, cabe aclarar que la selección se hizo basados en el peso de la estructura sin la base ni la primera columnas que son los elementos fijos, es decir no se mueven, ellos pesan como se puede ver en la figura 25a y 25b.

#### **4.6.2 Rodamientos.**

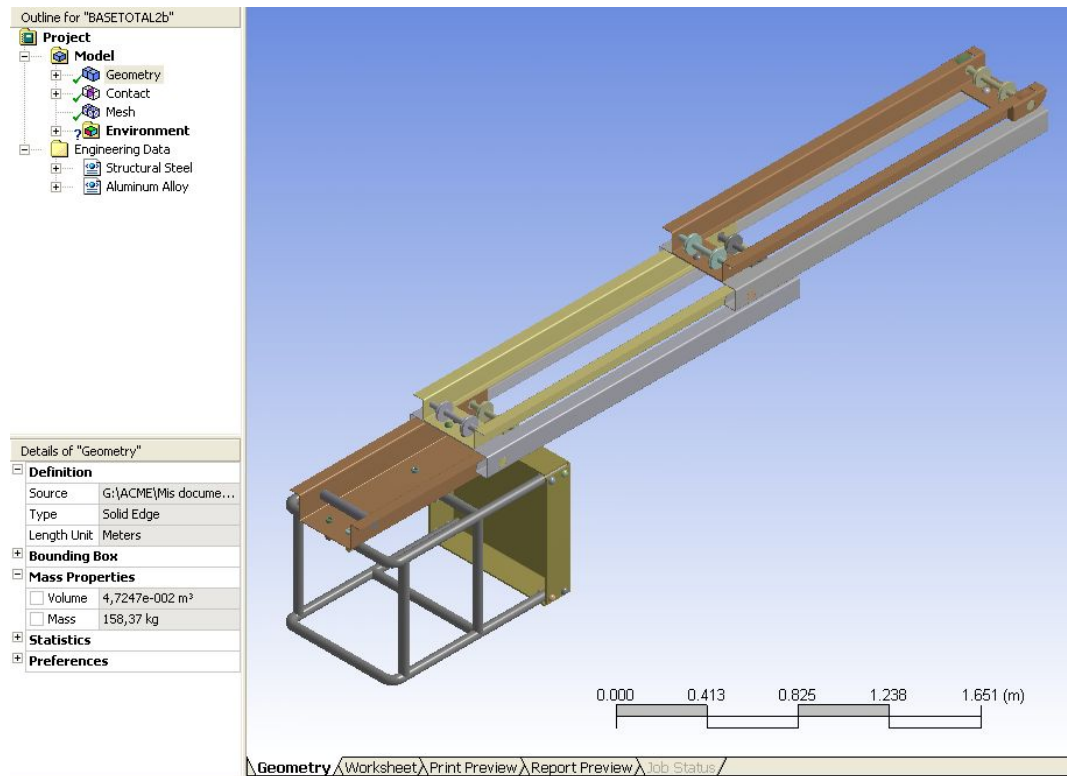
Los rodamientos seleccionados en el diseño del elevador para emplearlos en las columnas deslizantes son rodamientos rígidos de bolas con una fila de esferas y 2 sellos referencia 6310-2Z

Para las poleas, los rodamientos seleccionados fueron rígidos de bolas con una fila de esferas y 2 sellos referencia 62206 2RS1

#### **4.6.3 Elementos de fijación.**

Los elementos de fijación tiene la característica de ser todos de aleación de aluminio 6061-T6 pero como lo dicen los planos, estos elementos tienen las geometrías definidas por normas que se especifican en los planos.

**Figura 25a. Estructura que eleva el malacate.** Se puede observar el peso de la estructura que el malacate va a elevar que sumada a la carga máxima serán unos 310 kilogramos fuerza.



**Figura 25b. Peso que eleva el malacate.** Se aprecia el valor del peso de los elementos vistos en la figura 25a que sumados a la máxima carga permisible en la plataforma serán los que elevará el winche eléctrico.

| Details of "Geometry"           |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| <b>Definition</b>               |                            |
| Source                          | G:\ACME\Mis docume...      |
| Type                            | Solid Edge                 |
| Length Unit                     | Meters                     |
| <b>Bounding Box</b>             |                            |
| <b>Mass Properties</b>          |                            |
| <input type="checkbox"/> Volume | 4,7247e-002 m <sup>3</sup> |
| <input type="checkbox"/> Mass   | 158,37 kg                  |
| <b>Statistics</b>               |                            |
| <b>Preferences</b>              |                            |

## **4.7 ACCESORIOS**

Los accesorios son elementos que ayudan a que el elevador tenga un valor agregado adicional y colaboran con la operación segura del aparato.

Se dará una breve información a cerca de estos y se dejan a criterio de los constructores la mejora de los mismos o hasta el uso de ellos.

### **4.7.1 Unidad central de Mando.**

Es una caja con lógica cableada que se encarga de controlar el uso correcto dentro de los máximos o mínimos valores impuestos para permitir la operación del malacate que en últimas es quien permite la elevación o descenso del artefacto.

### **4.7.2 Sensores de Nivel.**

Son sensores conectados a la unidad central de mando con el objetivo de hacer inoperante el malacate en caso de que la plataforma no esté completamente horizontal.

### **4.7.3 Finales de carrera o de proximidad.**

Son los encargados de sensar cuando se debe apagar la unidad de potencia cuando el sistema de columnas deslizantes llega a la posición de máxima altura para evitar que el tambor siga enrollando el cable y la estructura sufra daños peligrosos.

#### **4.7.4 Sensores de peso, carga o presión.**

Son los encargados de informar a la unidad central de mando cuando la carga máxima admisible dentro de la plataforma supera los 150 Kg fuerza para que no se pueda subir o bajar la plataforma.

#### **4.7.5 Baterías Auxiliares.**

Es un sistema de reserva de energía para hacer funcionar el elevador cuando no exista la manera de conectar el aparato a la red eléctrica convencional de 110 V.

#### **4.7.6 Sistema de rodachines o ruedas.**

Son los que permiten el desplazamiento de la estructura y están soldados a la base.

## 5 CONCLUSIONES

- ☺ El prototipado virtual se realizó en ANSYS Workbench 8.1 y no en Unigraphics Nx debido a la naturaleza robusta y difícil manejo.
- ☺ La capacidad e carga máxima del elevador es de 150 Kg.
- ☺ El tiempo de elevación de 60 segundos puede ser mayor debido a que se le puede controlar por medio de la unidad central de mando quien gobierna a su vez el winche, pero nunca será menor al minuto propuesto.
- ☺ La altura máxima de la plataforma es de 5,32 m superando la propuesta de 5,20 m.
- ☺ La altura de acceso del operario es de 52 cm, siendo ahora 2 cm más alta que la propuesta inicialmente.
- ☺ La potencia del winche mecánico es de 1,3 Hp con alimentación a 110 o 220 V, con cable para avión de 1/4".

## RECOMENDACIONES

- ☺ El prototipado virtual en el diseño de cualquier elemento o conjunto es una herramienta poderosa que el ingeniero debe tratar de proponer siempre que se vaya a desarrollar productos nuevos o se analice su comportamiento en situaciones críticas, pero no se debe olvidar que este es solo un paso para la fabricación de un producto como es el caso de este proyecto de grado, es por esto que un prototipo físico y obviamente a escala contribuiría a un mejor estudio del comportamiento del mismo en situaciones ya mas precisas.
- ☺ El prototipado se realizó el la que para los diseñadores es probablemente la situación mas crítica dentro del uso normal del elevador, pero es evidente que deben existir otras situaciones riesgosas como por ejemplo el uso inadecuado del instrumento o factores externos no calculados que para cualquier artefacto siempre existen.

## BIBLIOGRAFÍA

JUVINALL, Robert C. Fundamentos de Diseño en Ingeniería Mecánica. México: LIMUSA, capítulo 4.12, 4.13, capítulo 8.7 fig. 8.13, capítulo 8.10.

FORREST, P. G. Fatiga de los Metales. España: URMO, pag 121- 150.

SHIGLEY, Joseph E. y Mischke, Charles Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGRAW-HILL,

PARADA, Alfredo, Recopilación de conferencias de fatiga, Colombia: Publicaciones UIS.

Disponible en Internet: [www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum = MA7178T6&n = 1.](http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7178T6&n=1)

Disponible en Internet: [www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum = MA6068T6&n = 1.](http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6068T6&n=1)

Disponible en Internet: [http://www.gilmorekramer.com/more\\_info/power\\_winch/power\\_winch.shtml.](http://www.gilmorekramer.com/more_info/power_winch/power_winch.shtml)

.

ANEXO A. Perfiles y secciones de aleación de aluminio 6061-T6.

**ALUMINUM TUBING**

**6061-T6 ALUMINUM ROUND TUBING**

*Stock Lengths – 20 Feet*



Strong, economical; good finishing and welding properties; used structurally.

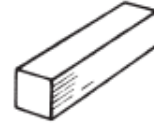
| Outside Diameter Inches | Wall Thickness Inches | Weight per Ft. Lbs. | Outside Diameter Inches | Wall Thickness Inches | Weight per Ft. Lbs. |      |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|------|
| ¼                       | .035                  | .028                | 1½                      | .065                  | .344                |      |
| ¾                       | .035                  | .044                |                         | .120                  | .610                |      |
|                         | .049                  | .059                |                         |                       |                     |      |
|                         | .065                  | .074                | 2                       | .065                  | .464                |      |
| ½                       | .049                  | .082                |                         | .120                  | .830                |      |
|                         | .065                  | .104                | 2½                      |                       | .065                | .580 |
| ¾                       | .065                  | .164                |                         | .120                  | 1.060               |      |
|                         | 1                     | .065                | .224                    |                       | 3                   | .125 |
|                         |                       | .125                | .389                    | 4                     |                     | .125 |
| 1¼                      | .065                  | .282                |                         |                       |                     |      |
|                         | .120                  | .500                |                         |                       |                     |      |

Some above sizes also available in 6063-T52 in certain branches.

## ALUMINUM ROD & BAR

### 6061-T6 ALUMINUM SQUARE BAR

*Stock Lengths – 20 Feet*



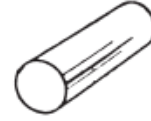
An excellent all purpose alloy, having good machining, welding and corrosion resistance properties.

| Size<br>in<br>Inches | Weight<br>per Ft.<br>Lbs. | Size<br>in<br>Inches | Weight<br>per Ft.<br>Lbs. |
|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| 3/8 sq               | .165                      | 2 sq                 | 4.70                      |
| 1/2                  | .294                      | 2 1/2                | 7.35                      |
| 5/8                  | .460                      |                      |                           |
| 3/4                  | .662                      |                      |                           |
| 1                    | 1.176                     | 3                    | 10.57                     |
| 1 1/4                | 1.837                     |                      |                           |
| 1 1/2                | 2.647                     | 4                    | 18.81                     |

## ALUMINUM ROD & BAR

### 6061-T6 ALUMINUM ROUND ROD

*Lengths – Up to 2¾ – 20 Feet  
over 2¾ 12 Feet*



An excellent all purpose alloy, having good machining, welding and corrosion resistance properties.

| Size<br>in<br>Inches | Weight<br>per Ft.<br>Lbs. | Size<br>in<br>Inches | Weight<br>per Ft.<br>Lbs. |
|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| ¼ dia.               | .058                      | 3 dia.               | 8.30                      |
| ⅕                    | .090                      | ¾                    | 9.74                      |
| ⅜                    | .130                      | 3½                   | 11.30                     |
| 7/16                 | .176                      | 3¾                   | 12.99                     |
| ½                    | .230                      |                      |                           |
| 5/8                  | .360                      | 4                    | 14.75                     |
| ¾                    | .518                      | 4¼                   | 17.02                     |
| 7/8                  | .706                      | 4½                   | 18.67                     |
|                      |                           | 4¾                   | 21.27                     |
| 1                    | .922                      |                      |                           |
| 1⅛                   | 1.167                     | 5                    | 23.04                     |
| 1¼                   | 1.440                     | 5½                   | 27.88                     |
| 1⅜                   | 1.743                     |                      |                           |
| 1½                   | 2.074                     | 6                    | 33.93                     |
| 1⅝                   | 2.434                     |                      |                           |
| 1¾                   | 2.823                     | 7                    | 46.18                     |
| 1⅞                   | 3.241                     |                      |                           |
| 2                    | 3.69                      | 8                    | 60.32                     |
| 2¼                   | 4.67                      |                      |                           |
| 2⅜                   | 5.20                      | 9                    | 76.34                     |
| 2½                   | 5.76                      |                      |                           |
| 2⅝                   | 6.35                      | 10                   | 94.25                     |
| 2¾                   | 6.97                      |                      |                           |

## ALUMINUM SHEET

6061-T6 ALUMINUM SHEET – MILL FINISH  
TO QQA-250/11



| Thickness<br>Inches | Size<br>Inches | Weight<br>per Sq. Ft.<br>Lbs. | Est. Weight<br>per Sheet<br>Lbs. |
|---------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| .040                | 48 x 144       | 0.563                         | 27.0                             |
| .051                | 48 x 96        | 0.718                         | 23.0                             |
|                     | 48 x 144       |                               | 34.5                             |
| .064                | 48 x 96        | 0.901                         | 28.9                             |
|                     | 48 x 120       |                               | 36.0                             |
|                     | 48 x 144       |                               | 43.0                             |
| .081                | 48 x 96        | 1.141                         | 36.5                             |
| .125                | 36 x 96        | 1.762                         | 42.3                             |
|                     | 48 x 96        |                               | 56.4                             |
|                     | 48 x 120       |                               | 70.5                             |
|                     | 48 x 144       |                               | 84.6                             |
|                     | 60 x 144       |                               | 105.7                            |
|                     | 60 x 192       |                               | 141.0                            |
| .187                | 36 x 96        | 2.641                         | 63.4                             |
|                     | 48 x 96        |                               | 84.5                             |
|                     | 48 x 144       |                               | 126.8                            |
|                     | 60 x 192       |                               | 211.3                            |

## ANEXO B. Winches eléctricos.

**gilmore-kramer**  
COMPANY

Material Handling Equipment  
1-800-544-3137  
Service - Installation - Custom Fabrication

[Home](#) [Services](#) [About Us](#) [Contact Us](#) [Catalog](#)

Monday, August 22, 2005

## POWER WINCH

**Weighs only 38 lbs and pulls 15,000 pounds.**

So light you can hand carry it to the job! Fast mounting platforms, davits, trolleys, cranes.

Easily put pulling power wherever you need it.



- ☐ Pulls over 15,000 pound loads up 5% inclines
- Lifts 1,200 pounds directly
- Up to 512 ft cable on anti-stacking drum
- Self-locking, double-reduction worm gear drive
- Patented trigger Duo-Dynamic™ electrical braking system
- Precise start/stop remote controls
- Ball and roller bearings in sealed oil bath
- 8 models, 115 or 230 VAC

### CHECK OUT ALL THESE EXTRA-VALUE FEATURES

#### COMMON ADVANTAGES TO BOTH SINGLE AND DOUBLE DRUM:

- **HI-STRENGTH ALUMINUM GEAR HOUSING-** Lightweight-Precision machined to exact specifications.
- **LIGHTWEIGHT INTERMITTENT REVERSIBLE MOTOR-**High speed AC 1.3 HP open universal motor with aluminum body. 115 v-17 amps, 230 v- 8 amps.
- **ANTI-STACKING DRUM-**Helps eliminate cable "stacking" that can reduce lifting/pulling power.
- **SEALED GEARS-**Run in oil bath for constant lubrication to help prevent "friction wear" and heat rise.
- **SIMPLE FIELD REPAIR-**Quick disconnect of switch connections and of main box assemblies.

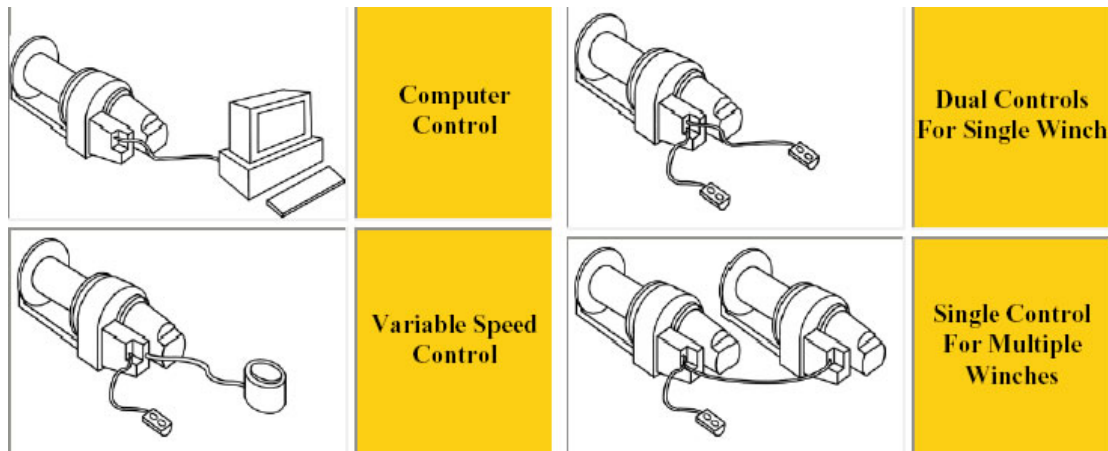
- **DOUBLE REDUCTION WORM GEARING**- Aluminum bronze worm gears with hardened and ground steel worms. Gear ratios: 533:1 and 267:1.
- **BALL AND ROLLER BEARINGS**-Used throughout for smooth performance.
- **SINGLE SELECTOR SWITCH CONTROLS (AC ONLY)**- Momentary or Maintained available.
- **CABLE LOCK**- Lets you attach cable to drum in seconds.
- **SWITCH BOX MATERIALS**-Hi-impact plastic made from permanent mold equipment.
- **EASY MOUNTING** - Mount horizontally, vertically or inversely with the 4 mounting holes below drum. (All positions except wall mount with oil filler plug in "up" position.)
- **DISCONNECT**-Available as option on remote controls.

### DOUBLE DRUM WINCH FEATURES:

- ☐ **SPECIALLY GROOVED STEEL DRUMS**- Patented **trigger-duodynamic™** electrical Assist in proper alignment for continuous loop braking in conjunction with reversible universal motor plus double reduction self-locking worm gearing gives the operator safer control.
- ☐ **ADDITIONAL BEARINGS**-Four large load carrying bearings at drum section.

### Multiple Control Configurations Available.

In addition to pendant style remote control, and radio remote control (available Spring of 2002), Power Winches are also available in configurations for computer control, variable speed control, dual controls for a single winch, and a single control for multiple winches.



## SPECIFICATIONS

### SINGLE DRUM WINCHES

| Series | Drum Cable Layer | Lift Capacity (lbs.) | In | Out | No Load |
|--------|------------------|----------------------|----|-----|---------|
| 1200   | 1 st             | 1200                 | 17 | 37  | 28      |
|        | Full             | 700                  | 25 | 54  | 41      |
| 700    | 1st              | 700                  | 34 | 76  | 56      |
|        | Full             | 400                  | 50 | 112 | 82      |

**IMPORTANT** 1) First cable layer should have at least the first five wraps not in use. 2) Each additional cable layer reduces capacity. Block and Tackle arrangement (use double line only): doubles capacity and cable on drum but reduces line speed by one-half.

### DOUBLE DRUM WINCHES

| Series | Drum Cable Layer | Lift Capacity (lbs.) | Full Load | No Load |
|--------|------------------|----------------------|-----------|---------|
| 1200   | Continuous       | 1200                 | 17        | 28      |
| 700    | Continuous       | 700                  | 34        | 56      |

**INCLINE DATA:** All winches can pull much greater loads than they can lift. (Ex: Series 1200, using first cable layer, can pull 15,200 lbs. Running on casters up a 5% grade. This considers a 3% rolling friction.)

**Line Speed** will vary with voltage input. Figures are based on line voltage at motors (115 v or 230 v).

### CABLE ON DRUM

| Cable Diameter (inches) | Drum Capacity (feet) | Breaking Strength (lbs.) |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1/8                     | 512                  | 2,000                    |
| 5/32                    | 325                  | 2,800                    |
| 3/16                    | 215                  | 4,200                    |
| 7/32                    | 165                  | 5,600                    |
| 1/4                     | 135                  | 7,000                    |

Galvanized aircraft cable, 7 x 19, is recommended for strength and flexibility.

**IMPORTANT:** Use a minimum cable safety factor of 5:1 and a Safety Latch on all hooks.

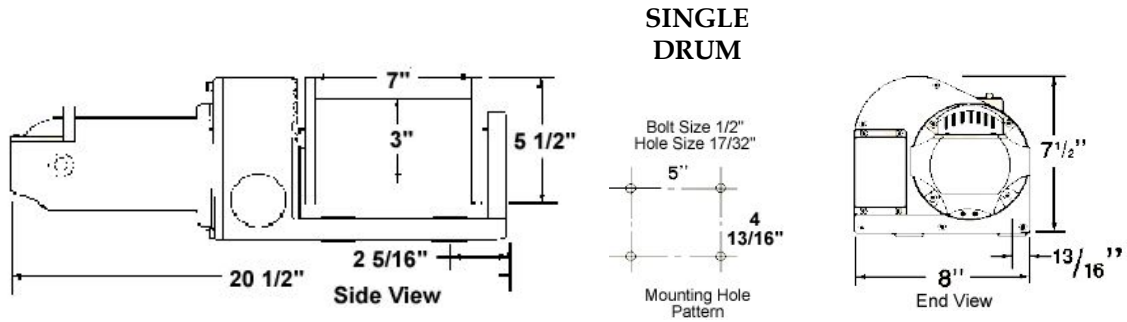
### MORE ADVANTAGES OF THE POWER WINCH

Lightweight and compact features **POWER WINCH** aid in OEM usage as well as easier handling for storage and maintenance. Shipping costs are held to a minimum. Quality consciousness since introduction of first model in 1962 minimizes downtime. Each unit is completely factory wired and comes with oil in gear box for quick field usage.

### CONVERSION KITS AVAILABLE & CUSTOM DESIGNS

The **1200 Series** can be converted to the 700 Series and vice versa. **Custom Design Proposals invited.** Call us for further information.

## DIMENSIONS



### POWER WINCH MODEL NUMBER CODE

**Winch Series:** 12 = 1200 7 = 700

**Voltage:** 15 = 115 volt 30 = 230 volt

**Switch Control:**

S = Standard (mounted on winch)

R = Remote (10' remote cord, additional length available)

MO = Momentary Selector Switch

MA = Maintained Selector Switch

(Ex: 12-15 RMO = 1200 Series / 115 volt / Remote Momentary Selector Switch.)

## PRICING FOR POWER WINCH

### STANDARD OPERATION

| Series | Voltage | Switch | Shpg. Wt. Lbs. | Model     | Price          |
|--------|---------|--------|----------------|-----------|----------------|
| 1200   | 115     | MO     | 40             | 12-15 SMO | <b>\$1,863</b> |
| 1200   | 115     | MA     | 40             | 12-15 SMA | <b>\$1,869</b> |
| 1200   | 230     | MO     | 40             | 12-30 SMO | <b>\$1,906</b> |
| 1200   | 230     | MA     | 40             | 12-30 SMA | <b>\$1,913</b> |
| 700    | 115     | MO     | 40             | 7-15 SMO  | <b>\$1,875</b> |
| 700    | 115     | MA     | 40             | 7-15 SMA  | <b>\$1,881</b> |
| 700    | 230     | MO     | 40             | 7-30 SMO  | <b>\$1,919</b> |
| 700    | 230     | MA     | 40             | 7-30 SMA  | <b>\$1,925</b> |

## REMOTE OPERATION

| Series | Voltage | Switch | Shpg. Wt. Lbs. | Model     | Price          |
|--------|---------|--------|----------------|-----------|----------------|
| 1200   | 115     | MO     | 42             | 12-15 RMO | <b>\$1,894</b> |
| 1200   | 115     | MA     | 42             | 12-15 RMA | <b>\$1,900</b> |
| 1200   | 230     | MO     | 42             | 12-30 RMO | <b>\$1,944</b> |
| 1200   | 230     | MA     | 42             | 12-30 RMA | <b>\$1,950</b> |
| 700    | 115     | MO     | 42             | 7-15 RMO  | <b>\$1,913</b> |
| 700    | 115     | MA     | 42             | 7-15 RMA  | <b>\$1,919</b> |
| 700    | 230     | MO     | 42             | 7-30 RMO  | <b>\$1,956</b> |
| 700    | 230     | MA     | 42             | 7-30 RMA  | <b>\$1,963</b> |

**NOTES:**

To order a quick disconnect option (RMO & RMA only), add an "X" after the RMO or RMA and add \$281.00.

To order Double Drum winches, prefix above 20 models by letter "D". Add \$1044.00 to above prices.

## ACCESSORIES

**SINGLE AND DOUBLE DRUM MODELS:**

- **ACP-12 Motor and Switch Box Shield** - For added protection against outside inclement weather conditions. Plastic with opening on bottom for air circulation (upright winch position only).
- **ACP-22 Handle** - For carrying winch.
- **ACP-52 Trolley (6" I-Beam)** - Has 1200 lb. capacity and hoist headroom of 11 1/2 ".

**SINGLE DRUM ONLY:**

- **ACP56 Reversible Cable Guard** (all positions except inverted and **ACP-58 Cable Guard** (for inverted position) help prevent cable from slipping over drum flanges.
- **ACP-65 Drum Divider** - Lets you use two or more separate cables on one drum. Each divider is 3/4 of an inch wide, thus reducing drum cable capacity.

## PRICES FOR ACCESSORY EQUIPMENT

| MODEL NO.           | SHPG. WT. LBS. | PRICE        |
|---------------------|----------------|--------------|
| ACP-12 Shield       | 2              | <b>\$113</b> |
| ACP-22 Handle       | 1              | <b>\$19</b>  |
| ACP-52 Trolley      | 20             | <b>\$306</b> |
| ACP-65 Drum Divider | 2              | <b>\$94</b>  |
| ACP-56 Cable Guard  | 2              | <b>\$88</b>  |
| ACP-58 Cable Guard  | 1              | <b>\$38</b>  |

## PRICING FOR CABLE

Cable: Galvanized Aircraft Cable, 7 x 19

| Cable Diameter (inches) | Breaking Strength (lbs.) | Price/(ft)    | Wgt/100' |
|-------------------------|--------------------------|---------------|----------|
| 1/8                     | 2,000                    | <b>\$0.75</b> | 2.9#     |
| 5/32                    | 2,800                    | <b>\$0.81</b> | 4.5#     |
| 3/16                    | 4,200                    | <b>\$1.00</b> | 6.5#     |
| 7/32                    | 5,600                    | <b>\$1.06</b> | 8.6#     |
| 1/4                     | 7,000                    | <b>\$1.13</b> | 11.0#    |

**ANEXO C. Reporte de ANSYS Workbench de la estructura y la base.**



# Project

**Author**

Oscar & Eduardo Culman

**Subject**

Elevador de columnas deslizantes

**Prepared For**

Oscar Culman

**Project Created**

Sunday, June 05, 2005 at 12:23:02 AM

**Project Last Modified**

Tuesday, August 23, 2005 at 6:35:01 PM

**Report Created**

Tuesday, August 23, 2005 at 6:46:05 PM

**Software Used**

[ANSYS 8.1](#)

**Database**

*G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\BASETOTAL2b.dsdb*

---

## 1. Summary

This report documents design and analysis information created and maintained using the ANSYS® engineering software program. Each scenario listed below represents one complete engineering simulation.

### Scenario 1

- Based on the Solid Edge® assembly ["G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\BASETOTAL.asm"](#).
- Considered the effect of [body-to-body contact](#), [acceleration](#), [structural loads](#) and [structural supports](#).
- Calculated safety factors and margins based on [maximum equivalent stress](#) and [maximum shear stress](#) along with [structural](#) and fatigue results.
- No [convergence criteria](#) defined.
- No [alert criteria](#) defined.
- See [Scenario 1](#) below for supporting details and [Appendix A1](#) for corresponding figures.

### Scenario 2

- Based on the Solid Edge® assembly ["G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\BASETOTAL.asm"](#).
- Considered the effect of [body-to-body contact](#), [acceleration](#), [structural loads](#) and [structural supports](#).
- Calculated safety factors and margins based on [maximum equivalent stress](#) and [maximum shear stress](#) along with [structural](#) and fatigue results.
- No [convergence criteria](#) defined.
- No [alert criteria](#) defined.
- See [Scenario 2](#) below for supporting details and [Appendix A2](#) for corresponding figures.

## 2. Introduction

The ANSYS CAE (Computer-Aided Engineering) software program was used in conjunction with 3D CAD (Computer-Aided Design) solid geometry to simulate the behavior of mechanical bodies under thermal/structural loading conditions. ANSYS automated FEA (Finite Element Analysis) technologies from [ANSYS, Inc.](#) to generate the results listed in this report.

Each scenario presented below represents one complete engineering simulation. The definition of a simulation includes known factors about a design such as material properties per body, contact behavior between bodies (in an assembly), and types and magnitudes of loading conditions. The results of a simulation provide insight into how the bodies may perform and how the design might be improved. Multiple scenarios allow comparison of results given different loading conditions, materials or geometric configurations.

Convergence and alert criteria may be defined for any of the results and can serve as guides for evaluating the quality of calculated results and the acceptability of values in the context of known design requirements.

- *Solution history* provides a means of assessing the quality of results by examining how values change during successive iterations of solution refinement. *Convergence criteria* sets a specific limit on the allowable change in a result between iterations. A result meeting this criteria is said to be "converged".
- *Alert criteria* define "allowable" ranges for result values. Alert ranges typically represent known aspects of the design specification.

The discussions below follow the organization of information in the ANSYS "Explorer" user interface. Each scenario corresponds to a unique branch in the Explorer "Outline". Names emphasized in "*double quotes*" match preferences set in the user interface.

All values are presented in the "*Metric (mm, kg, N, °C, s, mV, mA)*" unit system.

### Notice

Do not accept or reject a design based solely on the data presented in this report. Evaluate designs by considering this information in conjunction with experimental test data and the practical experience of design engineers and analysts. A quality approach to engineering design usually mandates physical testing as the final means of validating structural integrity to a measured precision.

---

### 3. Scenario 1

#### 3.1. "Model"

"Model" obtains geometry from the Solid Edge® assembly "G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\BASETOTAL.asm".

- The [bounding box](#) for all positioned bodies in the model measures 1,556.86 by 2,043.22 by 6,544.76 mm along the global x, y and z axes, respectively.
- The model has a total mass of 407.86 kg.
- The model has a total volume of  $8.41 \times 10^7$  mm<sup>3</sup>.

#### 3.1.1. Contact

- "Contact" uses a tolerance of 1.0 mm for automatic detection.

#### 3.1.2. Mesh

- "Mesh", associated with "Model" has an overall relevance of 0.
- "Mesh" contains 413654 nodes and 185643 elements.

No mesh controls specified.

#### 3.2. "Environment"

"Environment" contains all loading conditions defined for "Model" in this scenario.

#### Standard Earth Gravity - Standard Earth Gravity

- Magnitude: 9,806.65 mm/s<sup>2</sup>
- Vector: [0.0 mm/s<sup>2</sup> x, 0.0 mm/s<sup>2</sup> y, 9,806.65 mm/s<sup>2</sup> z] in the global coordinate system

The following tables list local loads and supports applied to specific geometry.

#### 3.2.1. Structural Loading

| Name      | Type          | Magnitude  | Vector                                                                  |
|-----------|---------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| "Force"   | Surface Force | 1,500.0 N  | [ $2.36 \times 10^{-13}$ N x, $6.23 \times 10^{-13}$ N y, -1,500.0 N z] |
| "Force 2" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]                                       |
| "Force 3" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]                                       |
| "Force 4" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]                                     |
| "Force 5" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]                                     |
| "Force 6" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]                                      |
| "Force 7" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]                                      |
| "Force 8" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]                                        |
| "Force 9" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]                                        |

|            |               |            |                                        |
|------------|---------------|------------|----------------------------------------|
| "Force 10" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]      |
| "Force 11" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]      |
| "Force 12" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]    |
| "Force 13" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]    |
| "Force 14" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]     |
| "Force 15" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]     |
| "Force 16" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]       |
| "Force 17" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]       |
| "Force 18" | Surface Force | 1,783.56 N | [0.0 N x, 626.25 N y, 1,670.0 N z]     |
| "Force 19" | Surface Force | 1,783.56 N | [0.0 N x, 626.25 N y, 1,670.0 N z]     |
| "Force 20" | Surface Force | 3,567.03 N | [0.0 N x, -1,252.25 N y, -3,340.0 N z] |

### 3.2.2. Structural Supports

| Name                         | Type             | Reaction Force | Reaction Force Vector                                                 | Reaction Moment | Reaction Moment Vector                                               |
|------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| "Compression Only Support 1" | Compression Only | 1,985.91 N     | [0.15 N x, 0.26 N y, 1,985.91 N z]                                    | 61,440.6 N·mm   | [-40,723.63 N·mm x, -46,005.79 N·mm y, -2.29 N·mm z]                 |
| "Compression Only Support 2" | Compression Only | 639.82 N       | $[-6.08 \times 10^{-10}$ N x, $3.85 \times 10^{-10}$ N y, 639.82 N z] | 16,145.6 N·mm   | [12,010.69 N·mm x, -10,789.98 N·mm y, $-1.44 \times 10^{-8}$ N·mm z] |
| "Compression Only Support 3" | Compression Only | 687.92 N       | $[-3.82 \times 10^{-10}$ N x, $1.44 \times 10^{-9}$ N y, 687.92 N z]  | 17,856.71 N·mm  | [14,045.51 N·mm x, 11,026.59 N·mm y, $1.47 \times 10^{-8}$ N·mm z]   |
| "Compression Only Support 4" | Compression Only | 2,187.25 N     | $[-2.0 \times 10^{-9}$ N x, $1.06 \times 10^{-9}$ N y, 2,187.25 N z]  | 56,671.72 N·mm  | [-35,321.49 N·mm x, 44,317.9 N·mm y, $-1.3 \times 10^{-8}$ N·mm z]   |
| Weak Springs                 | N/A              | 0.57 N         | [-0.15 N x, 0.41 N y, 0.37 N z]                                       | N/A             | N/A                                                                  |

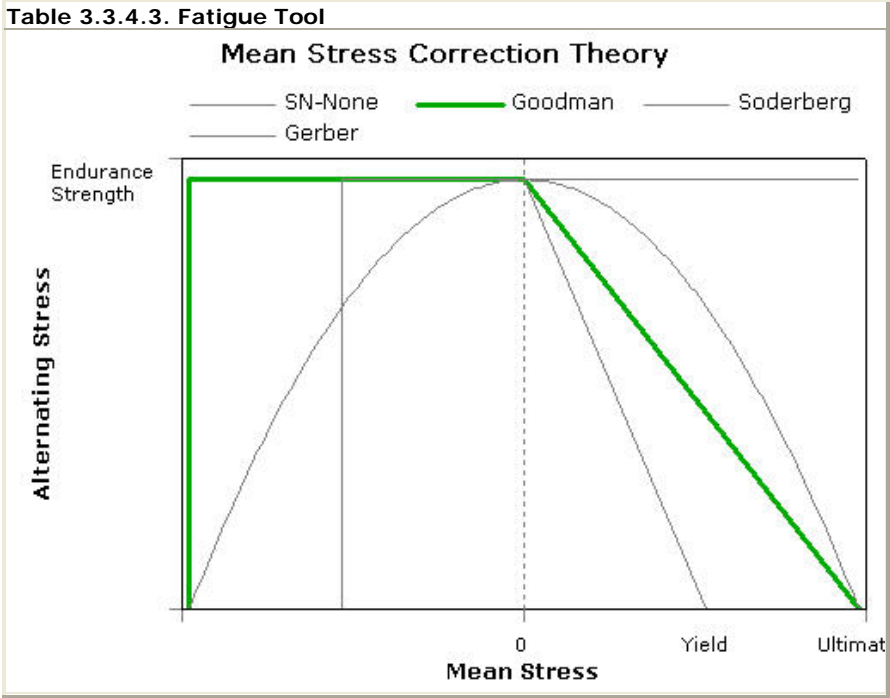
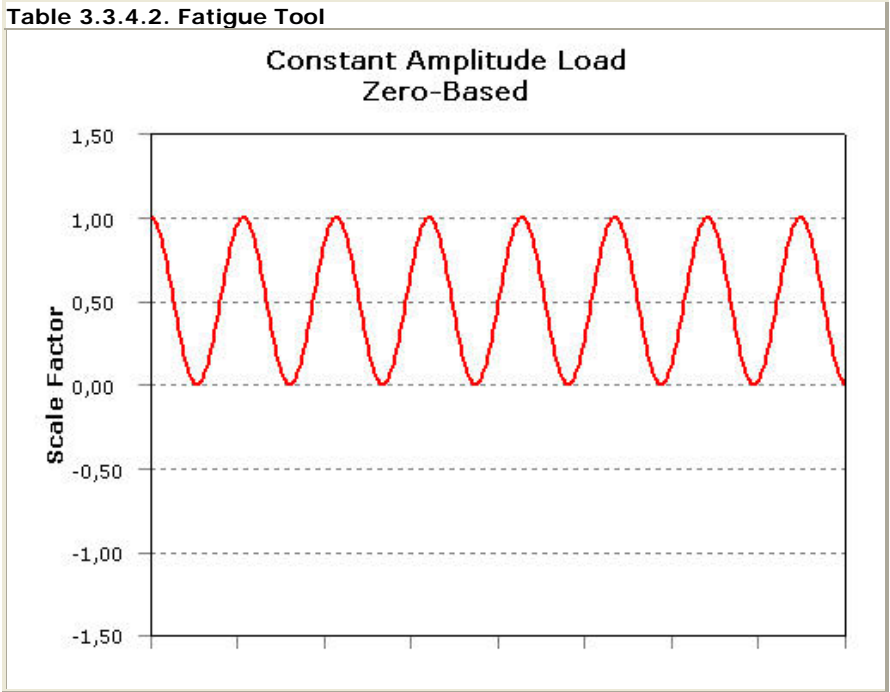
### 3.3. "Solution"

"Solution" contains the calculated response for "Model" given loading conditions defined in "Environment".

It was selected that the program would choose the solver used in this solution.

### 3.3.4. Fatigue Results

| Name           | Fatigue Strength Factor | Type       | Scale Factor | Analysis Type | Stress Component       | Infinite Life     |
|----------------|-------------------------|------------|--------------|---------------|------------------------|-------------------|
| "Fatigue Tool" | 0.8                     | Zero Based | 1.0          | SN-Goodman    | Equivalent (Von-Mises) | $1.0 \times 10^9$ |



| Table 3.3.4.4. Results                  |                                               |                                             |               |                     |           |                     |                |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|---------------------|-----------|---------------------|----------------|
| Name                                    | Figure                                        | Scope                                       | Type          | Design Life         | Minimum   | Maximum             | Alert Criteria |
| "factor de seguridad estructura Kf=0.8" | <a href="#">A1.1</a>                          | All Bodies In "Model"                       | Safety Factor | 1.0×10 <sup>9</sup> | 1.18      | 15.0                | None           |
| "Elemento crítico del elevador Kf=0,8"  | <a href="#">A1.2,</a><br><a href="#">A1.3</a> | "Partesuperior.asm: 1,<br>estatica1.psm: 2" | Safety Factor | 1.0×10 <sup>9</sup> | 1.2       | 15.0                | None           |
| "Vida del elevador Kf=0,8"              | <a href="#">A1.4</a>                          | All Bodies In "Model"                       | Life          |                     | 1,000,000 | 1.0×10 <sup>8</sup> | None           |

- Convergence tracking not enabled.
-

## 4. Scenario 2

### 4.1. "Model 2"

"Model 2" obtains geometry from the Solid Edge<sup>®</sup> assembly "G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\BASETOTAL.asm".

- The [bounding box](#) for all positioned bodies in the model measures 1,556.86 by 2,040.52 by 558.8 mm along the global x, y and z axes, respectively.
- The model has a total mass of 407.86 kg.
- The model has a total volume of  $8.41 \times 10^7$  mm<sup>3</sup>.

#### 4.1.1. Contact

- "Contact" uses a tolerance of 1.0 mm for automatic detection.

#### 4.1.2. Mesh

- "Mesh", associated with "Model 2" has an overall relevance of 0.
- "Mesh" contains 413654 nodes and 185643 elements.

No mesh controls specified.

### 4.2. "Environment"

"Environment" contains all loading conditions defined for "Model 2" in this scenario.

#### Standard Earth Gravity - Standard Earth Gravity

- Magnitude: 9,806.65 mm/s<sup>2</sup>
- Vector: [0.0 mm/s<sup>2</sup> x, 0.0 mm/s<sup>2</sup> y, 9,806.65 mm/s<sup>2</sup> z] in the global coordinate system

The following tables list local loads and supports applied to specific geometry.

#### 4.2.1. Structural Loading

| Name      | Type          | Magnitude  | Vector                                                                  |
|-----------|---------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| "Force"   | Surface Force | 1,500.0 N  | [ $2.36 \times 10^{-13}$ N x, $6.23 \times 10^{-13}$ N y, -1,500.0 N z] |
| "Force 2" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]                                       |
| "Force 3" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]                                       |
| "Force 4" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]                                     |
| "Force 5" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]                                     |
| "Force 6" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]                                      |
| "Force 7" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]                                      |
| "Force 8" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]                                        |
| "Force 9" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]                                        |

|            |               |            |                                        |
|------------|---------------|------------|----------------------------------------|
| "Force 10" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]      |
| "Force 11" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, 203.5 N y, 1,670.0 N z]      |
| "Force 12" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]    |
| "Force 13" | Surface Force | 1,682.35 N | [0.0 N x, -203.5 N y, -1,670.0 N z]    |
| "Force 14" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]     |
| "Force 15" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, -10.0 N y, -1,670.0 N z]     |
| "Force 16" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]       |
| "Force 17" | Surface Force | 1,670.03 N | [0.0 N x, 10.0 N y, 1,670.0 N z]       |
| "Force 18" | Surface Force | 1,783.56 N | [0.0 N x, 626.25 N y, 1,670.0 N z]     |
| "Force 19" | Surface Force | 1,783.56 N | [0.0 N x, 626.25 N y, 1,670.0 N z]     |
| "Force 20" | Surface Force | 3,567.03 N | [0.0 N x, -1,252.25 N y, -3,340.0 N z] |

#### 4.2.2. Structural Supports

| Name                         | Type             | Reaction Force | Reaction Force Vector                                                 | Reaction Moment | Reaction Moment Vector                                               |
|------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| "Compression Only Support"   | Compression Only | 1,985.91 N     | [0.15 N x, 0.26 N y, 1,985.91 N z]                                    | 61,440.6 N·mm   | [-40,723.63 N·mm x, -46,005.79 N·mm y, -2.29 N·mm z]                 |
| "Compression Only Support 2" | Compression Only | 639.82 N       | $[-6.08 \times 10^{-10}$ N x, $3.85 \times 10^{-10}$ N y, 639.82 N z] | 16,145.6 N·mm   | [12,010.69 N·mm x, -10,789.98 N·mm y, $-1.44 \times 10^{-8}$ N·mm z] |
| "Compression Only Support 3" | Compression Only | 687.92 N       | $[-3.82 \times 10^{-10}$ N x, $1.44 \times 10^{-9}$ N y, 687.92 N z]  | 17,856.71 N·mm  | [14,045.51 N·mm x, 11,026.59 N·mm y, $1.47 \times 10^{-8}$ N·mm z]   |
| "Compression Only Support 4" | Compression Only | 2,187.25 N     | $[-2.0 \times 10^{-9}$ N x, $1.06 \times 10^{-9}$ N y, 2,187.25 N z]  | 56,671.72 N·mm  | [-35,321.49 N·mm x, 44,317.9 N·mm y, $-1.3 \times 10^{-8}$ N·mm z]   |
| Weak Springs                 | N/A              | 0.57 N         | [-0.15 N x, 0.41 N y, 0.37 N z]                                       | N/A             | N/A                                                                  |

#### 4.3. "Solution"

"Solution" contains the calculated response for "Model 2" given loading conditions defined in "Environment".

It was selected that the program would choose the solver used in this solution.

One or more bodies may be underconstrained and experiencing rigid body motion. Weak springs have been added to attain a solution.

### 4.3.4. Fatigue Results

| Name           | Fatigue Strength Factor | Type       | Scale Factor | Analysis Type | Stress Component       | Infinite Life     |
|----------------|-------------------------|------------|--------------|---------------|------------------------|-------------------|
| "Fatigue Tool" | 0.41                    | Zero Based | 1.0          | SN-Goodman    | Equivalent (Von-Mises) | $1.0 \times 10^9$ |

Table 4.3.4.2. Fatigue Tool

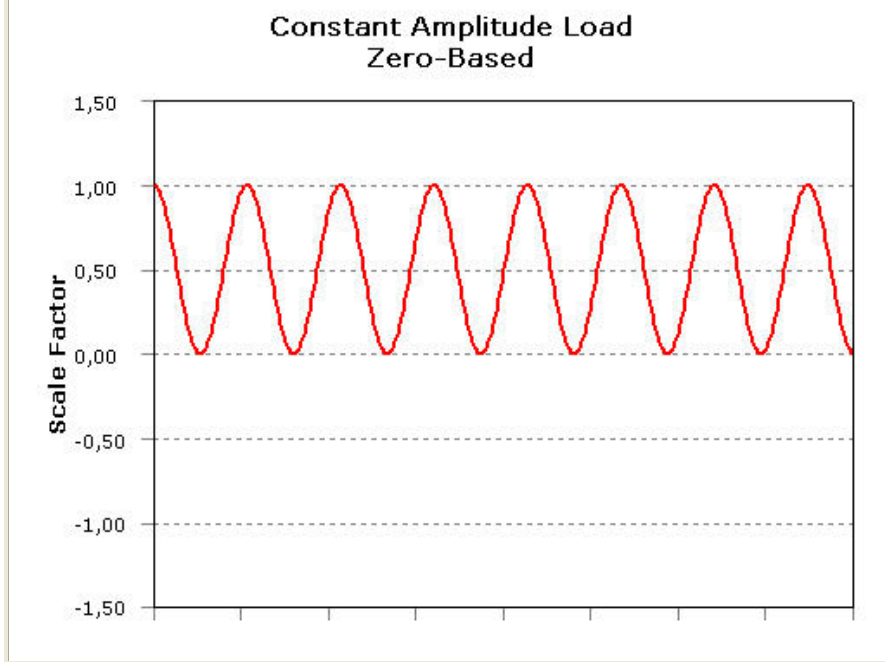
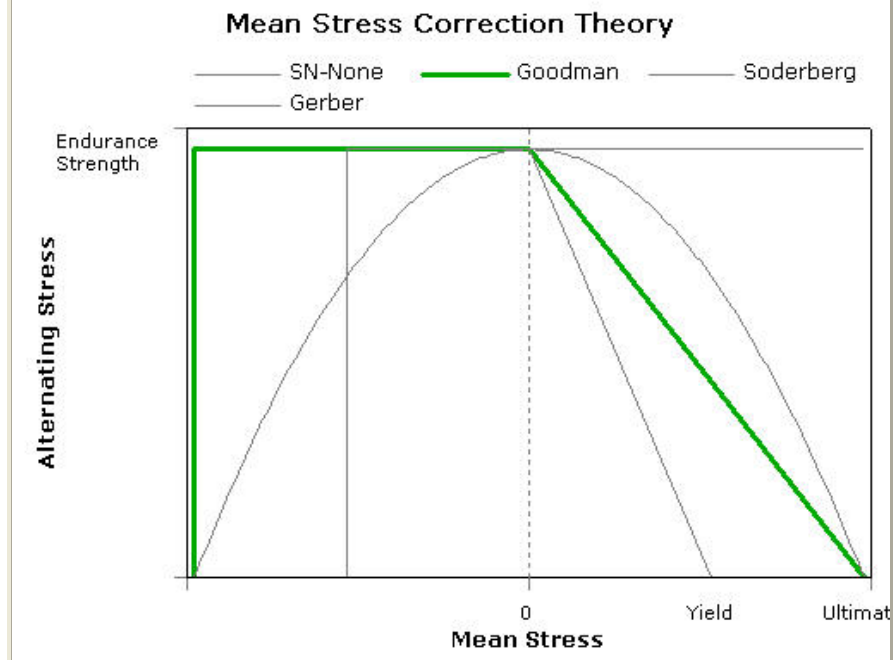


Table 4.3.4.3. Fatigue Tool

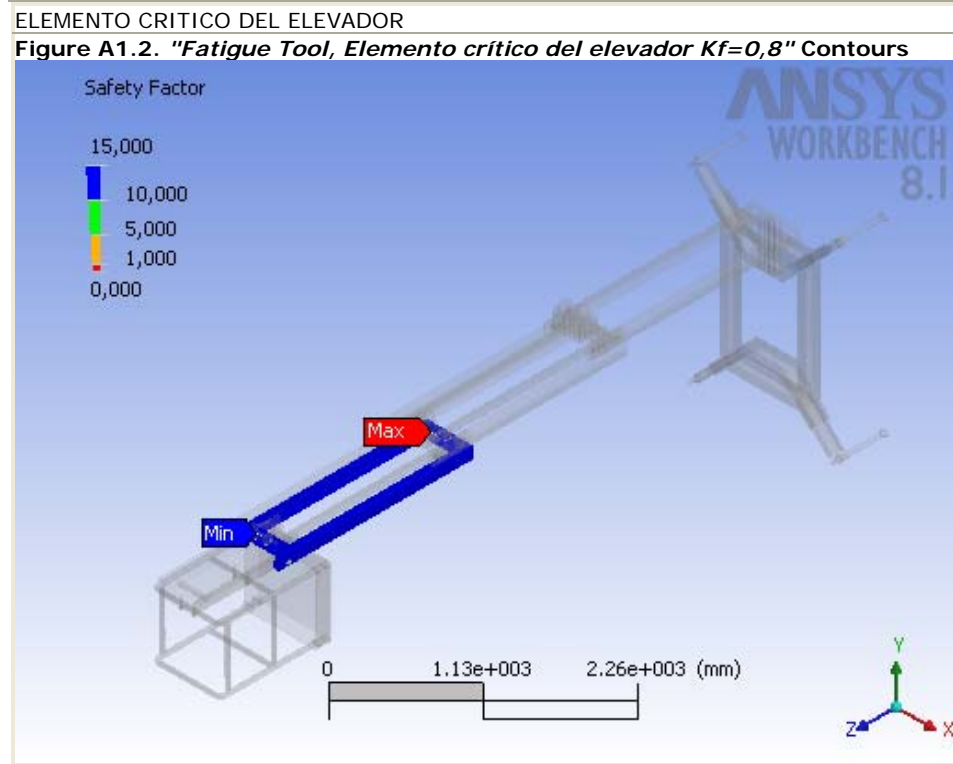
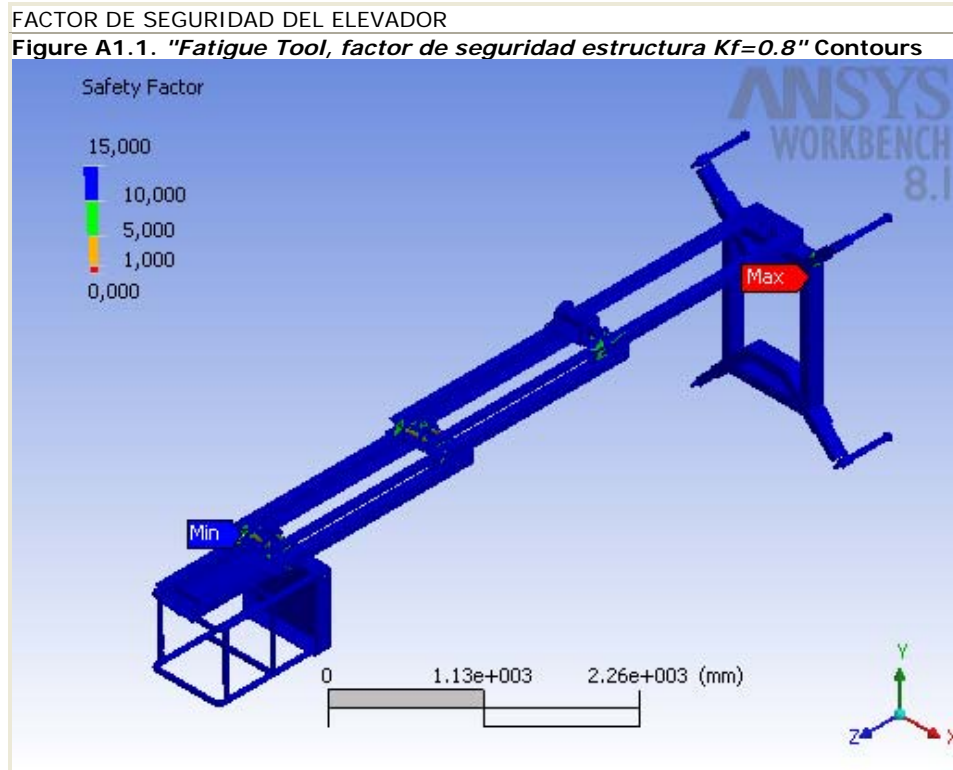


| Name                            | Figure                                      | Type          | Design Life         | Minimum     | Maximum     |
|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------|---------------------|-------------|-------------|
| "factor seguridad base Kf=0,41" | <a href="#">A2.1</a>                        | Safety Factor | 1.0×10 <sup>9</sup> | 1.15        | 15.0        |
| "Elemento crítico de la base"   | <a href="#">A2.2</a> , <a href="#">A2.3</a> | Safety Factor | 1.0×10 <sup>9</sup> | 1.15        | 15.0        |
| "Vida de la base Kf=0.41"       | <a href="#">A2.4</a>                        | Life          |                     | 1,000,000.0 | 1,000,000.0 |

- Convergence tracking not enabled.
-

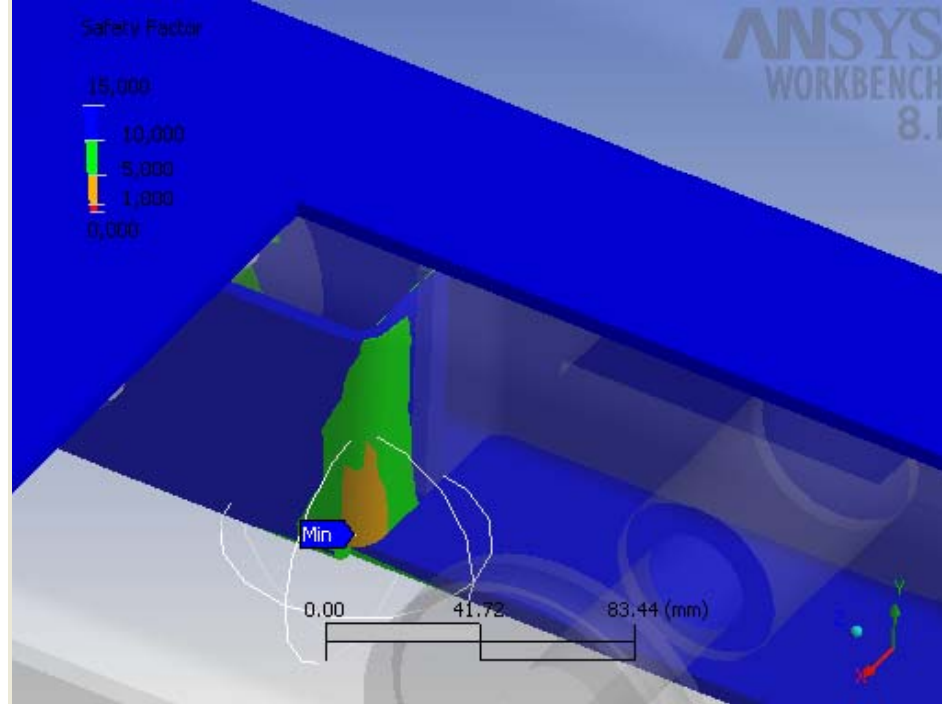
## Appendices

### A1. Scenario 1 Figures



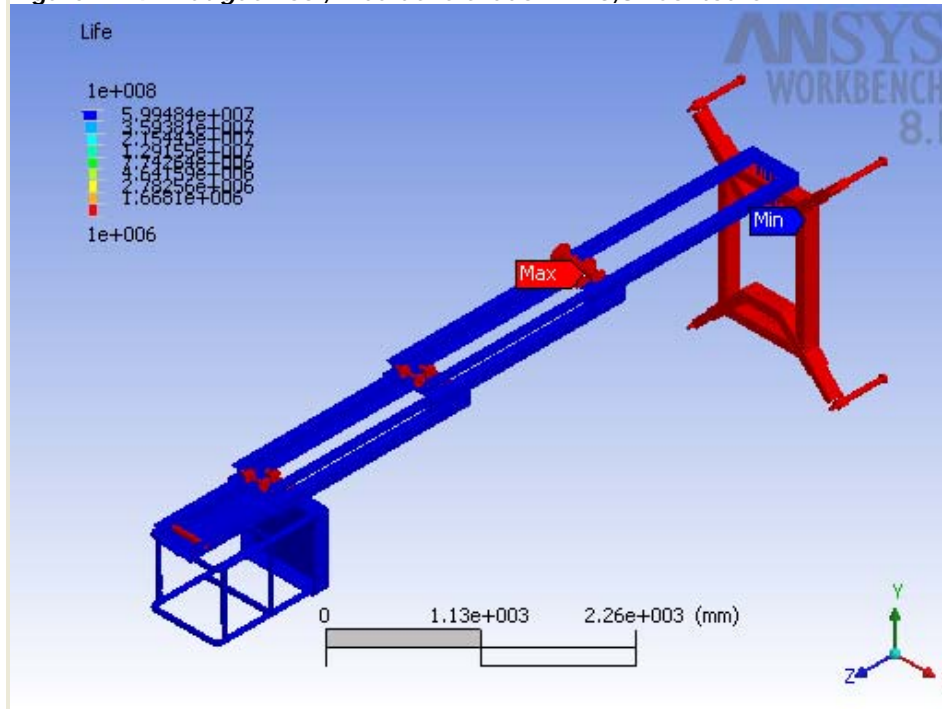
PUNTO CRITICO DEL ELEVADOR

Figure A1.3. "Fatigue Tool, Elemento crítico del elevador  $K_f=0,8$ " Contours

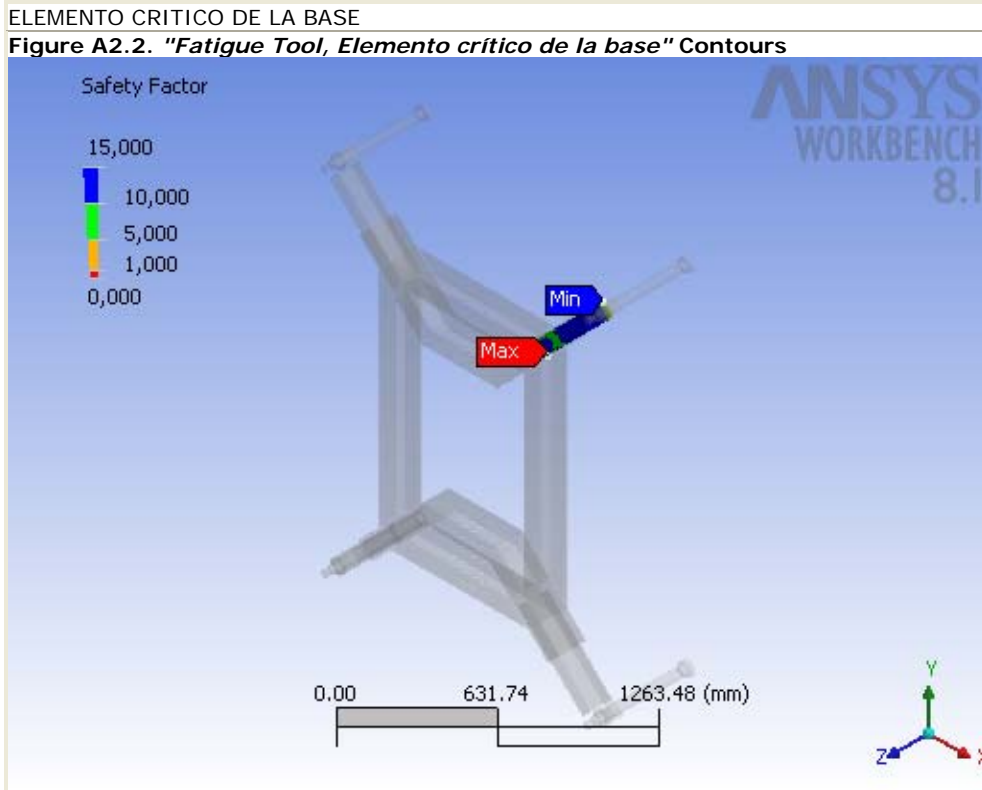
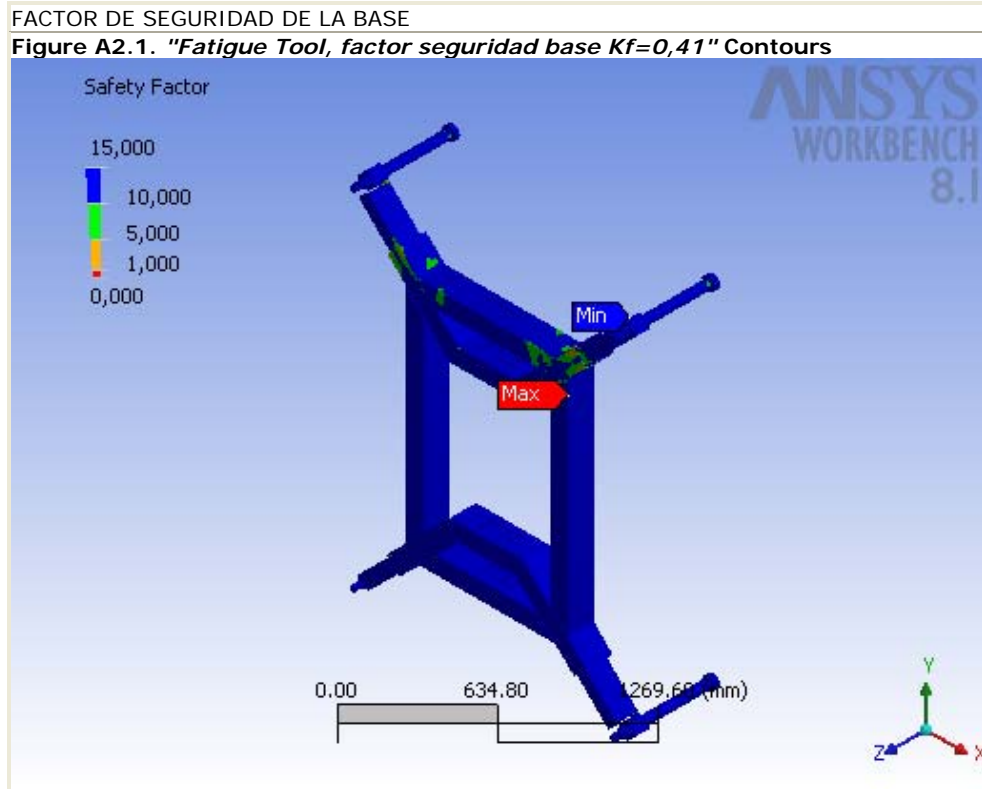


VIDA DEL ELEVADOR

Figure A1.4. "Fatigue Tool, Vida del elevador  $K_f=0,8$ " Contours

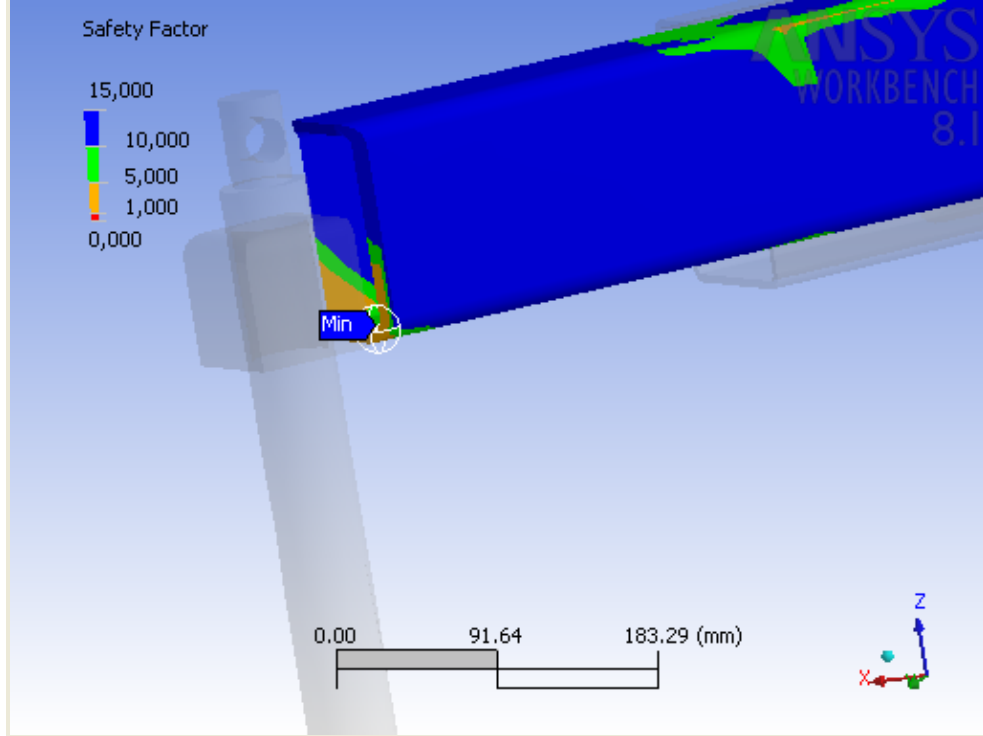


## A2. Scenario 2 Figures



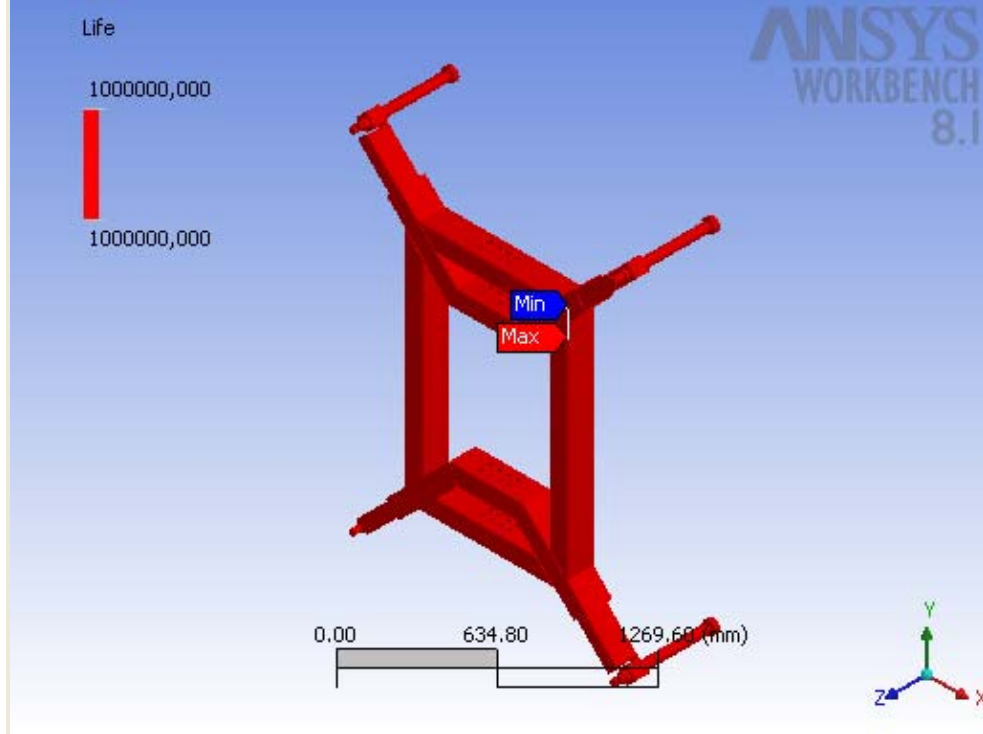
PUNTO CRITICO DE LA BASE

Figure A2.3. "Fatigue Tool, Elemento crítico de la base" Contours



VIDA DE LA BASE

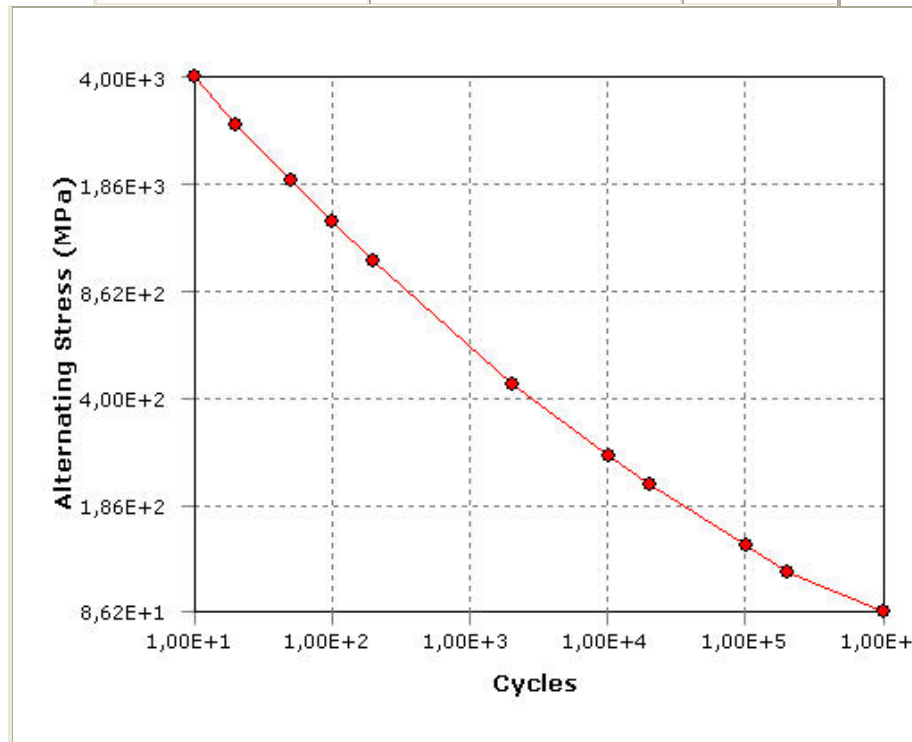
Figure A2.4. "Fatigue Tool, Vida de la base  $K_f=0.41$ " Contours



### A3. Definition of "Structural Steel"

| Name                             | Type                    | Value                                    |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Modulus of Elasticity            | Temperature-Independent | 200,000.0 MPa                            |
| Poisson's Ratio                  | Temperature-Independent | 0.3                                      |
| Mass Density                     | Temperature-Independent | $7.85 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup> |
| Coefficient of Thermal Expansion | Temperature-Independent | $1.2 \times 10^{-5}$ 1/°C                |
| Thermal Conductivity             | Temperature-Independent | 0.06 W/mm·°C                             |
| Specific Heat                    | Temperature-Independent | 434.0 J/kg·°C                            |

| Name                          | Type                    | Value      |
|-------------------------------|-------------------------|------------|
| Tensile Yield Strength        | Temperature-Independent | 250.0 MPa  |
| Tensile Strength Ultimate     | Temperature-Independent | 460.0 MPa  |
| Compressive Strength Yield    | Temperature-Independent | 250.0 MPa  |
| Compressive Strength Ultimate | Temperature-Independent | 206.84 MPa |



#### A4. Definition of "Aluminum Alloy"

| Name                             | Type                    | Value                                    | Temperature |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------|
| Modulus of Elasticity            | Temperature-Independent | 71,000.0 MPa                             |             |
| Poisson's Ratio                  | Temperature-Independent | 0.33                                     |             |
| Mass Density                     | Temperature-Independent | $2.77 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup> |             |
| Coefficient of Thermal Expansion | Temperature-Independent | $2.3 \times 10^{-5}$ 1/°C                |             |
| Thermal Conductivity             | Temperature-Dependent   | 0.11 W/mm·°C                             | -100.0 °C   |
| Thermal Conductivity             | Temperature-Dependent   | 0.14 W/mm·°C                             | 0.0 °C      |
| Thermal Conductivity             | Temperature-Dependent   | 0.17 W/mm·°C                             | 100.0 °C    |
| Thermal Conductivity             | Temperature-Dependent   | 0.18 W/mm·°C                             | 200.0 °C    |
| Specific Heat                    | Temperature-Independent | 875.0 J/kg·°C                            |             |

| Name                          | Type                    | Value      |
|-------------------------------|-------------------------|------------|
| Tensile Yield Strength        | Temperature-Independent | 537.79 MPa |
| Tensile Ultimate Strength     | Temperature-Independent | 606.74 MPa |
| Compressive Yield Strength    | Temperature-Independent | 461.95 MPa |
| Compressive Ultimate Strength | Temperature-Independent | 517.11 MPa |

Description: "General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-

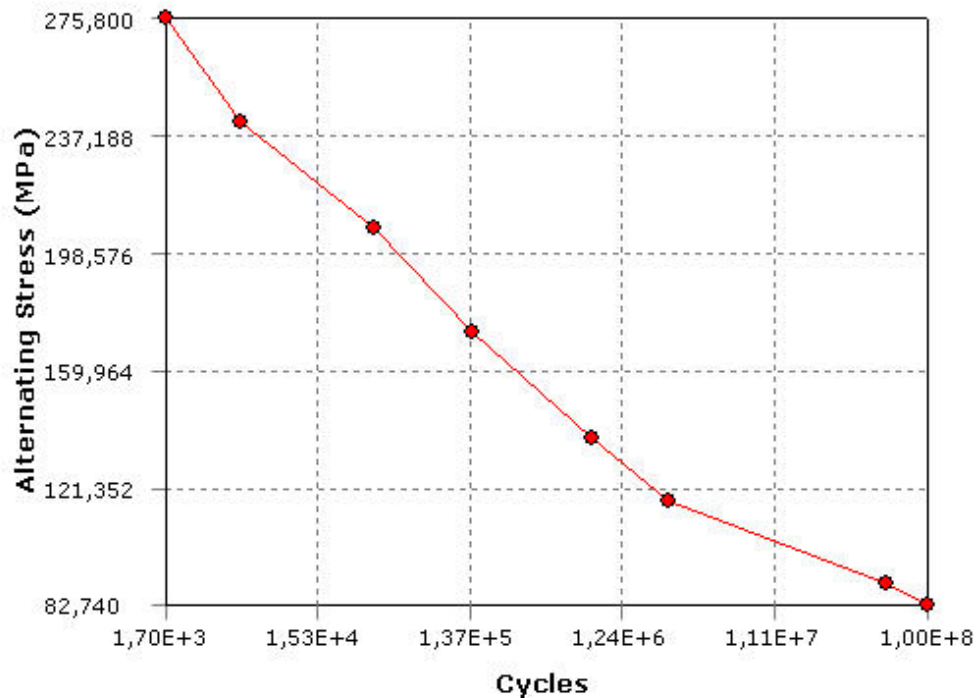


Table A4.3. Alternating Stress vs. Cycles

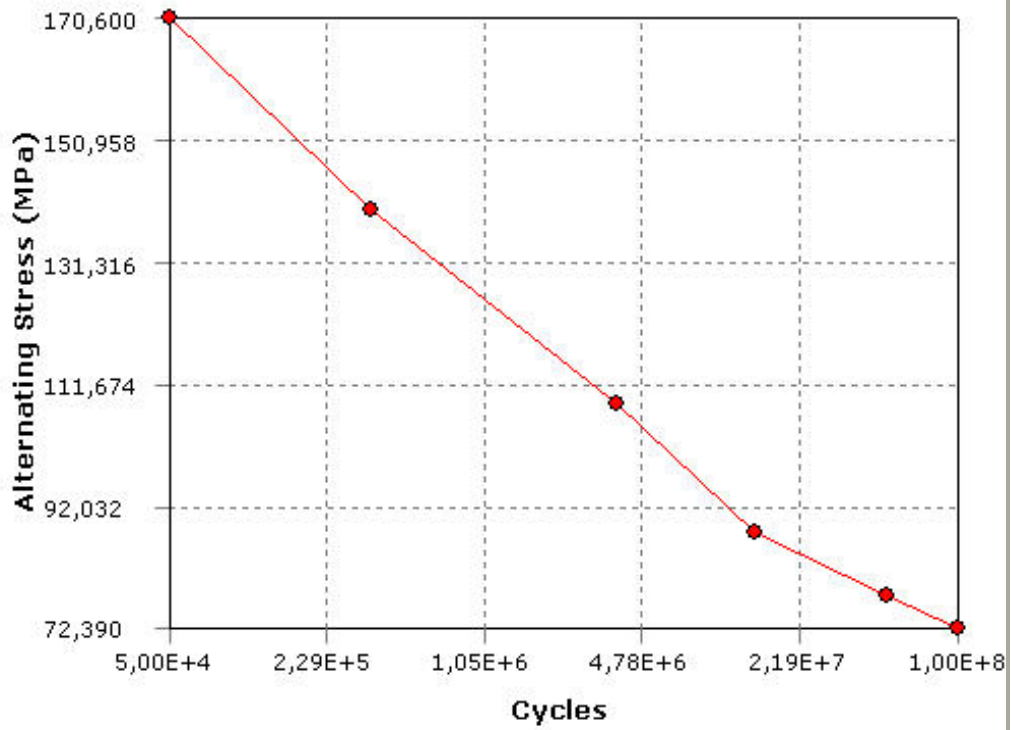


Table A4.4. Alternating Stress vs. Cycles

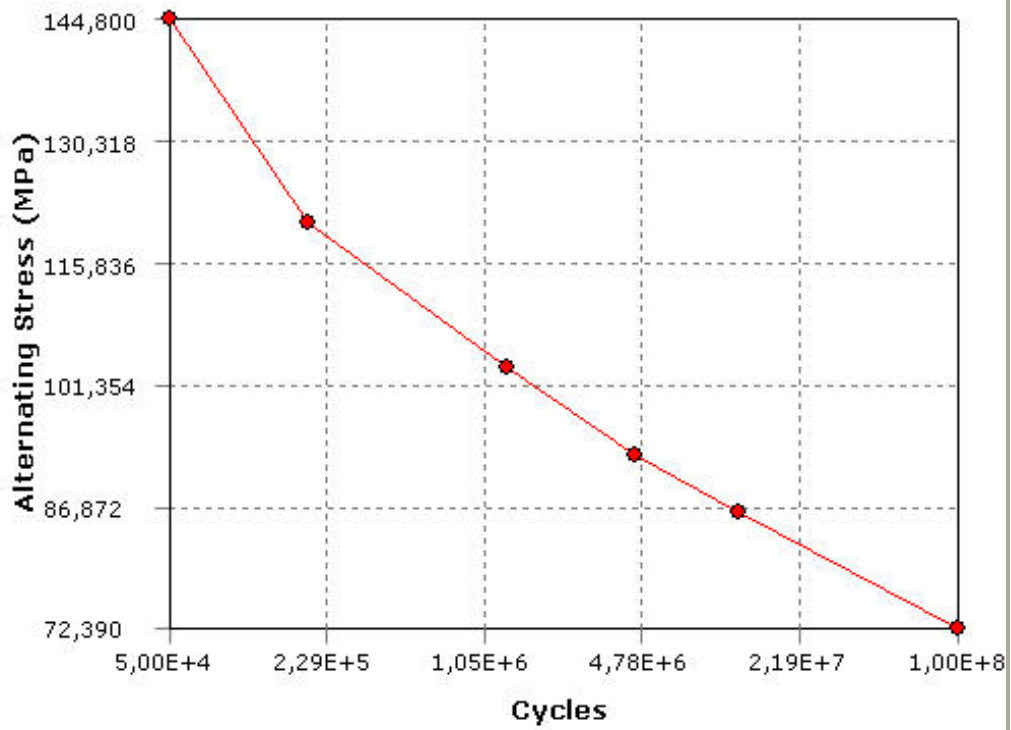
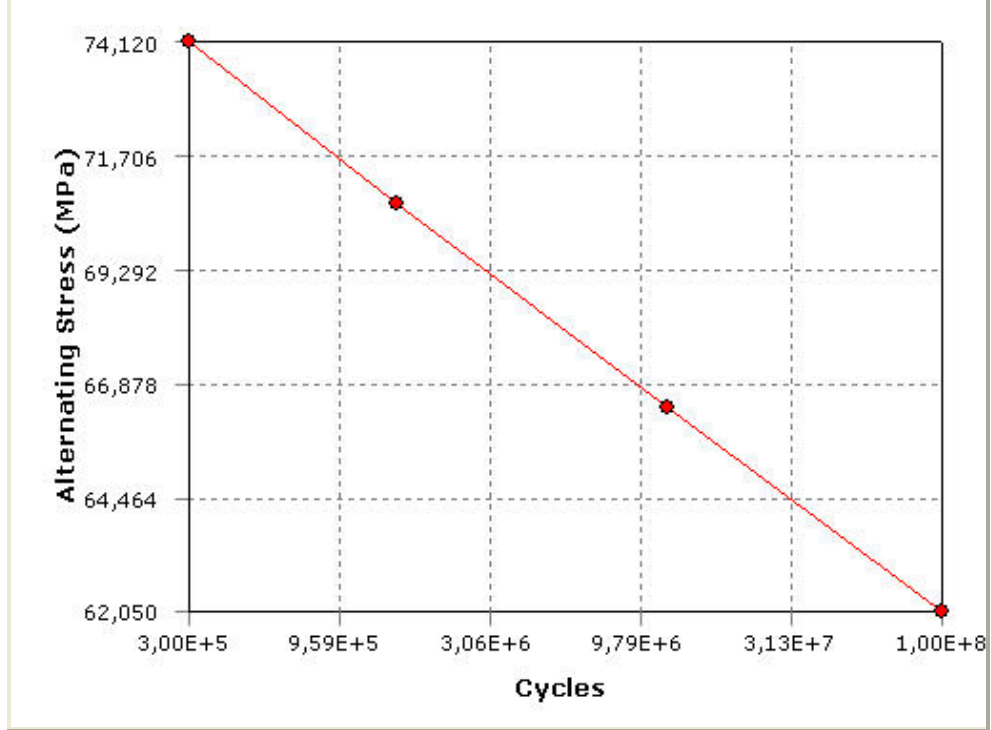


Table A4.5. Alternating Stress vs. Cycles



ANEXO D. Reporte de ANSYS Workbench del eje y poleas .



# Project

**Author**

OSCAR & EDUARDO CULMAN

**Subject**

SIMULACION DE LAS POLEAS

**Prepared For**

OSCAR CULMAN

**Project Created**

Monday, July 18, 2005 at 7:29:49 PM

**Project Last Modified**

Tuesday, August 23, 2005 at 7:09:09 PM

**Report Created**

Tuesday, August 23, 2005 at 7:11:43 PM

**Software Used**

[ANSYS 8.1](#)

**Database**

*G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\ejes2.dsdb*

---

## 1. Summary

This report documents design and analysis information created and maintained using the ANSYS® engineering software program. Each scenario listed below represents one complete engineering simulation.

### Scenario 1

- Based on the Solid Edge® assembly *"G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\ejes2.asm"*.
- Considered the effect of [body-to-body contact](#), [structural loads](#) and [structural supports](#).
- Calculated safety factors and margins based on [maximum equivalent stress](#) and [maximum shear stress](#) along with [structural](#) and fatigue results.
- No [convergence criteria](#) defined.
- No [alert criteria](#) defined.
- See [Scenario 1](#) below for supporting details and [Appendix A1](#) for corresponding figures.

## 2. Introduction

The ANSYS CAE (Computer-Aided Engineering) software program was used in conjunction with 3D CAD (Computer-Aided Design) solid geometry to simulate the behavior of mechanical bodies under thermal/structural loading conditions. ANSYS automated FEA (Finite Element Analysis) technologies from [ANSYS, Inc.](#) to generate the results listed in this report.

Each scenario presented below represents one complete engineering simulation. The definition of a simulation includes known factors about a design such as material properties per body, contact behavior between bodies (in an assembly), and types and magnitudes of loading conditions. The results of a simulation provide insight into how the bodies may perform and how the design might be improved. Multiple scenarios allow comparison of results given different loading conditions, materials or geometric configurations.

Convergence and alert criteria may be defined for any of the results and can serve as guides for evaluating the quality of calculated results and the acceptability of values in the context of known design requirements.

- *Solution history* provides a means of assessing the quality of results by examining how values change during successive iterations of solution refinement. *Convergence criteria* sets a specific limit on the allowable change in a result between iterations. A result meeting this criteria is said to be "converged".
- *Alert criteria* define "allowable" ranges for result values. Alert ranges typically represent known aspects of the design specification.

The discussions below follow the organization of information in the ANSYS "Explorer" user interface. Each scenario corresponds to a unique branch in the Explorer "Outline". Names emphasized in "*double quotes*" match preferences set in the user interface.

All values are presented in the "*Metric (mm, kg, N, °C, s, mV, mA)*" unit system.

### Notice

Do not accept or reject a design based solely on the data presented in this report. Evaluate designs by considering this information in conjunction with experimental test data and the practical experience of design engineers and analysts. A quality approach to engineering design usually mandates physical testing as the final means of validating structural integrity to a measured precision.

## 3. Scenario 1

### 3.1. "Model"

"Model" obtains geometry from the Solid Edge® assembly "G:\ACME\Mis documentos\Proyecto de grado oscul-acme\Nuevo Diseño\ejes2.asm".

- The [bounding box](#) for all positioned bodies in the model measures 470.0 by 100.0 by 100.0 mm along the global x, y and z axes, respectively.
- The model has a total mass of 6.15 kg.
- The model has a total volume of 782,977.1 mm<sup>3</sup>.

| Name                    | Material                             | Mass (kg) | Nodes | Elements |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|-------|----------|
| "poleas.par: 1"         | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 0.67      | 1867  | 971      |
| "ejepoleas1.par: 1"     | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 2.0       | 9858  | 6085     |
| "rodamiento6206.par: 1" | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 0.36      | 978   | 156      |
| "poleas.par: 2"         | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 0.67      | 1867  | 971      |
| "rodamiento6206.par: 2" | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 0.36      | 978   | 156      |
| "manguito.par: 1"       | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 1.05      | 1701  | 982      |
| "manguito.par: 2"       | " <a href="#">Structural Steel</a> " | 1.05      | 1701  | 982      |

#### 3.1.1. Contact

- "Contact" uses a tolerance of 0.0 for automatic detection.

| Name               | Type                   | Associated Bodies                               | Pinball Region     |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| "Contact Region"   | <a href="#">Bonded</a> | "rodamiento6206.par: 1" and "poleas.par: 1"     | Program Controlled |
| "Contact Region 2" | <a href="#">Bonded</a> | "rodamiento6206.par: 1" and "ejepoleas1.par: 1" | Program Controlled |
| "Contact Region 3" | <a href="#">Bonded</a> | "rodamiento6206.par: 2" and "ejepoleas1.par: 1" | Program Controlled |
| "Contact Region 4" | <a href="#">Bonded</a> | "manguito.par: 1" and "ejepoleas1.par: 1"       | Program Controlled |
| "Contact Region 5" | <a href="#">Bonded</a> | "manguito.par: 2" and "ejepoleas1.par: 1"       | Program Controlled |
| "Contact Region 6" | <a href="#">Bonded</a> | "rodamiento6206.par: 2" and "poleas.par: 2"     | Program Controlled |

#### 3.1.2. Mesh

- "Mesh" contains 18950 nodes and 10303 elements.

| Table 3.1.2.1. Refinement |                 |       |                     |
|---------------------------|-----------------|-------|---------------------|
| Name                      | Type            | Level | Associated Bodies   |
| "Refinement"              | Face Refinement | 1     | "ejepoleas1.par: 1" |

| Table 3.1.2.2. Element Shapes |                     |                       |                     |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Name                          | Type                | Shape                 | Associated Bodies   |
| "Mapped Face Meshing"         | Mapped Face Meshing | Triangles: Best Split | "ejepoleas1.par: 1" |

### 3.2. "Environment"

"Environment" contains all loading conditions defined for "Model" in this scenario.

The following tables list local loads and supports applied to specific geometry.

#### 3.2.1. Structural Loading

| Name             | Type              | Magnitude | Vector                          | Location                            | Associated Bodies |
|------------------|-------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| "Remote Force"   | Force at 3D Point | 1,682.0 N | [0.0 N x, 1,682.0 N y, 0.0 N z] | [-170.0 mm x, 0.0 mm y, 45.0 mm z]  | "poleas.par: 2"   |
| "Remote Force 2" | Force at 3D Point | 1,682.0 N | [0.0 N x, 1,682.0 N y, 0.0 N z] | [-10.0 mm x, 0.0 mm y, 45.0 mm z]   | "poleas.par: 1"   |
| "Remote Force 3" | Force at 3D Point | 1,682.0 N | [0.0 N x, 1,682.0 N y, 0.0 N z] | [-170.0 mm x, 0.0 mm y, -45.0 mm z] | "poleas.par: 2"   |
| "Remote Force 4" | Force at 3D Point | 1,682.0 N | [0.0 N x, 1,682.0 N y, 0.0 N z] | [-10.0 mm x, 0.0 mm y, -45.0 mm z]  | "poleas.par: 1"   |

#### 3.2.2. Structural Supports

| Name              | Type          | Reaction Force | Reaction Force Vector                 | Reaction Moment | Reaction Moment Vector                              | Associated Bodies |
|-------------------|---------------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|-------------------|
| "Fixed Support"   | Fixed Surface | 3,367.23 N     | [3.05 N x, -3,367.23 N y, 0.86 N z]   | 315,471.94 N·mm | [14.57 N·mm x, -227.57 N·mm y, 315,471.86 N·mm z]   | "manguito.par: 2" |
| "Fixed Support 2" | Fixed Surface | 3,360.77 N     | [-3.05 N x, -3,360.77 N y, -0.86 N z] | 314,197.18 N·mm | [-497.88 N·mm x, -116.06 N·mm y, 314,196.76 N·mm z] | "manguito.par: 1" |

### 3.3. "Solution"

"Solution" contains the calculated response for "Model" given loading conditions defined in "Environment".

An iterative solver was selected in this solution.

### 3.3.4. Fatigue Results

| Name           | Fatigue Strength Factor | Type           | Scale Factor | Analysis Type | Stress Component       | Infinite Life     |
|----------------|-------------------------|----------------|--------------|---------------|------------------------|-------------------|
| "Fatigue Tool" | 0.93                    | Fully Reversed | 1.0          | SN-Goodman    | Equivalent (Von-Mises) | $1.0 \times 10^9$ |

Table 3.3.4.2. Fatigue Tool

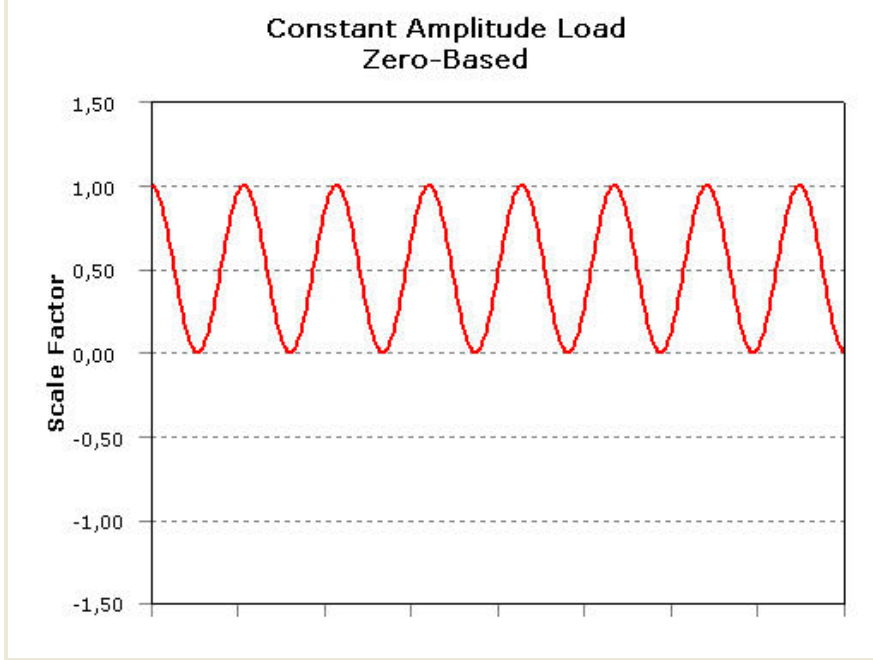
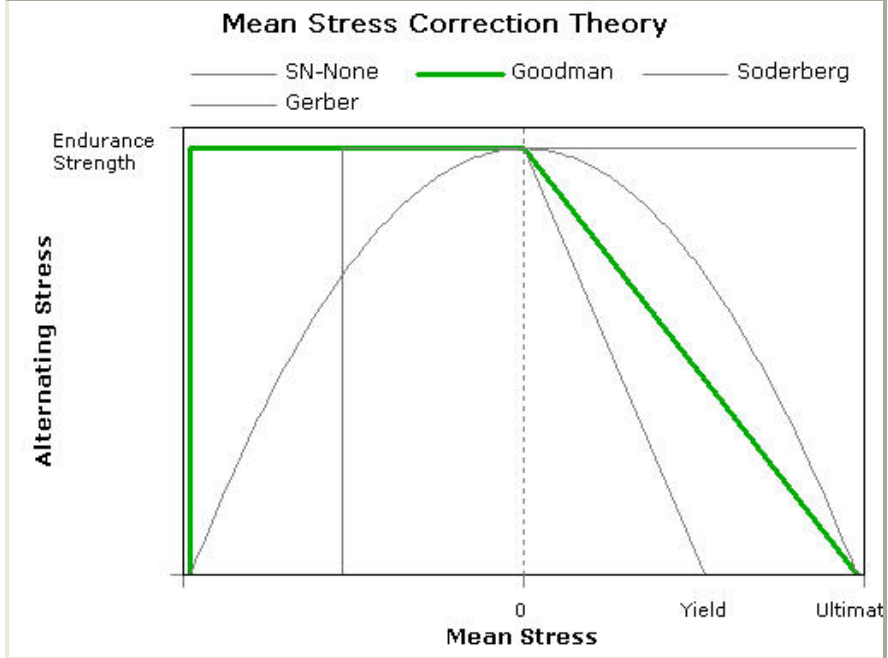


Table 3.3.4.3. Fatigue Tool

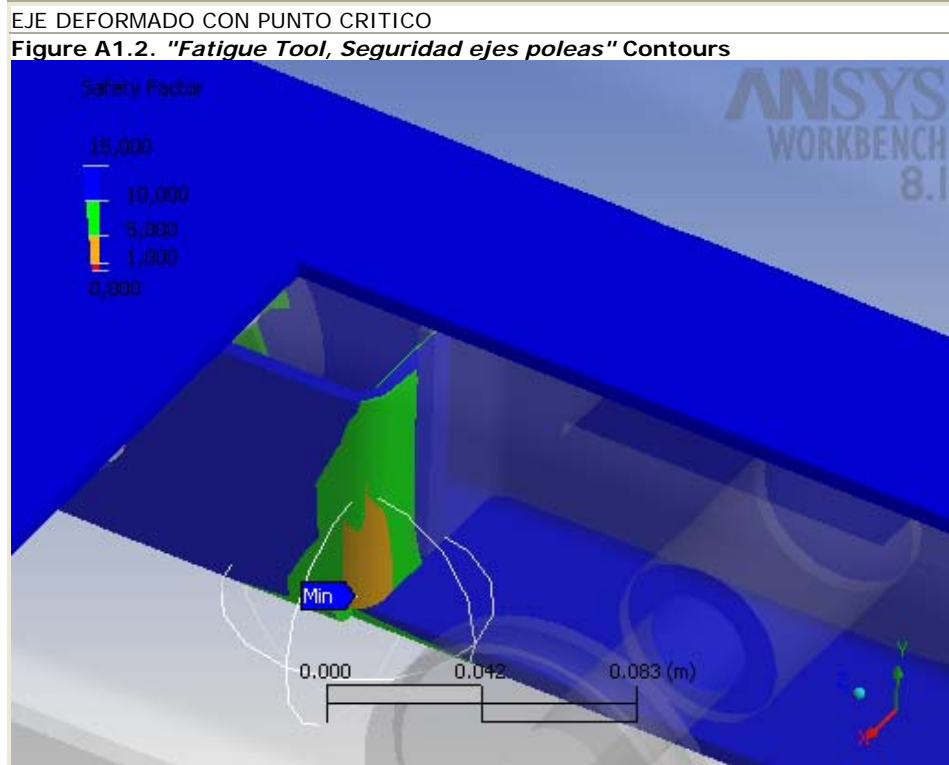
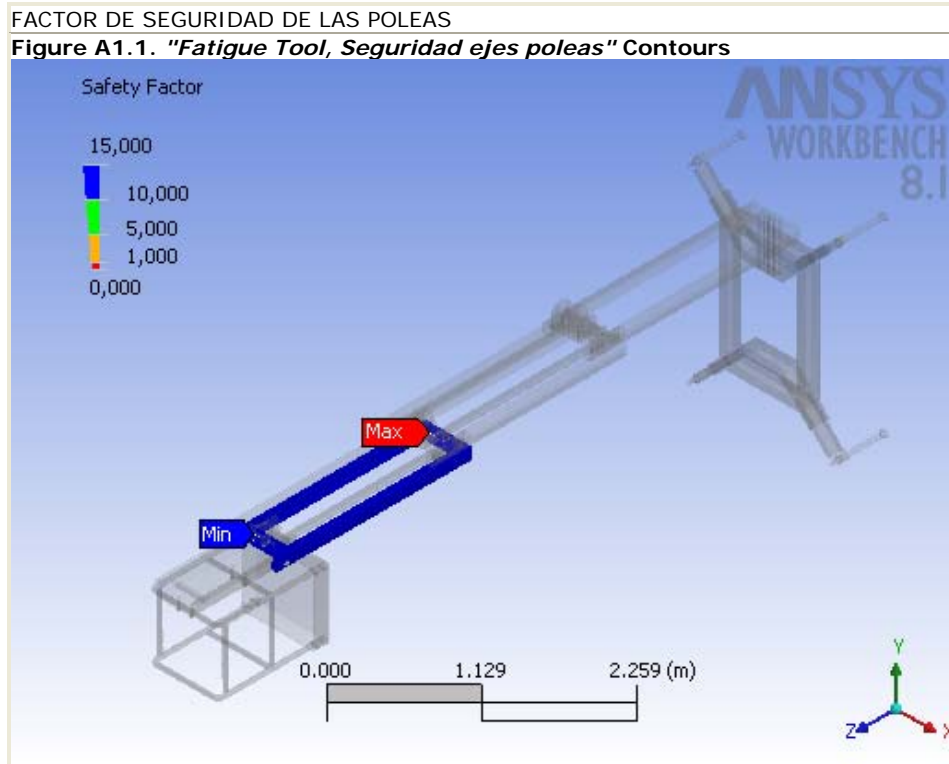


| Table 3.3.4.4. Results  |                                             |                                   |               |                   |             |             |                |
|-------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------|-------------|-------------|----------------|
| Name                    | Figure                                      | <a href="#">Scope</a>             | Type          | Design Life       | Minimum     | Maximum     | Alert Criteria |
| "Vida conjunto"         | None                                        | All Bodies In "Model"             | Life          |                   | 1,000,000.0 | 1,000,000.0 | None           |
| "Seguridad ejes poleas" | <a href="#">A1.1</a> , <a href="#">A1.2</a> | All Bodies In "Model"             | Safety Factor | 1,000,000.0       | 1.11        | 15.0        | None           |
| "Seguridad poleas"      | <a href="#">A1.3</a>                        | "poleas.par:2" and "poleas.par:1" | Safety Factor | $1.0 \times 10^9$ | 15.0        | 15.0        | None           |

---

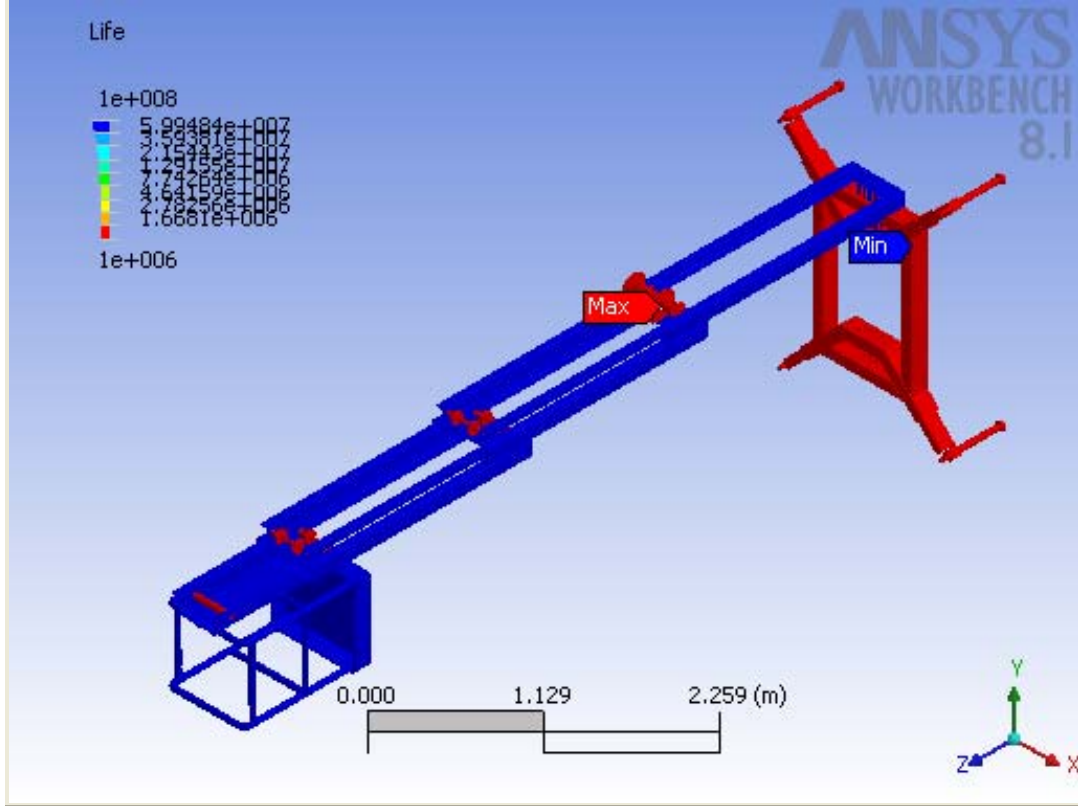
## Appendices

### A1. Scenario 1 Figures



FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS POLEAS

Figure A1.3. "Fatigue Tool, Seguridad poleas" Contours



A2. Definition of "Structural Steel"

| Table A2.1. "Structural Steel" Properties |                         |                                          |
|-------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Name                                      | Type                    | Value                                    |
| Modulus of Elasticity                     | Temperature-Independent | 200,000.0 MPa                            |
| Poisson's Ratio                           | Temperature-Independent | 0.3                                      |
| Mass Density                              | Temperature-Independent | $7.85 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup> |
| Coefficient of Thermal Expansion          | Temperature-Independent | $1.2 \times 10^{-5}$ 1/°C                |
| Thermal Conductivity                      | Temperature-Independent | 0.06 W/mm·°C                             |
| Specific Heat                             | Temperature-Independent | 434.0 J/kg·°C                            |

| Table A2.2. "Structural Steel" Stress Limits |                         |           |
|----------------------------------------------|-------------------------|-----------|
| Name                                         | Type                    | Value     |
| Tensile Yield Strength                       | Temperature-Independent | 250.0 MPa |
| Tensile Ultimate Strength                    | Temperature-Independent | 460.0 MPa |
| Compressive Yield Strength                   | Temperature-Independent | 250.0 MPa |
| Compressive Ultimate Strength                | Temperature-Independent | 0.0 MPa   |

Table A2.2. Alternating Stress vs. Cycles

