



---

---

**Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez**

**Ingeniería Mecánica**

**Residencia profesional**

**'Zoroastro'**

**Diseño del mecanismo de movimiento**

**Asesor:**

**M.C. Roberto Carlos García Gómez**

**Alumno:**

**Manuel Rivera Zaldivar**

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

**Viernes 09 de Enero de 2009**



## ZOROASTRO

1. INTRODUCCION.....	5
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 ARMONÍA SOLAR.....	6
3. ANTECEDENTES DE MOVILIDAD.....	10
4. EL MOVIMIENTO EN LA ACTUALIDAD.....	11
5. OBJETIVO GENERAL.....	12
5.1 OBJETIVO PARTICULAR.....	12
6. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	13
6.1 METODOLOGIA DEL DISEÑO.....	13
6.2 ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	14
6.2.1 COMPRESION DEL PROBLEMA.....	14
6.2.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	14
6.2.3 DISEÑO A DETALLE.....	15
6.5 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.....	16
6.6 CINEMATICA Y DINAMICA DE LA ESCULTURA.....	17
6.7 ARTICULACIONES.....	17
6.8 ANALISIS DE FUERZAS.....	17
7.CRITERIOS PARA EVALUAR DECISIONES EN EL DISEÑO DE MAQUINAS.....	19
7.1 FLECHAS O EJES.....	20
7.2 COJINETES.....	20
7.3 FUERZAS QUE EJERZAN ELEMENTOS DE MAQUINARIA SOBRE FLECHAS O EJES.....	21
7.4 RUEDAS DENTADAS.....	21

7.5 RUEDAS O POLEAS DE CADENA.....	22
8. PROPUESTA DE DISEÑO .....	23
8.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL MOVIMIENTO .....	24
8.2 PROPIEDADES DEL MOVIMIENTO.....	26
8.3 PIEZAS .....	27
8.4 COMPLEMENTOS .....	29
9. MEMORIA DE CÁLCULO .....	30
9.1 TEORIAS DE FALLA UTILIZADAS EN EL CÁLCULO .....	30
9.1.1 TEORÍA DE FALLA POR ESFUERZO NORMAL MÁXIMO .....	30
9.1.2. TEORIA DE FALLA POR ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO: .....	31
9.2ANALISIS DE ESFUERZOS.....	33
9.2.1 CALCULO DE MOTORES.....	33
9.2.2 ANALISIS DE PIEZAS CRÍTICAS.....	35
9.3 RESULTADOS .....	48
10. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....	50
11. BIBLIOGRAFIA.....	51
12. ANEXOS .....	52
12.1 SELECCIÓN DE LA CADENA. TABLA A1.....	52
12.2 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL. TABLA A2.....	53

### 1. INTRODUCCION

El proyecto Zoroastro se basa en la religión zoroastra cuyos preceptos enseñaban a estar en sintonía con la naturaleza explorando todas las posibilidades para ser una fuente de alegría a todas las creaciones, el nombre hace referencia al personaje histórico, profeta y fundador del Zoroastrismo.

Pretende ser el puente entre la naturaleza y la tecnología, y su función será captar la luz y la ubicación del sol.

Por su estructura, belleza y funcionamiento puede ser considerado como una escultura, por su tecnología, como un mecanismo robótico y es al mismo tiempo una representación de la cultura zoroastra, que realzará y dará un aspecto de vanguardia y tecnología, sin desentonar con el ambiente natural al Zoológico Miguel Álvarez del Toro.

### 2. ANTECEDENTES

Zoroastro o zaratustra es el nombre de un personaje histórico, profeta y fundador del zoroastrismo quien llegó hasta el rey Guhtasp que gobernaba una tribu situada posiblemente en Balkh, al noroeste de Kabul, Zoroastro convenció al rey y a su tribu de sus creencias, de esta forma el zoroastrismo se convirtió en religión oficial y una de las primeras religiones monoteístas del mundo.

Esta religión tiene como modo de vida la difusión de la felicidad en todas partes y sus preceptos enseñaban a estar en sintonía con la naturaleza, su intención era ser una fuente de alegría para todas las creaciones.

#### 2.1 ARMONÍA SOLAR

Representa el encuentro de mundos diferentes para compartir el amor por la naturaleza y encontrar el camino hacia la felicidad.

La función de este Zoroastro sin desviarse de la religión, constituye una manera de tener un contacto con la naturaleza y ser parte de la armonía que la envuelve.

Puede ser considerado una escultura, un mecanismo robótico y también una representación de la cultura zoroastra, es decir, consiste en un encuentro de culturas.

Los Elementos culturales que se consideraron para construir al Zoroastro son:

- ♦ El puente Chinvat
- ♦ Se representara al Behest (Cielo) en las estaciones:
  - Hvarshta (estación de sol) y

## ZOROASTRO

- Anagra raochaao (interminable luz) o garodemaaan (casa de canciones)
- ◆ La tercera teoría cosmogónica zoroastra

Por lo tanto el Zoroastro será una escultura que representara las relaciones:

- ◆ Naturaleza-Sol-Luz-Armonía Musical.

El proyecto Zoroastro se basa en la religión zoroastra que entre sus preceptos se encuentra la difusión de la felicidad pro todas partes. (Yasna 43-1)

Para la realización de este proyecto, se retoman características de signos o símbolos zoroastras como son los siguientes:

- ◆ Avestic Hoama védica y Soma: que es el nombre de una planta conocida por los antiguos iranians y la vedic arios de la antigüedad.
- ◆ El Hoama: Ventajosa tanto para el cuerpo y el alma, porque todas las demás bebidas intoxicantes conducen a la ira, pero la bebida elaborada a partir de Haoma planta, es la alegría de dar y conduce a la santidad, y hace que la mente de los pobres se exalte.

Otros aspectos de la religión zoroastra, que se toman en cuenta para este proyecto, son:

El fenómeno de la muerte que, de acuerdo a la terminología de la religión zoroástrica es la separación de la conciencia del cuerpo físico. (Vendidad 9-43).

El puente Chinvat, es el nombre de un lugar en el que se hace la selección para el alma, si se ha de proceder al cielo o al ser arrastrado al infierno

## ZOROASTRO

Si un hombre tiene más buenas acciones en el mundo material y son más numerosas que sus malas acciones, su alma tiene derecho al Behest o cielo que es de cuatro grados diferentes:

- Humata (estación de estrellas)
- Hukta (estación de luna)
- Hvarshta (estación de sol) y
- Anagra raochaao (interminable luz) o garodemaaan (casa de canciones)

(Fragmentos de Haadokht Nask chs II y III)

Por el contrario si un hombre del mal en el mundo material tiene mas acciones malas su alma esta condenada a Dozakh o infierno que también es de cuatro grados diferentes

- Dushmata
- Duzukhta
- Duzvarshta y
- Anagra temah (interminable oscuridad)

La religión zoroástrica hace hincapié en la pureza de los cuatro elementos naturales: el fuego, el aire, el agua y la tierra entre en la composición del cuerpo humano, por lo tanto, en su pureza depende la salud general de la humanidad.

la tercera teoría cosmogónica zoroastra, es que las creaciones han surgido de la luz.

Ahura Mazda de su propia luz formo el mundo, en la forma de fuego, brillante y blanco.



## ZOROASTRO

Aalaat es una palabra árabe que significa aplicar, los aparatos, que se requieren para la realización de algunas ceremonias de alta como Yazashne (preparación de Soma), Víspera (Ceremonia de media noche) y Vendidad (colección de Textos).

- ♦ Declara categóricamente que el dios supremo Ahura Mazda es el Más invisible y, por tanto, no pueden ser representados por cualquier material de la imagen.
- ♦ Ahura Mazda Era un dios abstracto y trascendente, sin imagen concreta, por lo cual no era representable. Su hijo era el dios Atar, identificado con el fuego.

### 3. ANTECEDENTES DE MOVILIDAD

El principal precursor de la movilidad en los elementos mecánicos es sin duda Leonardo Da Vinci.

Pensaba que la mecánica era la más noble de las ciencias "puesto que vemos que por medio de ella realizan sus acciones todos los cuerpos animados que poseen movimiento". Previó el principio de inercia, que después Galileo demostró experimentalmente, vio la imposibilidad experimental del "movimiento continuo "como fuente de energía, adelantándose en esto a Stevin de Brujas. Aprovechó el conocimiento de esta imposibilidad para demostrar la ley de la palanca por el método de las velocidades virtuales, un principio que ya enunciaba Aristóteles y que utilizaron más tarde Bernardino Baldi y Galileo.

Resucitó Leonardo las ideas de Arquímedes sobre la presión de los fluidos y demostró que los líquidos mantienen el mismo nivel en vasos comunicantes, y que si se llenan ambos vasos con líquidos diferentes, sus alturas de nivel serán inversamente proporcionales a sus densidades.

También se metió con la hidrodinámica. Escape de agua por los orificios, su corriente por canal, propagación de las olas sobre la superficie, etc. De las olas en el agua pasó a las ondas del aire y a las leyes del sonido, adelantándose a la moderna teoría ondulatoria de la luz.

En el campo de la astronomía concibió una máquina celeste ajustada a determinadas leyes, lo cual constituía en sí un avance sobre las ideas de Aristóteles sobre las esferas etéreas. Afirma Leonardo que la tierra es uno de tantos astros y promete demostrar en el libro que proyecta escribir, que la Tierra refleja la luz del sol igual que la luna.

Leonardo diseño un puente plegable el cual para la época era un elemento mecánico, con tecnología sofisticada.



## 4. EL MOVIMIENTO EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad existen esculturas con dispositivos mecánicos que permiten su movimiento, esto con la finalidad de innovar y a la vez llamar la atención de los espectadores.

El Animaris Rhinoceros que se muestra en la figura inferior es un ejemplo de dichas esculturas. Este tiene la capacidad de desplazarse en forma lateral, e incluso transportar personas dentro de el.



## 5. OBJETIVO GENERAL

Este proyecto será desarrollado para su exhibición en el Zoológico Miguel Álvarez del Toro y contara con una explanada propia, la cual representara al puente Chinvat entre otros aspectos.

Su forma será:

- ♦ Una escultura de 12 m de altura por 1.5m de ancho, en la punta llevara un prisma elaborado a base de cristales

La función de esta escultura será:

- ♦ Captar la luz y ubicación del sol.
- ♦ Al captarla reproduce una armonía musical de tipo impredecible que depende de la intensidad con la que la luz se presente.
- ♦ Tiene movimientos que van de acuerdo a la ubicación del sol en cuanto estación y hora del día.

### 5.1 OBJETIVO PARTICULAR

Este diseño deberá contar con un mecanismo el cual le permita tener una movilidad adecuada, tomando en cuenta el giro de las articulaciones así como el esfuerzo que deberán soportar. Par lograr el objetivo se aplicaran los conocimientos en cinemática, análisis de mecanismos y diseño.

## 6. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

La escultura esta formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones. Se denomina grado de libertad (GDL). El número de grados de libertad del dispositivo viene dado por la suma de los grados de libertad de las articulaciones que lo componen.

El elemento del dispositivo que se encarga de hacer la tarea principal para la cual fue creado, este es un mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al control del movimiento . El cual puede ser controlado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.

### 6.1 METODOLOGIA DEL DISEÑO

Diseñar es un conjunto de actividades que apoyadas en los conocimientos, la experiencia, el ingenio y el intelecto, pretende resolver necesidades humanas anticipando a través de la ideación, los medios con los cuales se busca satisfacer esas necesidades.

Según la función de los productos del diseño se puede considerar por un lado el diseño artístico cuyos productos pretenden una función de estima y por otro lado diseño técnico cuyos productos tienen una finalidad de uso. La mayoría de los productos industriales requieren ser diseñados bajo dos perspectivas: funcional y estética.

De acuerdo con las tecnologías previstas para la fabricación de los productos, el diseño puede estar enfocado a la producción artesanal o a la producción industrial. La producción industrial pretende asegurar el intercambio de los productos a través de la normalización y reproducción idéntica de sus características.

Difícilmente un producto se diseña bajo uno solo de los seis enfoques mencionados anteriormente por lo general cada trabajo de diseño resulta de una combinación.

### 6.2 ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para estructurar la metodología de diseño el proceso se puede dividir en tres grandes etapas.

Estas tres etapas son aplicables en problemas de desarrollo de piezas individuales, subsistemas, o en sistemas mecánicos completos.

1ra. Etapa                      Comprensión del Problema

2da. Etapa                      Diseño Conceptual

3ra. Etapa                      Diseño de Detalle

Comprensión del problema

#### 6.2.1 COMPRESION DEL PROBLEMA

Para la 1ra. Etapa de comprensión del problema, una metodología recomendada para desarrollarla es la lluvia de ideas o brainstorming, también denominada tormenta de ideas, es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado.

De manera general la primera etapa del proceso de diseño es suplir las necesidades del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) a partir de la información obtenida durante la detección de necesidades y el estudio preliminar.

#### 6.2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

La 2da. Etapa de conceptualización se puede apoyar en el método análisis del valor, en donde se aprovecha la información generada en la primera etapa del proceso de diseño, para definir en primer lugar el modelo funcional del producto para después pasar a conceptualizar las posibles soluciones al problema. Se trata aquí de identificar primero el “qué” y después proponer alternativas del “cómo”. El “qué” consiste en la identificación de todas las funciones mas generales hasta las mas particulares con las cuales se puede lograr satisfacer las expectativas del cliente. El “cómo” consiste en generar una serie de

## ZOROASTRO

alternativas de solución en base al modelo funcional descrito antes; después se evalúan esas alternativas de manera sistemática para llegar a una propuesta de solución con las cuales se pueda continuar a etapas mas avanzadas del proceso de diseño.

El objetivo de la etapa de diseño conceptual es lograr la mejor propuesta de solución posible para que en la siguiente etapa los esfuerzos del equipo de diseño se concentren en ella al final de la etapa de diseño conceptual las propuestas pueden ser de diferentes niveles de abstracción, como esquemas, croquis, diagramas, etc.

La 2da. Etapa del proceso de diseño consiste en pasar de la función al concepto de diseño tomando como base las metas de diseño establecidas en la primera etapa.

### **6.2.3 DISEÑO A DETALLE**

La 3ra. Etapa tiene como objetivo definir sin lugar a dudas el producto de tal manera que sea posible su manufactura. Es decir en esta etapa se debe definir “el modelo de manufactura del producto”. Los materiales, las formas, las dimensiones, tolerancias, rugosidades, tratamientos térmicos, recubrimientos superficiales y todo aquello que sea necesario definir para que el producto se pueda fabricar de modo que sus características puedan cumplir con las funciones previstas. El resultado de la etapa de diseño de detalle es probablemente el resultado de todo el proceso de diseño del producto.

La información que se genera en esta etapa sirve a la función manufactura para fabricar el producto y sus componentes así como para llevar acabo el ensamble.

La 3ra. Etapa del proceso de diseño consiste en darle forma al concepto de diseño tomando como base toda la información generada hasta ahora.

- Requerimientos del cliente
- Metas de diseño
- Modelo Funcional
- Concepto de diseño

El proceso que se sigue en la etapa de diseño de detalle va de lo general a lo particular esto desarrolla la forma del conjunto resolviendo la interrelación funcional entre todos los componentes para posteriormente elaborar los dibujos de fabricación de cada una de las piezas de manera independiente con excepción de las piezas comerciales que se adquieren compradas.

### 6.5 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA

En la parte conceptual del proceso de diseño, una de las herramientas con las que cuenta la ingeniería es el diseño asistido por computadora (Computer Design Assist CAD). La cual ayuda a plasmar las ideas en la solución del problema de una forma virtual, así como dar una aproximación del modelo en donde se pueden observar montajes, interferencias y propuestas de elementos comerciales.

Un sistema CAD esta compuesto por dos partes. El hardware y el software de acuerdo a esto se tienen:

- Bajo Nivel
- Medio Nivel
- Alto Nivel

Los de bajo nivel son aquellos en donde la velocidad de procesamiento del hardware es lenta y el software se opera con códigos o comandos y solo representan figuras en dos dimensiones.

Los de medio nivel se caracterizan por un hardware de mayor procesamiento como las computadoras personales con procesadores 286 o equivalente y software que trabaja con menú y comandos. Su representación grafica es en dos dimensiones y tres dimensiones en mallas de alambre.

Los de alto nivel utilizan hardware de tecnología i386 o procesadores 486 o equivalentes, en donde el software trabaja en ambiente grafico y su representación es en tres dimensiones.

En la actualidad los sistemas CAD son de alto nivel y cabe mencionar que inicialmente su desarrollo fue en ambiente UNIX, por las bondades del hardware, pero muy costosos.

Algunos de los software que iniciaron en este sistema de alto nivel son:

- Pro ENGINEER
- Catia
- Ideas
- Unigraphics
- Otros

Con el desarrollo de las computadoras personales, los sistemas CAD de alto nivel fueron aplicándose en ambiente Windows.



## ZOROASTRO

AutoCAD pasa de un sistema de nivel medio en sus primeras versiones a uno de alto nivel, a partir de ellos surgen algún otro software como:

- CADKEY
- CADMAX
- SolidWorks
- SolidDesign
- Otros

### 6.6 CINEMATICA Y DINAMICA DE LA ESCULTURA

La cinemática de la escultura trata con el estudio analítico de la geometría del movimiento con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fijo sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del desplazamiento espacial de la escultura como una función del tiempo, en particular de las relaciones entre la posición de las variables de articulación y la posición y orientación del efecto final.

### 6.7 ARTICULACIONES

Las articulaciones de la escultura se suelen mover a través de un motor eléctrico ya sea para obtener movimiento en una dirección o para intercambiar su orientación a otra dirección.

Son comunes dos tipos de articulaciones: la prismática y la giratoria. Una junta prismática, también conocida como junta deslizante, posibilita a un eslabón deslizarse en línea recta sobre otro. Una junta giratoria, si consideramos el caso de un grado de libertad, toma la forma de una bisagra entre un eslabón y el próximo. Dos o más articulaciones de éstas puede combinarse estrechamente.

### 6.8 ANALISIS DE FUERZAS.

El problema inicial en el diseño de un mecanismo para la escultura es la comprensión de su cinemática, es decir, la geometría del movimiento (posición, desplazamiento, rotación, velocidad y aceleración) independiente de las fuerzas o pares que la producen.

Uno de los objetivos de la escultura es controlar la posición y la orientación del efector final en espacio de dos dimensiones, en otras palabras, la escultura debe seguir una trayectoria planeada a través de todos los movimientos de los eslabones, para el cual se debe formular la relación entre las variables que representan las articulaciones con la

## ZOROASTRO

posición y la orientación. A lo anterior se le llama problema de la cinemática directa, la cual dice que: Dado el vector de las variables de las articulaciones de una escultura mecánica, determinar la posición y orientación respecto a un marco de coordenadas fijo y relativo a la base de la escultura.

Las articulaciones de un manipulador pueden ser actuadas eléctricas, hidráulica o neumáticamente. El número de articulaciones determinan los grados de libertad (DOF) del manipulador. Típicamente, un manipulador posee seis grados de libertades independientes, tres para posición y tres para orientación.

El espacio de trabajo de un manipulador es el volumen total barrido o generado por el efector final cuando este ejecuta los movimientos posibles. El espacio de trabajo esta restringido por la geometría del manipulador, es decir, restricciones mecánicas en las articulaciones. Por ejemplo, a una articulación de revolución puede estar limitada por un movimiento menor a 360°.

## 7.CRITERIOS PARA EVALUAR DECISIONES EN EL DISEÑO DE MAQUINAS.

Es probable que los enfoques en cuanto a diseño tengan que adaptarse para hacerlos compatibles con ciertas industrias y mercados. Por ejemplo, los dispositivos que se incorporan en aeronaves deben ser ligeros, mientras que una pieza de una maquina en una planta de fabricación por lo general no esta sujeta a restricciones en cuanto a peso. Las restricciones de este tipo pueden tener consecuencias asombrosas en el proceso de diseño.

Al enfocarse en un diseño, el responsable debe establecer criterios que servirán de guía en los procesos de toma de decisiones inherentes a cualquier proyecto. Como para cada problema de diseño existen distintas alternativas en relación a su solución, cada uno debe evaluarse en función de los criterios que integran la lista. Quizá no exista un mejor diseño pero los diseñadores deben trabajar para obtener el que resulte ser optimo. Esto es, el responsable del diseño debe maximizar los beneficios y reducir al mínimo las desventajas.

A continuación se mencionan los criterios generales en el diseño mecánico o de maquinaria.

Seguridad

Rendimiento (el grado en que el diseño satisface o excede los objetivos de diseño)

Confiabilidad (una alta probabilidad de que el diseño cumplirá con la vida útil o la excederá)

Facilidad para fabricar

Disponibilidad de servicio o reemplazo de componentes

Facilidad en cuanto a operación

Costo inicial bajo

Costo de operación y mantenimiento bajos

Tamaño reducido y de poco peso

Poco ruido y de escasa vibración, que opere con suavidad

Uso de materiales accesibles y facilitar la compra de componentes

Uso prudente de partes cuyo diseño es único junto con componentes en el mercado

Que su aspecto resulte atractivo y adecuado para su aplicación

Sugerir criterios adicionales y determinar la importancia relativa del criterio que se aplica a cada diseño. Es cierto que la seguridad es de primordial importancia y el diseñador es responsable legalmente si alguien resultare lesionado debido a errores en el diseño. Se debe considerar el uso razonablemente viable del dispositivo y asegurar la protección de los operadores y aquellas personas que se encuentren cerca. El desempeño correcto debe ser un criterio prioritario. La importancia de los demás criterios varía en función del diseño.

### 7.1 FLECHAS O EJES

Una vez que se han diseñado los pares de engranes, considere el diseño de la flecha o eje. La flecha recibe carga en flexión o torsión debido a las fuerzas que actúan sobre los dientes de los engranes. Por tanto, en su diseño deben considerarse resistencia y rigidez y permitir el montaje de los engranes y los cojinetes. Se pueden utilizar flechas de diversos diámetros para proporcionar hombros o soportes en los que se asientan los engranes y cojinetes. Tal vez haya cuñas de unión que se cortan en la flecha. Las flechas de entrada y de salida se extenderán más allá de la carcasa para permitir el acoplamiento con el motor y el eje impulsor. El tipo de cople debe tenerse en cuenta, ya que su efecto en el análisis de la tensión en la flecha puede resultar procedente. Los sellos en las flechas de entrada y salida protegen a los componentes internos.

### 7.2 COJINETES

En caso de que vayan a utilizar cojinetes giratorios de contacto, es muy probable que elija cojinetes en el catálogo de un fabricante que estén disponibles en el mercado, en lugar de diseñar uno de un tipo particular. En primer lugar tiene que determinar la magnitud de las cargas en cada eje a partir del análisis de la flecha y de los diseños de los engranes. Se requiere considerar también la velocidad de giro y la vida útil razonable del diseño de los cojinetes y compatibilidad con la flecha en la cual se van montar. Por ejemplo, con base en el análisis de la flecha es posible especificar el diámetro mínimo tolerable en cada lugar donde se ubica un asiento de cojinete para asegurar niveles de tensión seguros. El cojinete que se selecciona para dar apoyo a una parte en especial de la flecha debe tener, en consecuencia, un diámetro interior que no sea más pequeño que el necesario. Cuando se elige un cojinete, deben especificarse el diámetro de la flecha en donde se ubica el asiento del cojinete así como las tolerancias permisibles, de acuerdo con recomendaciones del fabricante del cojinete, para lograr la operación adecuada y la expectativa de vida del cojinete.

### 7.3 FUERZAS QUE EJERZAN ELEMENTOS DE MAQUINARIA SOBRE FLECHAS O EJES

Los engranes, las poleas para bandas, y otros elementos que casi siempre son soportados por ejes o flechas, ejercen fuerzas sobre los ejes que dan lugar a momentos de flexión. El siguiente es un análisis de los métodos que se utilizan para calcular estas fuerzas, en algunos casos. En general, tendrá que utilizar los principios de la estadística y la dinámica para determinar las fuerzas para cualquier elemento en particular.

### 7.4 RUEDAS DENTADAS

La fuerza que se ejerce sobre los dientes de un engrane mientras se transmite potencia actúa de manera normal, es decir perpendicular, al perfil evolvente de los dientes. En el análisis de ejes, conviene considerar los componentes rectangulares de esta fuerza que ejercen su acción en sentido radial así como tangencial, mas conveniente aun es calcular la fuerza tangencial,  $W_t$ , directamente del torque que se conoce, el cual es transmitido por el engrane. Para unidades del sistema británico:

$$T = 63\,000(P)/n$$

$$W_t = T / (D/2)$$

Donde  $P$  es la potencia que se transmite en hp,  $n$  es la velocidad de giro en rpm,  $T$  es el torque en libras por pulgada y  $D$  es el diámetro de holgura del engrane de pulgadas.

## ZOROASTRO

El ángulo entre la fuerza total y el componente tangencial es igual al ángulo de presión,  $\phi$ , de la forma de los dientes. Por consiguiente, si se conoce la fuerza tangencial, la fuerza radial puede calcularse directamente a partir de

$$W_r = W_t \tan \phi$$

Y no es necesario calcular la fuerza total. Para engranes, el ángulo de presión por lo regular es  $14\ 1/2^\circ$ ,  $20^\circ$  o  $25^\circ$ .

### 7.5 RUEDAS O POLEAS DE CADENA

. La parte superior de la cadena se somete a una tensión y genera el torque en cualquiera de las ruedas. A la parte inferior de la cadena se le da el nombre de *lado flojo*, y no ejerce fuerza alguna en ninguna de las ruedas. Por tanto, la fuerza total de flexión en el eje que soporta a la rueda es igual a la tensión en el lado tenso de la cadena. Si se conoce el torque en alguna rueda,

$$F_c = T / (D/2)$$

Donde D es el diámetro de la holgura de esa rueda.

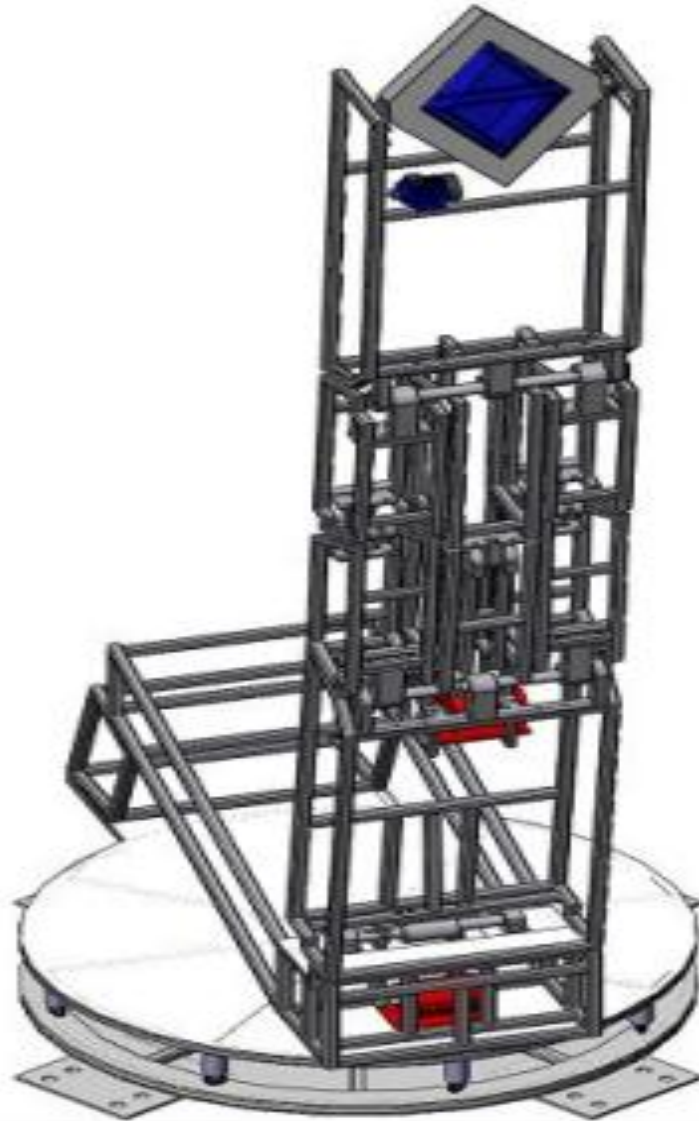
Observe que la fuerza,  $F_c$ , actúa en sentido del lado tenso de la banda. Debido a la diferencia de tamaño entre las dos ruedas, ese sentido se encuentra a cierto ángulo respecto a la línea del centro entre los centros del eje. Un análisis exacto exigiría que la fuerza  $F_c$ , se despegara en componentes paralelos a la línea central y perpendicular a ella. Esto es,

$$F_{cx} = F_c \cos \theta \quad \text{y} \quad F_{cy} = F_c \sin \theta$$

Donde el sentido x es paralelo a la línea central y el sentido y es perpendicular a ella. El ángulo  $\theta$  es el ángulo de inclinación de lado tenso de la cadena respecto al sentido

## 8. PROPUESTA DE DISEÑO

Tomando en cuenta los desplazamientos necesarios en las articulaciones de la escultura y la viabilidad del diseño se optó por un mecanismo de engranes rectos para el giro principal de la escultura y una transmisión de la potencia por medio de cadenas para los demás movimientos.

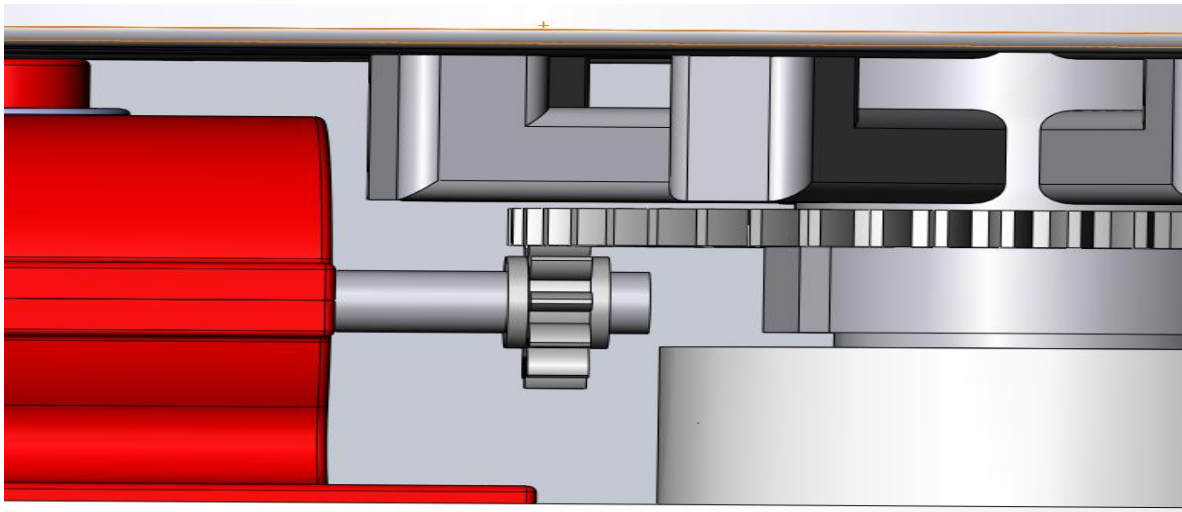


## 8.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL MOVIMIENTO

A continuación se muestran las imágenes en la cuales se describe el movimiento de la escultura.

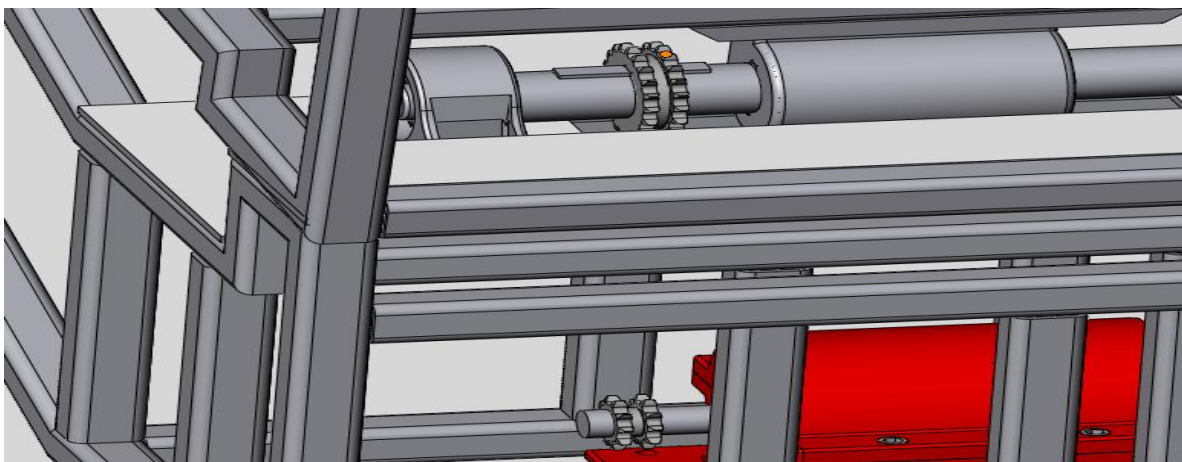
### 1er movimiento

Este movimiento consta de un piñón recto acoplado a un engrane con un grado de un grado de libertad con este movimiento la escultura logra rotar.



### 2do movimiento

El segundo movimiento consiste en una rueda dentada acoplada a otra de mayor diámetro mediante una cadena este mecanismo permite rotar a la primera base de la escultura.





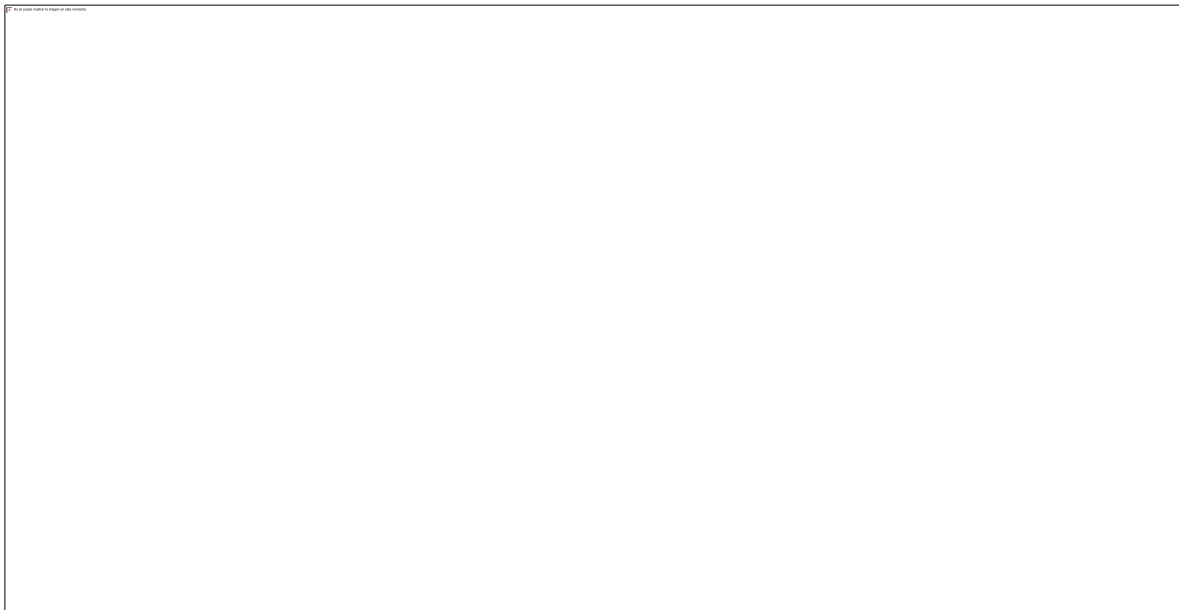
## 3er movimiento

El tercer movimiento esta provisto de igual manera por dos ruedas dentadas movidas por un motor y acopladas mediante duna cadena. Este movimiento permite a la otra parte de la escultura rotar sobre la base 1.



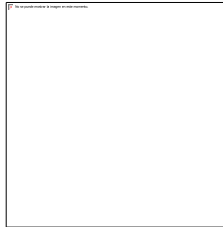
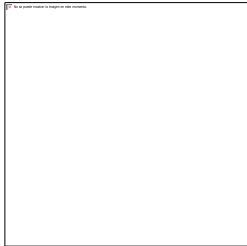
## 4o movimiento

El último de los movimientos también se encuentra provisto por una cadena, este movimiento permite la rotación del prisma.

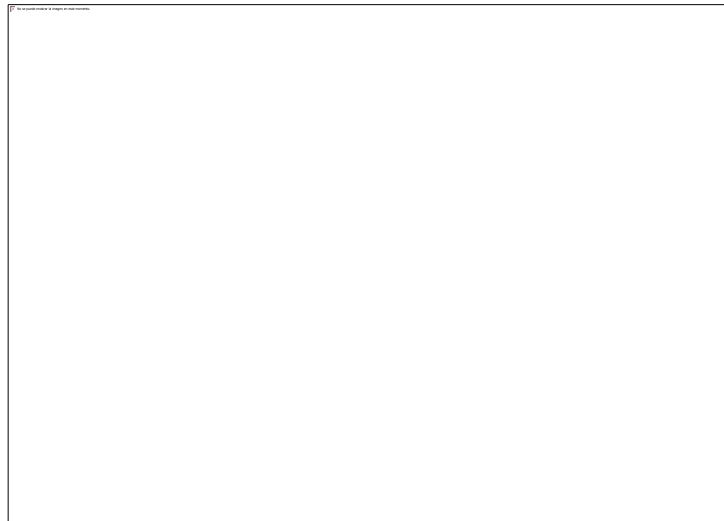


## 8.2 PROPIEDADES DEL MOVIMIENTO







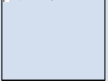






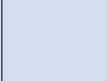
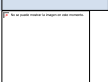

El primer movimiento será efectuado por una transmisión de engranes, la cual consta por un piñón recto de 12 dientes, el cual transmite la potencia del motor a un engrane de 24 dientes.








Todos los demás movimientos contemplados en la escultura serán efectuados por una transmisión de cadena, la cual consta de dos ruedas dentadas de diferente diámetro acopladas en los ejes, enganchadas por una cadena de paso 25.4 mm como se muestra en el anexo A1.











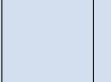


## 8.3 PIEZAS

Pieza	Nombre	Código	Material	Uso
	Base 1	fbs001	Acero	Soporte del peso total y permite el giro
	Base 2	fbs002	Acero	Soporta la estructura
	Cojinete de soporte	fcj003		Soporte para rodamientos
	Eje 1	fej004	Acero	Soporta la estructura y permite el giro
	Eje 2	fej005	“	“
	Eje 3	fej006	“	“
	Eje 4	fej007	“	“
	Pieza 1	fpz008	“	Soporta el peso
	Pieza 2	fpz009	“	Equilibra la estructura
	Pieza 3	fpz010	“	Rota y soporta a la pieza 4
	Pieza 4	fpz011	“	Rota y soporta a el prisma
	Pieza 5	fpz012	“	Rota y engancha a la pieza 3 y la 4
	Pieza 6	fpz013	“	Soporte para rodamientos
	Pieza 7	fpz014		Permite el giro y sirve de contrapeso
	Pieza 8	fpz015	Acero	Soporta el eje 3
	Pieza 9	fpz016	“	Soporta el eje 1

## ZOROASTRO

Pieza	Nombre	Código	Material	Uso
	Pieza 10	fpz017	Acero	Soporta el eje 2
	Pieza 11	fpz018	“	Soporta el eje 4
	Pieza 12	fpz019	“	Soporte para rodamientos
	Pieza 13	fpz020	“	Soporte para rodamientos
	Pieza 14	fpz021	“	Conecta la pieza 5 con la 4
	Pieza 15	fpz022	“	Conecta la pieza 5 con la 3

## 8.4 COMPLEMENTOS

Pieza	Nombre	Código	Material	Uso
	Anillo de retención	Circlip DIN 471 - 65 x 4	Acero	Retener el rodamiento
	Anillo de retención 2	B27.8M - 3DM1-40	“	Retener el rodamiento
	Rueda dentada conductora	Chain wheel ISO - 10Z 16A-2	“	Trasmitir la potencia
	Rueda dentada conducida	Chain wheel ISO - 20Z 16A-2	“	“
	Piñón	Metric - Spur gear 10M 12T 20PA 30FW	“	“
	Engrane	Metric - Spur gear 10M 24T 20PA 50FW	“	“
	Rueda dentada conductora	Chain wheel ISO - 10Z 16A-1	“	“
	Rueda dentada conducida	Chain wheel ISO - 20Z 16A-1	“	“
	Rodamiento 1	SKF - 30228	“	Permite el giro del eje
	Rodamiento 2	SKF - 32308 B	“	Permite el giro del eje
	Rodamiento de bolas	2313 GB 281-94		Permite el giro del eje

## 9. MEMORIA DE CÁLCULO

### 9.1 TEORIAS DE FALLA UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

La falla de un elemento se refiere a la pérdida de su funcionalidad, es decir cuando una pieza o una máquina dejan de ser útiles.

Esta falta de funcionalidad se dar por:

- Rotura
- Distorsión Permanente
- Degradación
- Etc.

La rotura o la degradación permanente se deben a que los esfuerzos soportados son mayores que la resistencia del material de fabricación.

Para poder determinar para qué cantidad de esfuerzo aplicado se producirá una falla, se utilizan algunas teorías de falla.

Todas las teorías de falla se basan en la comparación del esfuerzo actuante contra el resultante aplicado en una prueba uniaxial de tensión o compresión.

#### 9.1.1 TEORÍA DE FALLA POR ESFUERZO NORMAL MÁXIMO

La falla ocurrirá en la parte de cualquiera de los esfuerzos normales principales excede el esfuerzo normal principal que da lugar a la falla en la prueba uniaxial simple.

Si:  $S_1$  = Esfuerzo Principal 1

$\gamma_c$  = Esfuerzo de fluencia a compresión

$S_2$  = Esfuerzo Principal 2

$\sigma_{yt}$  = Esfuerzo de fluencia a tensión.

$S_3$  = Esfuerzo Principal 3.

Se debe cumplir que:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{yc} &\geq S_1 \leq \sigma_{yt} \\
 \sigma_{yc} &\geq S_2 \leq \sigma_{yt} \\
 \sigma_{yc} &\geq S_3 \leq \sigma_{yt}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Si se aplica un factor de diseño se consiguen las ecuaciones de diseño:

$$\begin{aligned}
 \frac{\sigma_{yc}}{n_d} &\geq S_1 \leq \frac{\sigma_{yt}}{n_d} \\
 \frac{\sigma_{yc}}{n_d} &\geq S_2 \leq \frac{\sigma_{yt}}{n_d} \\
 \frac{\sigma_{yc}}{n_d} &\geq S_3 \leq \frac{\sigma_{yt}}{n_d}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Para materiales frágiles  $\sigma_{yc}$  y  $\sigma_{yt}$  es el esfuerzo de fluencia.

### 9.1.2. TEORIA DE FALLA POR ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO:

Para materiales dúctiles:

La falla ocurre en una parte si cualquiera de los esfuerzos cortantes principales excede el esfuerzo cortante principal que da lugar a la falla en la prueba uniaxial simple.

Puesto que:

$$\begin{aligned}
 \tau_{1-2} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \\
 \tau_{1-3} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\
 \tau_{2-3} &= \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}
 \end{aligned}
 \tag{3}
 \quad
 \tau_{fluencia} = \sigma$$

La teoría de falla es:

## ZOROASTRO

$$\begin{aligned}\sigma_{yc} &\leq (\sigma_1 - \sigma_2) \leq \sigma_{yt} \\ \sigma_{yc} &\leq (\sigma_2 - \sigma_3) \leq \sigma_{yt} \\ \sigma_{yc} &\leq (\sigma_1 - \sigma_3) \leq \sigma_{yt}\end{aligned}\quad (4)$$

Si se introduce un factor de diseño se tiene la respectiva ecuación de diseño:

$$\frac{\sigma_{yc}}{n_d} \leq (\sigma_1 - \sigma_2) \leq \frac{\sigma_{yt}}{n_d} \quad (5)$$

Esta teoría predice que si se presenta un estado de esfuerzos hidrostáticos no se produce fluencia, así estos esfuerzos sean mayores que  $\sigma_y$ :

Si se descomponen cada esfuerzo principal normal en una componente hidrostática mas otra cualquiera se obtiene:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma'_1 + \sigma''_1 \\ \sigma_2 &= \sigma'_2 + \sigma''_2 \\ \sigma_3 &= \sigma'_3 + \sigma''_3\end{aligned}\quad (6)$$



## 9.2 ANALISIS DE ESFUERZOS

### 9.2.1 CALCULO DE MOTORES

Durante el análisis de los esfuerzo empezó determinando el torsor al cual van estar sometidas las piezas mecánicas, a continuación se muestra el calculo.



1. Calculo del torsor requerido por el motor para realizar el primer movimiento.

Masa= 3643.56kg

Centro de masa =

X=.03m

Y=3.49m

Z=0.79m

$T = 35743.32N(0.786m)$

$T = 28237.22.N.m$

Potencia requerida del motor del motor

**Hp=26**

2. Calculo del torsor requerido por el motor para realizar el segundo movimiento.

Masa=1865.25kg

Centro de masa

X=.27m

Y=5.43m

Z=1.33m

## ZOROASTRO

$$T = 18298.10N(3.8656m)$$

$$T = 64932.64N.m$$

Potencia requerida del motor del motor

$$\mathbf{Hp=59}$$

3. Calculo del torsor requerido por el motor para realizar el tercer movimiento.

$$\text{Masa}=1456.34\text{kg}$$

Centro de masa

$$X=.28\text{m}$$

$$Y=6.35\text{m}$$

$$Z=1.35\text{m}$$

$$T = 14286.69N(1.3784m)$$

$$T = 19692.77N.m$$

Potencia requerida del motor del motor

$$\mathbf{Hp=18}$$

4. Calculo del torsor requerido por el motor para realizar el cuarto movimiento.

$$\text{Masa}=73.12\text{kg}$$

$$T = 665.39N(.6079m)$$

$$T = 404.49N.m$$

Potencia requerida del motor del motor

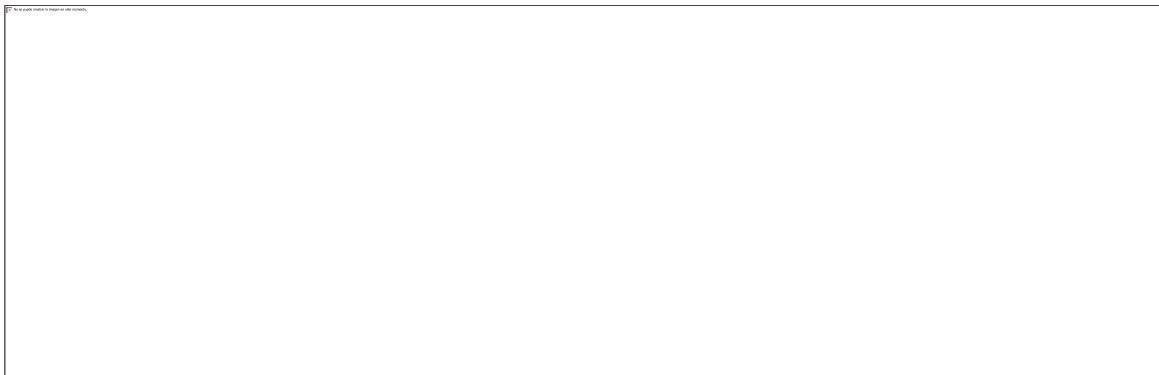
$$\mathbf{Hp=4}$$

### 9.2.2 ANALISIS DE PIEZAS CRÍTICAS

A continuación se muestra el análisis de esfuerzos el cual se realizó con el paquete Cosmos Works. Este análisis nos proporcionará el estudio de las deformaciones a las cuales van a estar sometidas las piezas críticas, así mismo nos indica los esfuerzos en diferentes partes de las piezas y el factor de seguridad mínimo en el diseño de la pieza.

Los resultados del análisis de diseño están basados en un análisis estático lineal y se asume que el material es isotrópico. El análisis estático lineal presupone que: 1) el comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke, 2) los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas, y 3) las cargas se aplican lentamente para pasar por alto los efectos dinámicos.

Todos los elementos fueron analizados utilizando como material el acero ANSI 1020. De los cuales sus propiedades son:



## ZOROASTRO

### ***NOMBRE: BASE 1***

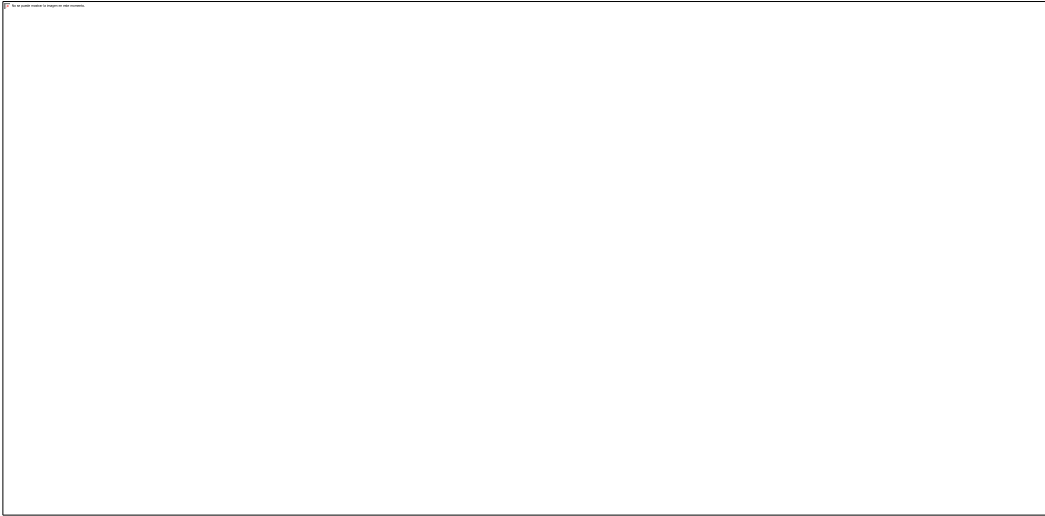
Densidad = 0.01 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 710.49 kilogramos

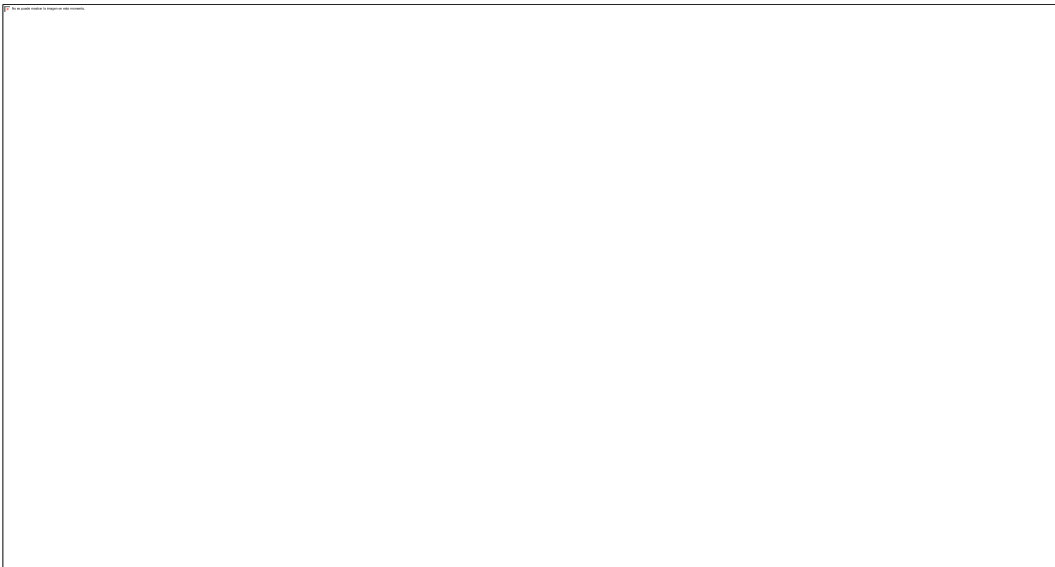
Volumen = 0.09 metros<sup>3</sup>

Área de superficie = 21.6 m

CRITERIO DE VON MISES FDS MIN =6.7



CRITERIO DE CORTANTE MAXIMO FDS MIN =6.4



## ZOROASTRO

### ***NOMBRE: BASE 2***

Densidad = 7700.00 kilogramos por metro cúbico

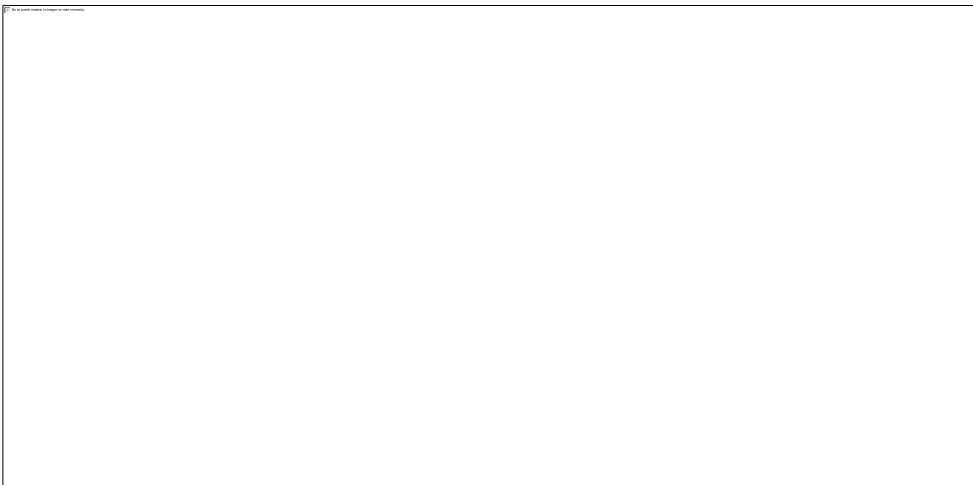
Masa = 607.32 kilogramos

Volumen = 0.08 metros<sup>3</sup>

Área de superficie = 34.57 metros<sup>2</sup>

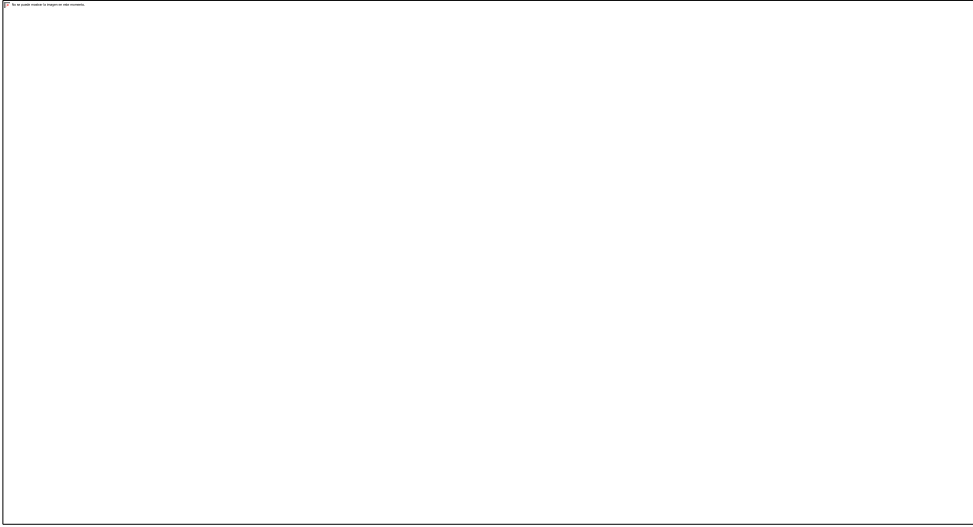


CRITERIO DE VON MISES FDS MIN=32



## ZOROASTRO

CRITERIO DE CORTANTE MAXIMO FDS MIN= 30



### ***NOMBRE: PIEZA 1***

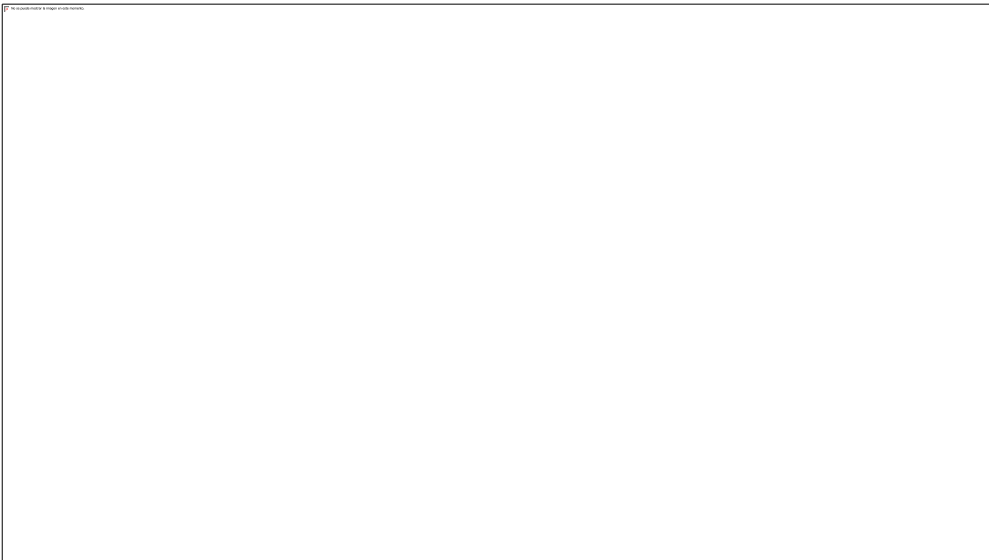
Densidad = 0.01 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 725.63 kilogramos

Volumen = 94237.28 centímetros<sup>3</sup>

Área de superficie = 189477.59 centímetros<sup>2</sup>

CRITERIO DE VON MISES FDS MIN 2.2



## ZOROASTRO

### CRITERIO DE CORTANTE MAXIMO FDS MIN 2



### ***NOMBRE: PIEZA 2***

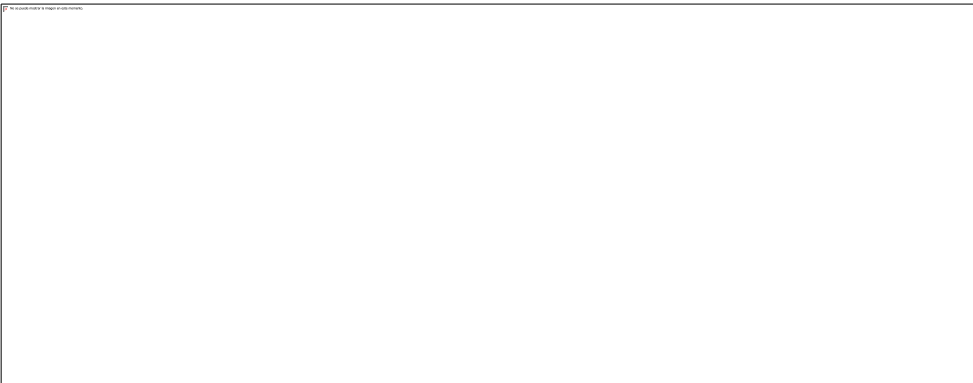
Densidad = 0.01 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 188.34 kilogramos

Volumen = 23840.35 centímetros<sup>3</sup>

Área de superficie = 60094.99 centímetros<sup>2</sup>

### CRITERIO DE VON MISES FDS MIN 1.4



## ZOROASTRO

CRITERIO DE CORTANTE MAXIMO FDS MIN =1



## COJINETE

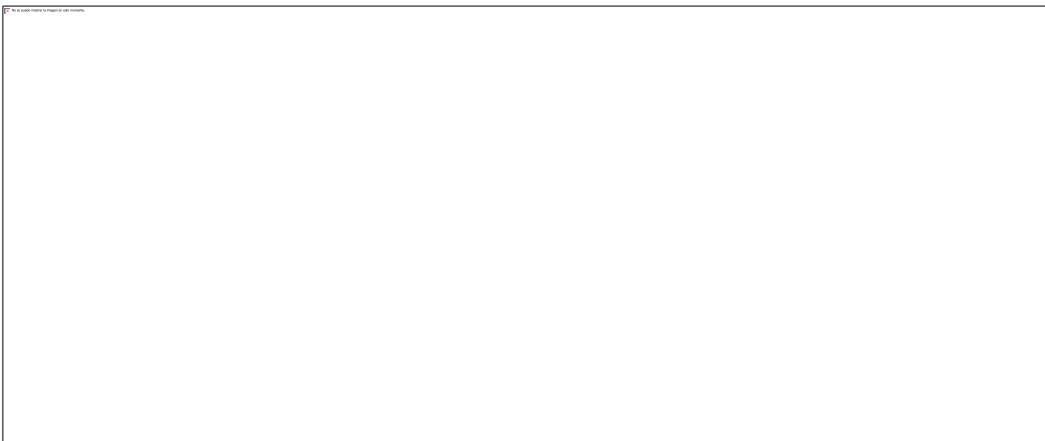
Densidad = 0.00 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 0.37 kilogramos

Volumen = 367.48 centímetros<sup>3</sup>

Área de superficie = 901.62 centímetros<sup>2</sup>

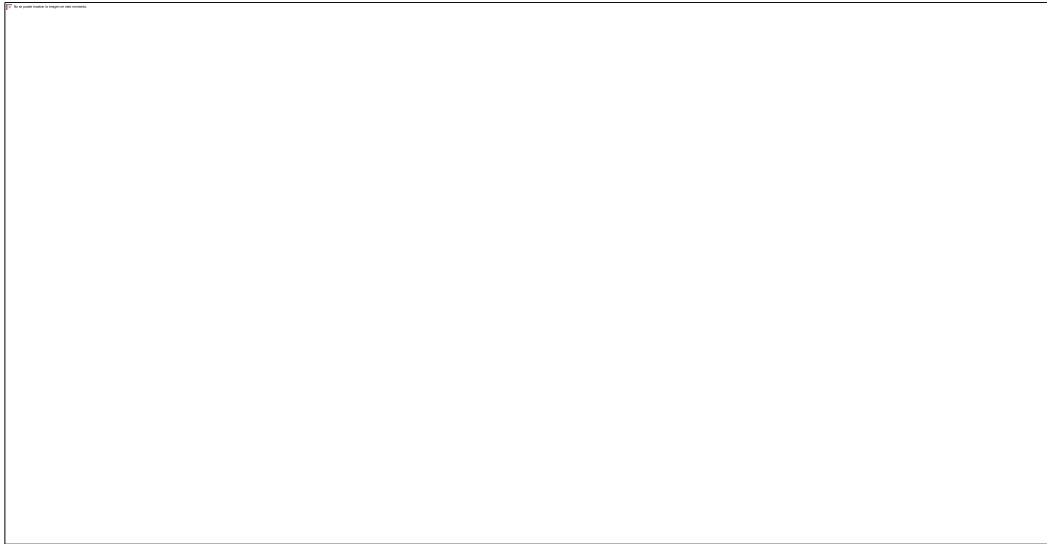
Criterio de Von Mises FDS min= 13





## ZOROASTRO

Criterio del cortante máximo FDS min=12



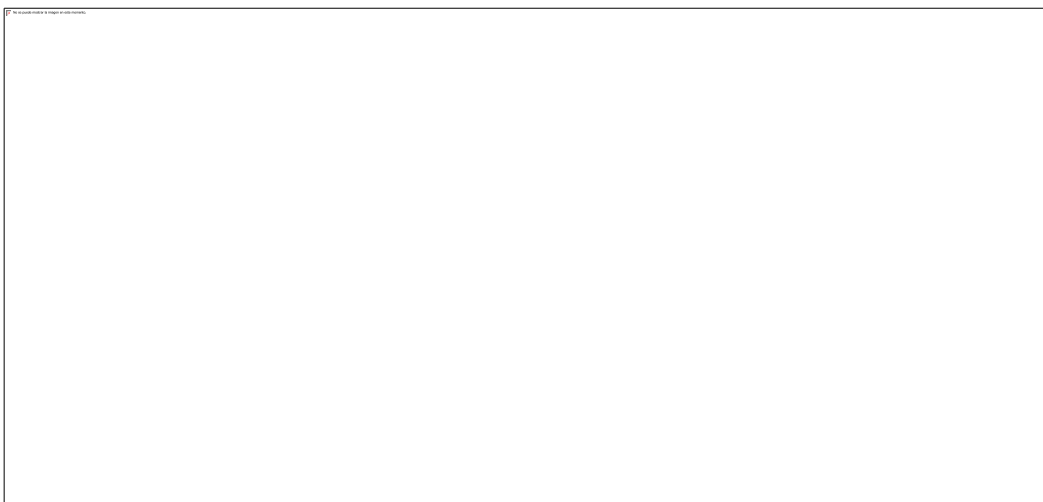
### *EJE UNO*

Densidad = 0.01 kilogramos por centímetro cúbico

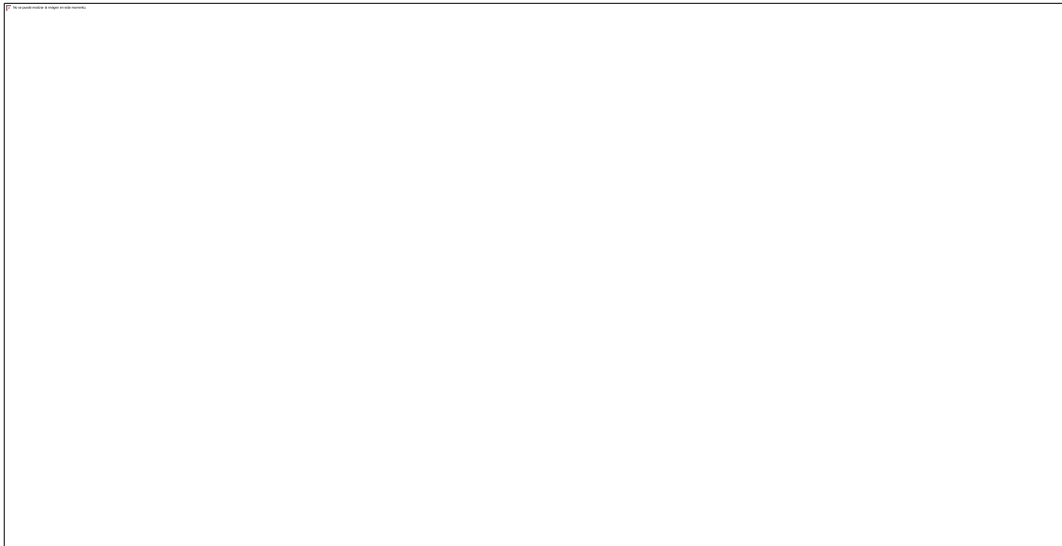
Masa = 47.27 kilogramos

Volumen = 6139.41 centímetros<sup>3</sup>

Área de superficie = 3089.25 centímetros<sup>2</sup>



## ZOROASTRO



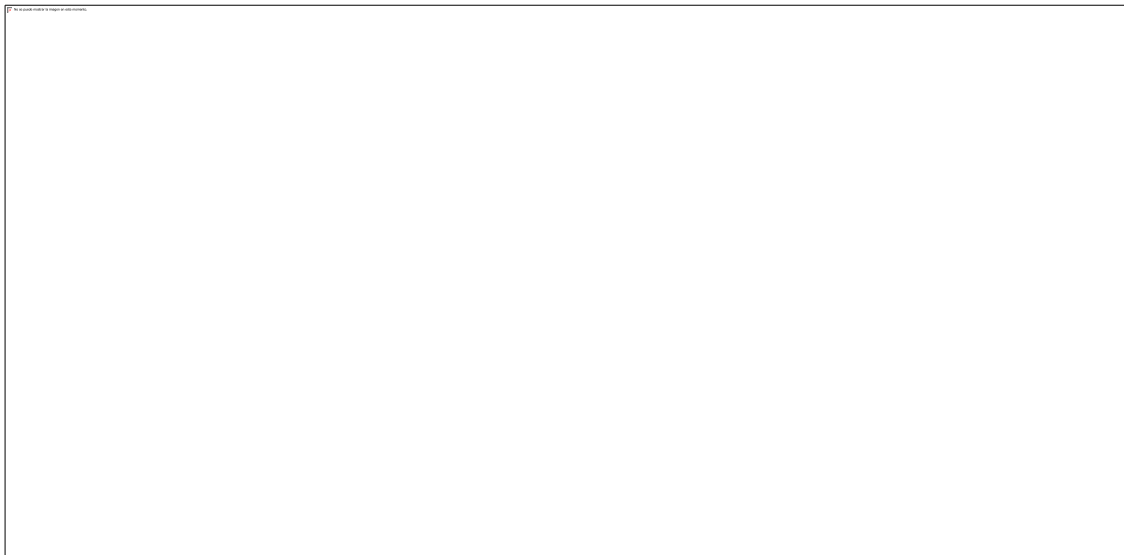
***NOMBRE: PIEZA NO 6***

Densidad = 0.00 kilogramos por milímetro cúbico

Masa = 18.04 kilogramos

Volumen = 2342917.72 milímetros<sup>3</sup>

Área de superficie = 275046.57 milímetros<sup>2</sup>





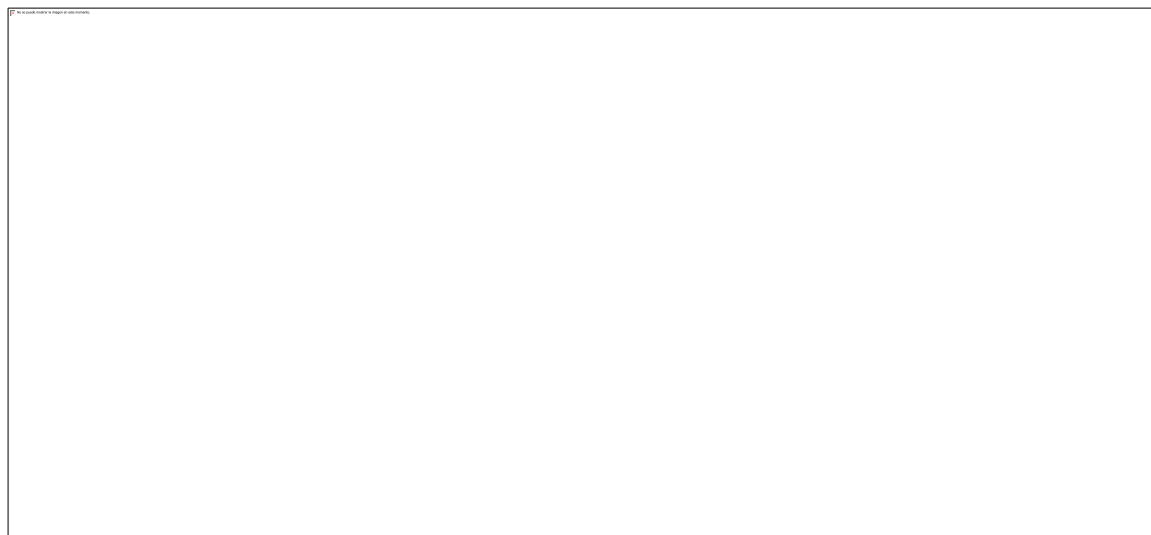
***NOMBRE: EJE 2***

Densidad = 0.00770000 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 8.90473513 kilogramos

Volumen = 1156.45910804 centímetros<sup>3</sup>

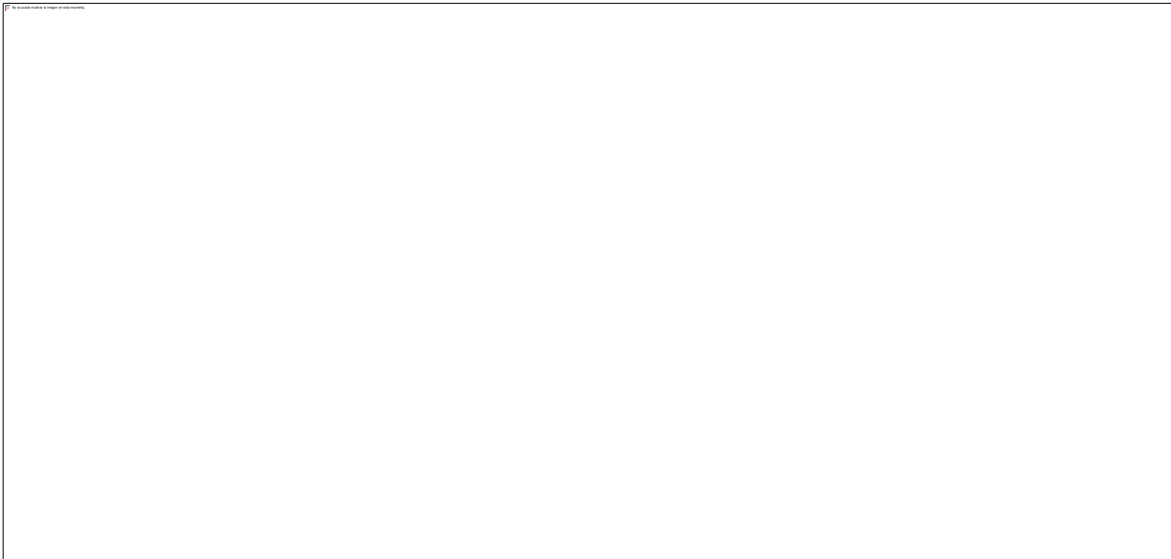
Área de superficie = 741.26803043 centímetros<sup>2</sup>



## ZOROASTRO



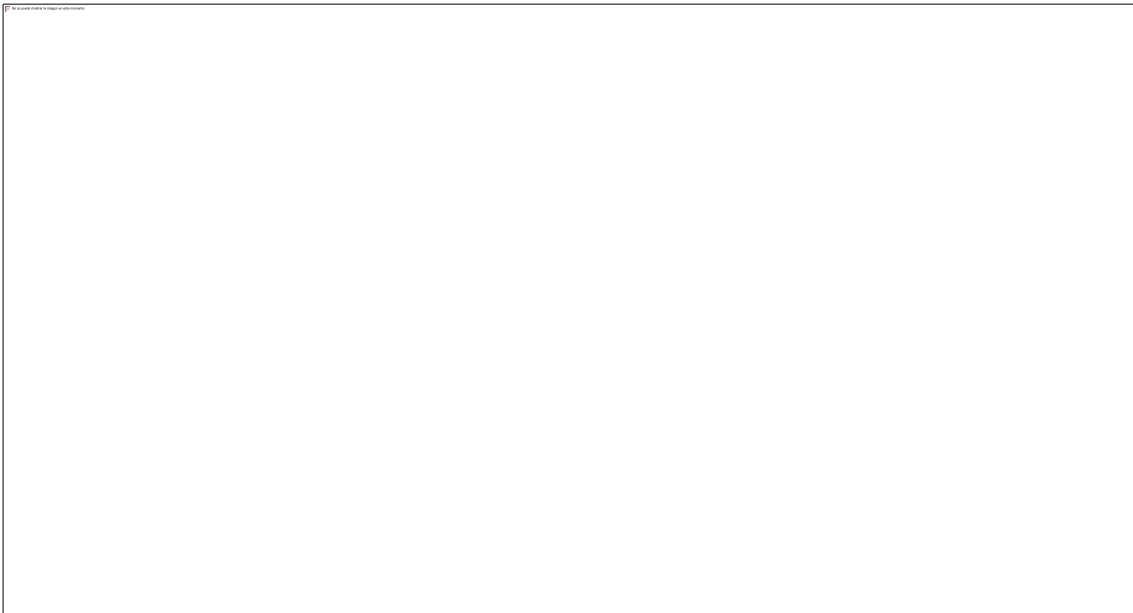
***NOMBRE: EJE3***



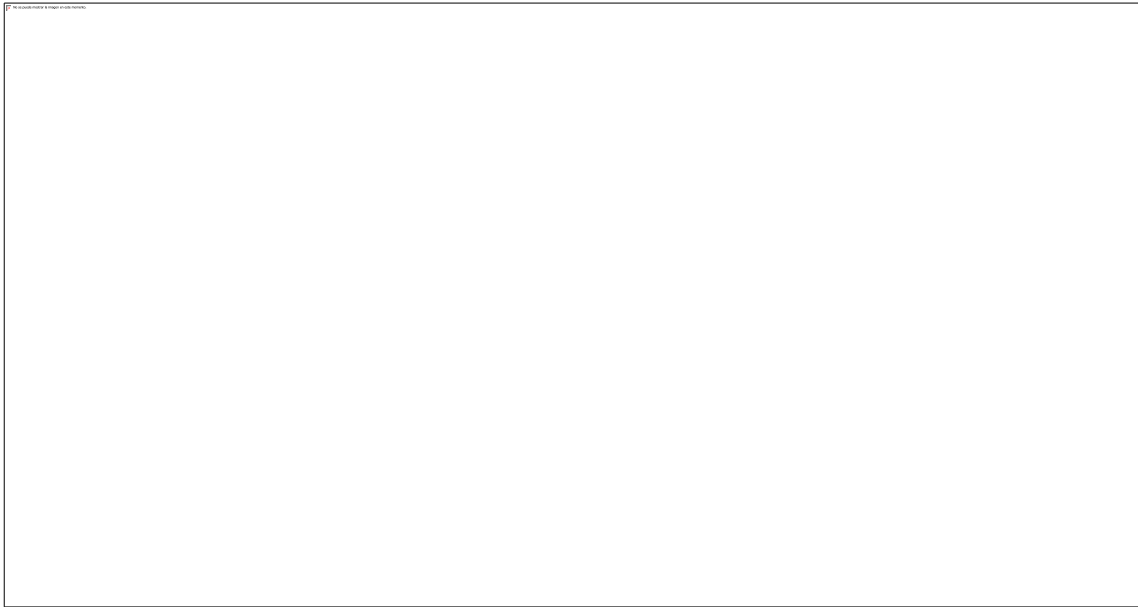
## ZOROASTRO



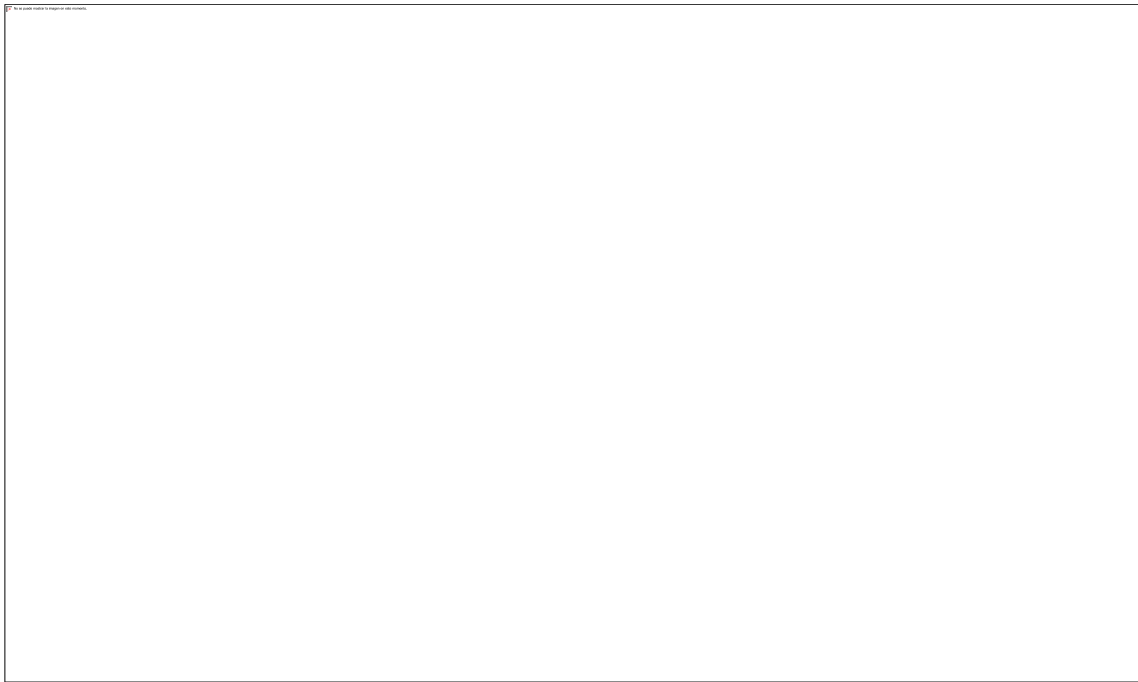
***NOMBRE: EJE 4***



|



***NOMBRE: PIEZA 5***











**9.3 RESULTADOS**

<b>Pieza</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>F de S mínimo en la pieza</b>	<b>Tensión máxima</b>
	Base 1	fbs001	2	631.4 Mpa
	Base 2	fbs002	2	613.1 Mpa
	Cojinete de soporte	fcj003	12	131.17 Mpa
	Eje 1	fej004	2.4	425.33 Mpa
	Eje 2	fej005	1.8	365.82 Mpa
	Eje 3	fej006	1.3	525.33 Mpa
	Eje 4	fej007	1.8	432.86 Mpa
	Pieza 1	fpz008	2	533.68 Mpa
	Pieza 2	fpz009	1.2	423.36 Mpa
	Pieza 3	fpz010	1.8	522.16 Mpa
	Pieza 4	fpz011	1.7	502.33 Mpa
	Pieza 5	fpz012	1.2	356.88 Mpa
	Pieza 6	fpz013	4.5	523.89 Mpa
	Pieza 7	fpz014	1.5	223.69 Mpa
	Pieza 8	fpz015	1.8	334.56 Mpa
	Pieza 9	fpz016	1.6	345.69 Mpa

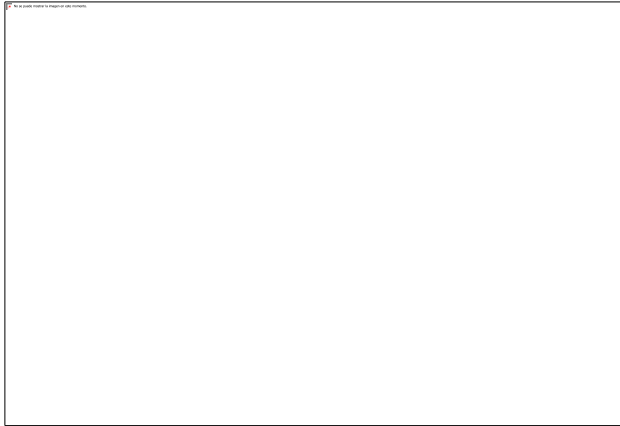


## ZOROASTRO

Pieza	Nombre	Código	F de S mínimo en la pieza	Tensión máxima
	Pieza 10	fpz017	1.8	325.8 Mpa
	Pieza 11	fpz018	1.6	385.12 Mpa
	Pieza 12	fpz019	1.8	365.47 Mpa
	Pieza 13	fpz020	1.5	386.12 Mpa
	Pieza 14	fpz021	1.2	355.22 Mpa
	Pieza 15	fpz022	1.6	412.82 Mpa

## 10. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

El diseño propuesto de la escultura se elaboro tomando en cuenta que la transmisión de la potencia seria por medio de cadenas, y que el material seria acero estructural, con las dimensiones que se muestran a continuación. Y con las propiedades que se muestran en la tabla A2.



Tomando en cuenta los resultados de los cálculos, se concluye que. La escultura necesita un motor con una potencia de **26 hp** como mínimo para poder realizar el primer movimiento el cual será el que permita girar a la escultura.

Para el segundo movimiento se necesita un motor de **59 hp**, para este movimiento se requiere de un motor de mayor potencia debido a que se genera un torsor mucho mayor que en el primer movimiento, este movimiento es el que permite que la escultura se doble sobre la primera base.

Para el siguiente movimiento que es el que permite que la escultura se doble en dos se necesita un motor con una potencia de **18 hp** como mínimo.

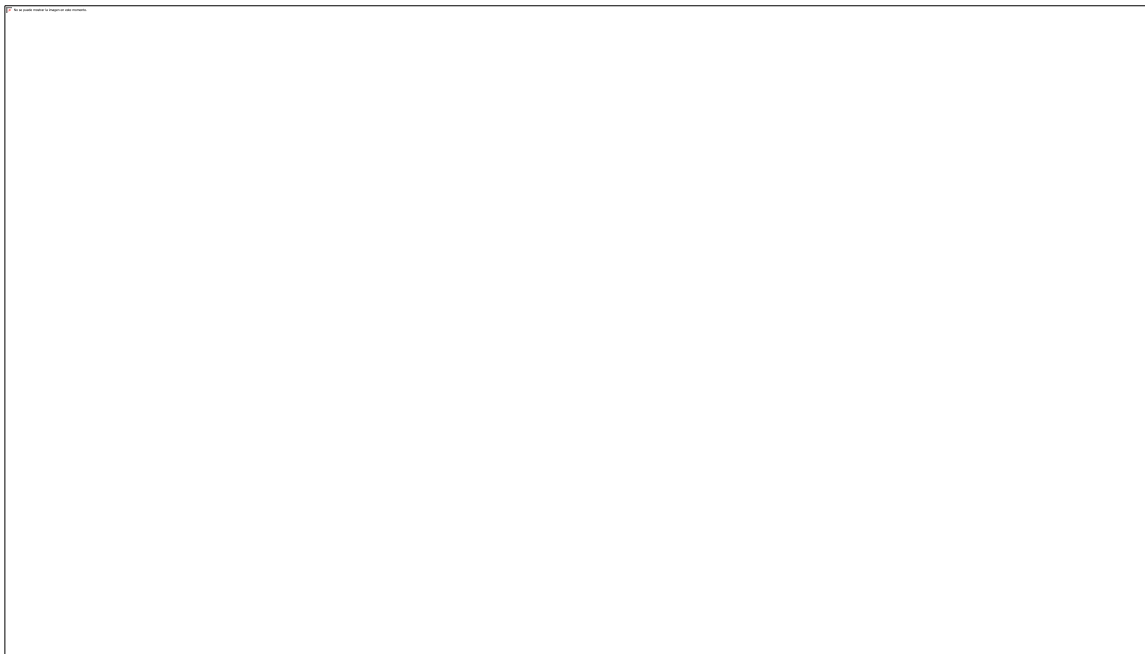
Para el último movimiento que es el que permite al prisma girar sobre un eje central se necesita un motor de **4 hp**.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- <http://www.ahuramazda.com/>
- <http://www.pocimae.blogspot.com/2007/10/la-identificacin-botnica-del-soma.html>
- [http://www.parsionline.com/short\\_questions4.htm](http://www.parsionline.com/short_questions4.htm)
- <http://www.toshiroweb.com/>
- <http://www.skf.com/>
- <http://www.3destudios.com/>
- Diseño de elementos de maquinas, Autor: Robert I. Mott 4ª edición editorial Pearson.
- Diseño de maquinas, autor: Robert L. Norton , editorial McGraw-Hill

## 12. ANEXOS

### 12.1 SELECCIÓN DE LA CADENA. TABLA A1



**12.2 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL. TABLA A2**

