

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**



**“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN BRAZO  
HIDRÁULICO CARGADOR DE TUBERÍAS DE ACERO  
DE Ø 10” PARA UNA MÁQUINA PERFORADORA  
RAISE BORER”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTADO POR:  
ARTURO ALEGRÍA VEGA**

**PROMOCIÓN 2008 - I**

**LIMA – PERÚ**

**2014**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>PROLOGO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivo General.....	6
1.3 Objetivo Específico .....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance .....	7
1.6 Limitaciones .....	7
<b>CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y SU FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Descripción del Producto.....	8
2.2 Descripción del Funcionamiento del Producto.....	9
<b>CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....</b>	<b>12</b>
3.1 Identificación del Problema .....	12
3.1.1 Estado Situacional Encontrado.....	12
3.1.1.1 Historia de la Oferta vs la Demanda.....	12
3.1.1.2 Proyección de la Demanda.....	15
3.1.2 Estado Futuro Deseado.....	16

3.2	Planteamiento de la Hipótesis de Trabajo	
3.2.1	Diagrama Medios-Fines (SIMPLIFICADO).....	16
3.2.2	Planteamiento de la Hipótesis.....	16
<b>CAPÍTULO 4: FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>		<b>18</b>
4.1	Máquinas Perforadoras Raise Borer.....	18
4.1.1	Antecedentes.....	18
4.1.2	Método Raise Boring.....	20
4.1.3	Partes Principales de una Máquina Raise Borer.....	23
4.2	Análisis Estructural.....	24
4.2.1	Determinación de Esfuerzos.....	24
4.2.2	Determinación de Resistencia y Rigidez.....	25
4.3	Análisis por Elementos Finitos.....	26
4.3.1	Historia.....	26
4.3.2	Aplicaciones.....	27
4.3.3	Tipos de Análisis Ingenieriles.....	28
4.3.4	Fases del Análisis por Elementos Finitos.....	33
4.3.4.1	Pre-Procesamiento.....	33
4.3.4.2	Análisis (Cómputo de la Solución).....	34
4.3.4.3	Post-Procesamiento (Visualización).....	35
4.3.5	Paquetes de Elementos Finitos.....	35

<b>CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>36</b>
5.1 Parámetros de Diseño.....	36
5.2 Dimensionamiento de la Estructura del Brazo.....	38
5.2.1 Base.....	38
5.2.2 Brazo Pivote.....	39
5.2.3 Brazo.....	39
5.2.4 Grapa.....	40
5.3 Análisis por Elementos Finitos de la Estructura del Brazo.....	40
5.3.1 Modelamiento y Mallado (Pre-Procesamiento).....	40
5.3.2 Solución del Análisis (Procesamiento).....	42
5.3.3 Análisis de Resultados (Post-Procesamiento).....	46
<b>CAPÍTULO 6: COSTOS DE FABRICACIÓN.....</b>	<b>52</b>
6.1 Consideraciones Generales.....	52
6.2 Costos de Ingeniería.....	52
6.3 Costos de Adquisición y Fabricación.....	53
6.4 Costos de Ensamblaje.....	55
6.5 Costo Total de Fabricación.....	56
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>59</b>

## PRÓLOGO

El presente informe trata sobre el diseño estructural de un brazo hidráulico cargador de tuberías, para una máquina perforadora Raise Borer. Esta máquina es usada para realizar chimeneas, es decir, agujeros circulares entre dos niveles de una mina, sin usar explosivos. Se han desarrollado seis capítulos cuyo contenido son los siguientes:

**En el capítulo 1**, se presenta la **Introducción** del presente trabajo. En él se describe los antecedentes, los objetivos, la justificación, el alcance y las limitaciones del informe.

**En el capítulo 2**, se muestra la **Descripción del Producto y su Funcionamiento**, que lista las características del producto, así como su proceso de funcionamiento.

**En el capítulo 3**, **Identificación del Problema y Planteamiento de la Hipótesis de Trabajo**, vemos el estado actual encontrado y definimos el estado futuro deseado. Se muestra el diagrama de medios-fines, y se realiza el planteamiento de la hipótesis.

**En el capítulo 4, Fundamento Teórico,** mostramos los conceptos básicos aplicados en el presente informe: Máquinas Perforadoras Raise Borer, Análisis Estructural, y Análisis por Elementos Finitos.

**En el capítulo 5,** se realiza el **Desarrollo de la Solución del Problema,** que consiste en los parámetros de diseño, el dimensionamiento de la estructura y el análisis por elementos finitos, del brazo hidráulico cargador de tuberías.

**En el capítulo 6,** se calculan los **Costos de Fabricación,** de la estructura del brazo hidráulico cargador de tuberías, que incluyen los costos de ingeniería, adquisición, fabricación y ensamblaje.

Cabe mencionar que en el Apéndice se adjunta información técnica y los planos.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

La empresa **Tumi Contratistas Mineros SAC**, es una compañía global especializada en la Industria del Raise Boring (sistema de perforación vertical y en ángulo) para el Sector Minero, Hidroeléctrico y de Ingeniería Civil. Diseña y fabrica todos los equipos y accesorios requeridos en el proceso de Raise Boring. También brinda el servicio de perforación alrededor del mundo. A la fecha cuenta con más de 40 años de experiencia y 100 mil metros perforados.



**Fig. 1.1** Sistema de Perforación Raise Boring.

La última novedad que presenta la empresa Tumi Contratistas Mineros SAC en perforadoras es la fabricación de la SBM 400 SR. Este equipo será asignado al área productiva, es decir, que se sumará al tajeo propio de la parte mineralizada para poder obtener el producto final. La ventaja es que ayudará a mitigar riesgos, ya que es automatizado y no se necesita de personal para operarlo. De esta manera, no será necesario usar dinamita o explosivos para hacer el avance o desarrollo de la galería. Simplemente se podrá desarrollar esa labor a través del rozamiento y con el uso de los cortadores.

Tiene un rango de trabajo de 30 a 90°, según la veta que se esté explotando. Se apoya en un sistema de orugas que alcanza una velocidad de hasta 4.8 km/h en superficie plana y cuenta con 12 pistones hidráulicos que le sirven para anclarse a la galería tanto frontal, superior, inferior y posteriormente, generando un sistema de anclaje rígido, el cual impedirá la vibración de la máquina. Este detalle hace innecesaria la cimentación que se suele utilizar para anclar este tipo de equipos, lo que resulta en un ahorro significativo para la compañía minera en tiempo y costo.

La perforadora se alinea con el punto topográfico, se ancla y, una vez que le dan el ángulo de posicionamiento de la veta, está lista para operar. No importa la morfología de la galería, los cilindros hidráulicos se adhieren a la roca asegurando el contacto, la alineación y la presión justa para adaptarse a la forma de ésta.

Cada cilindro es autónomo. Una vez que la máquina termina su tarea, se retraen los cilindros y, con el sistema de orugas, se desplaza a través de la galería. Cuenta con un motor diesel acoplado a un sistema hidráulico de 31 cilindros integrado.

Tiene 3 metros de longitud, 2.15 de ancho y 2 de alto, es bastante pequeña y adecuada para poder movilizarse sin problemas en las galerías subterráneas.

Otro detalle a destacar es que gira en su propio eje 360°, es decir, se direcciona y luego se acopla la unidad de potencia y puede movilizarse. Todo se hace a distancia con el control, tanto el movimiento como el acople. Esta máquina garantiza la seguridad del personal, mitigando los accidentes al momento de instalar las barras lo que se hace de manera automática gracias al *brazo hidráulico* que posee. Todos los equipos cuentan con este aditamento.



**Fig. 1.2** Máquina perforadora Raise Borer, modelo SBM 400 SR.

## 1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis de la estructura de un brazo hidráulico cargador de tuberías para una máquina perforadora tipo Raise Borer, para garantizar que su estructura soporte la carga de una tubería de acero de 10" de diámetro máximo por 3' de longitud.

## 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar las zonas críticas de trabajo de la estructura del brazo hidráulico cargador de tuberías, mediante los resultados de los análisis de esfuerzos y deformaciones.
- Aplicar el software de última generación: ANSYS, en la solución de problemas de la industria.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

- **Justificación académica:**

Se aprenderá a utilizar métodos y criterios bien definidos para realizar un informe o tesis, así como también a solucionar problemas de ingeniería de manera más práctica.

- **Justificación tecnológica:**

Se utilizará software de ingeniería de última generación, para el análisis estructural de esfuerzos y deformaciones por el método de elementos finitos.

- **Justificación productiva:**

Se fabricarán componentes más fiables y con mejor diseño.

## **1.5 ALCANCE**

El presente trabajo abarca el estudio de esfuerzos y deformaciones de la estructura de un brazo hidráulico cargador de tuberías por elementos finitos mediante el software ANSYS, así como el desarrollo de planos de fabricación en 2D, modelos en 3D, y el resultado del análisis. No se incluirá cargas por vibración ni impacto en el análisis.

El modelo del brazo hidráulico no incluirá los cordones de soldadura.

Los modelos de los cilindros hidráulicos han sido tomados de otros brazos de dimensiones similares, así que no serán calculados.

No se calcularán los pernos de soporte de la estructura del brazo hidráulico, a la base de la máquina perforadora.

## **1.6 LIMITACIONES**

Las limitaciones para poder realizar la investigación se determinan por los recursos empleados que son los siguientes:

Procesador Intel Core 2 Duo 2.93 GHz, 2.65 GB de RAM

Softwares ANSYS 14.5, Autocad 2012 y SolidWorks 2010.

Información de la empresa Tumi Contratistas Mineros SAC.

Información de libros y tesis de la Universidad Nacional de Ingeniería.

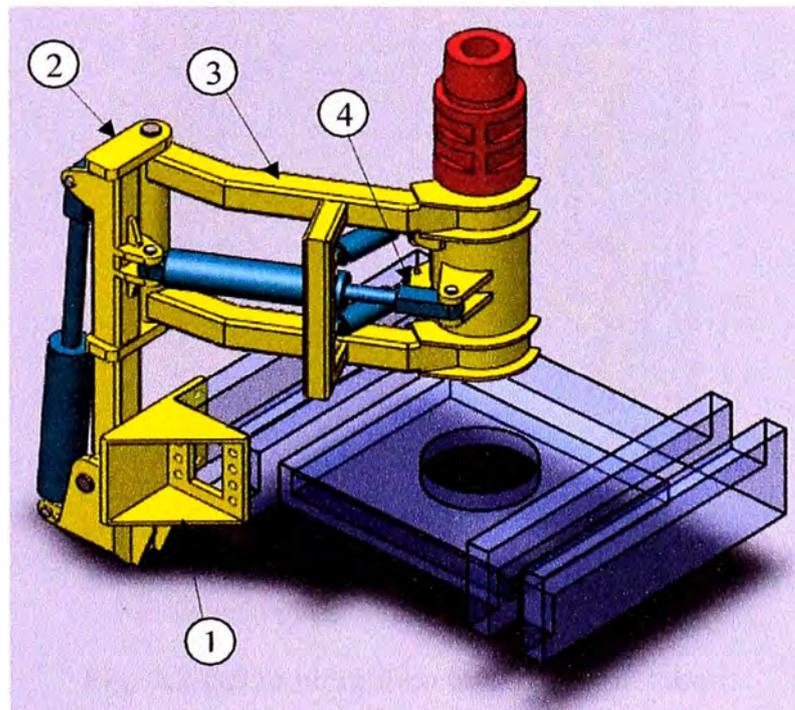
## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y SU FUNCIONAMIENTO

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El brazo hidráulico cargador de tuberías es un accesorio principal de las máquinas perforadoras Raise Borer. Se utiliza para cargar y posicionar las tuberías de perforación dentro de la máquina perforadora. Es accionado por 4 cilindros hidráulicos, y es empernado en la base de la máquina perforadora.

Su estructura consta de 4 partes principales, como se muestra en la fig. 2.1.



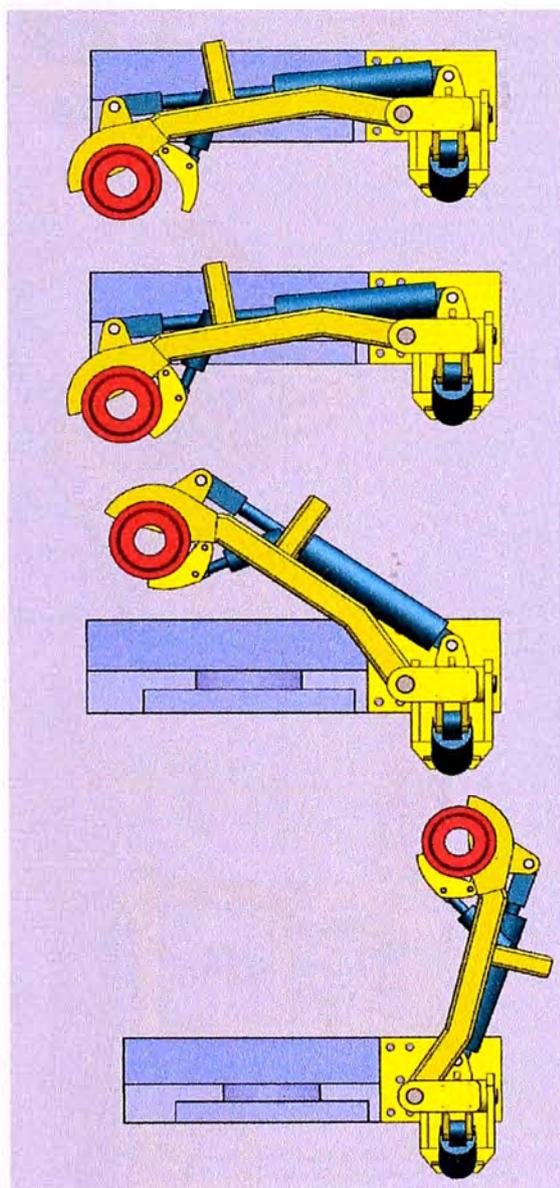
**Fig. 2.1** Brazo Hidráulico Cargador de Tuberías.

1. Base, 2. Brazo Pivote, 3. Brazo y 4. Grapa

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PRODUCTO

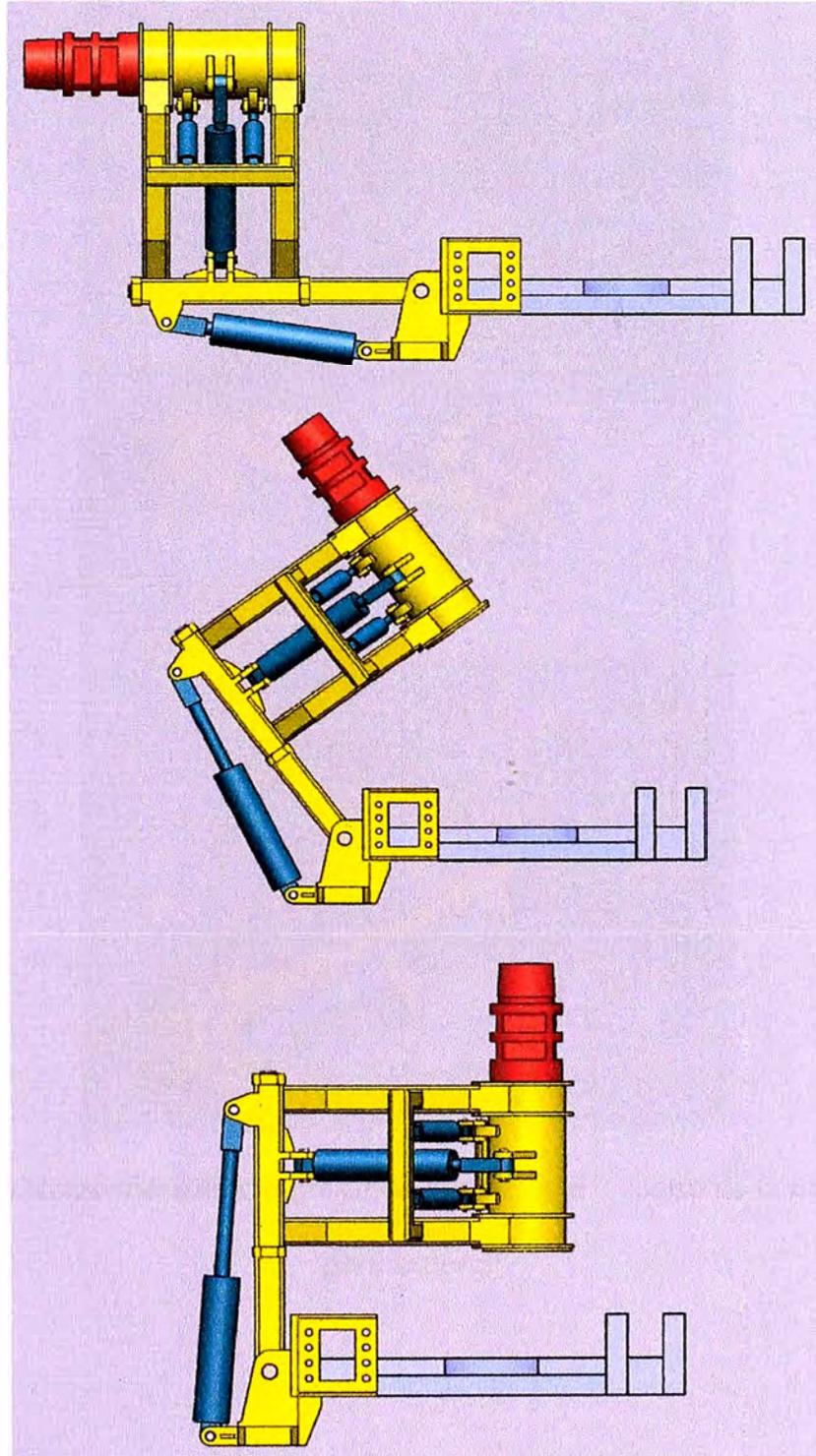
El movimiento del brazo hidráulico se realiza en 3 etapas:

- **Recoge:** El brazo gira sobre el pivote de su brazo propiamente dicho, desde el suelo, para recoger la tubería, hasta el límite superior definido por la carrera del cilindro hidráulico.



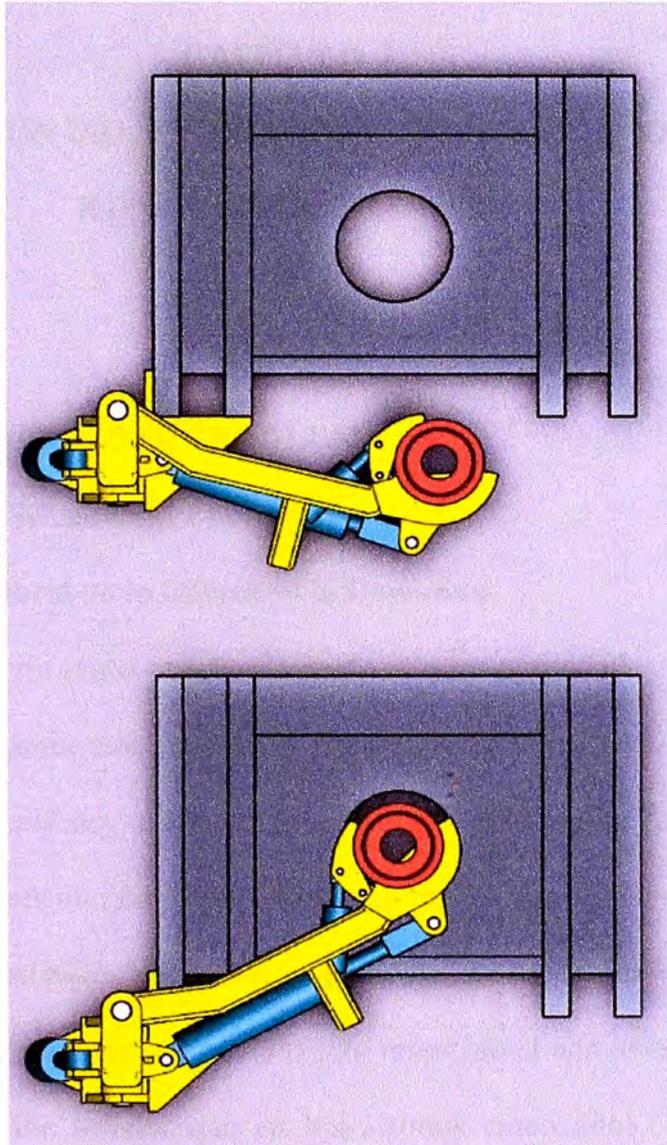
**Fig. 2.2** Brazo hidráulico recogiendo la tubería.

**Pivotea:** El brazo gira 90° sobre el pivote de su base, desde su posición horizontal, luego de haber recogido la tubería.



**Fig. 2.3** Brazo hidráulico pivoteando sobre su base.

- **Entra:** El brazo gira sobre el pivote de su brazo propiamente dicho, desde fuera hacia el centro de la máquina perforadora.



**Fig. 2.4** Brazo hidráulico ingresando la tubería al centro de la máquina perforadora.

**CAPÍTULO 3**

**IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA  
HIPÓTESIS DE TRABAJO**

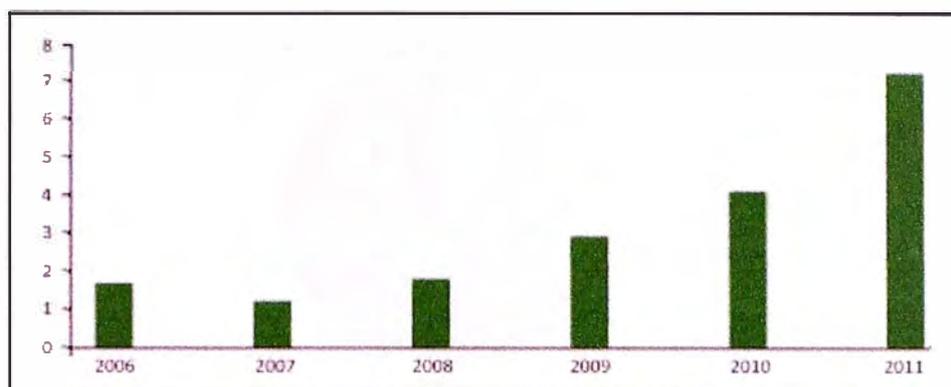
**3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

**3.1.1 Estado Situacional Encontrado**

**3.1.1.1 Historia de la Oferta vs la Demanda**

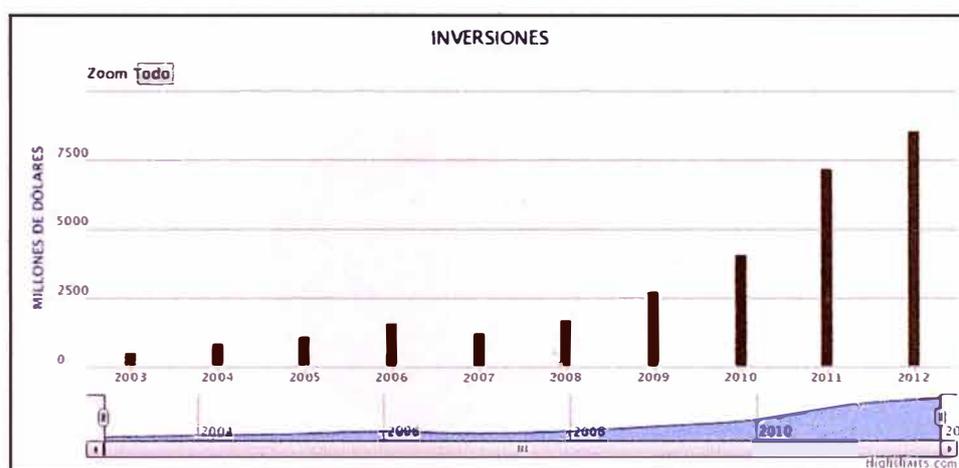
La minería junto con la pesquería son las actividades industriales que generan el mayor monto de divisas por exportaciones para nuestro país.

En los últimos años, la inversión en minería se ha incrementado considerablemente. Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la inversión estimada en minería para el 2011 ascendió a US\$ 7,202 millones, monto superior en 77% a lo invertido el año anterior y un récord histórico. Cabe señalar que en los últimos cinco años el crecimiento promedio anual asciende a 35%.



**Fig. 3.1a** Inversión en minería a nivel nacional 2005 - 2011

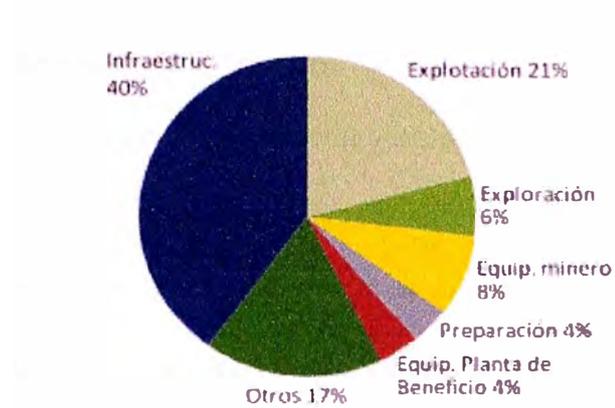
(En US\$ miles de millones) Fuente: MINEM



**Fig. 3.1b** Inversión en minería a nivel nacional 2003 - 2012.

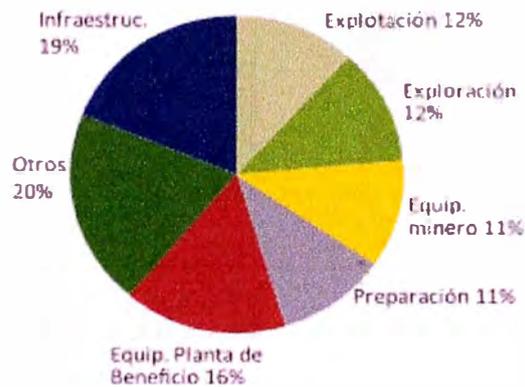
Fuente: MINEM

En las siguientes figuras se muestra la distribución de la inversión por rubros. Si bien todos los rubros de inversión indicados aumentaron en el periodo 2006-2011, algunos lo han hecho en mayor proporción e incrementaron su participación en la inversión total, como es el caso de la inversión en exploración y preparación.



**Fig. 3.2a** Inversión en minería según rubro, 2006

(Como % del total) Fuente: MINEM



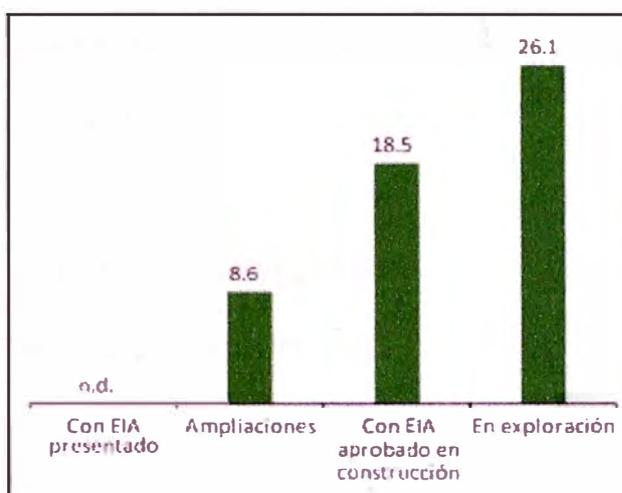
**Fig. 3.2b** Inversión en minería según rubro, 2011

(Como % del total) Fuente: MINEM

De las figuras 3.2a y 3.2b se puede observar que la inversión en equipos mineros también se incrementó, por lo tanto, la demanda de máquinas perforadoras aumentó, y por consiguiente también la demanda de brazos hidráulicos para cargar tuberías de perforación.

### 3.1.1.2 Proyección de la Demanda

Según la Cartera de Proyectos publicada por el MINEM en mayo del 2012, las inversiones estimadas en estos proyectos mineros ascienden a US\$ 53,229 millones. Los proyectos identificados se han clasificado en las siguientes categorías: ampliaciones, con EIA aprobado en construcción, con EIA presentado, y en exploración, esta última la preponderante.



**Fig. 3.3** Cartera estimada de inversión

(En US\$ miles de millones) Fuente: MINEM

El sector minero-energético peruano está en capacidad de atraer más de 69 000 millones de dólares en inversiones en los próximos 10 años, a fin de hacer realidad proyectos en minería por US\$ 54 000 millones, en hidrocarburos por US\$ 9000 millones y en electricidad por US\$ 6000 millones.

Entonces, se puede concluir, que en los próximos años las mineras requerirán mayor cantidad de máquinas perforadoras.

### **3.1.2 Estado Futuro Deseado**

Se desea un brazo hidráulico para cargar tuberías, de fácil manufactura por fabricantes nacionales y a precio razonable.

Se plantea el problema mediante la siguiente interrogante:

**¿Realizando el análisis de la estructura de un brazo hidráulico cargador de tuberías para una máquina perforadora Raise Borer, se garantizará que su estructura soporte la carga de una tubería de 10” de diámetro máximo por 3’ de longitud?**

## **3.2 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DE TRABAJO**

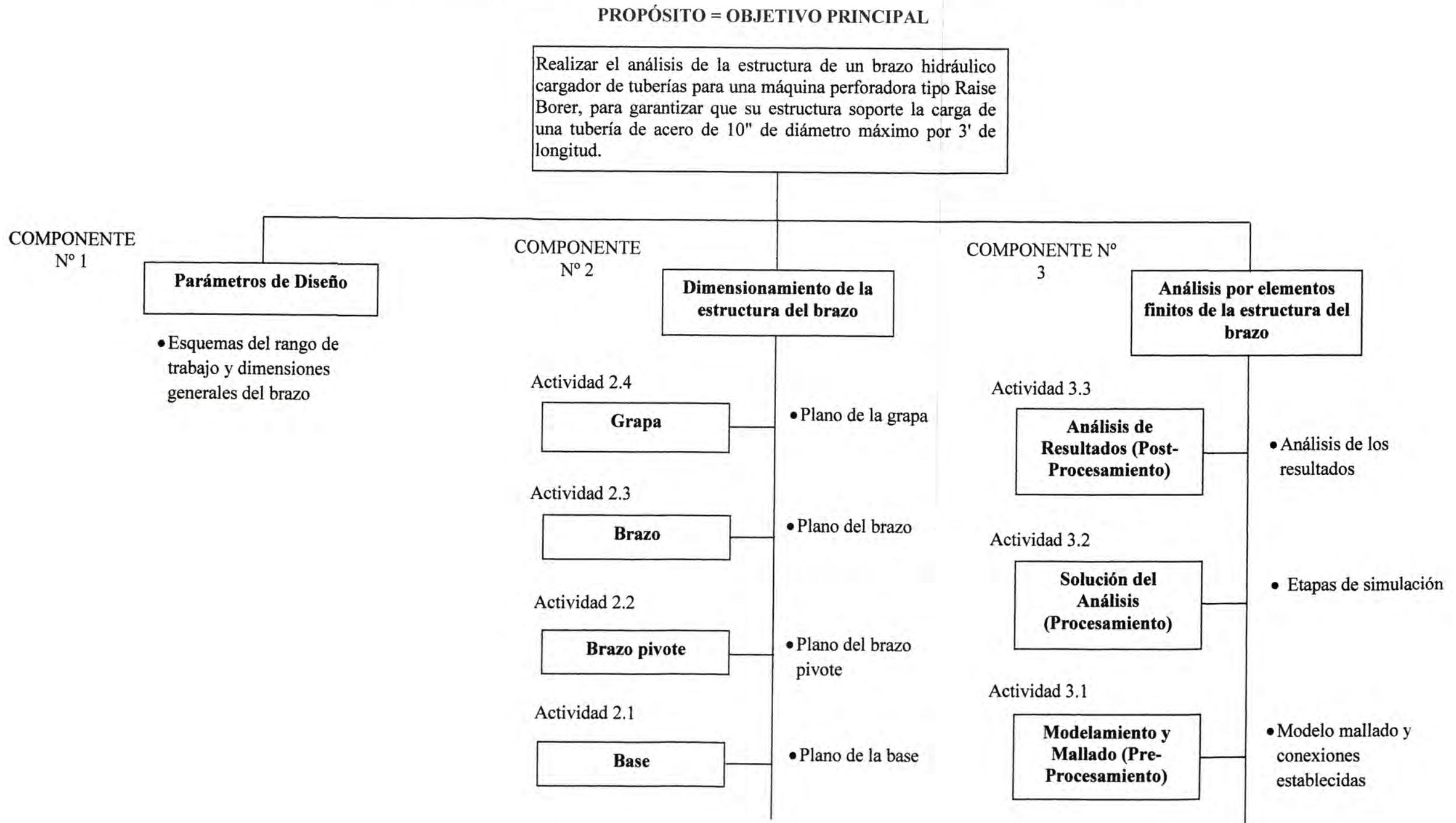
### **3.2.1 Diagrama Medios-Fines (SIMPLIFICADO)**

Ver Figura 3.4

### **3.2.2 Planteamiento de la Hipótesis**

Realizando el análisis de la estructura de un brazo hidráulico cargador de tuberías para una máquina perforadora Raise Borer, se garantizará que su estructura soporte la carga de una tubería de 10” de diámetro máximo por 3’ de longitud.

**DIAGRAMA DE MEDIOS FINES EXPRESADO EN TÉRMINOS DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN**



**Fig. 3.4 Diagrama Medios/Fines (SIMPLIFICADO)**

## **CAPÍTULO 4**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **4.1 MÁQUINAS PERFORADORAS RAISE BORER**

##### **4.1.1 Antecedentes**

La ejecución de todo proyecto minero enmarcado en la explotación subterránea de yacimientos metálicos y/o no metálicos, presenta entre sus actividades principales, la construcción de labores verticales o inclinadas, entre las que podemos citar: piques de ventilación, conductos de extracción, chimeneas de servicios, chimeneas de acceso, chimeneas de explotación, chimeneas de relleno, escapes de emergencia, agujeros de drenaje, agujeros de relleno, etc., labores que hasta antes de 1962 fueron concluidas básicamente con el método convencional de perforación y voladura, en el cual predomina los grandes problemas y riesgos que significa el trabajo en espacios confinados, a la vez los altos índices de accidentes como resultado de la caída de roca u otros objetos; estas características hacen que exista poco personal para estas labores, lo que obliga a ofrecer premios económicos adicionales, aunque la performance esté limitada por el ciclo natural del trabajo.

A comienzos de la década del 60, se inicia la introducción de máquinas perforadoras de chimeneas Raise Borer, que a consideración de muchos entendidos, constituye el mayor avance logrado en la industria minera durante las últimas tres décadas, ya que dicha tecnología logra resolver los innumerables problemas presentes en el método convencional, reconociéndose entre los usuarios, una o más de las siguientes ventajas:

La perforación mecanizada ofrece mejoras muy marcadas en la seguridad del personal con relación al método convencional.

La perforación mecanizada mejora la estabilidad del macizo rocoso, comparado con el método convencional.

La perforación mecanizada es un método más rápido y con seguridad más flexible que el método convencional.

La perforación mecanizada ofrece una marcada reducción en los servicios para la labor.

La perforación mecanizada mejora el ambiente de trabajo.

Comparando los costos globales la perforación mecanizada es más atractiva que la convencional.

Todas estas ventajas, hacen que a nivel mundial la perforación mecanizada de chimeneas desplace prácticamente a la convencional, más aun por el nivel alcanzado en la mecanización de los métodos de explotación, donde predomina el uso de equipos no cautivos sobre neumáticos impulsados por motores diesel, los que requieren contar en el más breve tiempo, con chimeneas para ventilación y paso de mineral y/o desmonte. Los equipos Raise Borer, desde su introducción han experimentado muchas mejoras en su

diseño, abarcando dimensiones físicas, potencia, eficiencia, operación, etc. hasta alcanzar los modelos actuales que cumplen con las exigencias técnico-operacionales que demanda la actividad minera, aunque quedan aún muchas mejoras más resistentes al desgaste y al trabajo rudo, propio de operaciones subterráneas.

La mayor concentración de máquinas Raise Borer, se encuentra en Australia, Canadá, México, Sudáfrica, Estados Unidos y Zambia, donde su uso ha determinado el incremento significativo de su producción minera.

En el Perú, el uso de equipos Raise Borer se inició aproximadamente por la década del 70, aunque sus ventajas no son discutidas, la utilización de estos equipos ha sido muy limitada, básicamente como resultado de la fuerte inversión inicial que demanda su adquisición.

#### **4.1.2 Método Raise Boring**

Es un método moderno de perforación de roca, ampliamente utilizado en el sector minero y en el sector hidroeléctrico, mediante el cual se efectúan hoyos verticales o inclinados entre dos niveles diferentes a ser conectados. Estos niveles pueden estar ambos bajo tierra o un nivel puede estar en superficie y el otro nivel bajo tierra.

Este método soluciona los problemas presentes en el método convencional, porque suprime el uso de explosivos y principalmente el trabajo del operario dentro de la labor, mejorando la seguridad, avance, acabado y estabilidad de las chimeneas; estas mejoras han impulsado el uso más extenso de este método dentro de la minería mundial.

Se suele usar una gama de diámetros entre 2 y 3 m y unas profundidades de 100 a 200 m, aunque se ha llegado a 6 m de diámetro y 1099 m de profundidad.

El método Raise Boring, requiere para su operación de los siguientes componentes:

Perforadora o fuente de poder (Raise Borer machine)

Columna de perforación (Drill string)

Cabeza Rimadora (Reamer)

Broca piloto (Pilot bit)

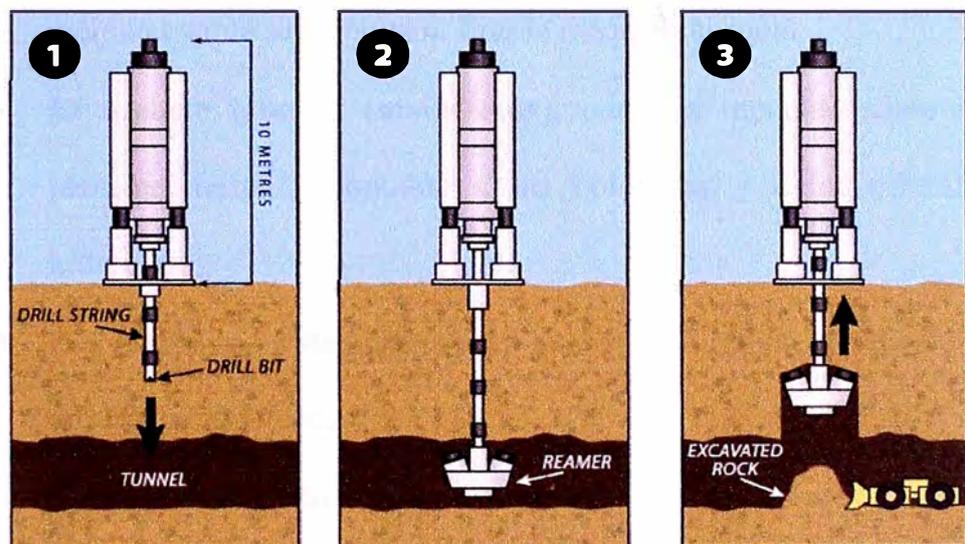
La ejecución del método consta de 4 fases: Preparación del lugar de operación; Transporte y ensamblaje; Perforación piloto y Rimado.

La preparación del lugar de operación, consta básicamente de 2 actividades; la primera es ensanchar la galería hasta las dimensiones recomendadas, que dependiendo de modelo se requerirá una ampliación mayor o menor, en función al tamaño de equipo; la segunda actividad consiste en la construcción de una base horizontal de concreto, sobre la cual se instalará la perforadora; esta base debe ser consistente y capaz de soportar la energía (empuje) y peso de la perforadora; sus dimensiones están en función al modelo del equipo.

Una vez acondicionado el lugar de operación, se procede con el traslado de los componentes del sistema para ser instalados en su lugar de operación. Concluida la instalación, se procede a suministrar la energía

eléctrica requerida para el funcionamiento del equipo, quedando apto para iniciar la perforación.

Se realiza la perforación piloto, de un nivel a otro, con el rumbo e inclinación deseados, luego se acopla una broca escariadora, la cual regresa ensanchando el taladro por la trituración de la roca (rimado).



**Fig. 4.1** Proceso de perforación Raise Boring:

1. Perforación piloto; 2. Acople de broca escariadora; y 3. Rimado

### 4.1.3 Partes Principales de una Máquina Raise Borer

La máquina Raise Borer es la que directamente proporciona las fuerzas de empuje y rotación a la columna de perforación para la rotura de la roca.

La máquina Raise Borer consta de las siguientes partes principales:

- **Las planchas base (base plates)**, que son los apoyos de la máquina y que servirán para fijar la máquina al suelo.
- **El soporte inferior (mainframe)**, que está montado sobre las planchas bases y soportan a las columnas y a los cilindros hidráulicos.
- **Las columnas guías**, que sirven para guiar el movimiento de los cilindros hidráulicos.
- **El soporte superior (headframe)**, que va montado sobre la parte superior de las columnas
- **Los cilindros hidráulicos (hydraulic cylinders)**, que son los elementos que otorgan la fuerza de empuje y movimiento hacia abajo / arriba y que soportan el sistema de transmisión.
- **El sistema de transmisión (drive train)**, que son los elementos que otorgan el torque y el movimiento de rotación. Este sistema está compuesto a su vez por una carcasa (crosshead) que se mueve junto con los cilindros hidráulicos dentro de las columnas guías y sirve para sostener la transmisión (gear box) y el motor de rotación (hidráulico o eléctrico).

## 4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Análisis estructural se refiere al uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones o esqueletos resistentes de maquinaria.

### 4.2.1 Determinación de Esfuerzos

Uno de los primeros problemas que enfrenta el ingeniero diseñador es tener la certeza de que la resistencia de la parte que se diseñe siempre sea mayor que el esfuerzo atribuido a cualquier carga que se le pueda aplicar.

El tipo de método empleado difiere según la complejidad y precisión requerida por los cálculos:

- **Métodos clásicos**, para estructuras muy sencillas entre los que se encuentran la teoría de vigas de Euler-Bernouilli es el método más simple, es aplicable sólo a barras esbeltas sometidas a flexión y esfuerzos axiales. Naturalmente no todas las estructuras se dejan analizar por este método. Cuando existen elementos estructurales bidimensionales en general deben emplearse métodos basados en resolver ecuaciones diferenciales.
- **Métodos programables:**  
Así para determinar esfuerzos sobre marcos o pórticos se usa frecuentemente el método matricial de la rigidez basado en el modelo de barras largas, que modeliza los elementos resistentes como elementos unidimensionales sometidos predominantemente a flexión.

Cuando se trata de analizar elementos más pequeños o con forma irregular donde pueden producirse concentraciones de tensiones se usan métodos numéricos más complejos como el Método de los elementos finitos.

#### **4.2.2 Determinación de Resistencia y Rigidez**

A partir de los esfuerzos se pueden calcular directamente los desplazamientos y las tensiones. En el caso del método de los elementos finitos se suele determinar directamente el desplazamiento sin necesidad de calcular los esfuerzos internos. Una estructura correctamente diseñada además de ser funcional y económica debe cumplir obligatoriamente dos criterios razonables de seguridad:

- **El criterio de resistencia**, consistente en comprobar que en ninguno de sus puntos el material sobrepasa unas tensiones admisibles máximas.
- **El criterio de rigidez**, consistente en comprobar que bajo las fuerzas y solicitaciones actuantes los desplazamientos y deformaciones de la estructura no sobrepasan un cierto límite. Dicho límite está relacionado con criterios de funcionalidad, pero también de estabilidad o de aplicabilidad de la teoría de la elasticidad lineal.

### 4.3 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

El análisis por elementos finitos (FEA por sus siglas en inglés para: *Finite Element Analysis*) es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Usa una técnica numérica llamada **Método de los elementos finitos** (FEM).

Existen muchos paquetes de software, tanto libres como no libres. El desarrollo de elementos finitos en estructuras, usualmente, se basa en análisis energéticos como el principio de los trabajos virtuales.

#### 4.3.1 Historia

El análisis de elementos finitos desde su enfoque matemático fue desarrollado en 1943 por Richard Courant, quien usó el Método de Ritz del análisis numérico y el cálculo variacional para obtener soluciones aproximadas para sistemas oscilatorios. Desde un punto de vista ingenieril, el **análisis de elementos finitos** se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento, el cual surge luego de varias décadas de investigación, principalmente en la industria aeroespacial inglesa, como una variante apropiada para computadores. Para finales de los años de la década de 1950, los conceptos claves de matriz de rigidez y ensamble de elementos existe en las formas como se conocen hoy en día., la demanda de la NASA repercutió en el desarrollo del software de elementos finitos NASTRAN en 1965.

### 4.3.2 Aplicaciones

Para las aplicaciones, el objeto o sistema se representa por un modelo geoméricamente similar que consta de múltiples regiones discretas simplificadas y conectadas.

Ecuaciones de equilibrio, junto con consideraciones físicas aplicables así como relaciones constitutivas, se aplican a cada elemento, y se construye un sistema de varias ecuaciones. El sistema de ecuaciones se resuelve para los valores desconocidos usando técnicas de álgebra lineal o esquemas no lineales, dependiendo del problema. Siendo un método aproximado, la precisión de los métodos FEA puede ser mejorada refinando la discretización en el modelo, usando más elementos y nodos.

Comúnmente se usa FEA en determinar los esfuerzos y desplazamientos en sistemas mecánicos. Es además usado de manera rutinaria en el análisis de muchos otros tipos de problemas, entre ellos Transferencia de calor, dinámica de fluidos, y electromagnetismo. Con FEA se pueden manejar sistemas complejos cuyas soluciones analíticas son difícilmente encontradas.

### 4.3.3 Tipos de Análisis Ingenieriles

Se describen algunos tipos de análisis que se pueden realizar en la interfaz Mechanical, del software ANSYS.

- **Análisis Eléctrico (Electric Analysis):** Determina el potencial eléctrico en un cuerpo conductor creado por la aplicación externa de voltaje o cargas de corriente. Otros resultados calculados son las corrientes de conducción, campo eléctrico, y el calor.
- **Análisis de Dinámica Explícita (Explicit Dynamics Analysis):** Determina la respuesta dinámica de una estructura debido a la propagación de ondas de tensión, de impacto o de cargas dependientes del tiempo que cambian rápidamente.
- **Análisis Armónico (Harmonic Analysis):** Determina la respuesta de estado estacionario de una estructura lineal para cargas que varían de forma sinusoidal (armónicamente) con el tiempo, lo que permite verificar si los diseños soportan satisfactoriamente la resonancia, la fatiga y otros efectos nocivos de vibraciones forzadas.
- **Análisis Magnetostático (Magnetostatic Analysis):** Los campos magnéticos pueden existir como resultado de una corriente o un imán permanente. Se puede realizar análisis de campo magnético estático 3-D, y modelar diversas regiones físicas como el hierro, el

aire, los imanes permanentes, y los conductores. Los usos típicos para un análisis magnetostático son: máquinas eléctricas, transformadores, calentamiento por inducción, actuadores de solenoide, imanes de alto campo, pruebas no destructivas, agitación magnética, celdas electrolíticas, aceleradores de partículas, medicina e instrumentos geofísicos.

- **Análisis De Vibración Aleatoria (Random Vibration Analysis):**

Determina la respuesta de las estructuras a las cargas de vibración que son de naturaleza aleatoria. Un ejemplo sería la respuesta de un componente electrónico sensible montado en un auto sometido a la vibración del motor, la rugosidad del pavimento, y la presión acústica. Las aplicaciones típicas incluyen componentes aeroespaciales y de embalaje electrónico sometidos a vibraciones del motor, la turbulencia y las presiones acústicas, los edificios altos bajo la carga de viento, estructuras sometidas a terremotos, y la carga de las olas del océano en estructuras de alta mar.

- **Análisis de Espectro de Respuesta (Response Spectrum Analysis):**

Ampliamente utilizado en diseños de estructura civil, por ejemplo, los rascacielos bajo cargas de viento. Otra aplicación principal es para diseños de planta de energía nuclear bajo cargas sísmicas.

- **Análisis Estructural Estático (Static Structural Analysis):** Determina los desplazamientos, tensiones, deformaciones, y las fuerzas en estructuras o componentes causados por cargas que no inducen efectos significativos de inercia y amortiguación. Se asumen condiciones de respuesta y carga estable, es decir, las cargas y la respuesta de la estructura se asume que varían lentamente con respecto al tiempo. Los tipos de carga que se pueden aplicar en un análisis estático son: fuerzas y presiones aplicadas externamente, fuerzas inerciales en estado estacionario (como la gravedad o la velocidad de rotación), desplazamientos forzados (distinto de cero), temperaturas (por deformación térmica).
- **Análisis Térmico en Estado Estable (Steady-State Thermal Analysis):** Determina las temperaturas, gradientes térmicos, tasas de flujo de calor, y flujos de calor en un objeto que son causados por cargas térmicas que no varían con el tiempo. Este análisis calcula los efectos de las cargas térmicas estables en un sistema o componente. Los ingenieros a menudo realizan un análisis de estado estable antes de realizar un análisis térmico transitorio, para ayudar a establecer las condiciones iniciales. Este análisis también puede ser el último paso de un análisis térmico transitorio, realizado después de que todos los efectos transitorios hayan disminuido.

- **Análisis Eléctrico-Térmico (Thermal-Electric Analysis):** Un análisis de conducción térmica-eléctrica en estado estable permite una solución simultánea de campos térmicos y eléctricos. Esta capacidad de campo acoplado modela el calentamiento Joule para los materiales resistivos y de contactos de conductancia eléctrica, así como los efectos de Seebeck, Peltier, y Thomson para termoeléctrica.
- **Análisis Estructural Transitorio (Transient Structural Analysis):** Un análisis transitorio, por definición, implica cargas que están en función del tiempo. Se puede realizar un análisis transitorio en una estructura flexible o en un ensamble rígido. Este tipo de análisis se utiliza para determinar la respuesta dinámica de una estructura bajo la acción de cargas dependientes del tiempo, para determinar los desplazamientos de tiempo variable, deformaciones, tensiones y fuerzas en una estructura que responda a cargas transitorias. La escala de tiempo de la carga es tal que los efectos de inercia o de amortiguación se consideran importantes. Si los efectos de inercia y amortiguación no son importantes, es posible que se pueda utilizar un análisis estático en lugar del transitorio.

- **Análisis de Dinámica Rígida (Rigid Dynamics Analysis):**  
Determina la respuesta dinámica de un ensamble de cuerpos rígidos unidos por articulaciones y resortes. Se puede utilizar también para estudiar la cinemática de un brazo robótico o un sistema de cigüeñal.
  
- **Análisis Térmico Transitorio (Transient Thermal Analysis):**  
Determina las temperaturas y otras magnitudes térmicas que varían con el tiempo. La variación de la distribución de temperatura con el tiempo es de interés en muchas aplicaciones, tales como el enfriamiento de paquetes electrónicos o un análisis de enfriamiento para tratamiento térmico. También son de interés los resultados de la distribución de temperatura en esfuerzos térmicos que pueden causar falla. Muchas aplicaciones de transferencia de calor, tales como problemas de tratamiento de calor, diseño de paquete electrónico, boquillas, bloques de motor, recipientes a presión, problemas de interacción fluido-estructura, y así sucesivamente implican análisis térmicos transitorios.

#### 4.3.4 Fases del Análisis por Elementos Finitos

La Ingeniería asistida por computadora (CAE, del inglés: *Computer Aid Engineering*) es la aplicación de programas computacionales de ingeniería para evaluar componentes o ensambles. Contiene simulación, validación y optimización de productos y herramientas de manufactura. La aplicación principal de CAE, usada en ingeniería civil, mecánica, aeroespacial, y electrónica, se trata de FEA al lado del Diseño Asistido por Computador (CAD).

En general, hay tres fases en cualquier tarea asistida por computador:

1. **Pre-procesamiento.** Definir el modelo de elementos finitos y los factores ambientales que influyen en él.
2. **Solución del análisis.** Solucionar el modelo de elementos finitos.
3. **Post-procesamiento** de resultados usando herramientas de visualización.

##### 4.3.4.1 Pre-Procesamiento

El primer paso en FEA, pre-procesamiento, es construir un modelo de elementos finitos de la estructura a ser analizada. En muchos paquetes de FEA se requiere de la entrada de una descripción topológica de las características geométricas de la estructura. Ésta puede ser 1D, 2D, o 3D. El objetivo principal del modelo es replicar de manera realista los parámetros importantes y características del modelo real. La manera más sencilla para conseguir similaridad en el análisis es utilizar planos pre-existentes, modelos CAD, o datos importados de un ambiente FEA. Una

vez se ha creado la geometría, se utiliza un procedimiento para definir y dividir el modelo en "pequeños" elementos. En general, un modelo de elementos finitos está definido por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos. Los nodos representan puntos en los cuales se calcula el desplazamiento (análisis estructural). Los paquetes de FEA enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de masa y rigidez. Los elementos también están definidos por la numeración de la malla, la cual permite referenciar la correspondiente deflexión o esfuerzo (en análisis estructural) para una localización específica.

#### **4.3.4.2 Análisis (Cómputo de la Solución)**

En la siguiente etapa en el proceso de análisis de elementos finitos se lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas, y las propiedades de los elementos de donde producir un modelo de solución. Tal análisis estructural permite la determinación de efectos como lo son las deformaciones, estiramiento o estrés que son causados por fuerzas estructurales aplicadas como lo son la fuerza, la presión y la gravedad.

#### **4.3.4.3 Post-Procesamiento (Visualización)**

Estos resultados entonces pueden ser estudiados utilizando herramientas visuales dentro del ambiente de FEA para ver y para identificar completamente las implicaciones del análisis. Herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información como esfuerzos y deformaciones a ser identificadas.

#### **4.3.4 Paquetes de Elementos Finitos**

Los softwares de simulación por elementos finitos más utilizados y conocidos son los siguientes:

- ANSYS
- CAELINUX
- Nastran/Patran

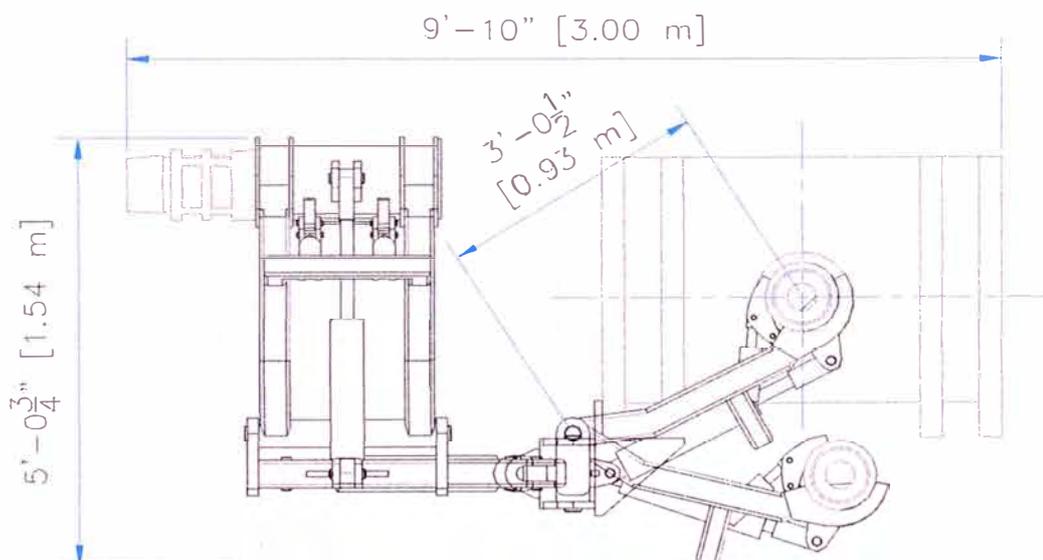
## CAPÍTULO 5

### DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

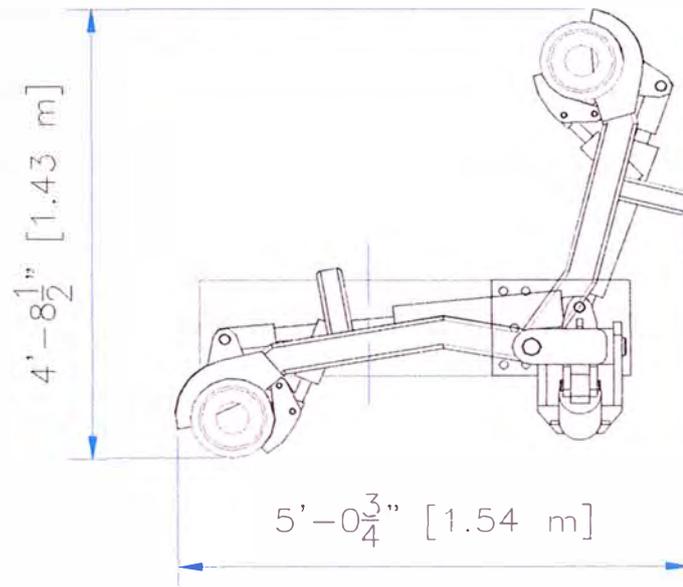
#### 5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

En las siguientes figuras se muestran los esquemas del brazo hidráulico, acoplado a la estructura base de la máquina perforadora.

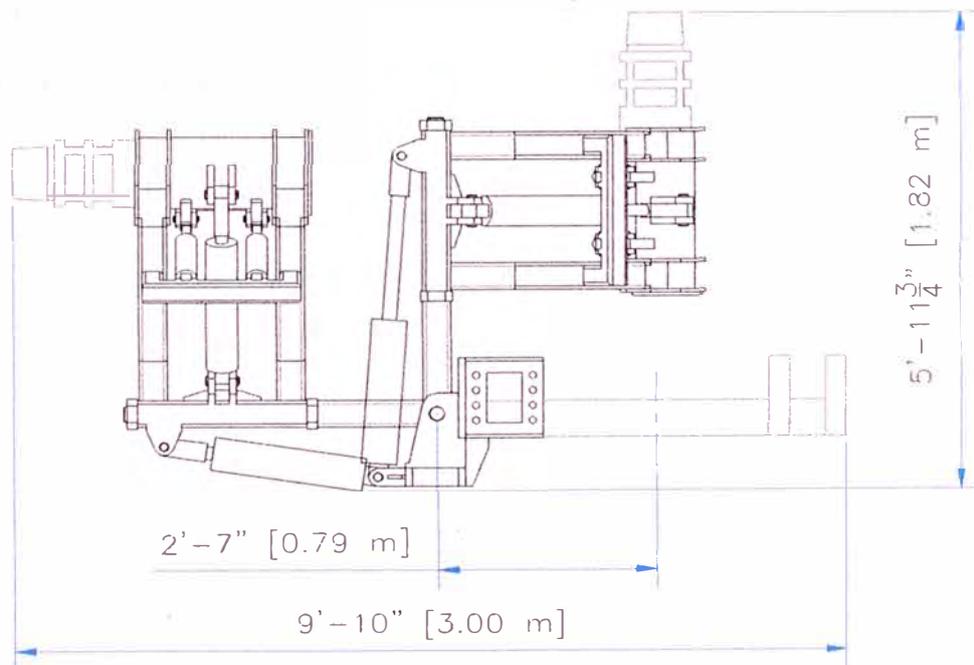
Las dimensiones ancho, largo y altura máximas, en las diferentes vistas del ensamble del brazo, determinan los parámetros de diseño.



**Fig. 5.1 Vista Superior**



**Fig. 5.2 Vista Frontal**



**Fig. 5.3 Vista Lateral Derecha**

## 5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

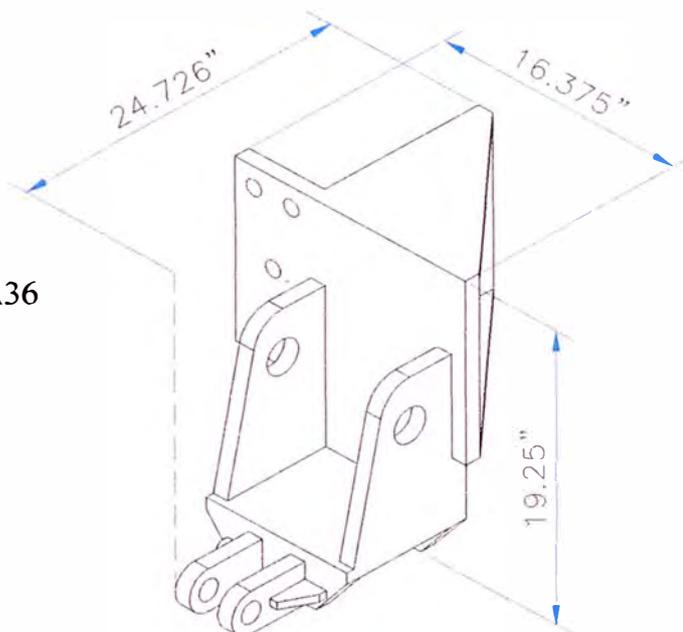
El dimensionamiento de los elementos que conforman la estructura del brazo, así como los espesores del material, han sido definidos tomando como base maquinaria importada existente, y de acuerdo a la funcionalidad de cumplirá cada componente.

Estos elementos serán redimensionados en caso no trabajen adecuadamente, al ser sometidos a las cargas establecidas.

### 5.2.1 Base

**Material** : ASTM A36

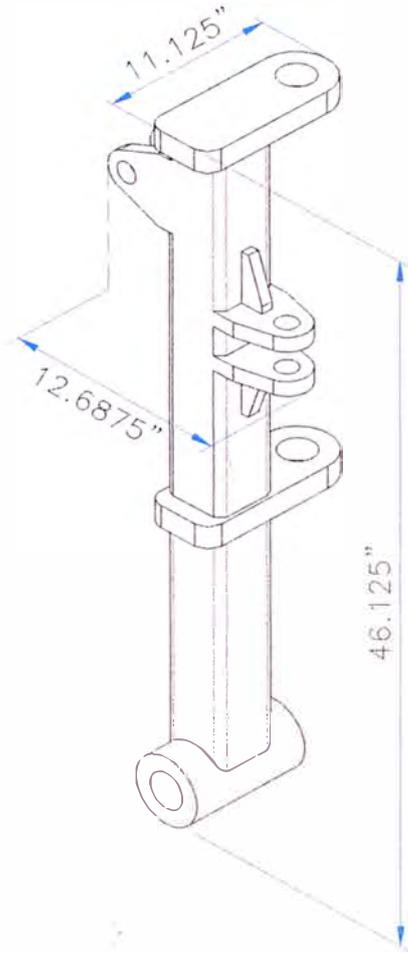
**Peso** : 189.8 lb



### 5.2.2 Braço Pivote

**Material** : ASTM A36

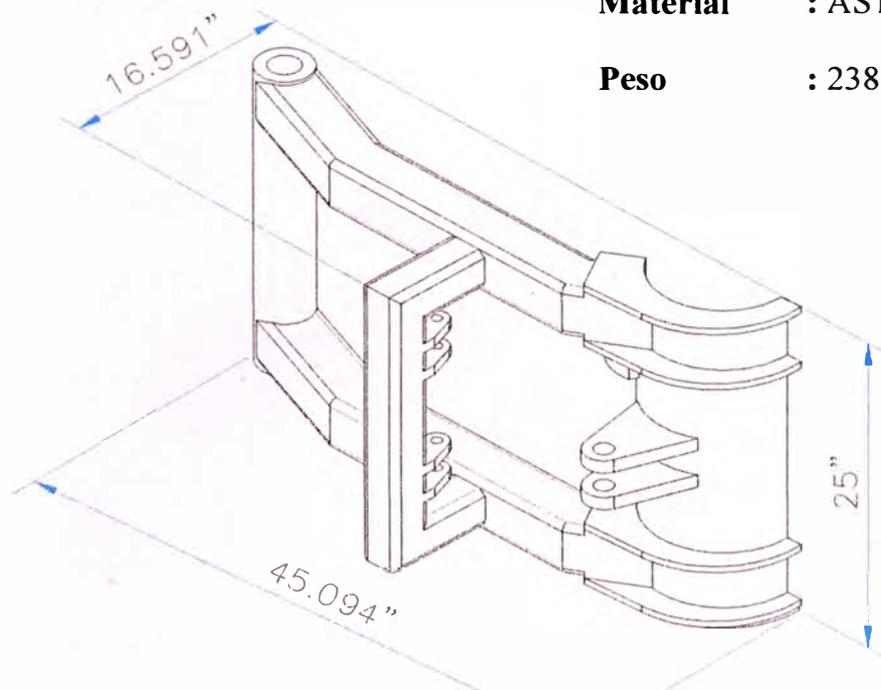
**Peso** : 116.7 lb



### 5.2.3 Braço

**Material** : ASTM A36

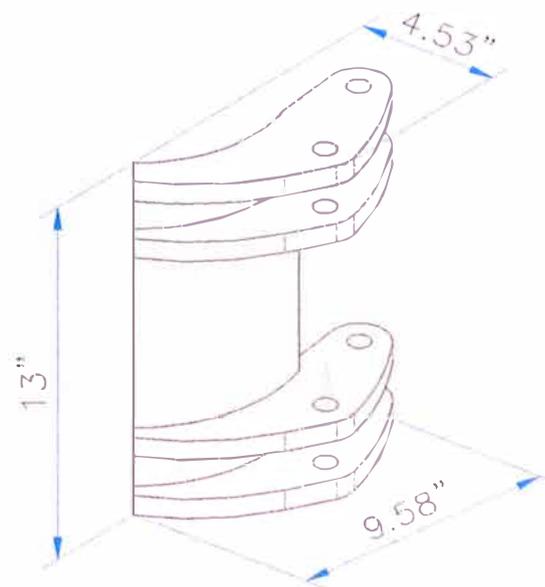
**Peso** : 238.2 lb



### 5.2.4 Grapa

**Material :** ASTM A36

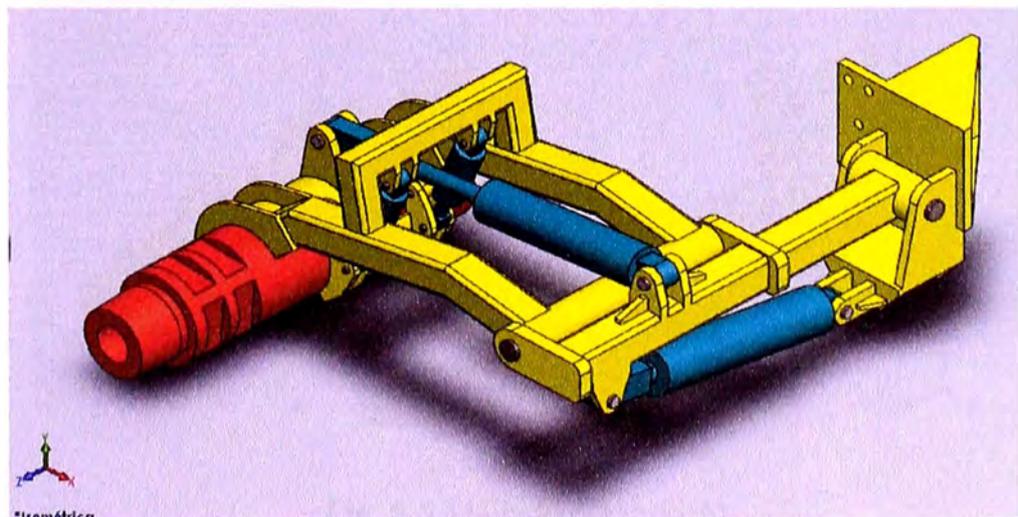
**Peso :** 26.3 lb



## 5.3 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

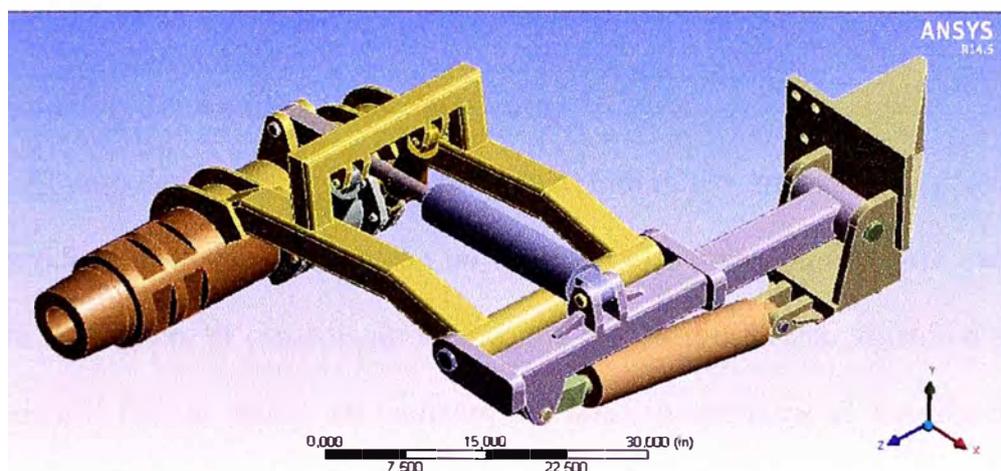
### 5.3.1 Modelamiento y Mallado (Pre-Procesamiento)

El modelo 3D ha sido realizado en SolidWorks, y guardado como formato *parasolid (.x\_t)*.



**Fig. 5.4** Modelo 3D en SolidWorks

Se importa la geometría 3D: *Ensamble del brazo* (.x\_t) en el *Ansys Workbench*.

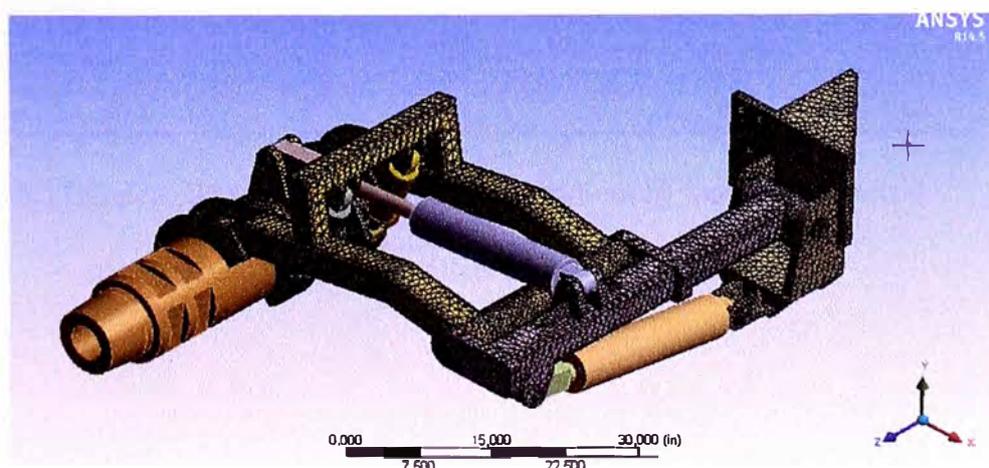


**Fig. 5.5** Modelo 3D en Ansys (Workbench)

En la geometría del modelo, se configuran los componentes: base, brazo pivote, brazo y todos los pines, como elementos **flexibles**, los demás se mantienen como **rígidos**, ya que no son objeto del análisis.

Se aplica el material ASTM A36 para todos los componentes, excepto para los pines, que serán AISI 1045.

Se prosigue con el mallado del modelo.

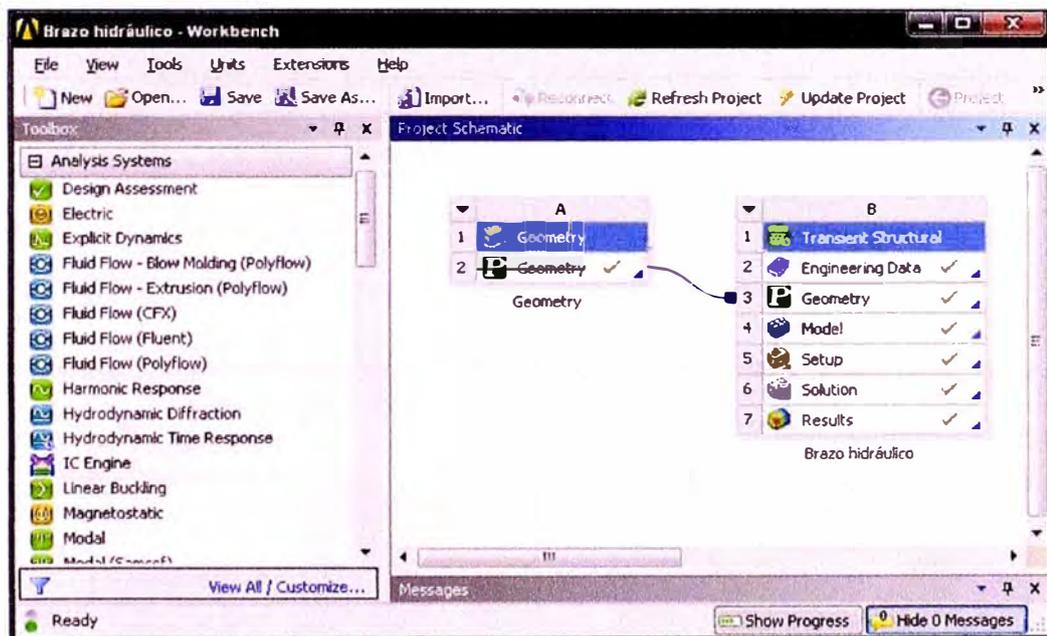


**Fig. 5.6** Mallado del modelo.

Luego que el mallado se ha realizado satisfactoriamente, sin ningún error, se prosigue con el análisis.

### 5.3.2 Solución del Análisis (Procesamiento)

El peso de la tubería que carga el brazo hidráulico, sumado a su propio peso, producirán cargas que estarán en función del tiempo, ya que para cada instante de tiempo, el mecanismo tendrá una posición diferente, debido a su movimiento. Por lo tanto, se realizará un *análisis estructural transitorio* (Transient Structural)



**Fig. 5.7** Espacio de trabajo del Ansys (Workbench), con la geometría y configuración para el análisis estructural transitorio.

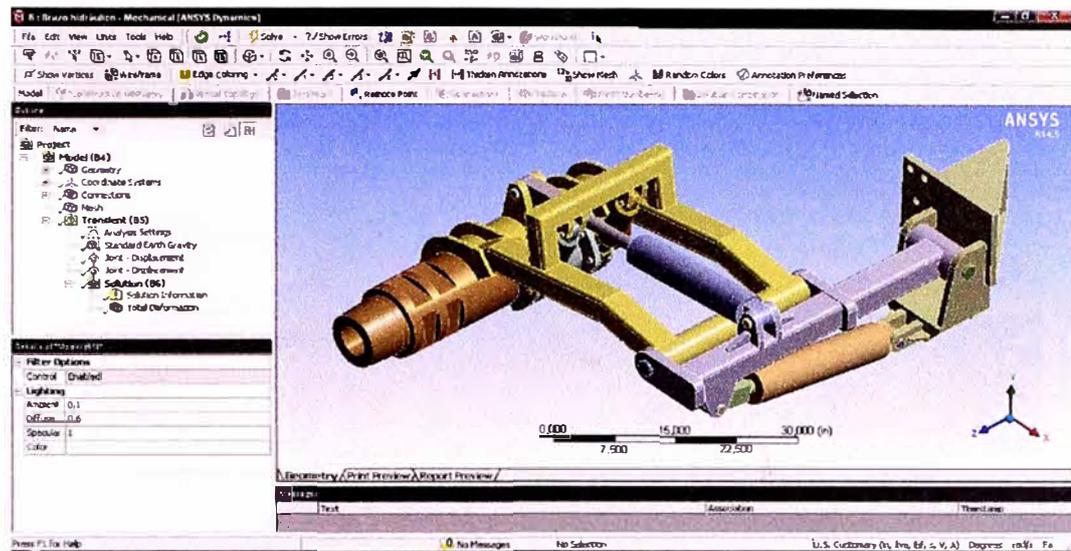


Fig. 5.8 Ventana del análisis estructural transitorio.

Se definen las conexiones (*Joints*) entre los componentes del ensamble: fijo, rotación, traslación, de acuerdo al movimiento relativo entre dichos componentes.

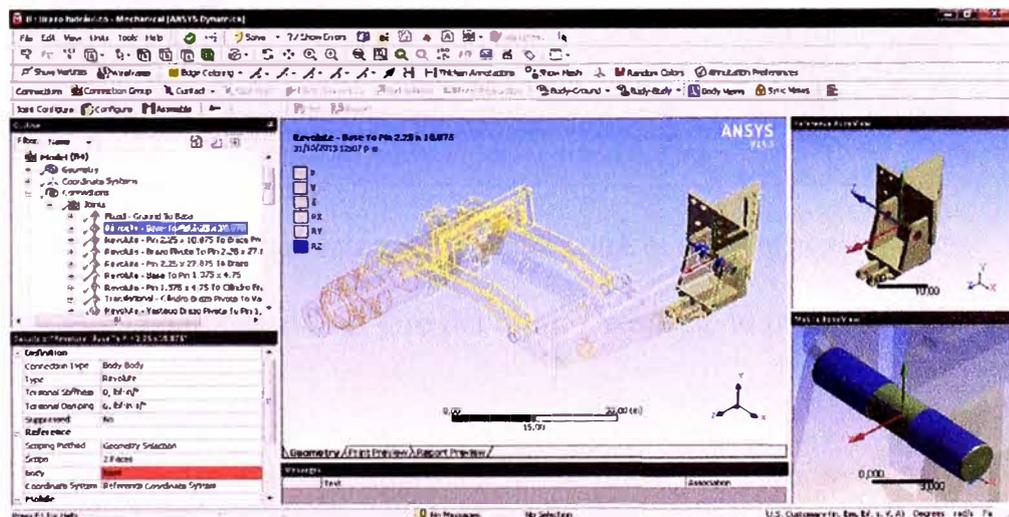


Fig. 5.9 Junta Revolución, entre la base y el pin.

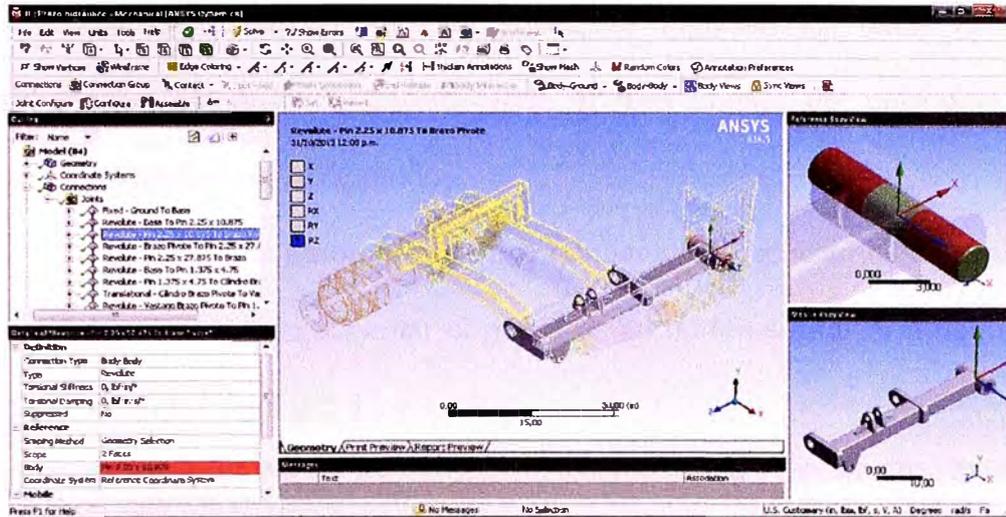


Fig. 5.10 Junta Revolución, entre el pin y el brazo pivote.

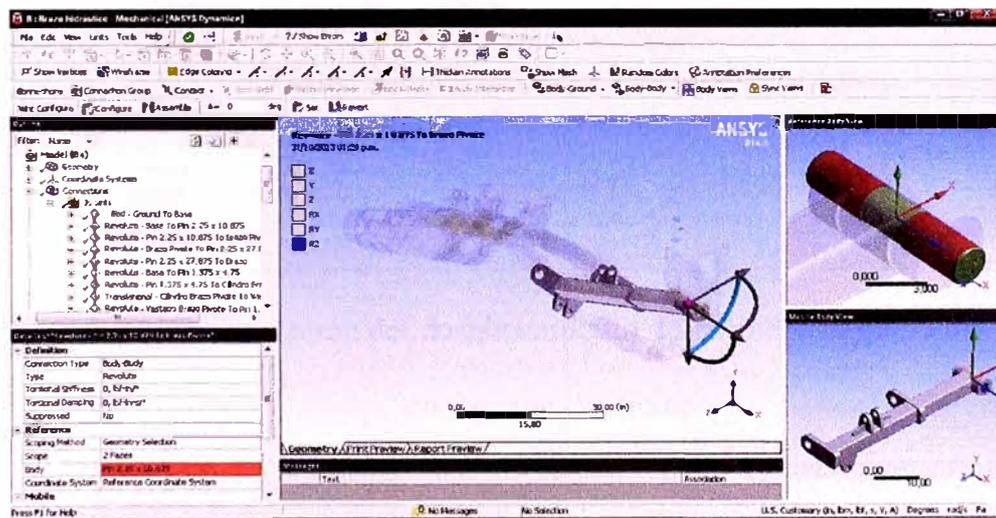


Fig. 5.11 Configuración de la junta, entre el pin y el brazo pivote, comprobando el giro del último, respecto al primero.

Los dos cilindros hidráulicos de la grapa, se considerarán fijos a la tubería, es decir, no se configurará su desplazamiento a través del tiempo, ya que en la totalidad del movimiento del ensamble del brazo, estos cilindros siempre estarán sujetando la tubería.

Una vez definidas las conexiones, se ingresan los datos para la configuración del análisis, considerando el movimiento del ensamble del brazo en un tiempo de 20 segundos.

Se agregan los datos (de manera tabular) de desplazamiento variable respecto al tiempo, para accionar el movimiento de los cilindros hidráulicos, como se ve en las figuras 5.12 y 5.13.

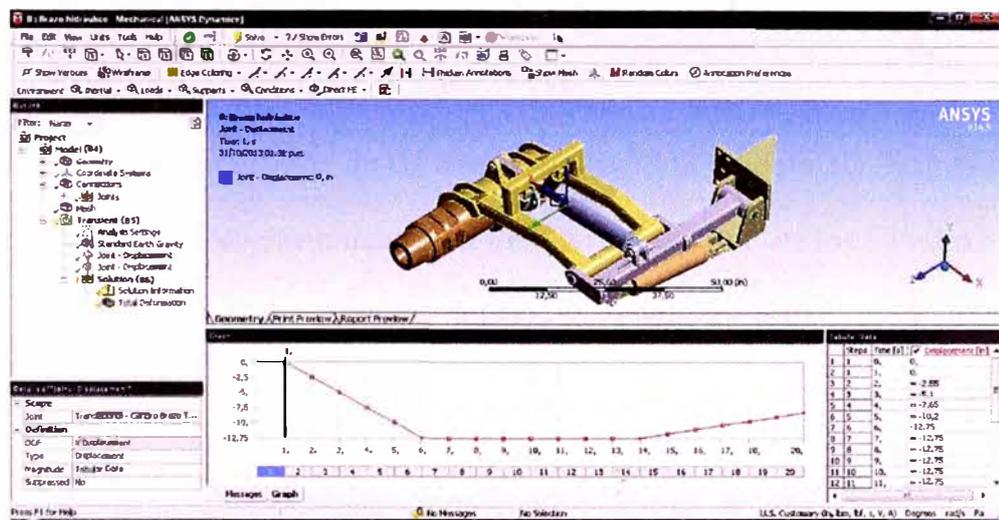


Fig. 5.12 Configuración del desplazamiento del cilindro hidráulico del brazo, en función del tiempo.

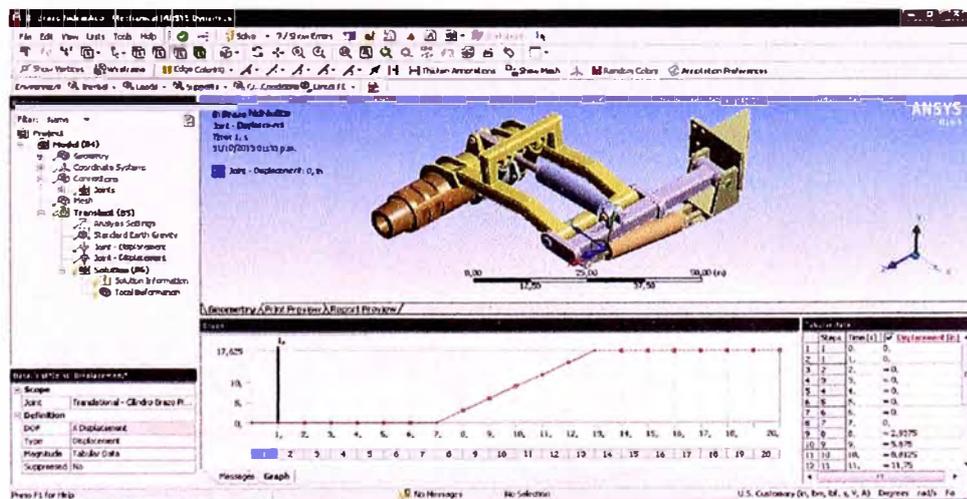
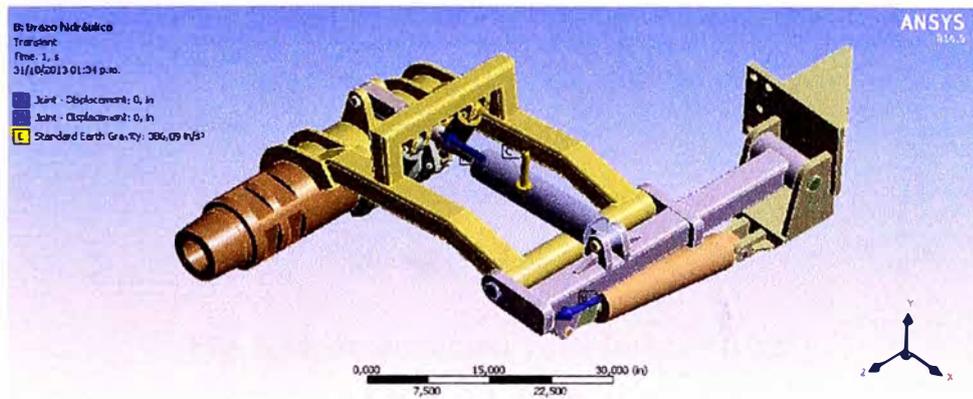


Fig. 5.13 Configuración del desplazamiento del cilindro hidráulico del brazo pivote, en función del tiempo.

Además, se agrega la fuerza de gravedad. Se tienen 3 cargas ingresadas como se ve en la figura 5.14.

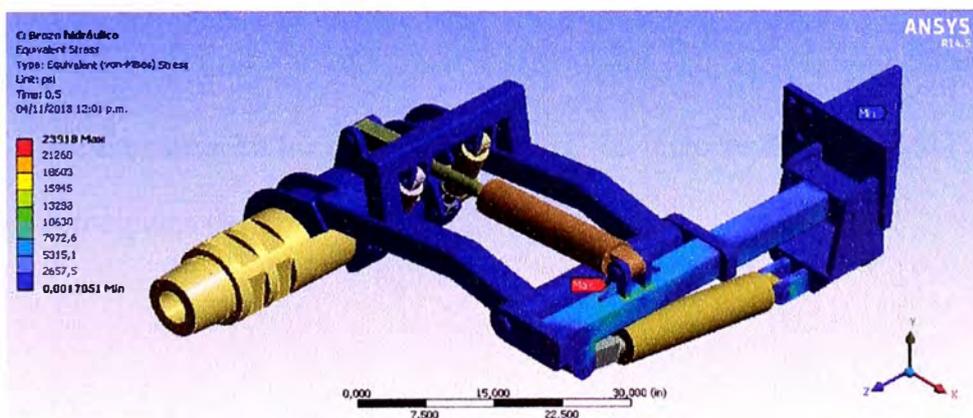


**Fig. 5.14** Configuración de las cargas aplicadas al modelo 3D: Fuerza de gravedad, y desplazamiento (en función del tiempo) de los cilindros hidráulicos del brazo y del brazo pivote.

Finalmente, se ejecuta el análisis transitorio.

### 5.3.3 Análisis de Resultados (Post-Procesamiento)

Luego de haber culminado el procesamiento del análisis transitorio, se obtienen los resultados.



**Fig. 5.15** Esfuerzo Equivalente (máx.= 23918 psi)

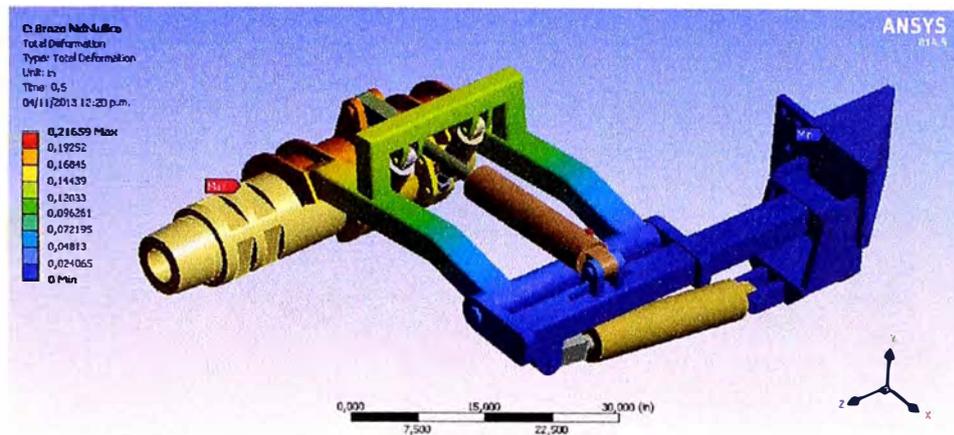


Fig. 5.16 Deformación Total (máx. = 0.22")

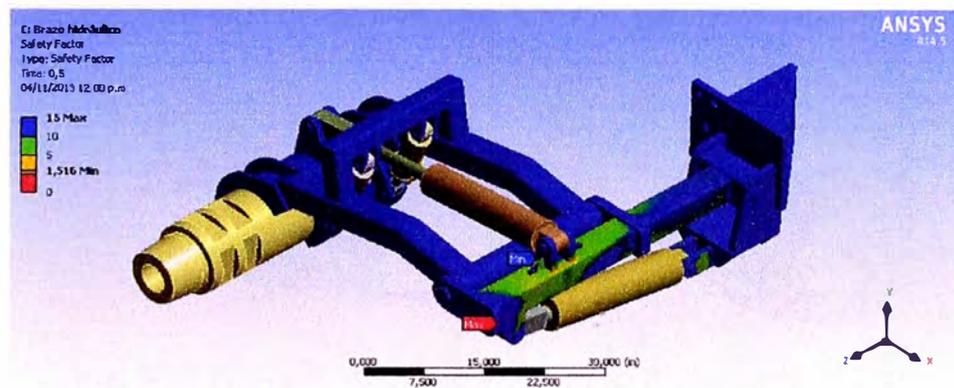
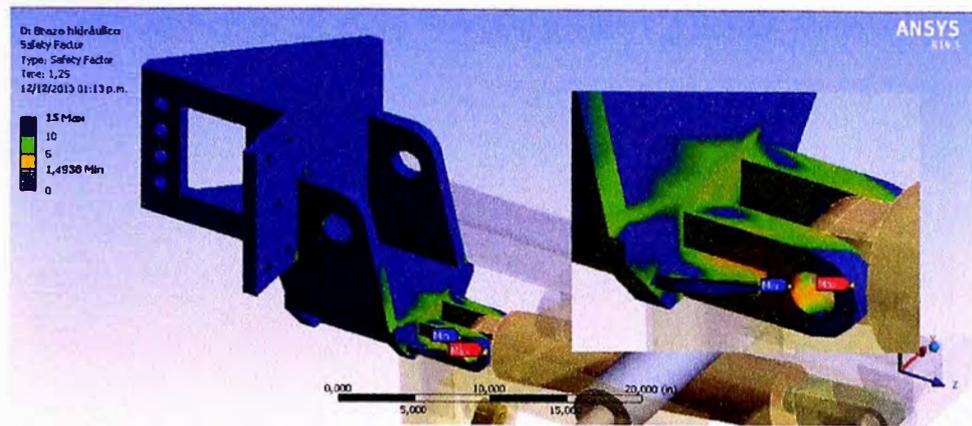


Fig. 5.17 Factor de Seguridad (mín. = 1.5)

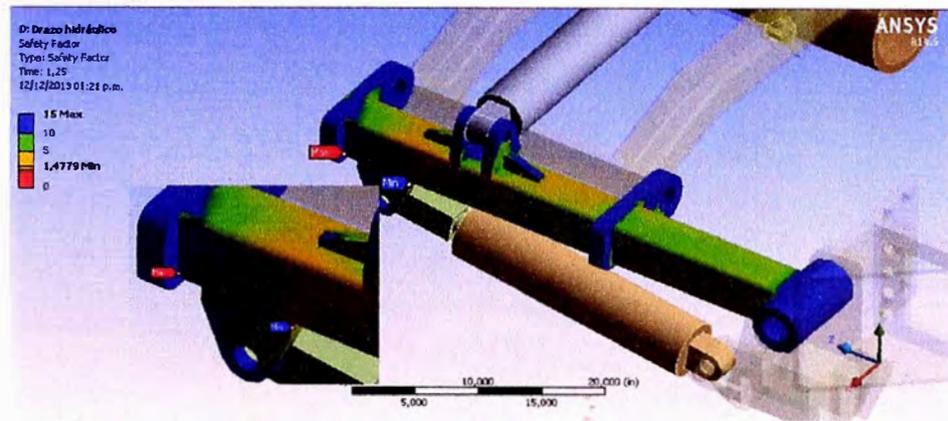
El factor de seguridad obtenido es  $1.5 > 1$ .

**Es decir, el diseño está OK!**

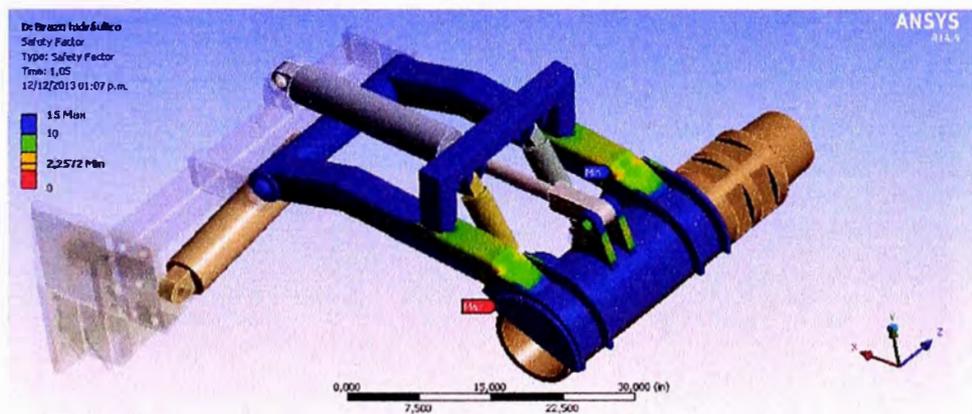
Se muestran en las siguientes figuras, los factores de seguridad en las partes principales del brazo.



**Fig. 5.18** Factor de Seguridad de la Base (mín. = 1.5)



**Fig. 5.19** Factor de Seguridad del Brazo Pivote (mín. = 1.5)



**Fig. 5.20** Factor de Seguridad del Brazo (mín. = 2.3)

De las figuras 5.18, 5.19 y 5.20 se observa que los factores de seguridad de la base, brazo pivote y brazo, son mayores que 1, por lo tanto el diseño está OK.

En el análisis de los pines, se obtienen los siguientes resultados:

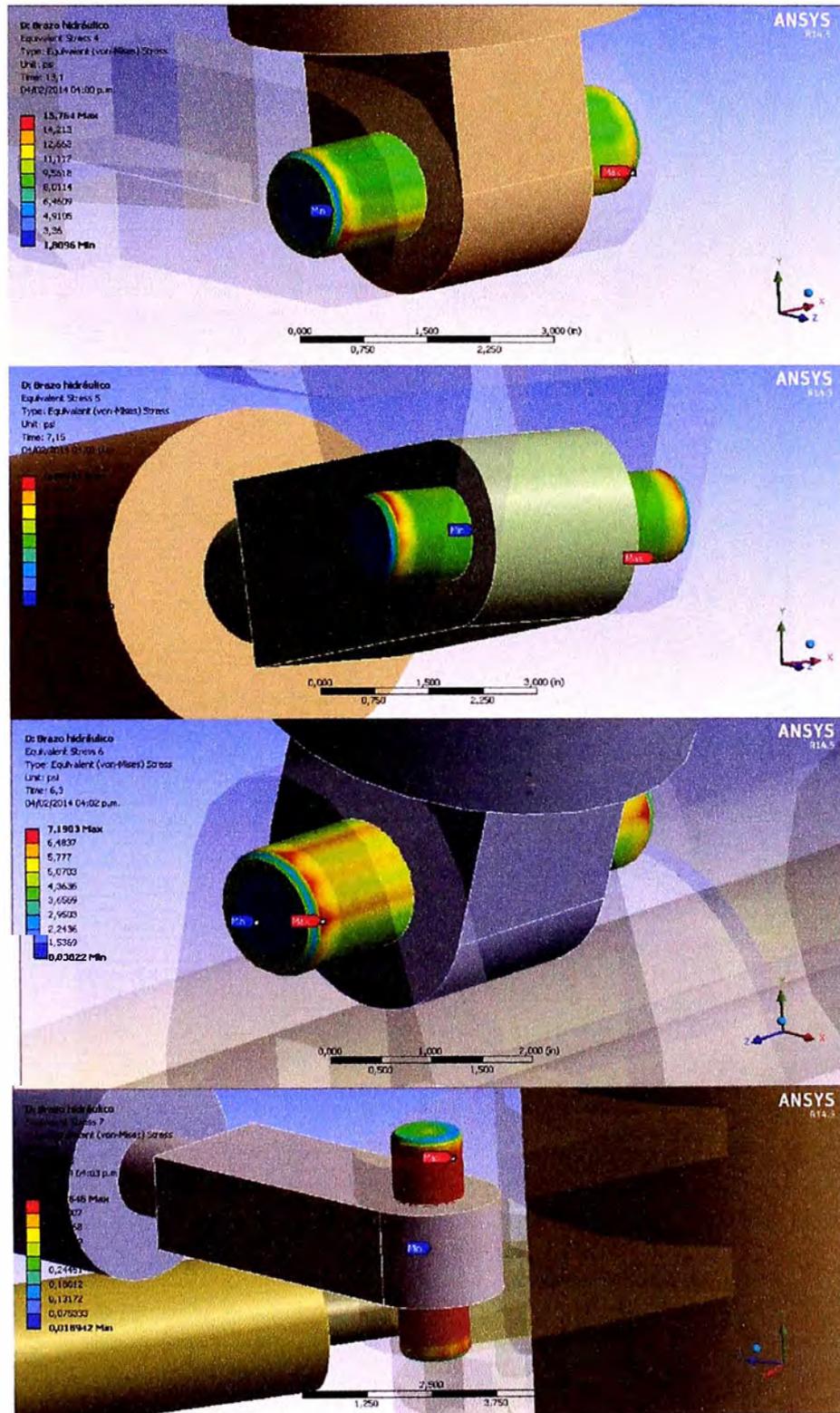
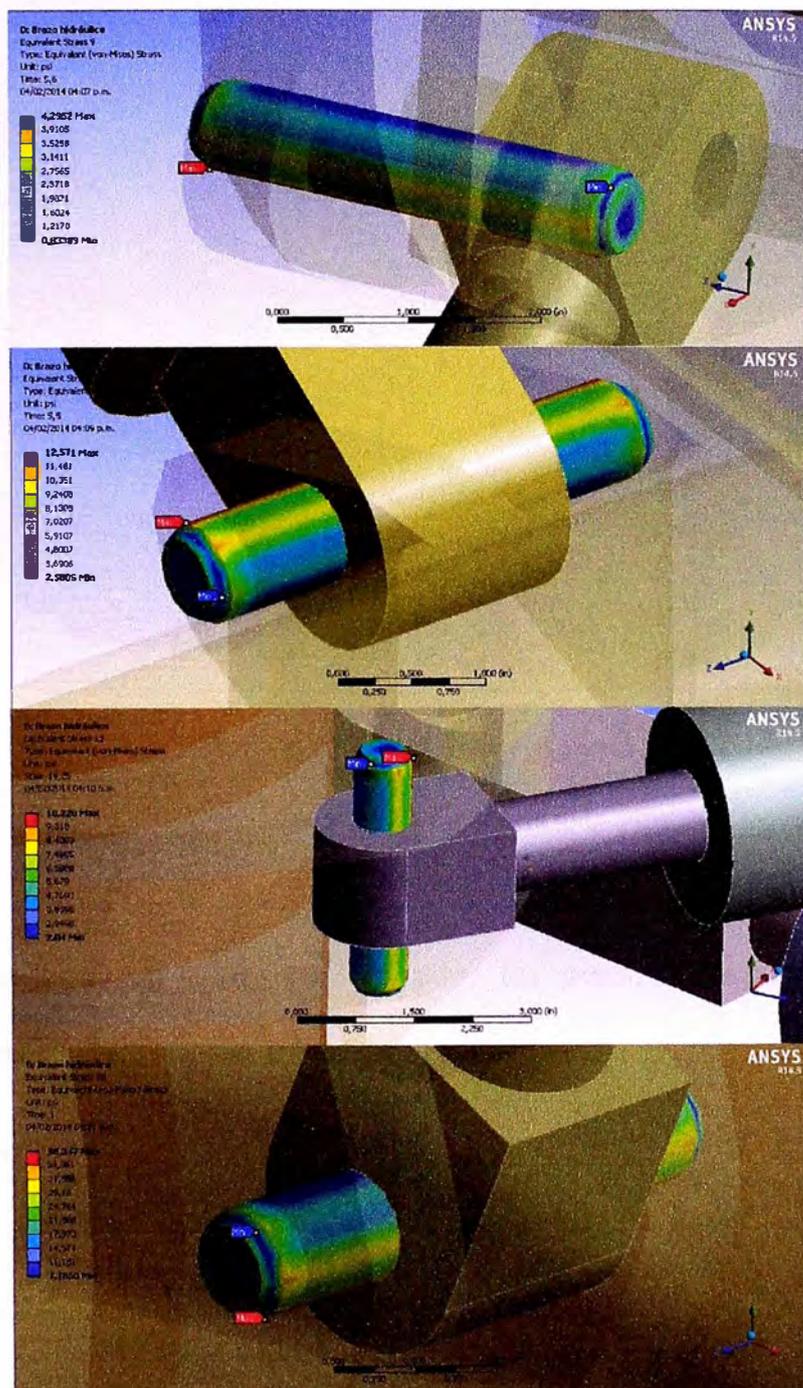


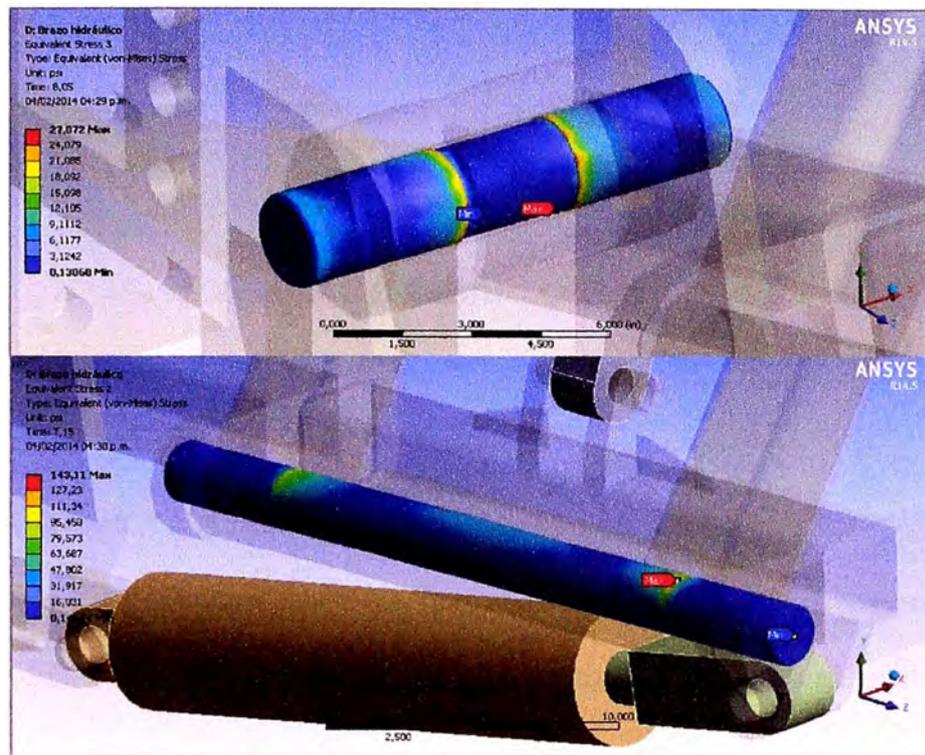
Fig. 5.21 Esfuerzo Equivalente en los pines de  $\text{Ø}1 \frac{3}{8}$ "

(máx. = 15.8 psi)



**Fig. 5.22** Esfuerzo Equivalente en los pines de  $\text{Ø}3/4''$

(máx. = 38.3 psi)



**Fig. 5.23** Esfuerzo Equivalente en los pines de  $\text{Ø}2 \frac{1}{4}$ "

(máx.= 143.11 psi)

Se puede observar, que de todos los pines, el máximo esfuerzo equivalente que actúa es de 143.11 psi.

Ya que el esfuerzo de fluencia del material de los pines, acero AISI 1045 (45 000 psi) es mucho mayor que el esfuerzo equivalente máximo que se obtuvo en los resultados, por lo tanto, el diseño de los pines está OK.

## **CAPÍTULO 6**

### **COSTOS DE FABRICACIÓN**

#### **6.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

Los Costos de Fabricación serán la suma de los Costos de Ingeniería, los Costos de Adquisición y Fabricación y los Costos de Ensamblaje del brazo hidráulico.

La moneda considerada será el dólar americano, utilizando un promedio del tipo de cambio aplicado en el mes de Enero del 2014.

A continuación se describe cada estimación de costos realizada.

#### **6.2 COSTOS DE INGENIERÍA**

Los Costos de Ingeniería contemplan las horas hombre utilizadas para realizar el desarrollo de Ingeniería, Elaboración de Planos, realizado por un Ingeniero de Diseño, la asesoría brindada por un Jefe de Ingeniería y la Recolección de datos.

<b>COSTOS DE INGENIERÍA</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Ingeniero de Diseño	100	h-h	\$ 10,00	\$ 1.000,00
2	Jefe de Ingeniería	10	h-h	\$ 20,00	\$ 200,00
3	Recopilación de datos	1	Glb	\$ 100,00	\$ 100,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 1.300,00</b>

**Tabla 6.1** Costos de Ingeniería.

### 6.3 COSTOS DE ADQUISICIÓN Y FABRICACIÓN

Los Costos de Adquisición y Fabricación de los elementos son aquellos de los productos pueden adquirirse directamente en el mercado (planchas, tubos, anillos, soldadura, pintura, etc.), y la mano de obra para la fabricación de los elementos que conforman la estructura del brazo hidráulico.

<b>COSTOS DE ADQUISICIÓN</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>P. UNIT.</b>	<b>P. PARCIAL</b>
1	Tubo □4" x 4" x 1/4" x 6 m	ASTM A501	1	\$ 158,72	\$ 158,72
2	Tubo □3"x3"x4,5mm x 6m	ASTM A501	1	\$ 98,00	\$ 98,00
3	Barra Ø 4 1/4"	AISI 1020	1	\$ 103,97	\$ 103,97
4	Barra Ø 4 3/4"	AISI 1020	1	\$ 42,78	\$ 42,78
5	Plancha 1 1/2" x 10" x 12"	ASTM A36	1	\$ 21,31	\$ 21,31
6	Plancha 1" x 30" x 60"	ASTM A36	1	\$ 213,05	\$ 213,05
7	Plancha 3/4" x 30" x 30"	ASTM A36	1	\$ 76,46	\$ 76,46
8	Plancha 1/2" x 30" x 30"	ASTM A36	1	\$ 47,54	\$ 47,54
9	Barra Ø 2 1/2" x 39,75"	AISI 1045	1	\$ 48,92	\$ 48,92
10	Barra Ø 1 3/4" x 19,75"	AISI 1045	1	\$ 11,93	\$ 11,93
11	Barra Ø 1" x 23"	AISI 1045	1	\$ 4,53	\$ 4,53
12	Anillo de retención Ø 2¼ "		4	\$ 1,44	\$ 5,76
13	Anillo de retención Ø 1⅜"		8	\$ 0,54	\$ 4,32
14	Anillo de retención Ø 3/4 "		12	\$ 0,10	\$ 1,20
15	Cilindro hid. - brazo pivote		1	\$ 3.600,00	\$ 3.600,00
16	Cilindro hidráulico - brazo		1	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
17	Cilindro hidráulico - grapa		2	\$ 1.550,00	\$ 3.100,00
18	Grasera 1/8"		3	\$ 6,43	\$ 19,29
19	Alambre EXATUB 71 1/16 (1.6 mm) (kg)		15	\$ 5,57	\$ 83,57
20	Gas carbónico (CO2) (balón 25 kg)		1	\$ 36,32	\$ 36,32
21	Base zincromato (GL)		0,5	\$ 9,79	\$ 4,89
22	Gloss amarillo (GL)		0,5	\$ 29,29	\$ 14,64
23	Thinner standar (3.50LT)		1	\$ 4,11	\$ 4,11
				<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$10.101,32</b>
				<b>IGV (18%)</b>	<b>\$ 1.818,24</b>
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1.919,55</b>

**Tabla 6.2** Costos de Adquisición.

<b>COSTOS DE FABRICACIÓN</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Armador	24	h-h	\$ 3,00	\$ 72,00
2	Soldador	24	h-h	\$ 5,00	\$ 120,00
3	Ayudante de armador	24	h-h	\$ 2,00	\$ 48,00
4	Pintor	8	h-h	\$ 3,00	\$ 24,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 264,00</b>

**Tabla 6.3** Costos de Fabricación.

<b>COSTOS DE ADQUISICIÓN Y FABRICACIÓN</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Costos de Adquisición	1	Glb	\$ 11.919,55	\$ 11.919,55
2	Costos de Fabricación	1	Glb	\$ 264,00	\$ 264,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 2.183,55</b>

**Tabla 6.4** Costos de Adquisición y Fabricación.

#### **6.4 COSTOS DE ENSAMBLAJE**

En los Costos de Ensamblaje se considera las horas hombre que demora el grupo de hombres en ensamblar los elementos del brazo hidráulico.

<b>COSTOS DE ENSAMBLAJE</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Maestro Mecánico	8	h-h	\$ 3,50	\$ 28,00
2	Ayudante 1	8	h-h	\$ 2,00	\$ 16,00
3	Ayudante 2	8	h-h	\$ 2,00	\$ 16,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 60,00</b>

**Tabla 6.5** Costos de Ensamblaje.

### 6.5 COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

El Costo Total de Fabricación será la suma de los Costos de Ingeniería, los Costos de Adquisición y Fabricación y los Costos de Ensamblaje del brazo hidráulico.

<b>COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Costos de Ingeniería	1	Glb	\$ 1.300,00	\$ 1.300,00
2	Costos de Adquisición y Fabricación	1	Glb	\$ 12.183,55	\$ 12.183,55
3	Costos de Ensamblaje	1	Glb	\$ 60,00	\$ 60,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 13.543,55</b>

**Tabla 6.6** Costo Total de Fabricación.

El costo total estimado para fabricar la estructura de un brazo hidráulico cargador de tuberías es **13 543.55 dólares americanos**.

## BIBLIOGRAFÍA

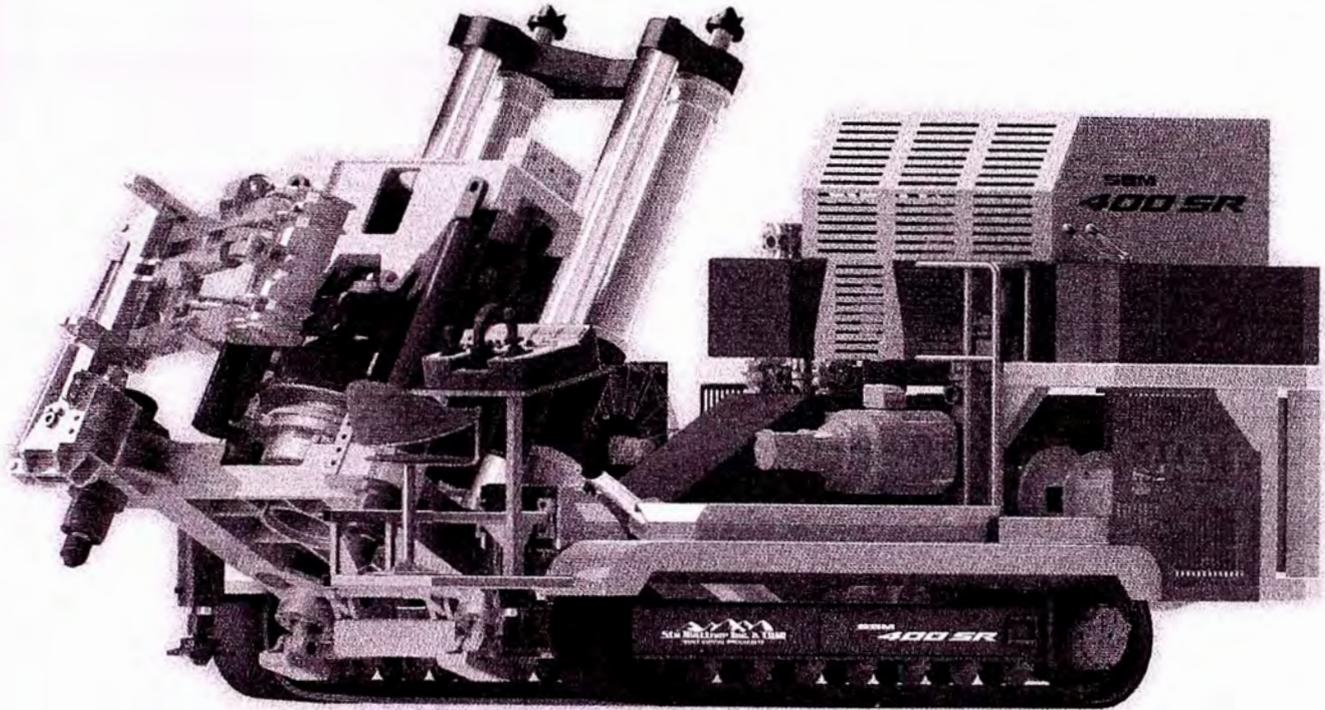
1. [http://www.estadisticas-snmpe.org.pe/EstExt\\_Principal/EstExt\\_Pri\\_Menu.aspx?x=8535123&parCodIndicador=21&parCodRubro=2](http://www.estadisticas-snmpe.org.pe/EstExt_Principal/EstExt_Pri_Menu.aspx?x=8535123&parCodIndicador=21&parCodRubro=2)
2. Memoria Anual 2012 – Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía.
3. Tumi Contratistas Mineros S.A.C. *La Perforación Raise Boring*.
4. Hieronimus, Klaus, *A Few Aspects on the Development of Structural Models*, SAE Technical Paper 770598, 1977.
5. Hibbeler, R. C. *Ingeniería Mecánica - Estática*. 12° edición. Pearson Educación, México, 2010.
6. Paredes Tarazona, Hector Francisco. *Avance de chimeneas utilizando un equipo raise borer en proyectos mineros mecanizados de rápida ejecución, comparación técnico-económica con el método convencional*. Tesis Profesional FIGMM/1990 / G-13411.
7. Manuel Alonso Yacsavilca, Alejandro. *Sistema de Perforación Raise Boring*. Tesis de Bachiller FIGMM/1987/585.
8. ANSYS Mechanical User Guide, October 2012

## **APÉNDICE**

## **Apéndice A: Información Técnica**

# SBM 400 SR

SLOT RAISE



*La Máquina Perforadora SBM 400 SR (Slot Raises) está diseñada para acelerar, mejorar y disminuir los riesgos, del proceso de producción.*

## CARACTERÍSTICAS

### SEGURIDAD

- Máquina completamente autónoma y automatizada que sólo necesita de dos hombres para su operación.
- Cuenta con un Brazo Posicionador que coloca y retira la tubería de perforación en el proceso de piloto y rimado respectivamente. Posee llavés hidráulicas superior e inferior para acoplar y desacoplar las conexiones roscadas de las tuberías. El Brazo Posicionador y las llaves hidráulicas son controladas a distancia.
- Equipada con pedal de Seguridad (*dead man Switch*), que inhabilita cualquier maniobra involuntaria del operador.

### MEDIO AMBIENTE

- Es una máquina amigable con el medio ambiente, puesto que sólo se necesita de electricidad y agua o aire para su funcionamiento.

### MÁXIMA PRODUCTIVIDAD

- Para su traslado la SBM 400 SR tiene una oruga transportadora incorporada que le permite llegar a la estación de trabajo. Una vez ahí, sus pistones hidráulicos se anclan en las paredes de la cámara ahorrando tiempo y costos en la construcción de lozas de concreto.
- Alineación y estabilización hidráulica de la Máquina.
- Unidad de Potencia y Consola de Control incorporados.
- Diseño exclusivo para trabajar en galerías pequeñas, pues cuenta con cilindros tipo *tandem*, propios de máquinas de bajo perfil como la SBM 400 SR.

**SBM****400 SR****CAPACIDADES**

		Nominal	Máx.
Rango de Capacidades (*)	Longitud	330 pies / 100 m	800 pies / 250 m
	Diámetro	4 pies / 1.2 m	7 pies / 2.1 m

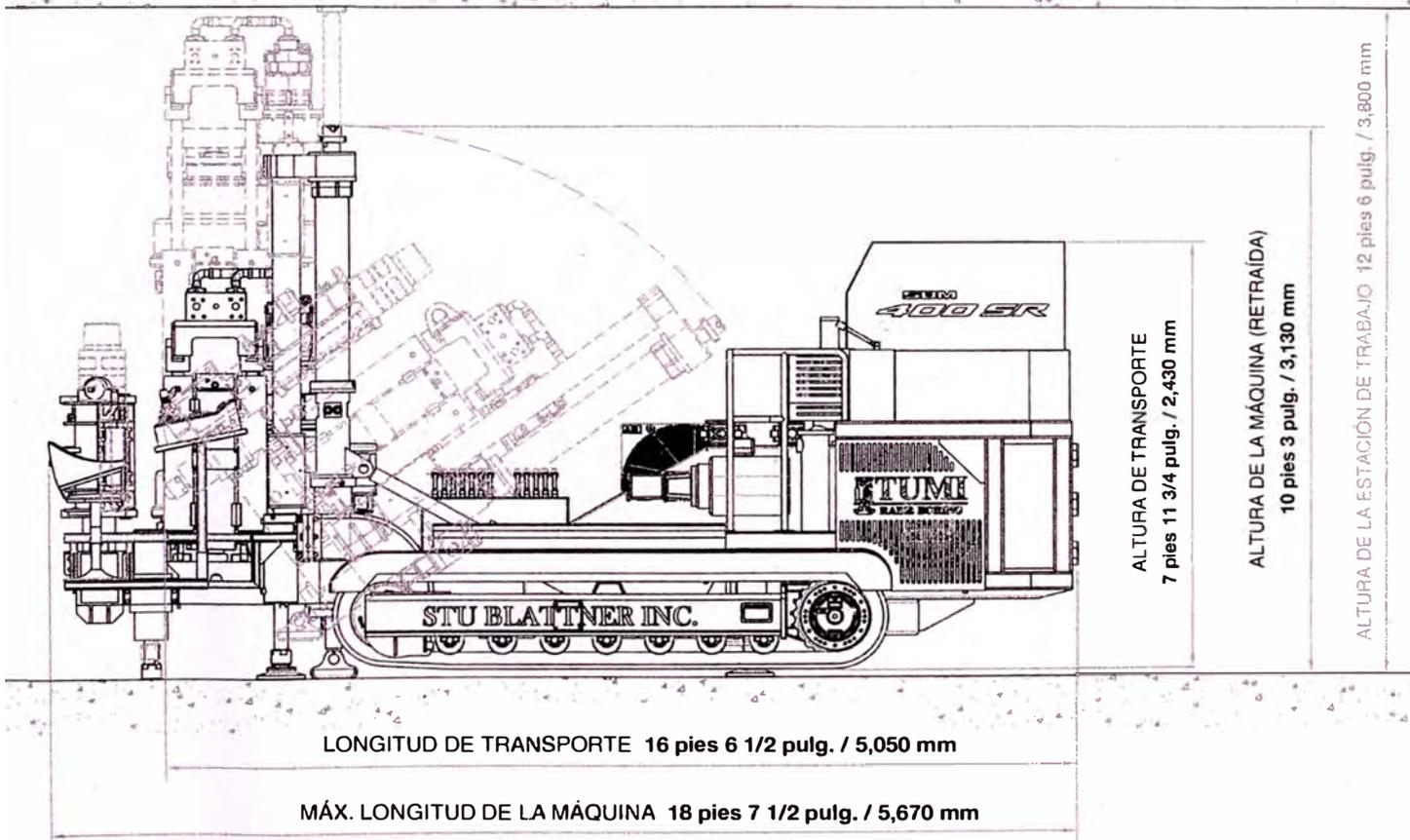
Potencia Total Instalada	200hp / 150 kW
Empuje de Escariado (**)	384,000lbf / 1,700 kN
Torque Máximo	60,000 lbf-pie / 81 kN-m
Ajuste del Ángulo de Perforación	36° - 90°

**ESPECIFICACIONES DE LA ORUGA TRANSPORTADORA**

Velocidad Máx.	4.3 pies/s / 1.3 m/s	3 mph / 4.8 km/h
Potencia de Motor Diesel @ 2500 rpm	138 hp / 103 kW	
Pendiente Máx.	15°	

**PESO Y DIMENSIONES**

Ancho de la Máquina	7 pies 7 pulg. 2,320 mm
Altura de la Máquina (retraída)	10 pies 3 pulg. 3,130 mm
Altura de la Estación de Trabajo	12 pies 6 pulg. 3,800 mm
Máx. Longitud de la Máquina	18 pies 7 1/2 pulg. 5,670 mm
Peso (***)	35,200 libras 16,000 kg
Tubería	10 pulg. x 3 pies 254 mm x 0.91 m



(\*) Altas capacidades son posibles en ciertas condiciones de roca. / (\*\*) A 5,000 psi (35 Mpa)

(\*\*\*) Peso total, incluyendo oruga transportadora.

AV. GUILLERMO DANSEY 2140 / LIMA 1 / (511) 336-7725  
 FAX (511) 336-7842 / www.tumiraiseboring.com / PERÚ

13651 WEST 43rd DRIVE / GOLDEN, CO 80403 / (303) 233-2856  
 FAX (303) 274-1634 / www.stublattner.com / USA

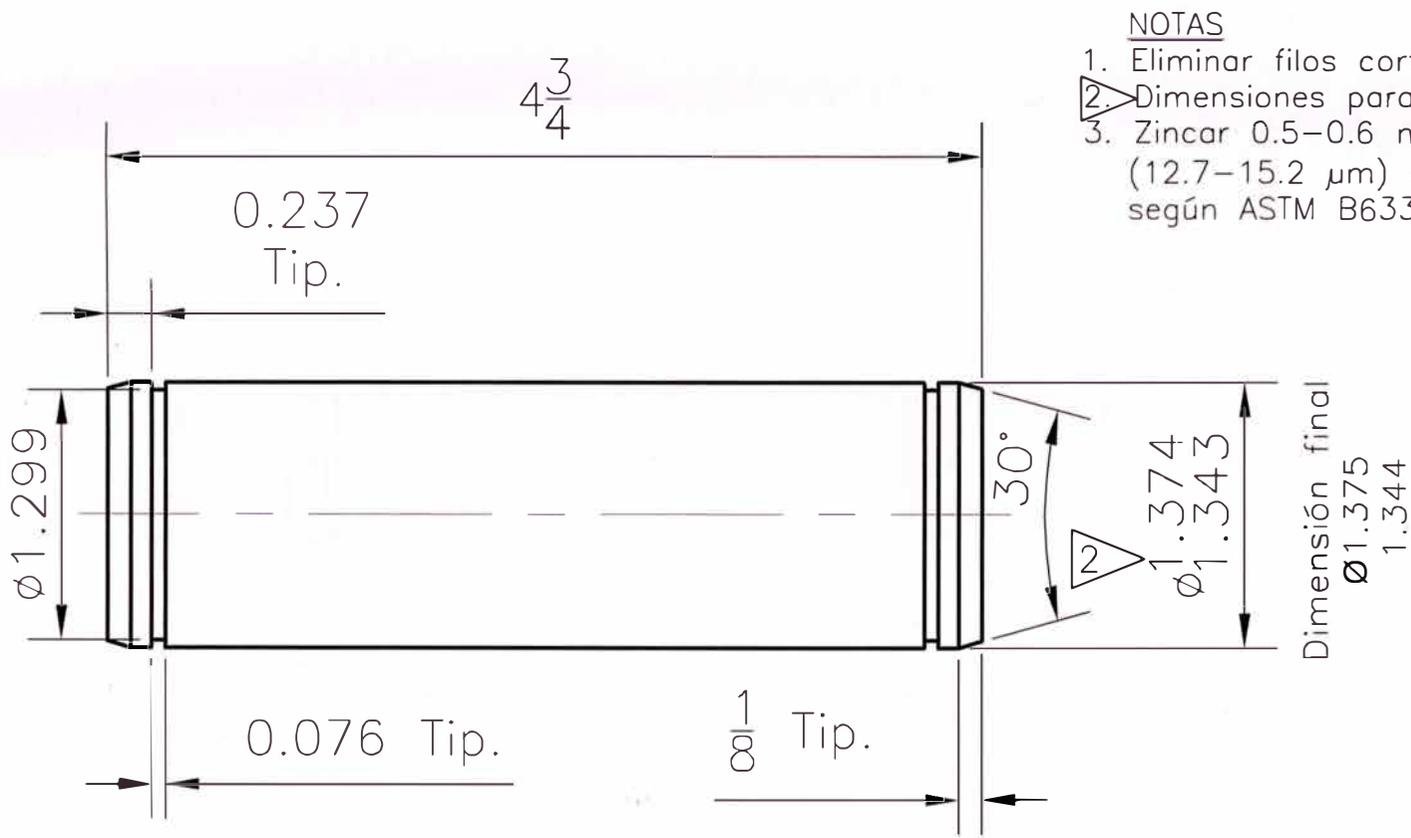
**TUMI**  
 RAISE BORING

**YOUR COMPLETE RAISE BORING SOLUTION!**

ISO 9001:2008 "Diseño y Fabricación de Máquinas  
 Perforadoras con el Sistema Raise Boring"

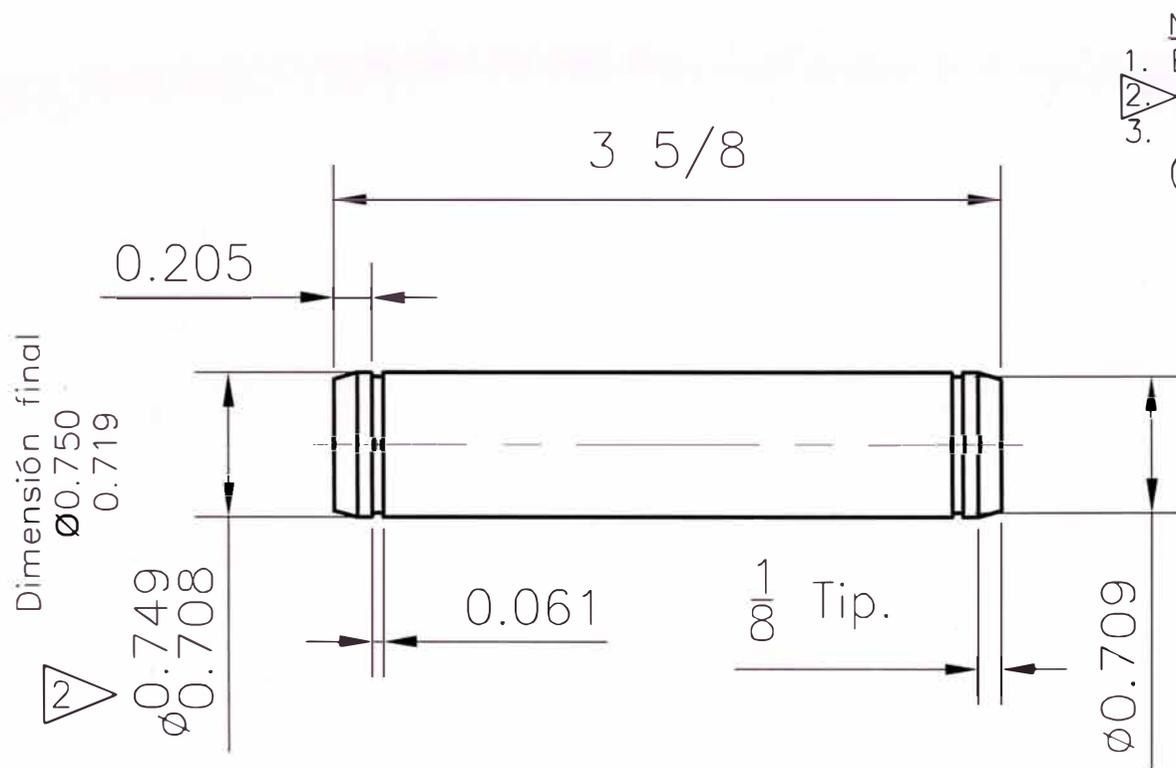


## **Apéndice B: Planos**



- NOTAS**
1. Eliminar filos cortantes.
  2. Dimensiones para maquinado.
  3. Zincar 0.5–0.6 mils (12.7–15.2  $\mu\text{m}$ ) de espesor, según ASTM B633–SC3.

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría		
Comprobado	-	-		
Formato Ansi A	Material AISI 1045	Pin. $\phi 1 \frac{3}{8} \times 4 \frac{3}{4}$		N° P001
Escala 1:1	Peso 2.0 lb			



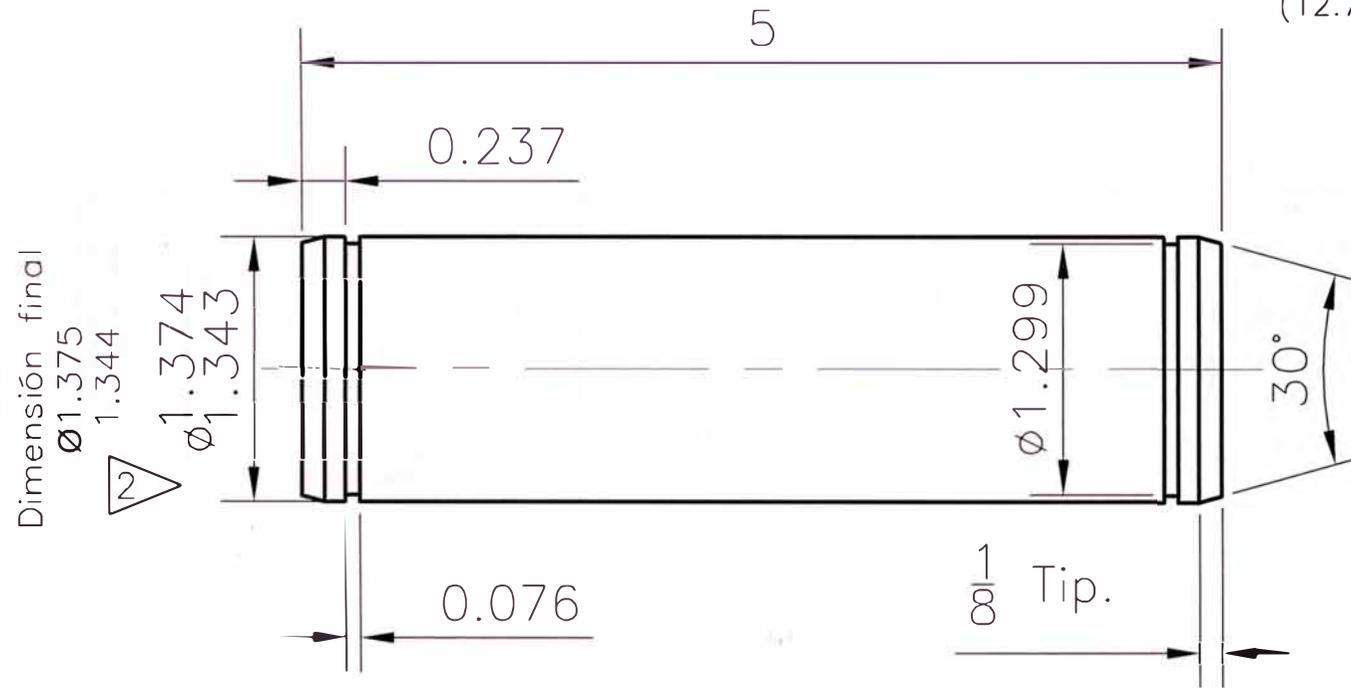
NOTAS

1. Eliminar filos cortantes.
2. Dimensiones para maquinado.
3. Zincado 0.5–0.6 mils (12.7–15.2  $\mu\text{m}$ ) de espesor.

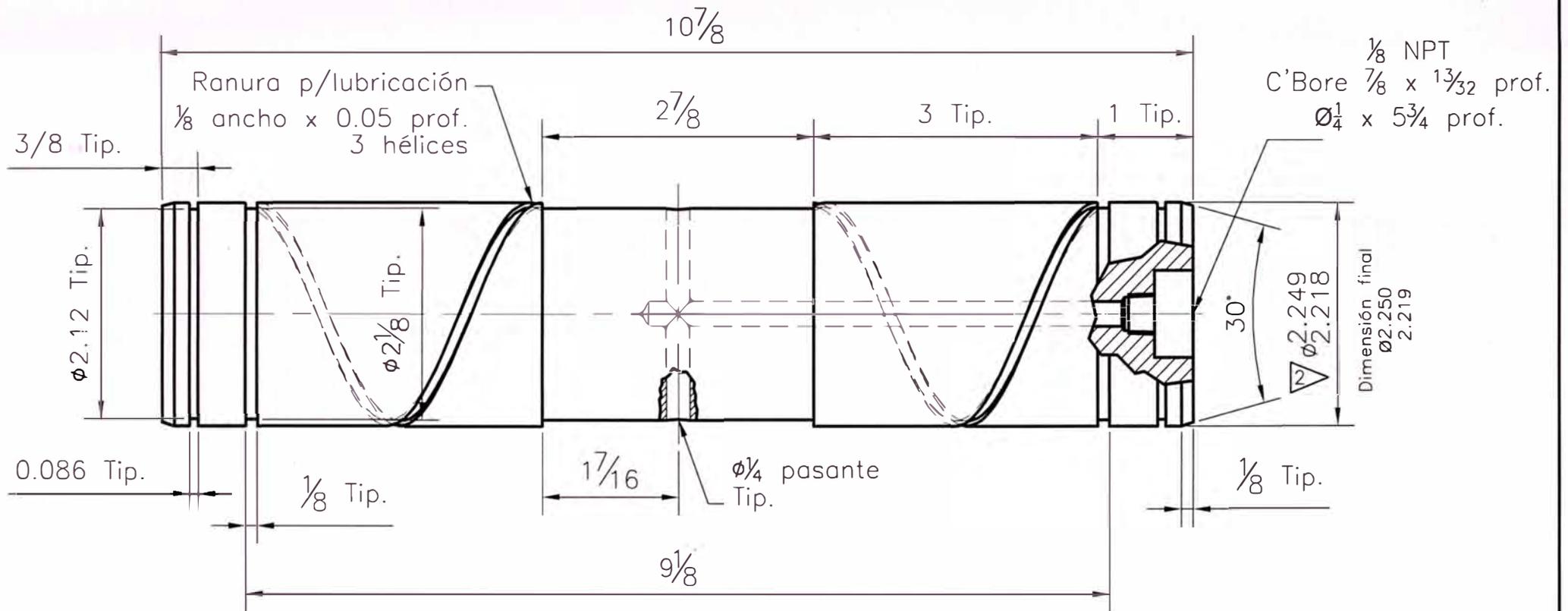
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría		
Comprobado	-	-		
Formato Ansi A	Material AISI 1045	Pin $\phi 3/4 \times 3 \frac{5}{8}$		N° P002
Escala 1:1	Peso 0.4 lb			

NOTAS

1. Eliminar fillos cortantes.
2. Dimensiones para maquinado.
3. Zincado 0.5-0.6 mils  
(12.7-15.2  $\mu\text{m}$ ) de espesor.



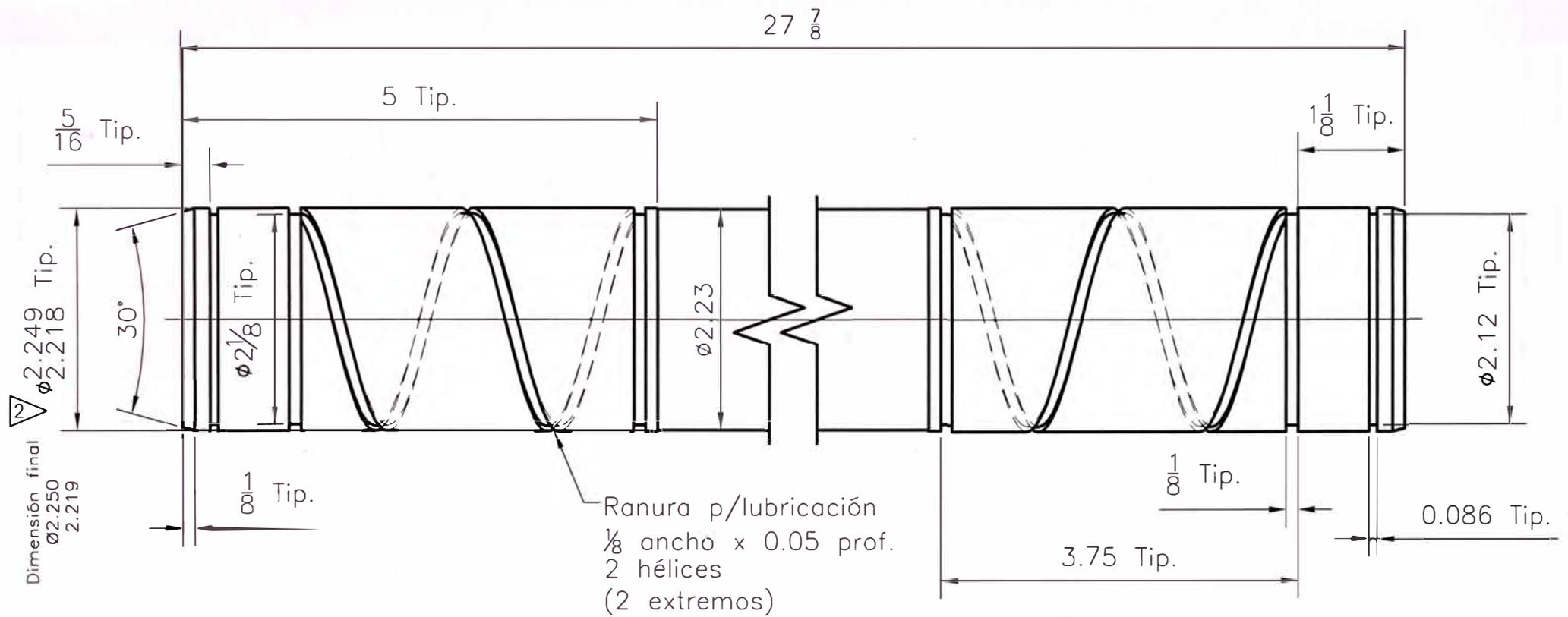
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría		
Comprobado	-	-		
Formato Ansi A	Material AISI 1045	Pin $\phi 1 \frac{3}{8} \times 5$		N° P003
Escala 1:1	Peso 2.1 lb			



NOTAS

1. Eliminar filos cortantes.
2. Dimensiones para maquinado.
3. Zincar 0.5-0.6 mils (12.7-15.2  $\mu\text{m}$ ) de espesor, según ASTM B633-SC3.

	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría	
Comprobado	-	-	
Formato Ansi A	Materiol AISI 1045	Pin $\phi 2 \frac{1}{4} \times 10 \frac{7}{8}$	
Escala 1:1	Peso 11.7 lb		
			N° P004



NOTAS

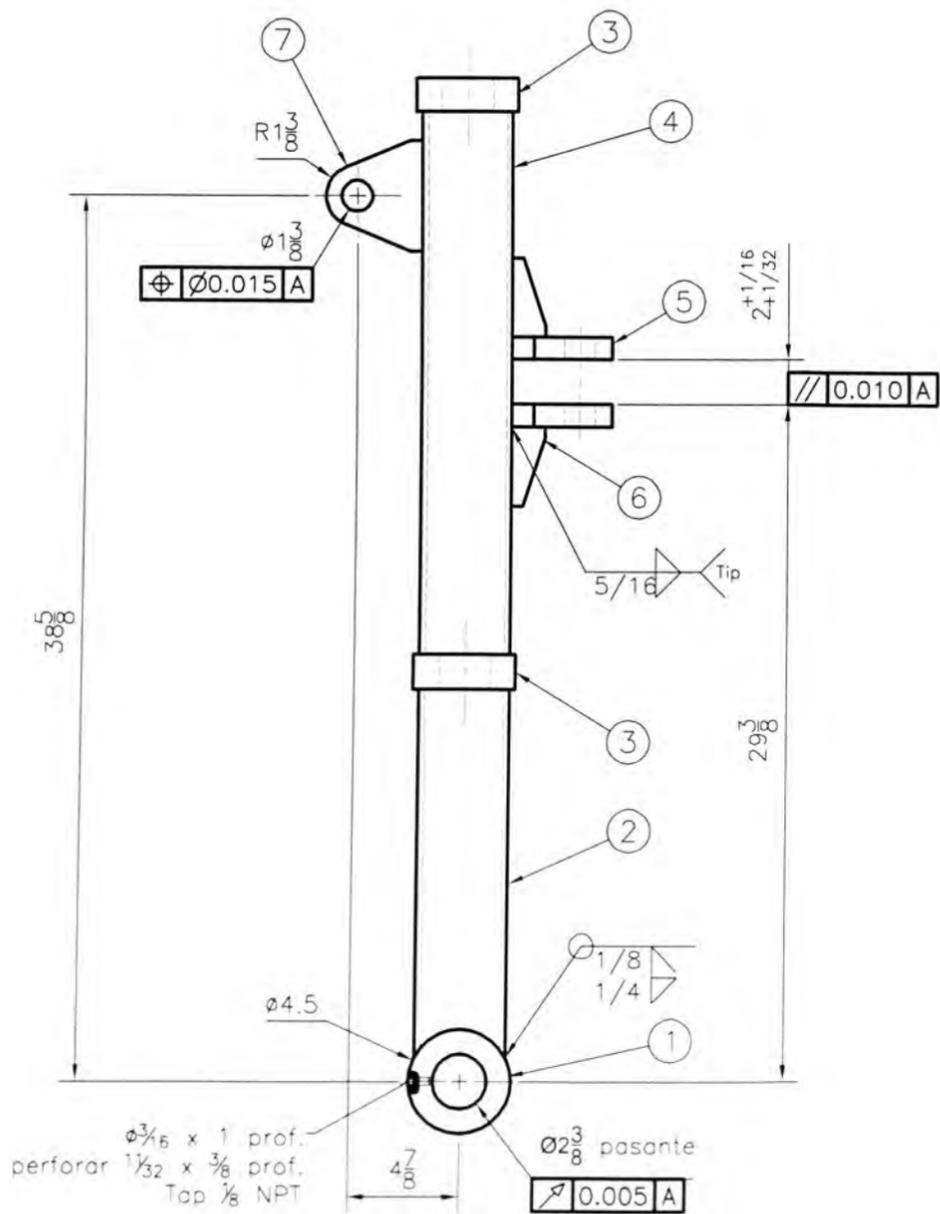
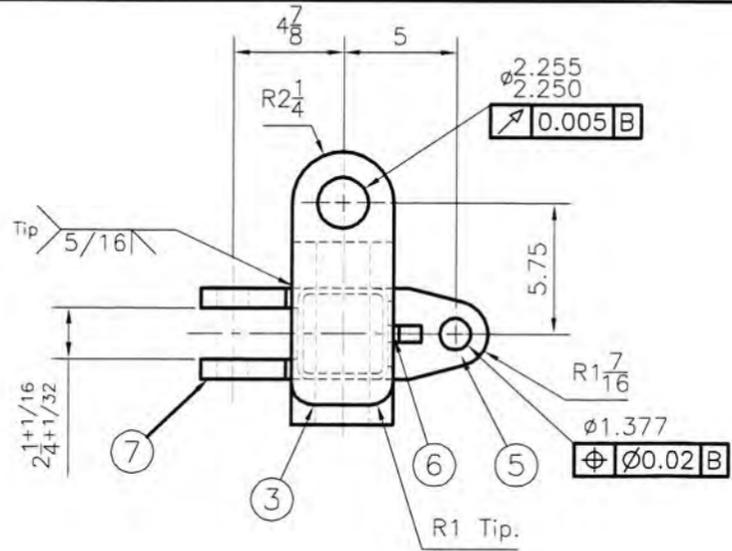
1. Eliminar filos cortantes.
2. Dimensiones para maquinado.
3. Zincado 0.5-0.6 mils (12.7-15.2  $\mu\text{m}$ ) de espesor.

	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría	
Comprobado	-	-	
Formato Ansi A	Material AISI 1045	Pin $\phi 2 \frac{1}{4} \times 27 \frac{7}{8}$	
Escala 1:1	Peso 30.9 lb		
			N° P005

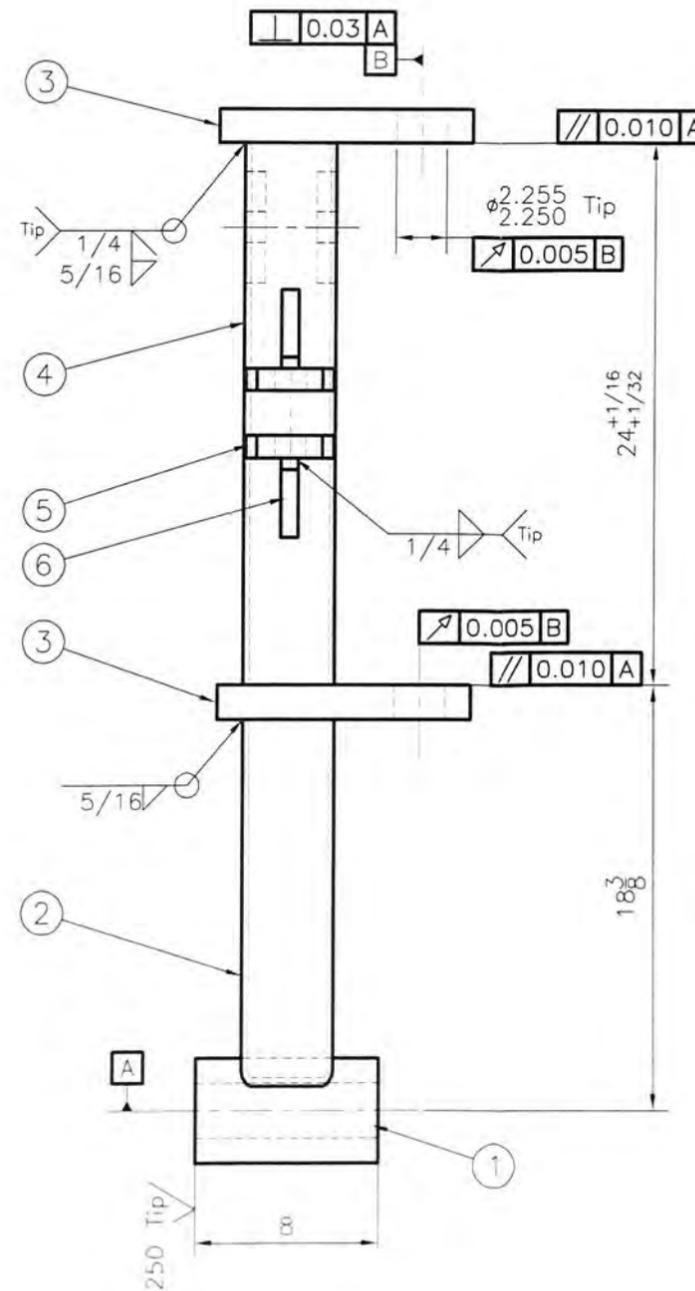


**NOTA**

1. Eliminar los filos cortantes.



$\phi 3/8 \times 1$  prof.  
perforar  $1/32 \times 3/8$  prof.  
Top  $1/8$  NPT

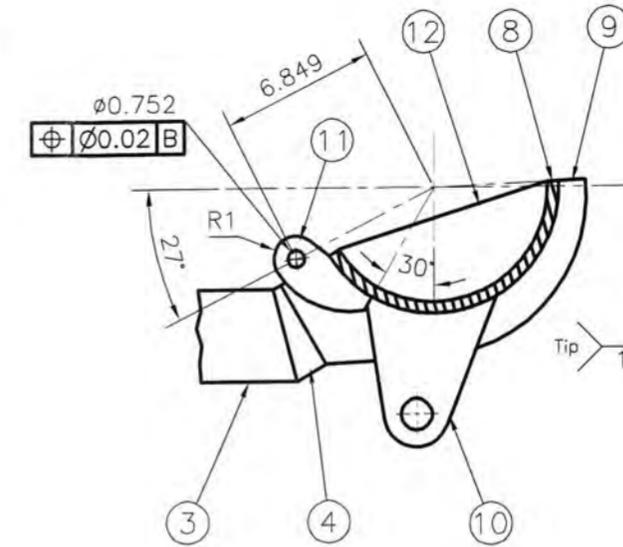
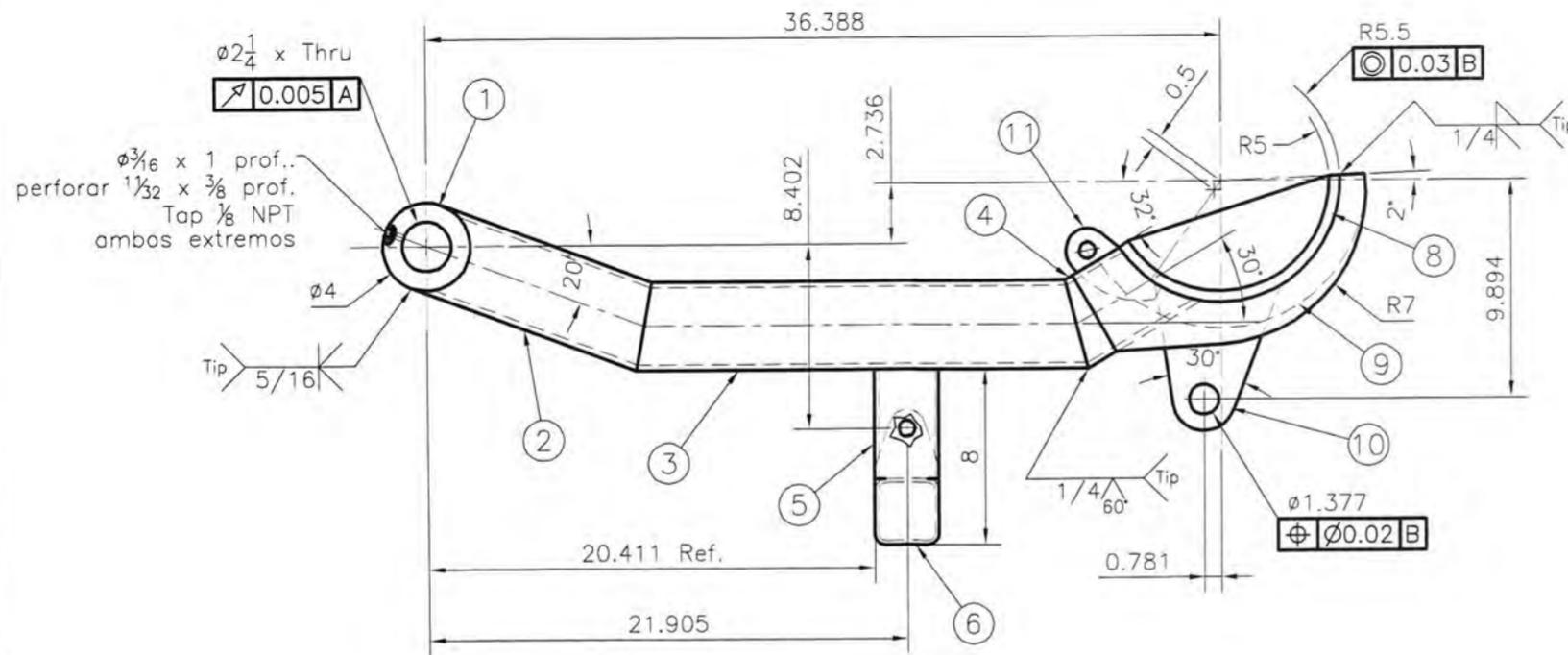


Item	Cant	Descripción	Peso
7	2	PL 7/8 x 4 1/4 x 5	6.6
6	2	PL 3/4 x 1 1/2 x 3 1/2	1.6
5	2	PL 1 x 4 x 4 7/16	7.1
4	1	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 24	24.1
3	2	PL 1/2 x 4 1/2 x 11 1/8	36.5
2	1	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 15 7/8	15.1
1	1	Bor 4 3/4 x 2 x 8 1/4	25.7

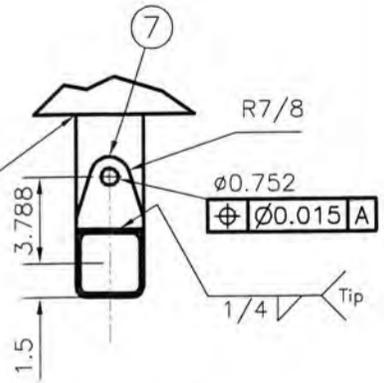
Fecha		Nombre	
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría	
Comprobado	-	-	
Formato	Material	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	
Ansi D	ASTM A36		
Esca	Peso		
1.4	116.7 lb	Brazo Pivote	N° B002

**NOTA**

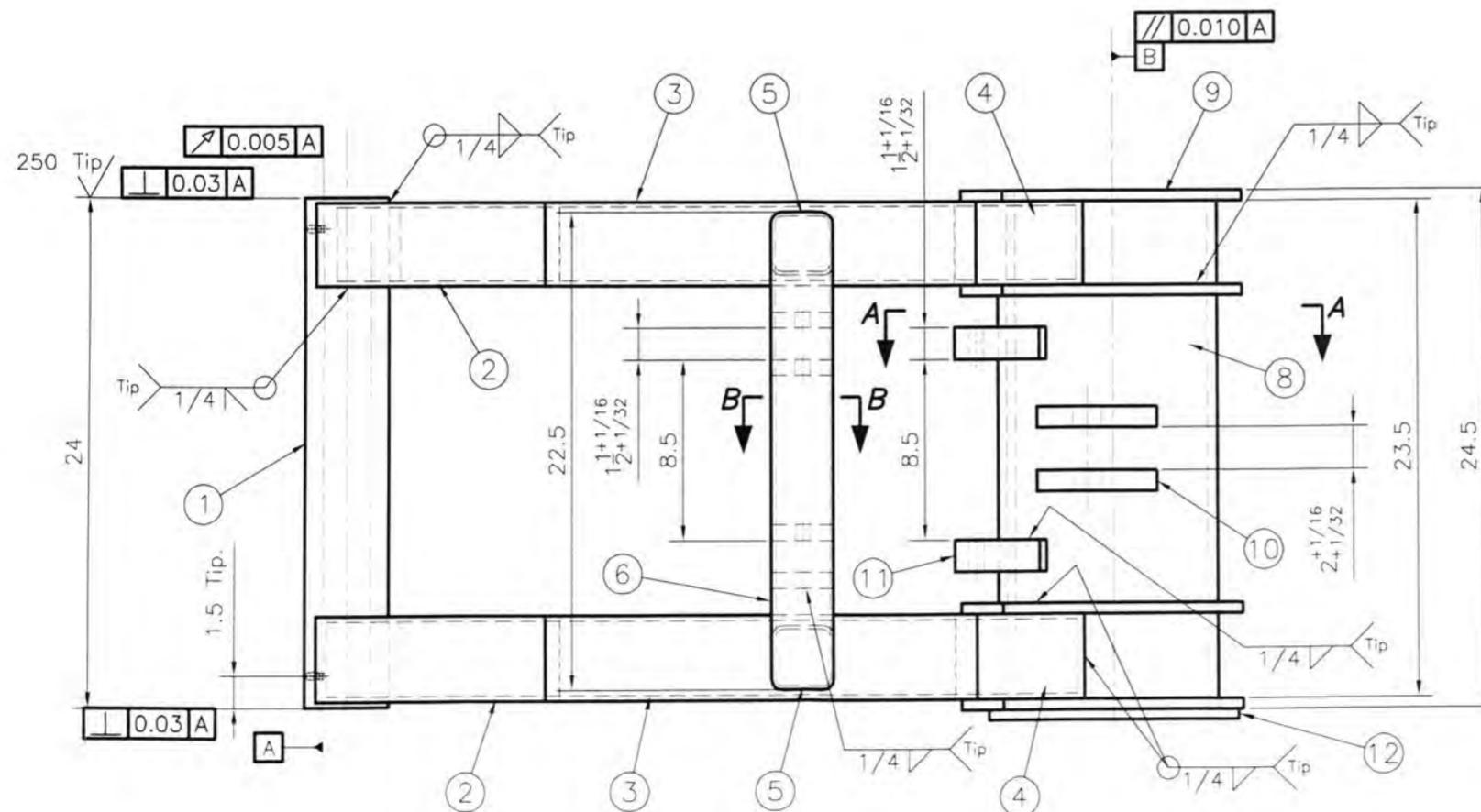
1. Eliminar filos cortantes.



**Sección A-A**



**Sección B-B**



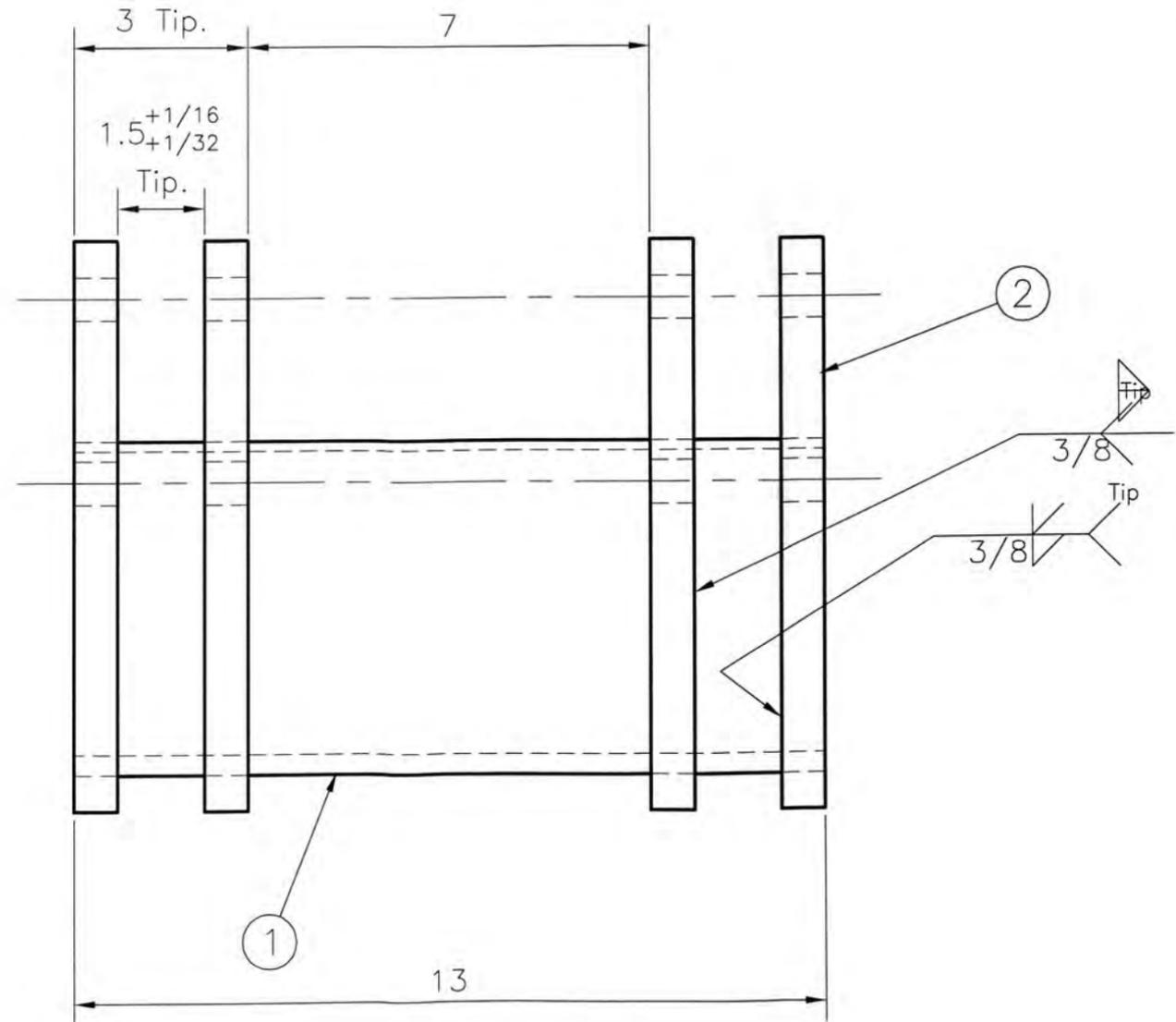
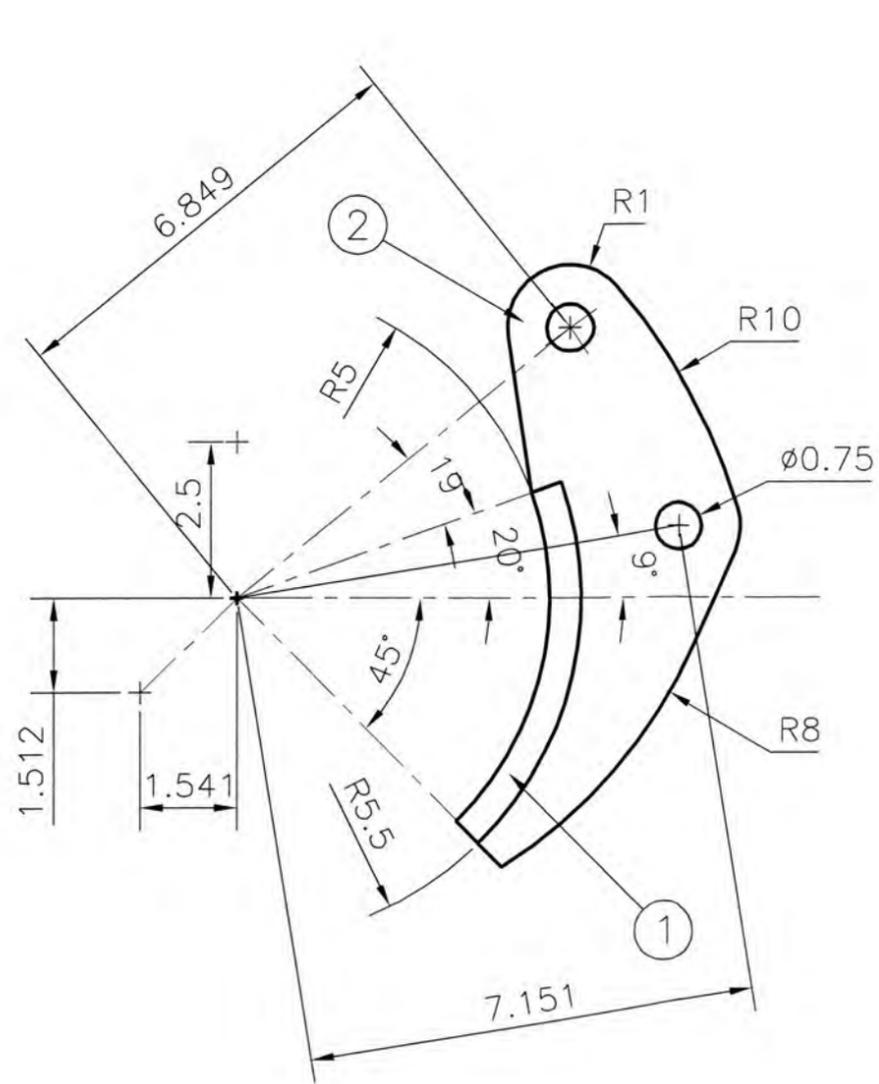
Item	Cant	Descripción	Peso
12	1	PL 1/2 x 5 1/2 x 13	7.3
11	2	PL 1 3/4 x 2 1/4 x 4 3/4	6.3
10	2	PL 1 x 5 3/4 x 7 1/4	12.1
9	4	PL 1/2 x 6 x 14 1/4	19.0
8	1	PL 1/2 x 13 3/4 x 24 1/2	47.1
7	4	PL 3/4 x 3 x 10	5.5
6	1	SQ Tube 3 x 3 x 4.5mm x 22 1/2	10.3
5	2	SQ Tube 3 x 3 x 4.5mm x 8	6.8
4	2	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 6	7.9
3	2	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 20 3/4	39.9
2	2	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 11	18.3
1	1	Bar $\phi 4$ 1/4 x 24	57.7
Item	Cant	Descripción	Peso

	Fecha	Nombre
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegria
Comprobado	-	-
Formato	Material	
Ansi D	Peso: 479.43g	
	Long: 457.61mm	
	Alto: 102.00mm	
Escola	Peso	
1:4	238.2 lb	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Brazo

N° B003



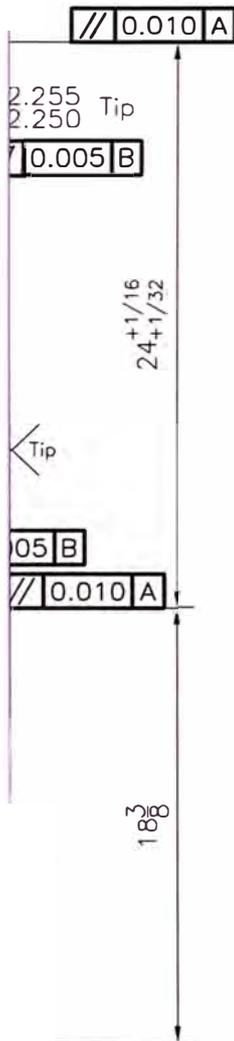
2	4	PL 3/4 x 4 1/4 x 9 3/4	15.5
1	1	PL 1/2 x 6 x 13	10.8
Item	Cant.	Descripción	Peso

	Fecha	Nombre
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría
Comprobado	-	-
Formato	Material	
Ansi C	ASTM A36	
Escala	Peso	
1:2	26.3 lb	

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	
	Grapa	N° B004

**NOTA**

1. Eliminar los fillos cortantes.



Item	ant	Descripción	Peso
7	2	PL 7/8 x 4 1/4 x 5	6.6
6	2	PL 3/4 x 1 1/2 x 3 1/2	1.6
5	2	PL 1 x 4 x 4 7/16	7.1
4	1	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 24	24.1
3	2	PL 1/2 x 4 1/2 x 11 1/8	36.5
2	1	SQ Tube 4 x 4 x 1/4 x 15 7/8	15.1
1	1	Bar 4 3/4 x 2 x 8 1/4	25.7

	Fecha	Nombre
Dibujado	03-02-14	Arturo Alegría
Comprobado	-	-
Formato	Material	
Ansi D	ASTM A36	
Escola	Peso	
1:4	116.7 lb	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Brazo Pivote

N° B002