

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO AERONAUTICO.

2. TITULO: DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN BANCO ESTATICO PARA MOTORES COHETE.

3. AUTOR: Javier José de la hoz González

4. LUGAR: Bogotá, D.C.

5. FECHA: julio de 2011

6. PALABRAS CLAVE: banco, cohete, propelente sólido, motor tipo k, sensor de presión, sensor de empuje.

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Desarrollar un banco de prueba para motores cohete en el que se puedan analizar el rendimiento del motor, comparando el diseño del motor entregado por el fabricante con el comportamiento del motor cohete en tiempo real, con un margen de seguridad alto sin poner en peligro o en riesgo la construcción del motor o la integridad del fabricante.

8. LINEAS DE INVESTIGACIÓN: El objetivo de diseñar y construir un banco de prueba estático para el ensayo de motores cohete es medir los parámetros de empuje y presión. Determinar la variación de distintos parámetros de funcionamiento del motor al variar sus condiciones operativas como la temperatura y la presión. Dichos parámetros son medidos con una celda de carga y un transductor de presión que son los encargados de la obtención de datos

9. FUENTES CONSULTADAS:

APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Diseño del motor UNG K. Misión Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. Proyecto uniandino aeroespacial PUA. APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Control de calidad propelente MSEN II. Misión Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 8 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. Proyecto uniandino aeroespacial PUA. BANCOS DE ENSAYOS para motores cohete. Disponible en internet (citado octubre 2010) http://www.aeroconsystems.com/ts_pics/ts_pics.htm. BCILTD. Instrumentos y equipos de medición. Citado (marzo 2011) website <http://www.bciltda.com/id72.html>. COHETE V2 VON BRAUN. WERNHER. Disponible en internet (citado septiembre de 2010) <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Cohete_V2> GRUPO EXPERIMENTAL DE COHETERIA: Disponible en internet (citado junio de 2011)

10. CONTENIDOS: Un BEMCO o banco estático para motores cohete está conformado por una estructura que es la encargada de darle una estabilidad a este elemento, cuenta con un sistema de fijación para los diferentes motores que se adapten al BEMCO, con una parte sensorica la cual es la encargada de medir la presión, temperatura y empuje del motor, además cuenta una parte eléctrica que es el puente entre la parte sensorica y el sistema de visualización del BEMCO.

11. METODOLOGIA: El enfoque a emplear en este trabajo de grado es analítico y experimental,

12. CONCLUSIONES: Se realizó el respectivo diseño del banco de ensayos (BEMCO), teniendo en cuenta los respectivos datos de entrada de diseño del motor cohete tipo K se estableció una sensorica adecuada y dimensiones correspondientes a la estructura del BEMCO, analizando esta a su vez en el software de análisis de esfuerzos (ANSYS). Se establece un protocolo de seguridad para el usuario al igual que ciertas recomendaciones en las cuales se plasman las condiciones de trabajo del banco de pruebas para motores cohete (BEMCO), que serán la guía principal para una prueba de motores segura y exitosa. En este banco de ensayos para motores cohete (BEMCO) Se establece un rango de operación mediante la sensorica expuesta en el documento y las dimensiones de la estructura que se encuentran relacionadas con los motores de clase K, M, H, I, J, G y todo aquel que esté dentro de estas categorías siempre y cuando no sobrepase los límites de la sensorica que son 200 kg de empuje y 2500 psi de presión.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO ESTÁTICO PARA
MOTORES COHETE**

JAVIER JOSE DE LA HOZ GONZALEZ

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ, D.C
2011**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE ENSAYO ESTATICO PARA
MOTORES COHETE**

JAVIER JOSE DE LA HOZ GONZALEZ

Trabajo de grado para optar por el grado de Ingeniero Aeronáutico

Asesor

Ingeniero Mecánico

JORGE APONTE RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AERONÁUTICA

BOGOTÁ, D.C

2011

Notas de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Asesor Metodológico

Dedicatoria

Este trabajo de tesis va dedicado a mi hermosa madre que quiero con todo mi corazón, que con su paciencia y apoyo nunca me dejo caer en desesperación.

A mis hermanos que con sus palabras de aliento me motivaban a seguir adelante hasta terminar.

Javier José de la hoz González

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a mi tutor de proyecto de grado ING JORGE APONTE RODRIGUEZ que sin sus consejos, ni ayuda, hubiese sido posible la realización de este proyecto.

Al ING. ALEJANDRO GARCIA que siempre con sus apuntes e información me ayudo a salir de apuros.

Al ING. LUIS LEON CARVAJAL por sus consejos y su ayuda con la máquina universal ensayos de la universidad san buenaventura.

A OSCAR MENDEZ Y NELSON ZUICA por darme soluciones prácticas cuando más las necesite, sus enseñanzas, su entrega y arduo trabajo en la construcción del proyecto.

Y a todos ellos que con su ayuda aportaron su granito de arena para la culminación de este proyecto.

A todos ellos GRACIAS. MUCHAS GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	19
1.5.1 Alcances	19
1.5.2 Limitaciones	19
2 .MARCO DE REFERENCIA	20
2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL	20
2.1.1 Forma, Materiales y Diseño de un BEMCO	20
2.1.2 Partes que Componen un BEMCO	21
2.1.3 Clasificación de los bancos de prueba.	22
2.1.4 El grano propelente	26
2.1.5 Medición de Empuje con un Sistema de Celda de Carga.	31
3. METODOLOGÍA	32
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	32
3.3 HIPÓTESIS	33
3.4 VARIABLES	33
3.4.1 Variables Independientes	33
3.4.2 Variables Dependientes	33
4. DESARROLLO INGENIERIL	34

4.1 TABLA 2 ESQUEMA TIPO DE BANCOS COHETE CONSTRUIDOS	34
4.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE BEMCO	38
4.3 DISEÑO BEMCO	40
4.3.1 Diseño preliminar	40
4.4 INSTRUMENTACIÓN	51
4.4.1 Celda de carga	51
4.4.2 Transductor de presión	54
4.5 SENSORES RECOMENDADOS	56
4.5.1 sensor de vibración	56
4.5.2 Sensor de temperatura	57
4.5.3 sistemas de ignición	58
5 DISEÑO DETALLADO	59
5.1 Análisis de fuerzas	60
5.1.2 Material BEMCO	67
5.2 TORNILLOS BEMCO	69
5.2.1 Rodamiento	72
5.2.2 Soportes	73
5.2.3 Tornillo rodamiento	75
5.3. SOPORTES DE MOMENTO	78
5.3.1 Soportes de momento superiores	78
5.3.2 Soportes de momento inferiores	78
5.3.3 Celda de carga	79
5.3.4 Lamina de la celda de carga	80
5.4 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN.	81
5.4.1 Unión transductor de presión	82
5.4.2 Análisis de fuerza (Ansys)	83
5.4.3 Tarjeta de adquisición de datos	89
5.5 SOFTWARE PARA LA LECTURA DE DATOS	90
5.5.1 Calibración de los instrumentos	91
6. CONSTRUCCIÓN DEL BEMCO	96
6.1 NUEVA PRUEBA A LA BASE ESTRUCTURAL.	98

6.2 CONSTRUCCIÓN TORNILLO RODAMIENTO	105
6.3.1 Construcción soportes de momento	106
6.3.2 Construcción transductor de presión	107
6.3.3 Construcción de estacas	108
6.4 ENSAYO	110
6.4.1 Motor tipo k para la prueba del BEMCO	110
6.5 PRUEBA DEL BEMCO	112
7. RECOMENDACIONES PARA USO DEL BEMCO	116
8. CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	124
GLOSARIO	¡Error! Marcador no definido.
Anexo A tabla de costos	127
Anexo B Certificado de material	128
Anexo C Planos BEMCO	129

LISTADO DE FIGURAS

	PAG
Figura 1 Banco estático tipo horizontal	22
Figura 2 Banco estático tipo vertical con tobera hacia arriba	22
Figura 3 Banco estático tipo vertical con tobera hacia abajo	23
Figura 4 Motor Tango en sus primeras pruebas, semi-enterrado	24
Figura 5 Motor Tola en su primera prueba, semi-enterrado	25
Figura 6 Geometría grano propelente	27
Figura 7 Tiempo de quemado para diferentes propelentes	28
Figura 8 Empuje vs tiempo de distintos propelentes	30
Figura 9 Presión vs tiempo de distintos propelentes	30
Figura 10 Esquema de un sistema de medición de empuje con sistema de	31
Figura 11 Motor k diseñado	40
Figura 12 Dimensiones del propelente	43
Figura13 Segmentación del disco	44
Figura14 Prueba de homogeneidad	45
Figura 15 Motor tipo H	46
Figura 16 Motor tipo I	47
Figura 17 Motor tipo G	47
Figura 18 Motor tipo K	47
Figura 19 Motor tipo J	48
Figura 20 Motor tipo L	48
Figura 21 Base estructural	49
Figura 22 planos base estructural	50
Figura 23 Celda de carga	52
Figura 24 Dimensiones celda de carga	52
Figura 25 Configuración del circuito.	53
Figura 26 Transductor de presión	55
Figura 27 sensor de vibración.	56
Figura 28 sensor de temperatura	57

Figura 29 Sistema de ignición por cableado	58
Figura 30 Sistema de ignición a control remoto	58
Figura 31 Diseño detallado	59
Figura 32 Base estructural (Ansys)	60
Figura 33 fuerza aplicada base estructural	61
Figura 34 enmallado base estructural (Ansys)	62
Figura 35 Máximum principal stress. Base estructural (Ansys)	63
Figura 36 Equivalent stress. Base estructural (Ansys)	64
Figura 37 Directional deformation. Base estructural (Ansys)	65
Figura 38 Safety factor. Base estructural (Ansys)	66
Figura 39 Dimensiones material. Base estructural	68
Figura 40 Tornillo de 5/8	69
Figura 41 Tornillo 1/2	70
Figura 42 Tornillo de 1/4	71
Figura 43 Vistas rodamiento	72
Figura 44 vistas rodamiento superior	73
Figura 45 vistas soporte inferior	74
Figura 46 Tornillo rodamiento	75
Figura 47 Soporte superior con tornillo rodamiento	77
Figura 48 Soporte inferior tornillo rodamiento	77
Figura 49 soporte de momento superior	78
Figura 50 soporte de momento inferior	78
Figura 51 Celda de carga	79
Figura 52 Lámina con celda de carga	80
Figura 53 Vistas transductor de presión	81
Figura 54 Vistas unión transductor	82
Figura 55 fuerzas aplicadas unión transductor	83
Figura 56 Análisis unión transductor (Ansys)	84
Figura 57 Equivalent Stress. Unión transductor (Ansys)	85
Figura 58 Shear stress .unión transductor (Ansys)	86
Figura 59 Normal stress (Ansys)	87

Figura 60	Safety factor .unión transductor (Ansys)	88
Figura 61	Imagen de la tarjeta	89
Figura 62	Software	90
Figura 63	universal de ensayos	91
Figura 64	Tendencia de la celda carga	92
Figura 65	Tendencia sensor nuevo	93
Figura 66	Tendencia del transductor de presión	94
Figura 67	Ensamble total del BEMCO.	95
Figura 68	Construcción base	96
Figura 69	Construcción soportes	97
Figura 70	Unión de soportes con soldadura	97
Figura 71	Prueba base estructural (Ansys)	98
Figura 72	Total deformation. Base Estructural (Ansys)	99
Figura 73	Safety factor. Base Estructural (Ansys)	100
Figura 74	Estructura final BEMCO	101
Figura 75	Discos de prueba.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 76	prueba 2000 N	103
Figura 77	prueba 3000 N	103
Figura 78	Construcción de los soportes	104
Figura 79	Ensamble tornillo rodamiento	105
Figura 80	Soportes de momento terminados	106
Figura 81	Construcción unión transductor	107
Figura 82	Estacas	108
Figura 83	Ensamble total del BEMCO	109
Figura 84	Motor tipo k	110
Figura 85	Anillos tipo O	110
Figura 86	Propelente para el motor	111
Figura 87	pruebas de ignición	112
Figura 88	Prueba final	113
Figura 89	Motor destruido	114
Figura 90	Registro de software	115

LISTADO DE TABLAS

	PAG
Tabla 1 mezcla de propelentes	29
Tabla 2 Esquema tipo de bancos cohete construidos	34
Tabla 3 Selección tipo de BEMCO	38
Tabla 4 Datos del diseño del cohete	41
Tabla 5 Resultado de tasa de quemado	44
Tabla 6 datos de entrada y salida	45
Tabla 7 Dimensiones motores cohete	46
Tabla 8 características motores cohete	48
Tabla 9 Datos técnicos celda de carga	51
Tabla 10 Datos técnicos transductor	54
Tabla 12 Datos técnicos sensor de temperatura	57
Tabla 13 Fuerzas de los motores	61
Tabla 14 Especificaciones del material BEMCO	67
Tabla 15 Características tornillo 5/8	69
Tabla 16 Características tornillo 1/2	70
Tabla 17 características tornillo 1/4	71
Tabla 18 Características rodamiento	72
5.4.3 Tarjeta de adquisición de datos	89
Tabla 19 Datos de calibración (Celda de carga)	92
Tabla 20 Datos de calibracion sensor nuevo ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 21 datos de calibración (transductor de presión)	94

LISTA DE ANEXOS

PAG

Anexo A tabla de costos	¡Error! Marcador no definido.
Anexo B Certificado de material	¡Error! Marcador no definido.
Anexo C Planos BEMCO	¡Error! Marcador no definido.
Anexo d prueba estructural	¡Error! Marcador no definido.
Anexo e certificado de calibracion	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Un banco para motores cohete (BEMCO) es un elemento donde se podrá analizar los diferentes motores en tierra. Este elemento nos permite censar con un alto grado de precisión la temperatura, presión y empuje del motor.

A medida que la industria Aeroespacial avanza surgen nuevas ideas que facilitan el desarrollo proyectos en cohería, este (BEMCO) o banco estático para motores cohete es una de ellas. Gracias a los experimentos realizados sobre estos se han podido obtener prototipos experimentales de motores cohete.

Un BEMCO o banco estático para motores cohete está conformado por una estructura que es la encargada de darle una estabilidad a este elemento, cuenta con un sistema de fijación para los diferentes motores que se adapten al BEMCO, con una parte sensorica la cual es la encargada de medir la presión, temperatura y empuje del motor, además cuenta una parte eléctrica que es el puente entre la parte sensorica y el sistema de visualización del BEMCO.

Existen dos clases de motores cohete los impulsados por combustible liquido o combustible sólido, este BEMCO va ser diseñado para trabajar con motores cohete de combustible sólido orientado en los motores tipo K.

Con su sistema de fijación graduable este BEMCO tendrá un rango de operación amplio por lo que albergara motores cohete de diferentes características y categorías.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

El objetivo de diseñar y construir un banco de prueba estático para el ensayo de motores cohete es medir los parámetros de empuje y presión. Determinar la variación de distintos parámetros de funcionamiento del motor al variar sus condiciones operativas como la temperatura y la presión. Dichos parámetros son medidos con una celda de carga y un transductor de presión que son los encargados de la obtención de datos.

Las primeras ideas para el diseño de un banco de prueba, surgen desde los primeros años del siglo pasado. Donde se desarrolla un Cohete alemán diseñado en 1935 por un equipo dirigido por Wernher von Braun^[1], y concebido como banco de pruebas de lo que sería un cohete más grande y avanzado, el A4, más conocido como V2, el primer misil balístico del mundo. Estaba equipado con un sistema de guiado consistente en tres giroscopios y dos acelerómetros. Los cuatro lanzamientos de prueba de este tipo de cohete fueron fallidos, lo cual dio lugar a que se rediseñase totalmente, dando origen al motor cohete A5.

[1] Cohete V2 VON BRAUN.WERNHER. <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Cohete_V2>

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La industria aeroespacial ha enfrentado grandes retos de ingeniería que han motivado a los ingenieros aeronáuticos y aeroespaciales a trabajar en BEMCOS para la simulación, aplicándolo en una gran lista de aplicaciones, tales como la aerodinámica de los cohetes, el rendimiento de motores cohete, con el fin de obtener una visión más compleja del comportamiento del motor y a su vez tener la capacidad de optimizar su rendimiento.

Dado que la universidad no posee un BEMCO avanzado de gran capacidad que permita el análisis de un motor cohete, al implementar el BEMCO es posible obtener resultados satisfactorios, que servirán de experiencia en futuros diseños que se realicen en la institución, de la misma manera en que lo hacen grandes empresas de construcción de aeronaves y motores. Si en un futuro se pretende diseñar un motor cohete, las simulaciones y estudios de este tipo proporcionarán resultados muy importantes para la construcción del mismo.

¿Cuáles serán los motores que podrá ser ensayados en este banco de pruebas y qué clase de datos se podrán obtener de este?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La creación de bancos de prueba estáticos de motores cohete ha sido un tema muy importante ya que con estos podemos iniciar una prueba antes de que se realice una práctica real, con esto evitamos sobrecostos y podemos medir todos los datos arrojados por medio de celdas de carga las cuales nos ayudan a corregir parámetros mostrados antes de iniciar un lanzamiento. Partiendo de los resultados que ha arrojado el ensayo Se puede medir también otros parámetros como ser temperaturas en las diversas partes del motor, vibraciones, tensiones mecánicas, etc.

En el banco de prueba se utilizara un dispositivo donde va montado el motor cohete, elementos de medición de los parámetros que se ensayan (presión, empuje, etc.) elementos de registro de los parámetros del ensayo y registro visual del ensayo.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un banco de prueba para motores cohete en el que se puedan analizar el rendimiento del motor, comparando el diseño del motor entregado por el fabricante con el comportamiento del motor cohete en tiempo real, con un margen de seguridad alto sin poner en peligro o en riesgo la construcción del motor o la integridad del fabricante.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el respectivo diseño del BEMCO.
- Establecer las condiciones de trabajo del BEMCO.
- Determinar el rango de operación del BEMCO.
- Realizar la construcción del BEMCO
- Analizar un motor cohete en pleno funcionamiento utilizando el banco de pruebas.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

Con esta investigación se aspira modelar un banco de ensayo estático para un motor cohete. Donde Se medirán los parámetros del motor por medio de una celda de carga Y un transductor de presión los cuales conectados a una computadora enviara los datos, como lo son presión en la cámara de combustión del motor y el empuje. Este banco estático para motores cohete será diseñado y construido para motores cohete a nivel aficionado en los que se encuentran motores clase K.M.H.I.J.G y todo aquel que este dentro de estas categorías siempre y cuando no sobrepase los 200 kg de empuje y los 2500 psi de presión. Con finalidad realizar una comparación de los datos de diseño entregados por el fabricante y los entregados por el banco de ensayos.

Además de la comparación de datos de fabricante y ensayo, se podrán tener una visual más clara del rendimiento a nivel de propelente de acuerdo a su geometría interna.

1.5.2 Limitaciones

En este banco de ensayos para motores cohete no se podrán operar motores que estén por fuera del rango de operación mencionado anteriormente adicional se tendrá como restricción para el diseño y construcción de este banco de ensayos la implementación de sensores de vibración y temperatura pero cada uno de ellos quedara referenciado para su futura adquisición.

2 .MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

Banco de ensayo motores cohete (BEMCO)^[2], o test stands en el idioma inglés, es un elemento donde se colocan los motores cohete para su ensayo y caracterización. Es un elemento esencial para el desarrollo de un motor cohete. Si se pone un motor sin probar en un cohete se corre el riesgo que no tenga la potencia suficiente para tener un vuelo estable o puede llegar a explotar. Es mejor que explote o falle en un banco de prueba y no montado en una rampa de lanzamiento o en pleno vuelo, por razones de seguridad

2.1.1 Forma, Materiales y Diseño de un BEMCO

La forma, materiales y diseño de un BEMCO^[2] se suele realizar en función de los materiales y habilidades que se tenga disponible. Dado que esto es variable no se define un tipo específico de construcción de BEMCO, sino que se presentan conceptos, e ideas, constructivas para que el entusiasta pueda diseñar y armar el suyo en función de sus necesidades y posibilidades.

En cuanto a complejidad se puede partir desde BEMCO elementales hasta sistemas que son típicos digitales .En los cuales se mide el empuje y la presión de trabajo en función del tiempo, también se pueden medir también otros parámetros como temperaturas en las diversas partes del motor, vibraciones, tensiones mecánicas, etc.

Se puede ensayar un motor cohete armado como para vuelo o uno que tenga la configuración interna igual al de vuelo pero con sus partes mecánicas reforzadas y con sistemas de seguridad por sobre-presión para evitar su rotura.

^{2]} Parczewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>

2.1.2 Partes que Componen un BEMCO

Las partes que integran un sistema BEMCO de uso típico en la C.E.A. [3] son:

- un dispositivo donde va montado el motor cohete.
- Elementos de medición de los parámetros que se ensayan: presión empuje, etc.
- Elementos de registro de los parámetros del ensayo y registro visual del ensayo.
- Un sitio físico donde se realiza el ensayo y que tenga los necesarios requisitos de seguridad.

Condiciones Particulares que Debe Tener un BEMCO

Cuando diseñemos el BEMCO tenemos en cuenta [2]:

- El BEMCO debe ser rígido y fuerte para soportar las fuerzas que desarrolla el motor cohete.
- El BEMCO debe tener un área delimitada a su alrededor como zona de fuego a la que ninguna persona podrá acercarse mientras esté en funcionamiento.
- Las partes delicadas deben estar protegidas en caso de explosión del motor cohete. La calibración debe ser fácil de realizar.
- Para un mayor análisis de la prueba del motor se puede utilizar video grabadoras para repetir una y otra vez.

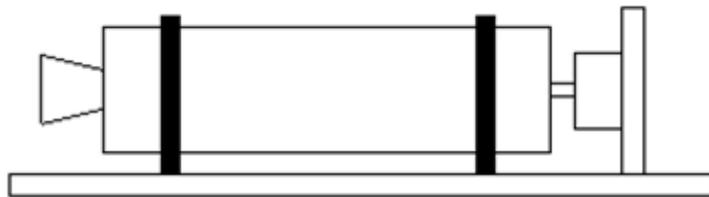
[2] Parczewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>

2.1.3 Clasificación de los bancos de prueba.

Una forma de clasificar los BEMCO es por la forma de ubicar el motor cohete, que puede ser:

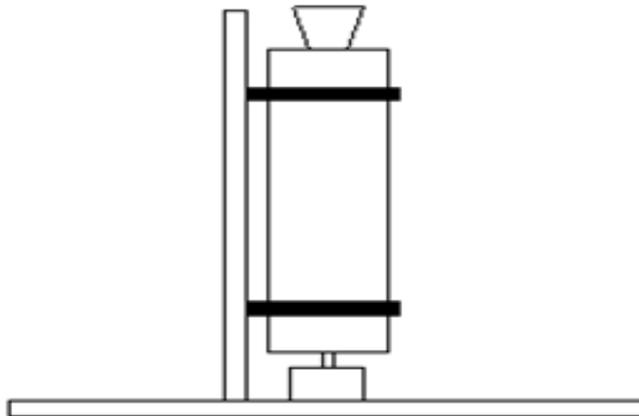
- Motor cohete en posición horizontal, ver figura nº 1.
- Motor cohete en posición vertical, con la tobera hacia arriba, ver figura nº 2.
- Motor cohete en posición vertical, con la tobera hacia abajo, ver figura nº 3.

Figura 1 Banco estático tipo horizontal



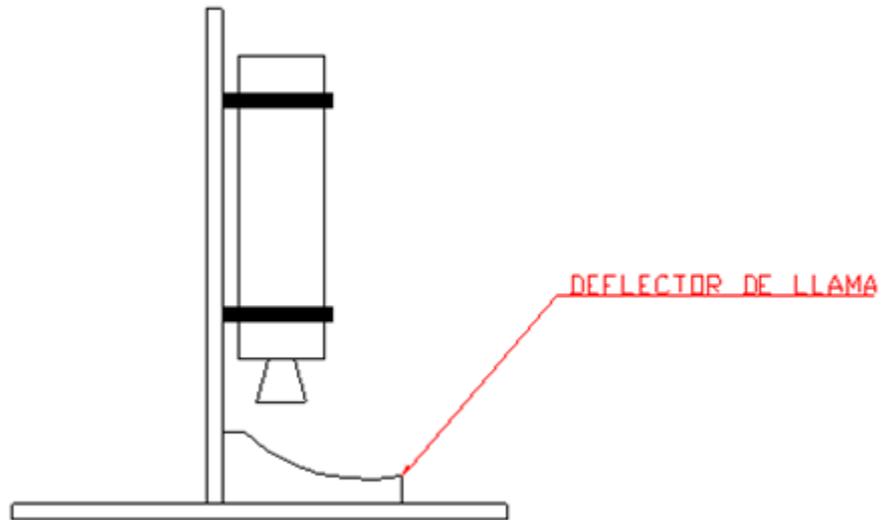
Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

Figura 2 Banco estático tipo vertical con tobera hacia arriba



Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

Figura 3 Banco estático tipo vertical con tobera hacia abajo



Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

- En la forma vertical [2] con la tobera para arriba la fuerza que ejerce el motor es transferida contra el suelo. En los otros casos se debe prever una masa o un apoyo rígido para soportar la fuerza que ejerce el motor cohete. En el caso de ubicación vertical con la tobera para abajo se debe prever un deflector de la llama para que la misma no impacte en el suelo.

[2] Parzewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>

Banco de Prueba Estática elemental.

La forma mas simple de un BEMCO[2] es poner el motor sostenido de alguna forma y realizar su encendido para ver si funciona o no, conocer su velocidad de combustión, evaluar la efectividad de los sellos. Se lo puede poner semi-enterrado o sujeto a alguna base sencilla. Decir que esta es una de las mejores maneras de analizar un motor cohete es un poco pretencioso pero formalmente no deja de serlo a pesar de tener poca o ninguna elaboración. Conviene filmar su funcionamiento y así se puede obtener más información útil.

Figura 4 Motor Tango en sus primeras pruebas, semi-enterrado



Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

[2] Parzewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>

Figura 5 Motor Tola en su primera prueba, semi-enterrado



Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

- **Caculo de la velocidad de combustión.**

Conociendo el espesor del propulsante [2] y teniendo el tiempo de combustión se calcula la velocidad de combustión.

$$\text{---} \quad [1]$$

Donde:

- r: velocidad de combustión promedio, mm/s.
- web: espesor propulsante, mm.
- t: tiempo de combustión, segundos.

[2] Parczewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>

- **Calculo del valor del empuje (valor estimado).**

[2]

Donde:

- E: empuje Newton.
- P_c : presión de la cámara de combustión, Mpa.
- A_t : área de la garganta de la tobera, m².
- C_F : coeficiente de empuje, adimensional.

2.1.4 El grano propelente

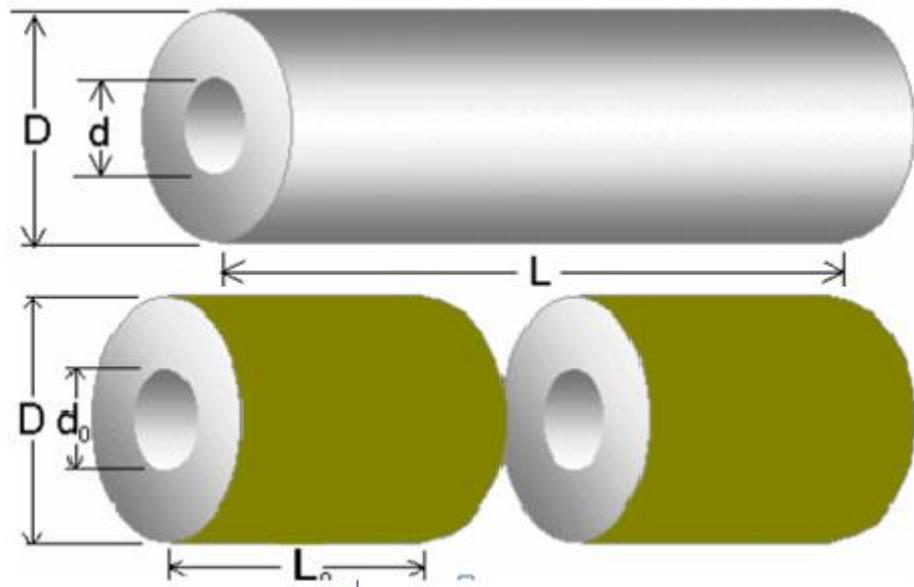
El propelente [3] utilizado en los motores cohete amateur experimentales puede ser una composición simple, siendo la combinación de dos constituyentes principales - combustible y oxidante. Tal es el caso de los propelentes con bases de "azúcar". Los propelentes experimentales compuestos, por otro lado, pueden tener una composición un poco más

compleja y contener oxidantes de varios tipos, polímeros unificadores, y hasta metales como el aluminio o el magnesio. Agentes de secado, estabilizadores de fase, y solventes pueden ser otros de los aditivos incluidos en pequeños porcentajes.

Para muchos propelentes, los aditivos controlan la velocidad de quemado, Sin importar su composición, todos los propelentes son procesados en una forma geométrica similar.

[3]NAKKA. RICHARD.Experimental rocketry site[online]solid propellant rocket motor desing and testing(citado en junio de 2011) Disponible en internet en español: <www.nakka-rocketry.net> <http://www.nakka-rocketry.net/articles/teoria_de_los_motores_cohete.pdf>

Figura 6 Geometría grano propelente



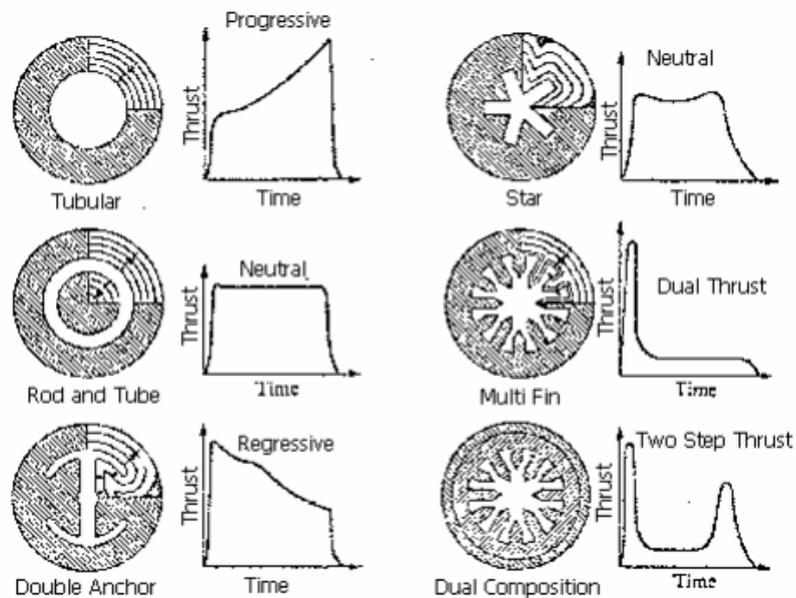
Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE htm // [www.nakka-rocketry.net/articles/teoria de los motores.pdf](http://www.nakka-rocketry.net/articles/teoria%20de%20los%20motores.pdf) citado (junio de 2011)

Como regla, los granos propelentes [3] son de forma cilíndrica para encajar perfectamente dentro del motor cohete con el fin de maximizar la eficiencia volumétrica. El grano puede consistir de un solo segmento cilíndrico o puede consistir de varios segmentos. Generalmente, un núcleo central se extiende a través de todo el grano, para acrecentar el área de superficie del propelente expuesta a la combustión.

[3]NAKKA. RICHARD.Experimental rocketry site[online]solid propellant rocket motor desing and testing(citado en junio de 2011) Disponible en internet en español: <www.nakka-rocketry.net> <http://www.nakka-rocketry.net/articles/teoria_de_los_motores_cohete.pdf>

El núcleo[3] puede tener una amplia variedad de formas como ser circular, estrella, cruz, hueso etc. de cualquier manera, para los motores amateur, la forma más comúnmente usada es la circular. La forma del núcleo tiene una profunda influencia en la forma del perfil empuje-tiempo

Figura 7 Tiempo de quemado para diferentes propelentes



Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE htm // www.nakka-rocketry.net/articles/teoria de los motores.pdf citado (junio de 2011)

Como se aprecia en la figura 7 para cada configuración del grano propelente encontramos una variación de empuje con respecto al tiempo, siendo este clave para analizar el rendimiento del motor cohete que va a ser analizado en el banco de ensayo para motores.

[3] NAKKA, RICHARD. Experimental rocketry site [online] solid propellant rocket motor desing and testing (citado en junio de 2011) Disponible en internet en español: <www.nakka-rocketry.net> <http://www.nakka-rocketry.net/articles/teoria_de_los_motores_cohete.pdf>

Mezclas de los propelentes

Para el ensayo de motores a nivel aficionado se pueden encontrar diferentes composiciones en los propelentes sólidos como:

Tabla 1 mezcla de propelentes

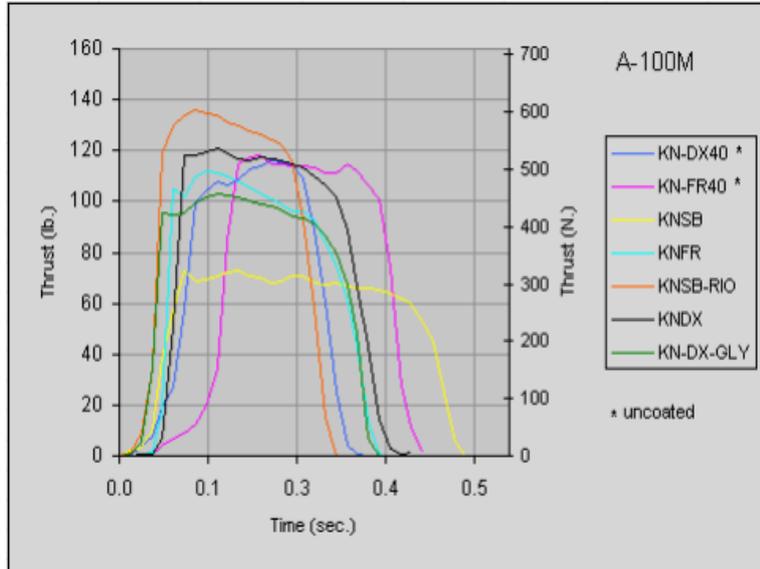
Propelente	Composición
KN-FR40	Nitrato de potasio 60% KN, y 40% fructuosa
KNSB-RO	Nitrato de potasio 60% KN, 35% sorbitol, 0.5 % oxidante hierro rojo
KNFR	Nitrato de potasio 65% KN, 35% fructuosa
KNSB	Nitrato de potasio 65% KN, 35% sorbitol
KNDX4C	Nitrato de potasio 60% KN, 40% Dextrosa
KNDX	Nitrato de potasio 65% KN, 35% Dextrosa

Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE

<http://www.esnull.net/spanishdocs/rnakka/Motor%20A100M.pdf> citado (junio de 2011)

Cada una de estas mezclas de propelentes tiene una velocidad de quemado y un empuje diferente con respecto al tiempo al igual que una diferencia de presione en la cámara de combustión.

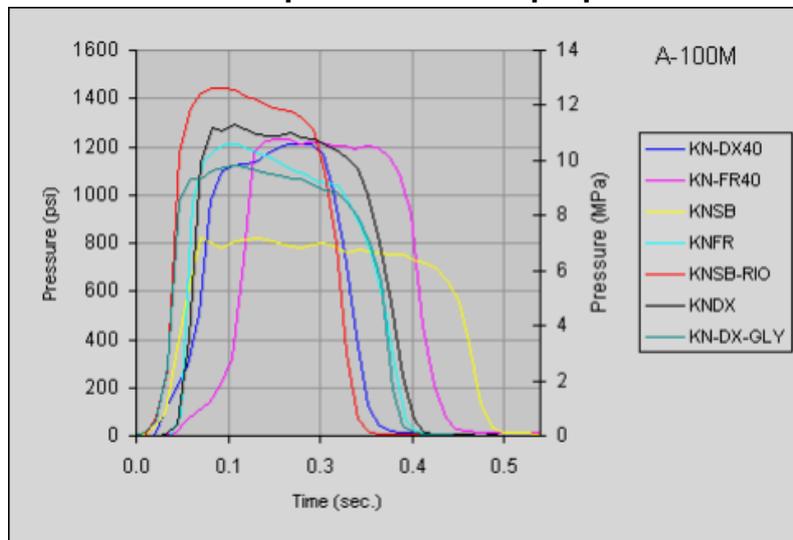
Figura 8 Empuje vs tiempo de distintos propelentes



Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE

<http://www.esnull.net/spanishdocs/rnakka/Motor%20A100M.pdf> citado (junio de 2011)

Figura 9 Presión vs tiempo de distintos propelentes



Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE

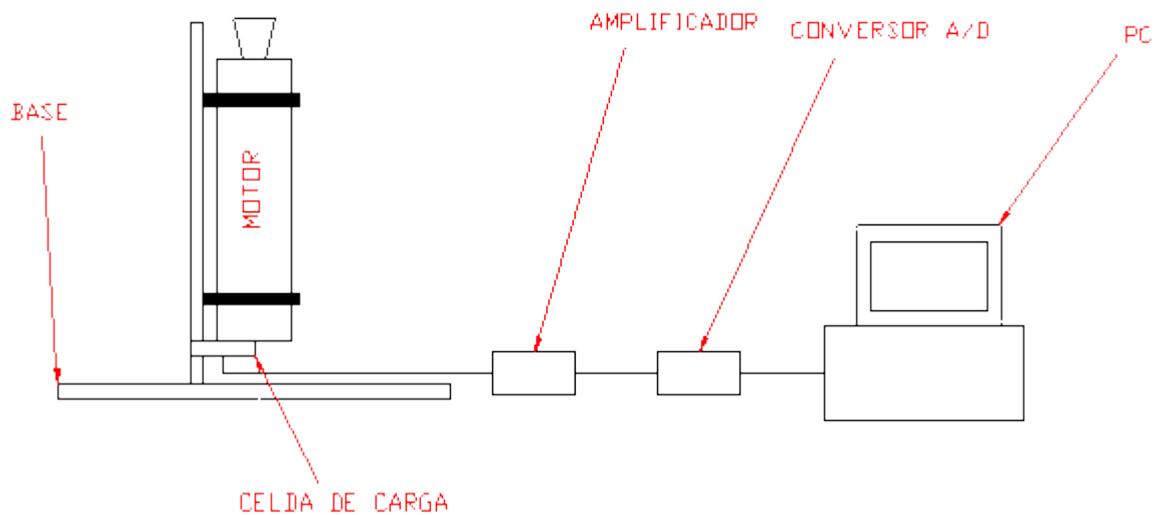
<http://www.esnull.net/spanishdocs/rnakka/Motor%20A100M.pdf> citado (junio de 2011)

2.1.5 Medición de Empuje con un Sistema de Celda de Carga.

El sistema está integrado por una celda de carga, un amplificador de la celda de carga puede ser utilizado en caso de utilizar un celda pequeña, un conversor analógico- digital, un sistema que almacena la información (que puede ser un data-logger o una notebook) y un sistema de calibración. El tema de la calibración conviene hacerla antes de cada ensayo para evitar problemas de errores por variaciones de temperatura, etc.

Es el sistema que se impuso en los bancos de prueba profesionales y es muy usado en la cohetería experimental o aficionada

Figura 10 Esquema de un sistema de medición de empuje con sistema de Celda de carga



Fuente: JUAN PARCZEWSKIS Amateur Experimental Rocketry WEB Site,
<http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm> online (junio 2003) (citado-septiembre de 2010)

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque a emplear en este trabajo de grado es analítico y experimental, ya que se pretende trabajar bajo modelos matemáticos. Hasta este punto se justifica, y se considera viable el trabajo aplicando algún otro método de investigación científica. Esta exploración puede ser retroalimentada en un futuro por medio de la experimentación. Básicamente lo que queremos es analizar un BEMCO Desarrollando los cálculos pertinentes del motor cohete para determinar las variaciones entre el diseño y los resultados obtenidos en el ensayo, Determinar las condiciones de entrada y salida del motor cohete y compáralas con los resultados obtenidos en el BEMCO

3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La primera técnica de recolección de información para desarrollar el proyecto, será por medio de archivos, en los cuales ya es posible encontrar información más detallada acerca de BEMCO y las diferentes formas de construirlo.

Se realizara su respectivo moldeamiento en los software implementados por la universidad para la correcta construcción del banco estático.

3.3 HIPÓTESIS

Este banco de pruebas contara con un rango de operación, en el cual quedaran plasmados los motores cohete a nivel aficionado, entre estos motores tenemos, los motores clase I,J,G,H,K,M.

Los datos obtenidos dependerán del tipo de motor utilizado ,configuración de propelente y la sensorica utilizada, en este caso serán utilizados un sensor de fuerza o llamada también celda de carga y un transductor de presión que censaran el empuje obtenido del motor cohete y la presión en la cámara de combustión.

Estos datos servirán como soporte a los datos de diseño del motor o futuras correcciones para mejoras en el motor.

3.4 VARIABLES

3.4.1 Variables Independientes

Se definirá como variable independiente el tipo de motor utilizado en el banco estático para motores cohete al igual que la geometría y combustible utilizado, se pondrá la pauta para el resultado obtenido, ya que dependiendo de este, el banco de pruebas arrojará diferentes resultados.

3.4.2 Variables Dependientes

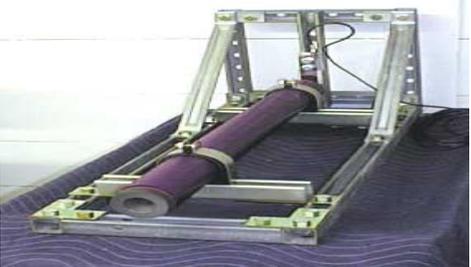
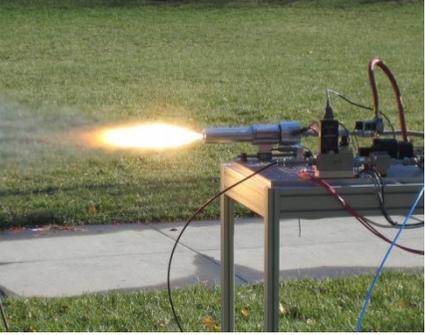
Las variables dependientes que determinan el resultado de la investigación o entran en las mediciones son:

El empuje del motor: que se mide mediante un instrumento llamado celda de carga

La presión dentro de la cámara de combustión que será censada por medio de un transductor de presión

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 Tabla 2 Esquema tipo de bancos cohete contruidos

TIPO DE BEMCO	DESCRIPCION	VARIABLES Y FABRICANTE
 <ul style="list-style-type: none"> Tipo horizontal y vertical 	<ul style="list-style-type: none"> Esta es la forma más fácil y más simple banco de pruebas que nos ofrecen para motores grandes. Relativamente ligero pero robusto, este soporte es portátil y puede reparar debido a su construcción modular. Generalmente se usa en motores de 1 "a 4" de diámetro hasta aproximadamente 1.500 libras de empuje 	<ul style="list-style-type: none"> Presión Empuje Aerocon systems <p>FUENTE:</p>
 <ul style="list-style-type: none"> Tipo horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> Uno de los componentes principales de este curso fue el proyecto motor en el cual cada equipo de estudiantes diseño, construyo y probo el motor cohete Las Cámaras de empuje fueron fabricados en aluminio y los inyectores fueron fabricados desde grafito. combustible sólido compuesto por granos HTPB y HTPB / Al fueron producidos por cada equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> Empuje Presión Rowan university college of engineering



- Vertical con tobera hacia Arriba

- Banco de pruebas se utiliza para probar nuestros AP / formulaciones de poliuretano.
- Se lleva a cabo de forma vertical un tubo incrustado en el BEMCO
- Utiliza un transductor de presión de la presión de la cámara medida y que a su vez es utilizado para el cálculo de empuje del motor.

- Presión
- Calculo del empuje con la obtención del empuje.

• ***Matt Graham***



- Tipo vertical con tobera hacia arriba

- Para motores del tipo Tango se modifica para usar con motor tipo Tola.
- La configuración es motor vertical, tobera para "arriba". En el caso que presento como ejemplo se ve el BEMCO para un motor Tango,
- Consta de una base en "H" con una columna para soporte y guía del motor

- Solo mide presión
- Se puede calcular el empuje

• ***Juan Parczewski***

TIPO DE BEMCO	DESCRIPCION	VARIABLES Y FABRICANTE
 <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="143 555 698 584">• Tipo vertical con tobera hacia arriba 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="795 261 1400 475">• Además de diversos soportes de motor y de los titulares, fue diseñado principalmente para el propósito de carburante y las pruebas de cohetes de combustión en condiciones de cámara realista. <li data-bbox="795 488 1400 663">• El sistema fue diseñado para trabajar en tándem con un ordenador personal que actúa como gestor de la crisis, un registrador de datos, y proporcionar la interfaz de usuario amigable 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1476 363 1632 434">• Presión <li data-bbox="1476 402 1632 434">• Empuje <li data-bbox="1476 507 1780 539">• Chris Krstanovic
 <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="143 1155 698 1184">• Tipo vertical con tobera hacia abajo 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="795 874 1377 976">• Banco de motor cohete de tobera hacia abajo adaptado a la la parte trasera de una camioneta. <li data-bbox="795 1024 1377 1094">• Utiliza celda de carga, celda de temperatura y transductor de presión. <li data-bbox="795 1142 1332 1212">• Adaptable para diferentes tipos de motores cohete. 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1476 874 1632 906">• Presión <li data-bbox="1476 912 1709 944">• Temperatura <li data-bbox="1476 951 1632 983">• Empuje <li data-bbox="1476 1059 1682 1091">• Joe Mullin



- Tipo vertical con tobera hacia arriba

- Un dispositivo de prueba estática nuevo ha sido diseñado, construido y utilizado para mi última serie de ensayos estáticos de la (clase K) motor de combustible sólido.
- Este banco de pruebas fue diseñado para probar los motores con un empuje máximo de hasta 5.000 Newtons (1100 lbs.).

- Empuje
- Presión
- **Richard nakka**



- Tipo horizontal

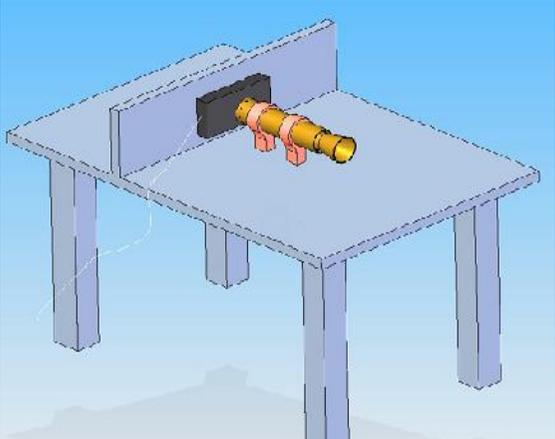
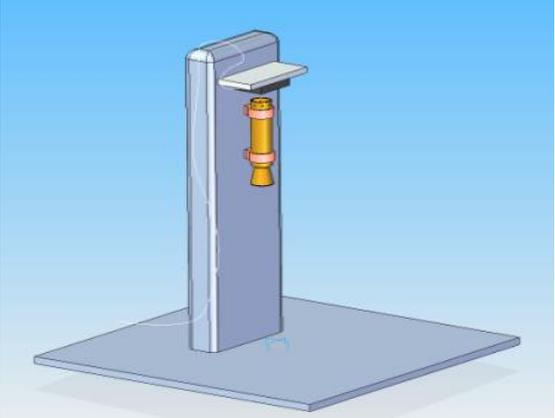
- Banco de pruebas de alta gama utilizado para probar motores cohete de alto alcance.
- Estudia detalladamente todo el comportamiento del motor durante el tiempo de quemado
- Uno de los mas grades test stands del mundo.

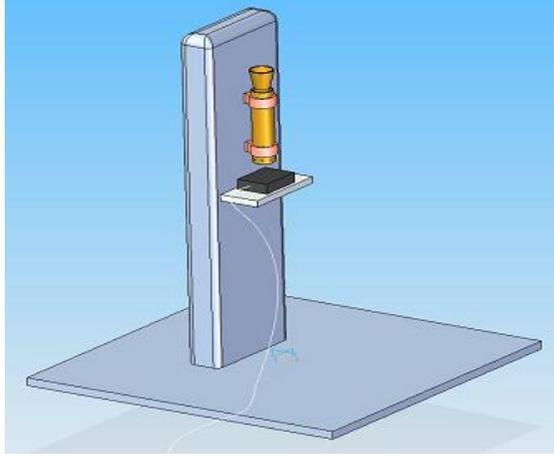
- Presión
- Temperatura
- Emupuje
- Tiempo de quemado
- Control de tiempo de ignición.
- **Nassa**

FUENTE : BANCOS DE ENSAYOS para motores cohete. Disponible en internet(citado octubre 2010) http://www.aeroconsystems.com/ts_pics/ts_pics.htm

4.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE BEMCO

Tabla 3 Selección tipo de BEMCO

Bemco	Tipo	Componente	Ventaja	Desventaja
	Tipo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Mesa • Celda de carga • Transductor de presión • Sujetador variable para motores • Motor en posición horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • configuración ideal para misiles. • Alto grado de seguridad. • No necesita un deflector de llama 	<ul style="list-style-type: none"> • La posición del motor no es la correcta para la toma de la presión y empuje. • La mesa implica un mayor costo para su construcción
	Tipo vertical con tobera hacia abajo	<ul style="list-style-type: none"> • Base estructural • Celda de carga • Transductor de presión • Sujetador variable para motores • Motor con tobera hacia abajo 	<ul style="list-style-type: none"> • mantienen la posición real del motor para el cálculo de la presión y empuje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un deflector de llama.

	<p>Tipo vertical con tobera hacia arriba</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Base estructural • Celda de carga • Transductor de presión • Sujetador variable para Motores • Motor con tobera hacia arriba 	<ul style="list-style-type: none"> • Su posición permite un alto grado de seguridad. • No necesita deflector de llama 	<ul style="list-style-type: none"> • La posición del motor no es la correcta para la toma de la presión y empuje.
--	--	--	---	--

- En la selección del tipo de banco estático a diseñar y construir teniendo en cuenta los costos, ventajas y desventajas se optó por el BEMCO tipo vertical con tobera hacia abajo, ya que este es el que se asemeja a lo que queremos lograr que es tener el motor cohete en una posición real.

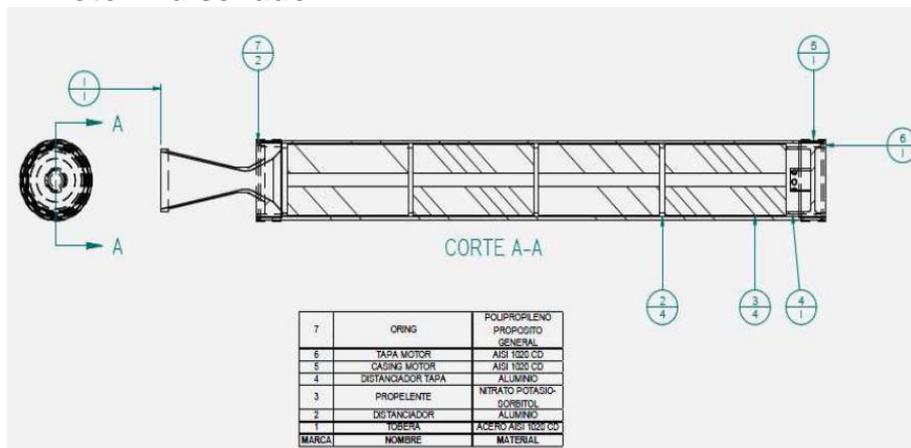
4.3 DISEÑO BEMCO

4.3.1 Diseño preliminar

Para llevar a cabo el desarrollo del banco estático para motores cohete (BEMCO) es necesario tener en cuenta parámetros base que permitan involucrar cada uno de los componentes a diseñar.

Se involucraran los datos de diseño del motor cohete de los cuales servirán como datos de entrada para el diseño del BEMCO. En el cual se ensayara un motor amateur tipo k.

Figura 11 Motor k diseñado



Fuente: APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Diseño del motor UNG K. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.

- Aunque la propuesta original de este motor [4] era de ser fabricado en aluminio para tener una mejor relación empuje/peso. Se verifico con los datos de este autor y los obtenidos de un motor cohete fabricado por el ingeniero molinares que este tipo de material no soporta las presiones generadas al interior de la cámara. Por lo tanto se opto por fabricarlo en acero 1020 por su alta maquinabilidad y bajo costo.

[4] APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Diseño del motor UNG K. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA

- Como se va a realizar una prueba de un motor[4] cohete que ya ha sido debidamente diseñado y probado, es necesario conocer los datos preliminares obtenidos del diseño del motor cohete.

Tabla 4 Datos del diseño del cohete

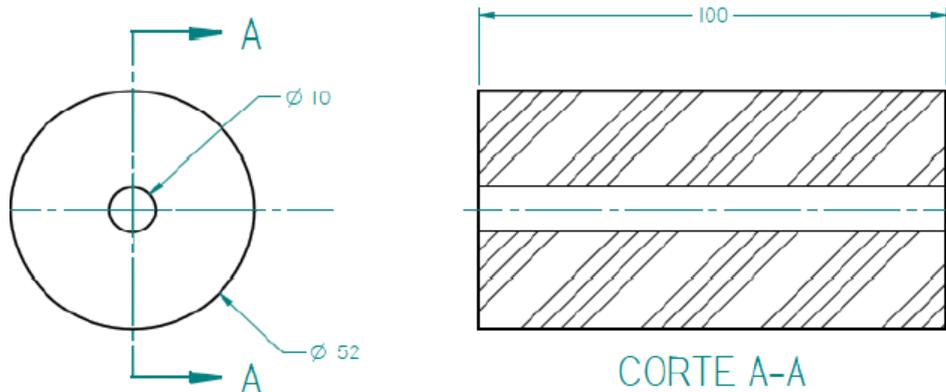
Símbolo	Valor	Descripción
b	21.2 mm	Espesor del propelente listo para quemado (mm)
D	52 mm	Diámetros exterior del propelente (mm)
	10 mm	Diámetro interior del propelente
L	395 mm	Longitud del grano propelente (mm)
r	10.6 mm/s	Rata o velocidad de quemado (mm/s)
Is	132.16 s	Impulso específico (s)
	0.77 kg/s	Flujo masico (kg/s)
	6.5 Mpa	Presión en la cámara de combustión
	140.896	Impulso total
	2s	Tiempo de combustión
	1000 N	Empuje promedio en (N)
m	1.54 kg	Masa del propelente (KG)
CF	1.63	Coeficiente de empuje
	1.9 gr/cm ³	Densidad del propelente (gr/cm ³)
	0.054 mm	Es el diámetro interno de la cámara (mm)

	8.1 Mmp	Presión pico en la cámara de combustión
t	0.51 mm	Espesor de la pared de la cámara de combustión (mm)
	0.68 mm	Espesor de la tapa de la tapa del motor (mm)
	390 Mpa	Esfuerzo de cadencia en (Pa)
	0.054 mm	Radio de la placa de la tapa del motor, que ene este caso es igual al diámetro interno de la cámara de combustión (mm)
	895 m/s	Índice de desempeño de la combustión m/s
	12.5 mm	Área de garganta (mm)

Fuente: Fuente: APONTE RODRIGUEZ,JORGE. Diseño del motor UNG K. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes.proyecto uniandino aeroespacial PUA.

- El propelente que se usara en esta prueba será una mezcla de nitrato de potasio con sorbitol , mezclados 65 % y 35 % siendo este propelenete estudiado con anterioridad. La geometría que se empleara en el combustible sólido será tubular que es la mas utilizada en motores en motores a nivel aficionado..

Figura 12 Dimensiones del propelente

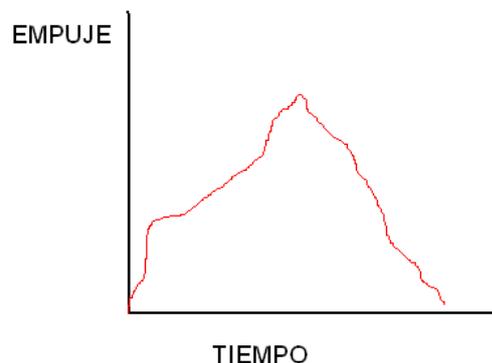


Fuente: APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Diseño del motor UNG K. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.

- Diámetro exterior del grano $D=52$ mm
- Diámetro interior de grano $= 9.46$ mm

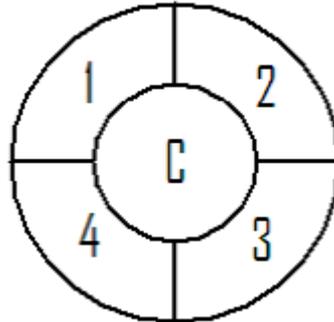
Donde su curva de empuje con respecto al tiempo es continua debido a la configuración interna del propelente.

Figura de Empuje vs tiempo configuración tubular



Para poder garantizar que nuestro propelente es homogéneo y cumple con una buena tasa de quemado se le ha realizado toda una prueba de control de calidad como se muestra a continuación.

Figura13 Segmentación del disco



Fuente: APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Control de calidad propelente MSEN II. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 8 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.

El disco fue seccionado en 5 partes donde cada una de ellas sometidas a tasas de quemado diferentes obteniendo los resultados del índice de homogeneidad

Tabla 5 Resultado de tasa de quemado

Sección	C	1	2	3	4
Tiempo (S)	20.42	19.96	20.21	19.90	20.36
Tasa de quemado(mm/s)	1.95	2.00	1.98	2.01	1.96

Fuente: APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Control de calidad propelente MSEN II. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 8 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.

Figura14 Prueba de homogeneidad



Fuente: APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Control de calidad propelente MSEN II. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 8 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.

Con el desarrollo de esta prueba de control de calidad se pretendía obtener la homogeneidad de propelente a base de nitrato de potasio y sorbitol y así obtener una tasa de quemado uniforme en cada una de las partes seccionadas del disco. Con los resultados obtenidos en esta prueba se dio a conocer que la probabilidad de obtener un combustible homogéneo es del 21.83 %

Datos de entrada y de salida: Para llevar a cabo el diseño y construcción de este banco estático para motores cohete se toman como datos preliminares de diseño.

Tabla 6 datos de entrada y salida

Símbolo	Valor	Descripción
<i>Is</i>	132.16 s	Impulso específico (s)
	6.5 Mpa	Presión en la cámara de combustión
	140.896	Impulso total
	1000 N	Empuje promedio en (N)
	8.1 Mmp	Presión pico en la cámara de combustión
T	1600 k	Temperatura en la cámara de combustión
dE/dt	Depende de la geometría combustible utilizado

Como este banco para motores cohete albergara no solo a cohetes tipo k, es necesario conocer datos de presión, empuje, y dimensiones promedio de los motores cohete que van a ser ensayados en banco de pruebas (BEMCO)

Tabla 7 Dimensiones motores cohete

Tipo	Diámetro (mm)	Longitud cuerpo (mm)	Longitud tobera (mm)	Longitud total (mm)
Motor H	37.973	212.34	68.072	280.45
Motor I	44.46	228.6	120.64	349.24
Motor G	29.71	157.48	71.11	228.59
Motor K	63.5	483.96	100.33	584.29
Motor J	48	368	62	430
Motor L	74	610	84	694

Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE htm // www.nakka-rockery.net/ citado (noviembre de 2011)

Figura 15 Motor tipo H

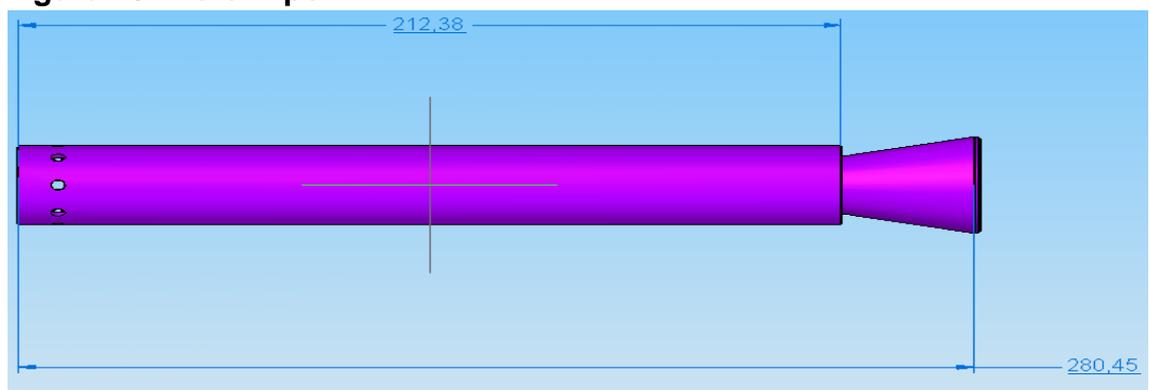


Figura 16 Motor tipo I

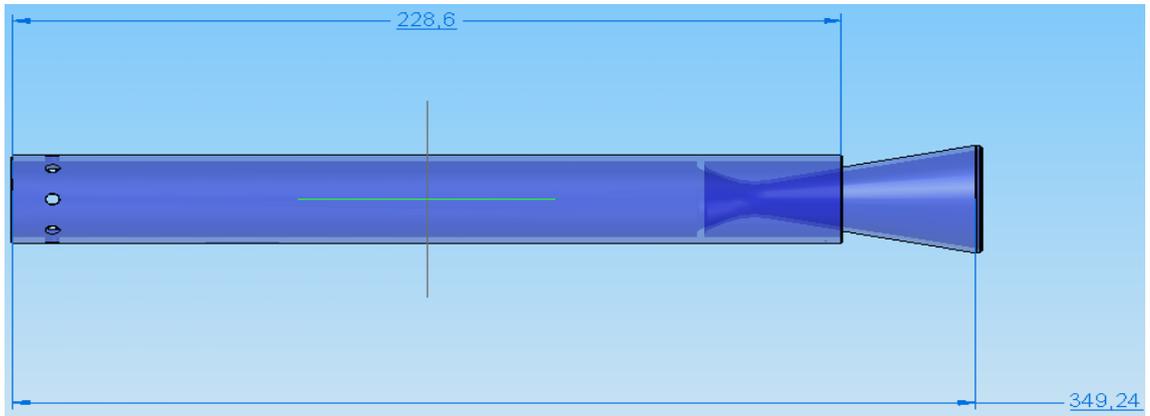


Figura 17 Motor tipo G

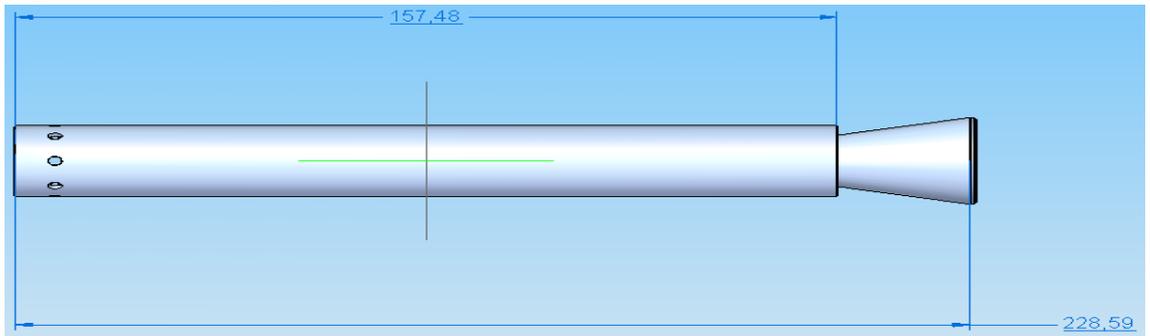


Figura 18 Motor tipo K

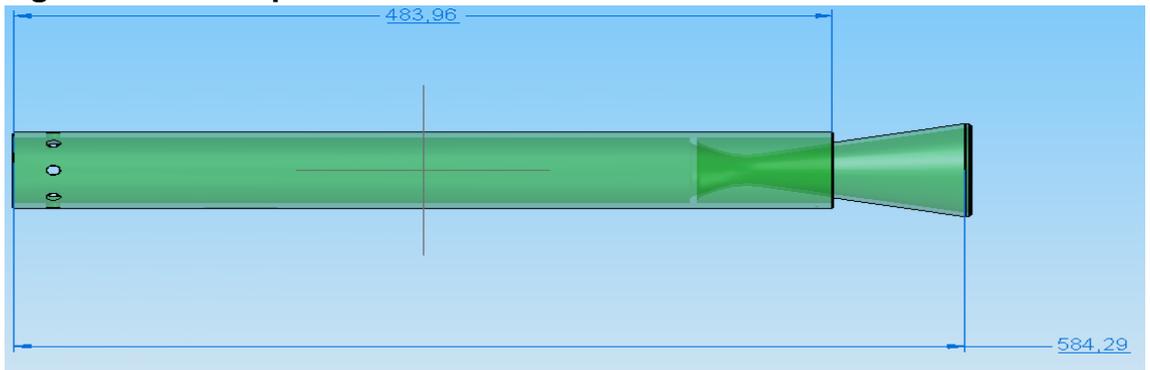


Figura 19 Motor tipo J

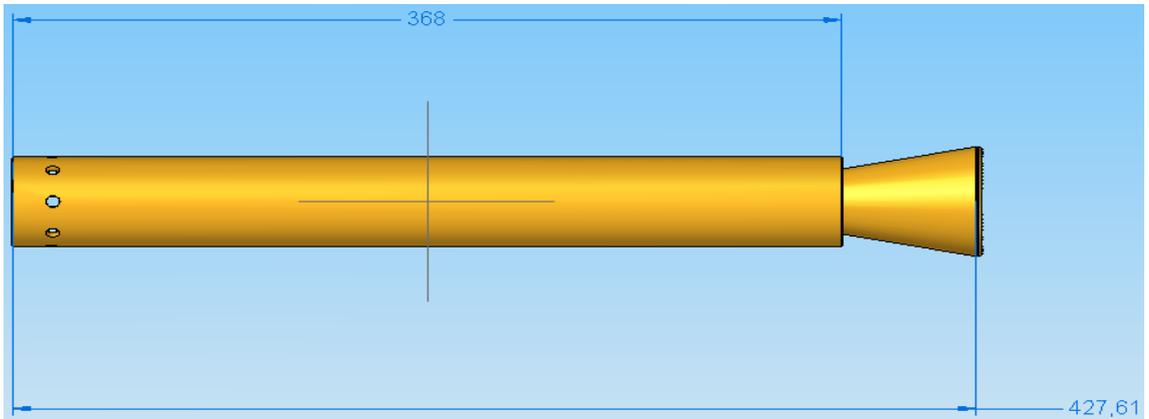


Figura 20 Motor tipo L

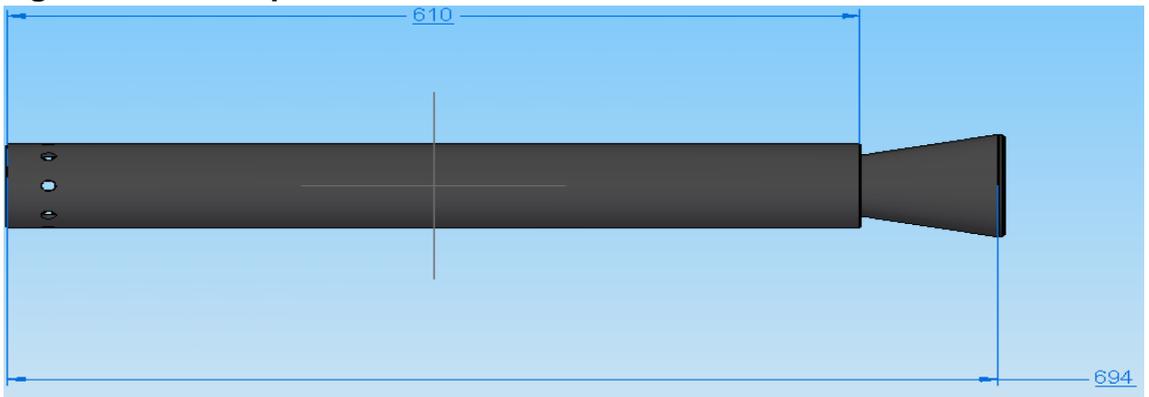


Tabla 8 características motores cohete

Tipo	Altitud (ft)	Empuje (lb)	Presión (psi)
Motor H	1968.50	260	998
Motor I	2952.76	325	1129
Motor G	1345.14	88	328
Motor K	11000	360	1200
Motor J	5905.51	391	984
Motor L	20000	521	1131

Fuente: NAKKA RICHARD ROKET MOTOR DESING WEB SITE htm // www.nakka-rockery.net/
citado (noviembre de 2011)

Base estructural

Analizando los datos iniciales o parámetros base se puede tener un pre diseño del banco estático para motores cohete en cuanto a dimensiones para su base estructural y la implementación de ciertos instrumentos.

En la base estructural del banco se tendrán en cuenta los motores que estén dentro del rango de operación, una geometría variable para una fácil adaptación a los diferentes tipos de motores, buena rigidez estructural y por ultimo fácil transporte.

Figura 21 Base estructural

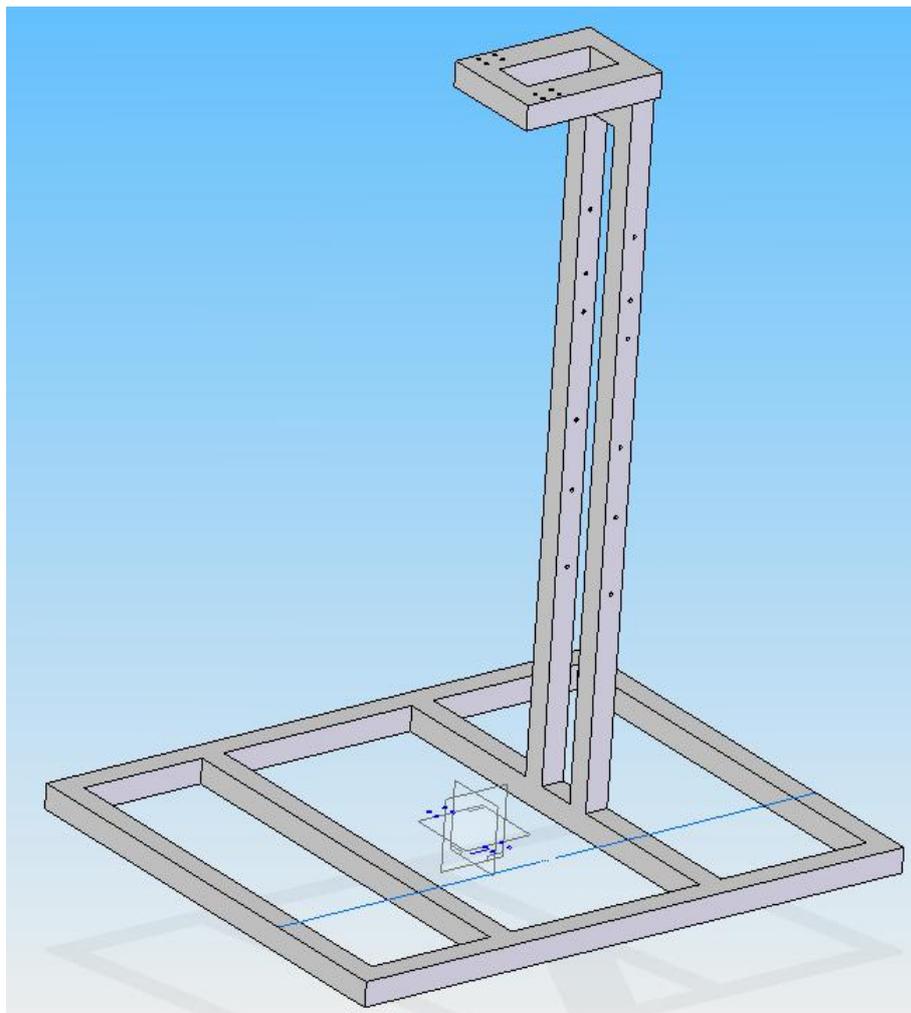
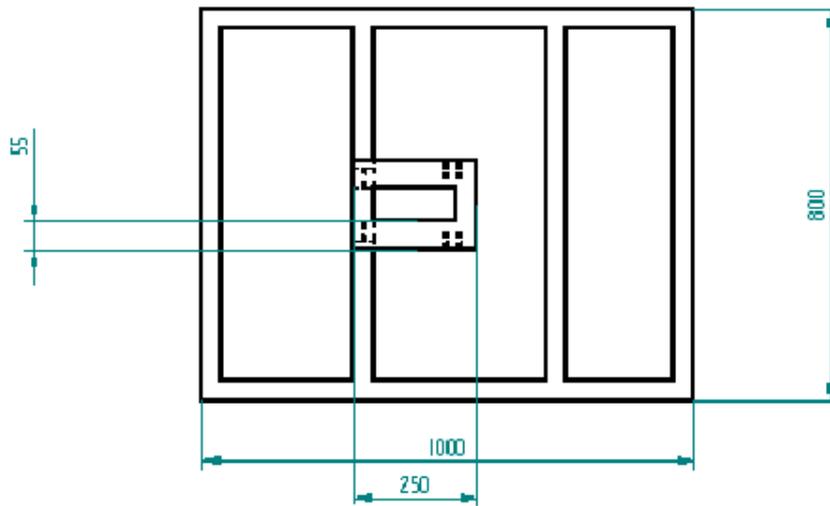
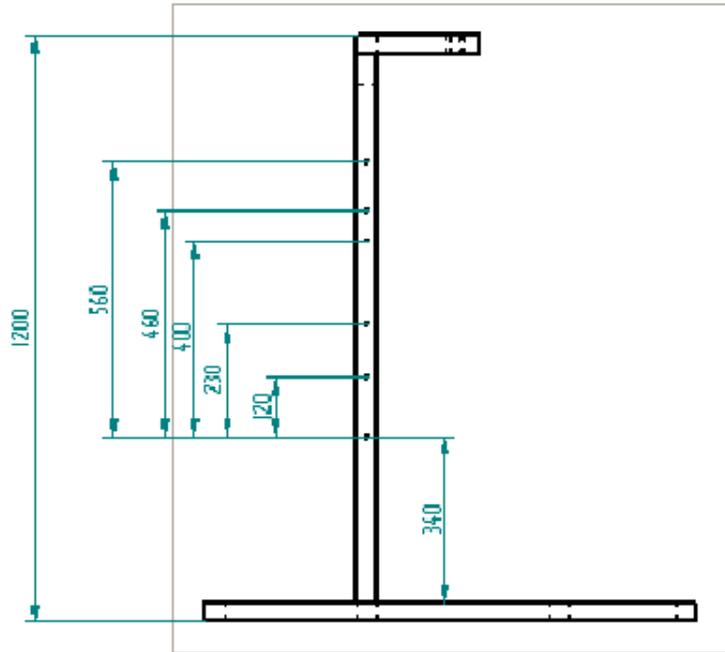


Figura 22 planos base estructural



4.4 INSTRUMENTACIÓN

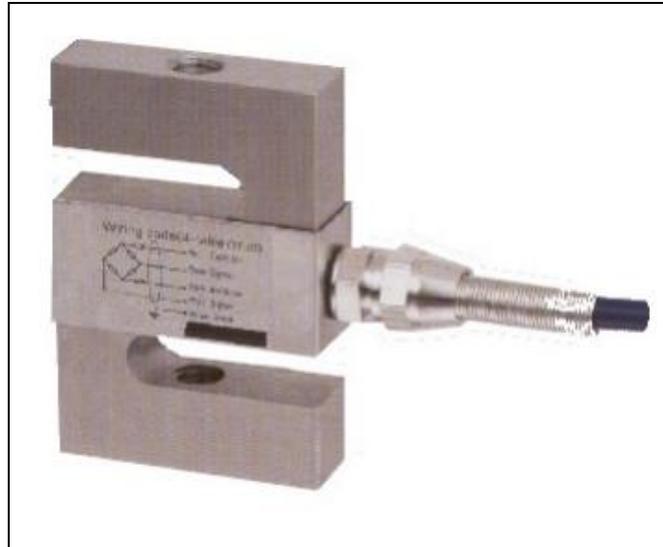
4.4.1 Celda de carga

Uno de los instrumentos a utilizar en el banco para motores cohete es la celda de carga que censara el empuje de los motores, nuestra elección por este instrumento se desarrollo con base en la información de los motores, donde encontramos la diferencia de empuje por parte de ellos, nuestra celda de carga es una estilo tipo S con alto grado de sensibilidad y con una capacidad máxima de carga de 200 Kg o 442 Lbf lo cual se ajusta a los requerimientos del BEMCO

Tabla 9 Datos técnicos celda de carga

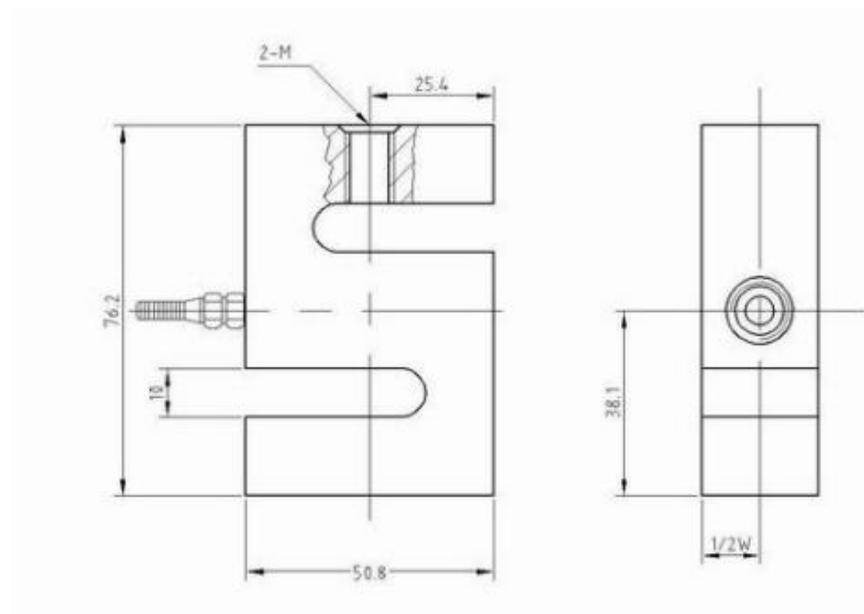
CARACTERÍSTICAS	Load cell tipo S
Capacidad	200 kg o 442 lbf+
Sensibilidad	1.8± 0.002 mV/V
Error total	0.03 ± % de la velocidad de salida
Histéresis ,repetibilidad	0.03 ± % de la velocidad de salida
creep	0.03 ± % de la velocidad de salida
Efecto de la Temperatura a la salida	0.02/10 ± % de la velocidad de salida ° C
Efecto de temperatura para el cero	0.02± % de la velocidad de salida °C
Temperatura de compensación	-30+70 °C
Balance en cero	1.0 ± % de la velocidad de salida
Impedancia de entrada	400± 10 Ω
Impedancia a la salida	352± 2 Ω
Impedancia de aislamiento	≥5000 M Ω
Excitación recomendada	10 ---- 12 VDC
Material	Aleación de acero y acero inoxidable

Figura 23 Celda de carga



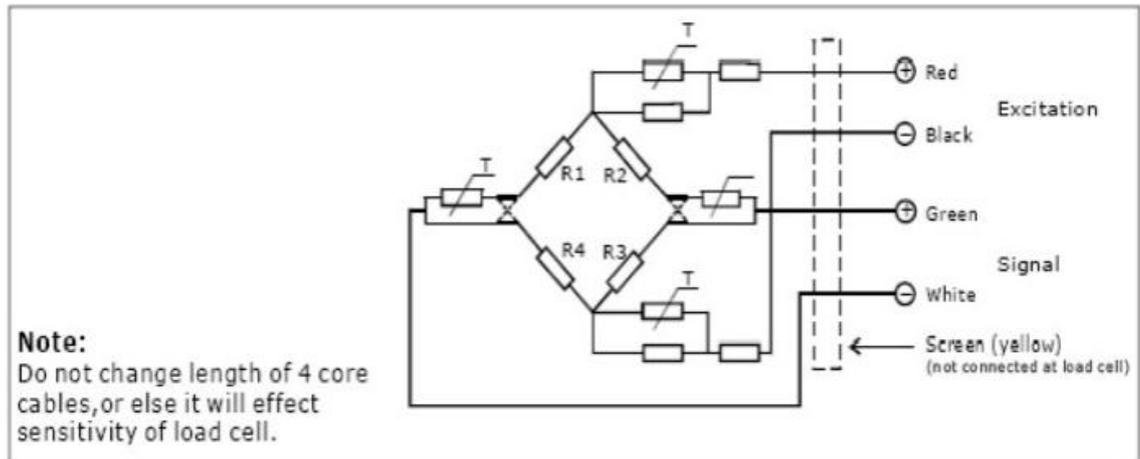
Fuente: BCILTD.instrumstos y equipos de medición.citado (marzo 2011)website
<http://www.bciltda.com/id72.html>

Figura 24 Dimensiones celda de carga



Fuente: BCILTD.instrumstos y equipos de medición.citado (marzo 2011)website
<http://www.bciltda.com/id72.html>

Figura 25 Configuración del circuito.



Fuente: BCILTD.instrumenstos y equipos de medición.citado (marzo 2011)website
<http://www.bcilda.com/id72.html>

Conexiones para voltajes:

- (+EXC): Rojo 
- (-Exc): Negro 
- (sig+): Verde 
- (sig-): Blanco

4.4.2 Transductor de presión

El transductor de presión que utilizaremos en el banco estático para motores cohete será el encargado de medir la presión en la cámara de combustión para cada uno de los motores a utilizar, utilizando los mismos parámetros que en la celda de carga se tendrán en cuenta los máximos y mínimos puntos de presión de los cohetes.

Tabla 10 Datos técnicos transductor

CARACTERÍSTICAS	Tas-1Mpa
Sensibilidad de salida	1.596 mV/V
Balance de cero	-0.011 mV/V
Variación después de 20 minutos	0.2%F.S
Anti linealidad	0.2%F.S
Histéresis ,repetibilidad	0.2%F.S
Efecto de temperatura para sensibilidad de salida	0.02%F.S/°C
Efecto de temperatura para el cero	0.02%F.S/°C
Rango de temperatura favorable	-10 — 80 °C
Temperatura de compensación	-10 — 50 °C
Seguro por sobrecarga	150 % por encima de la capacidad valorada
Resistencia de entrada	1005 Ω
Resistencia de salida	1005 Ω
Resistencia de aislamiento	5000M Ω
Máxima excitación	20 VDC

Fuente: BCILTD.instrumenstos y equipos de medición.citado (marzo 2011)website

<http://www.bciltda.com/id72.html>

Conexiones para voltajes:

- (+EXC): Rojo 
- (-Exc): Negro 
- (sig+): Verde 
- (sig-): Blanco

Figura 26 Transductor de presión



4.5 SENSORES RECOMENDADOS

4.5.1 sensor de vibración

Figura 27 sensor de vibración.



Fuente: INSTRUMENTOS PCE-IBERICA.: disponible en internet (citado junio de 2011) web site <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-vibracion-pce-m641b01.htm>

Este sensor de vibración que puede ser empleado para la medición de vibraciones en los motores cohete utilizados en este banco de ensayos.

Tabla 11 Datos técnicos sensor de vibración

Rango de medición	0 ... 25,4 mm/s
Rango de frecuencia	10 Hz ... 1 kHz
Salida	4 ... 20 mA
Resolución	0,13 mm/s rms
Reproducibilidad	±1 %
Rango de temperatura	-40 ... +85 °C
Tensión de alimentación	12 .. 30 VDC
Tiempo de respuesta (dentro del 2 % del valor)	<15 s
Aislamiento eléctrico	>108 ohmios

4.5.2 Sensor de temperatura

Este es un sensor dual que transmite tanto la presión como la temperatura en la cámara de combustión.

Figura 28 sensor de temperatura



Fuente: SENSORES STS. Disponible en internet (citado junio 2011)

<http://www.stssensors.com/asperrorpath=/contenido/English/Home/Products/PressureTemperature/tabid/72/language/en-US/Default.aspx>

Tabla 12 Datos técnicos sensor de temperatura

Ciclos de presión	➤ 100 millones
salida	De presión de 4-20 mA de temperatura de 4-20 mA
polaridad inversa	SI
consumo de corriente máximo	20 mA
Clasificación	T y p
Presión de ruptura	Presión nominal *3
Exitacion	10-28 vdc

4.5.3 SISTEMAS DE IGNICIÓN

Figura 29 Sistema de ignición por cableado



Fuente: ISTISP. sistemas de ignición pirógenos; disponible en internet (citado junio de 2011). <http://www.ictisp.com/~cortijos/TUTORIALES/ignitores.pdf>

Este sistema de ignición de cohete es mucho más económico que el de activación por control remoto. Simplemente se necesita recubrir un extremo del cable con el pirógeno escogido por el fabricante, la desventaja es que necesita una gran cantidad de cable para hacer la ignición del cohete.

Figura 30 Sistema de ignición a control remoto

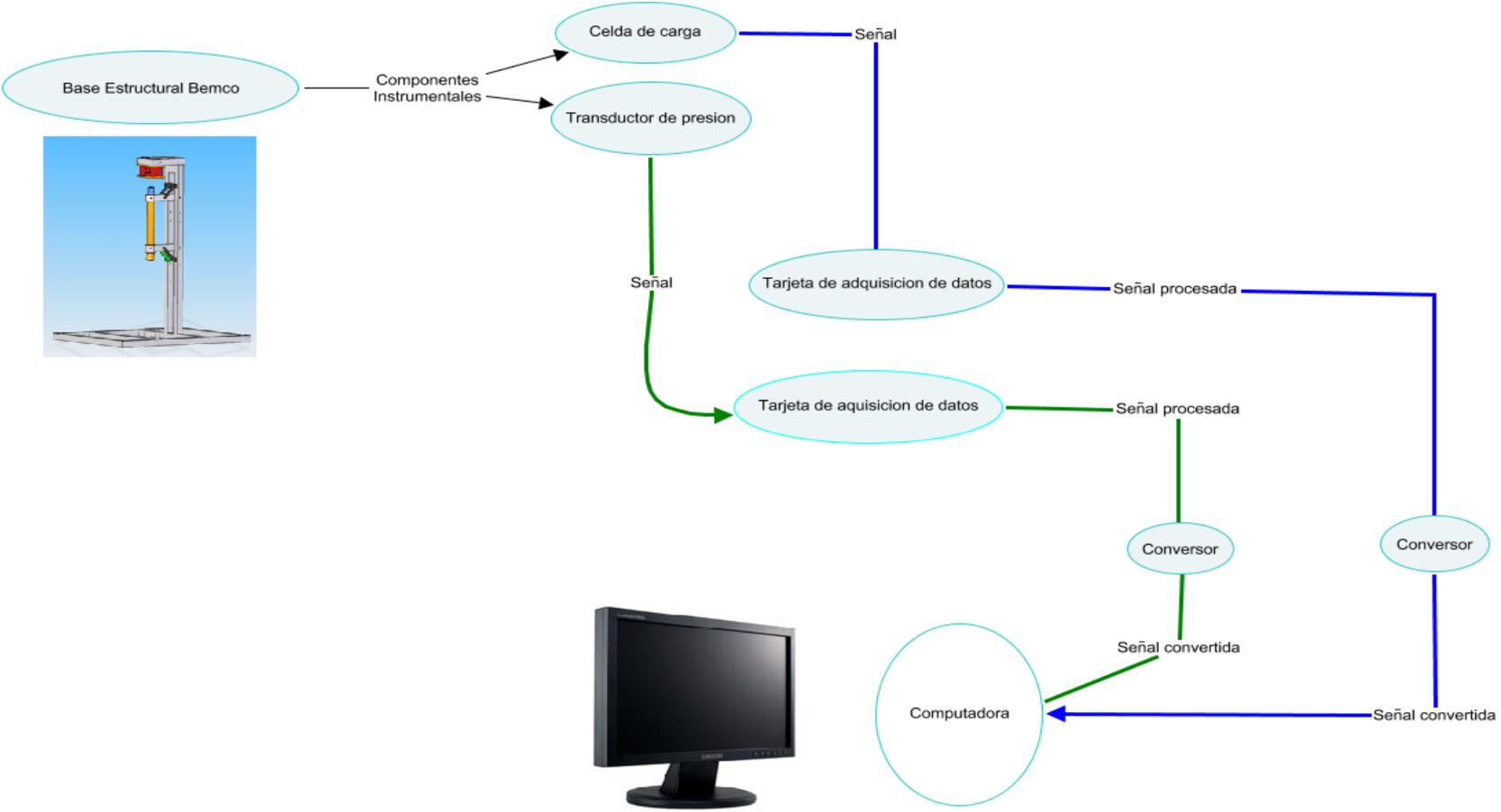


Fuente: GRUPO EXPERIMENTAL DE COHETERIA: Disponible en internet (citado junio de 2011) <http://coheteriapaisa.blogspot.com/search/label/Sistema%20de%20encendido>

Este es un sistema de ignición electrónico con la capacidad de ser accionado a control remoto, con un alcance aproximado de 1 km , y es una de las alternativas mas seguras que se pueden emplear en la ignición de cohetes

5 Diseño detallado

Figura 31 Diseño detallado

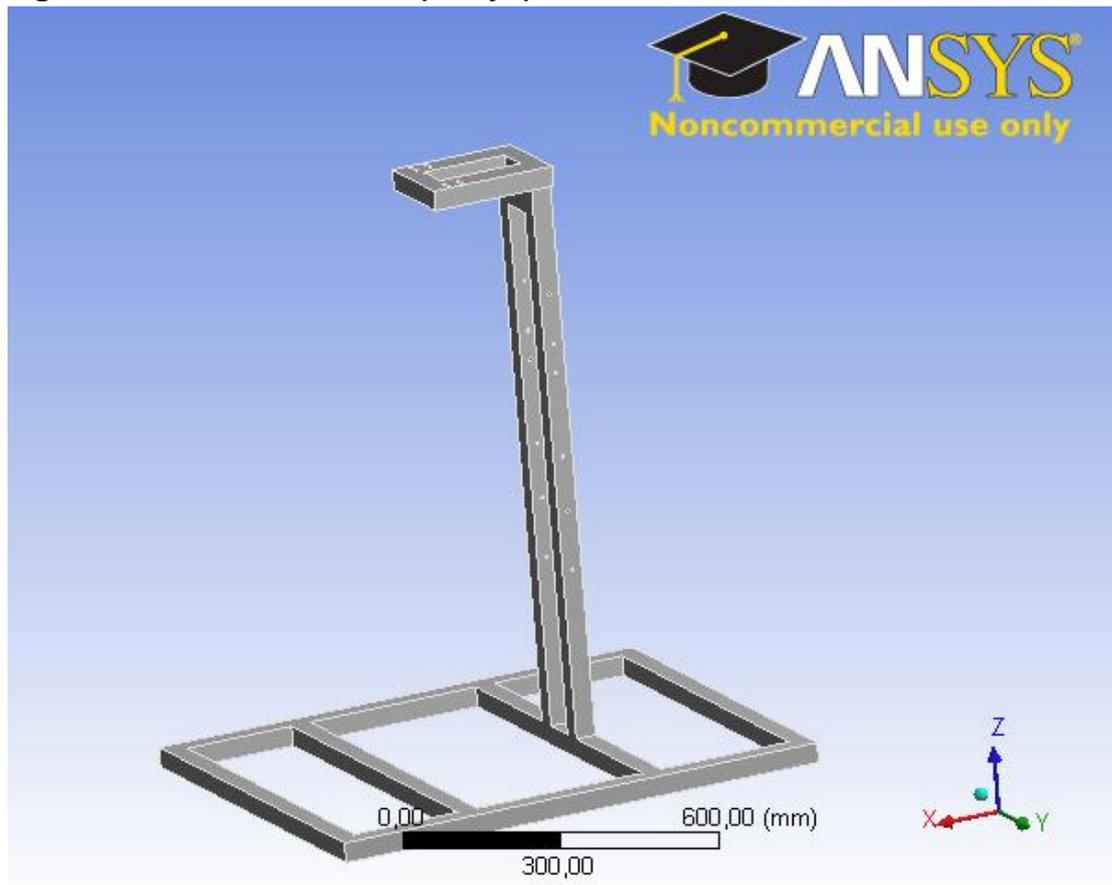


5.1 Análisis de fuerzas

Base estructural

Para comenzar con nuestro diseño detallado es necesario conocer la rigidez de nuestra estructura utilizando ANSYS y a su vez definir el material en el cual va a ser construido este BEMCO.

Figura 32 Base estructural (Ansys)



ANSYS permitirá conocer las variaciones estructurales en el momento de la aplicación de las fuerzas emitidas por los motores cohete, deformaciones permanentes causadas por un sobrepaso en las fuerzas, y el factor de seguridad emitido por el BEMCO.

Tabla 13 Fuerzas de los motores

Tipo	Empuje (lb)	Empuje (Kg)
Motor H	260	117.934
Motor I	325	147.417
Motor G	88	39.9161
Motor K	360	163.293
Motor J	391	177.355
Motor L	521	236.322

En esta tabla podemos encontrar los diferentes empujes o fuerzas ejercidas por cada uno de los motores que se utilizaran en este BEMCO.

En esta prueba se aplicara una fuerza mucho mayor a la ejercida o aplicada por el motor cohete L para observar el comportamiento de la estructura en caso de un desfase de fuerza aplicada.

- Se aplicara una fuerza de 2000 N y luego será aumentada en 3000 N aplicada sobre la parte inferior del BEMCO como se muestra a continuación

Figura 33 fuerza aplicada base estructural

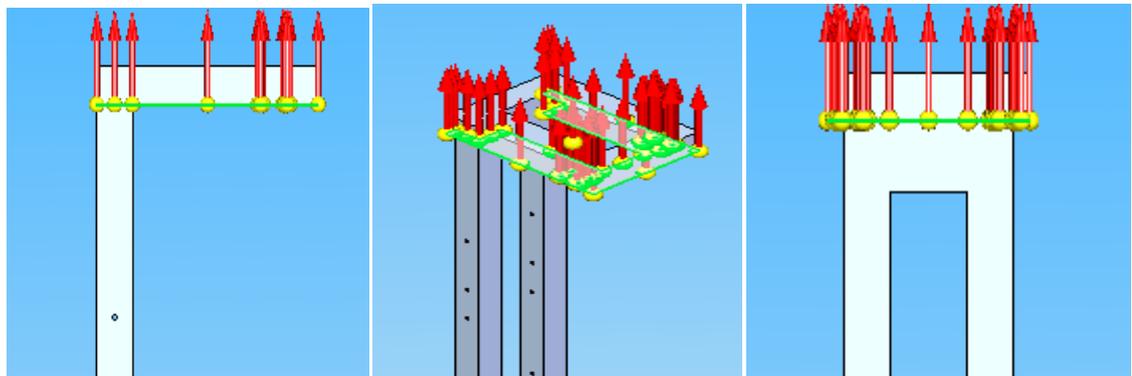
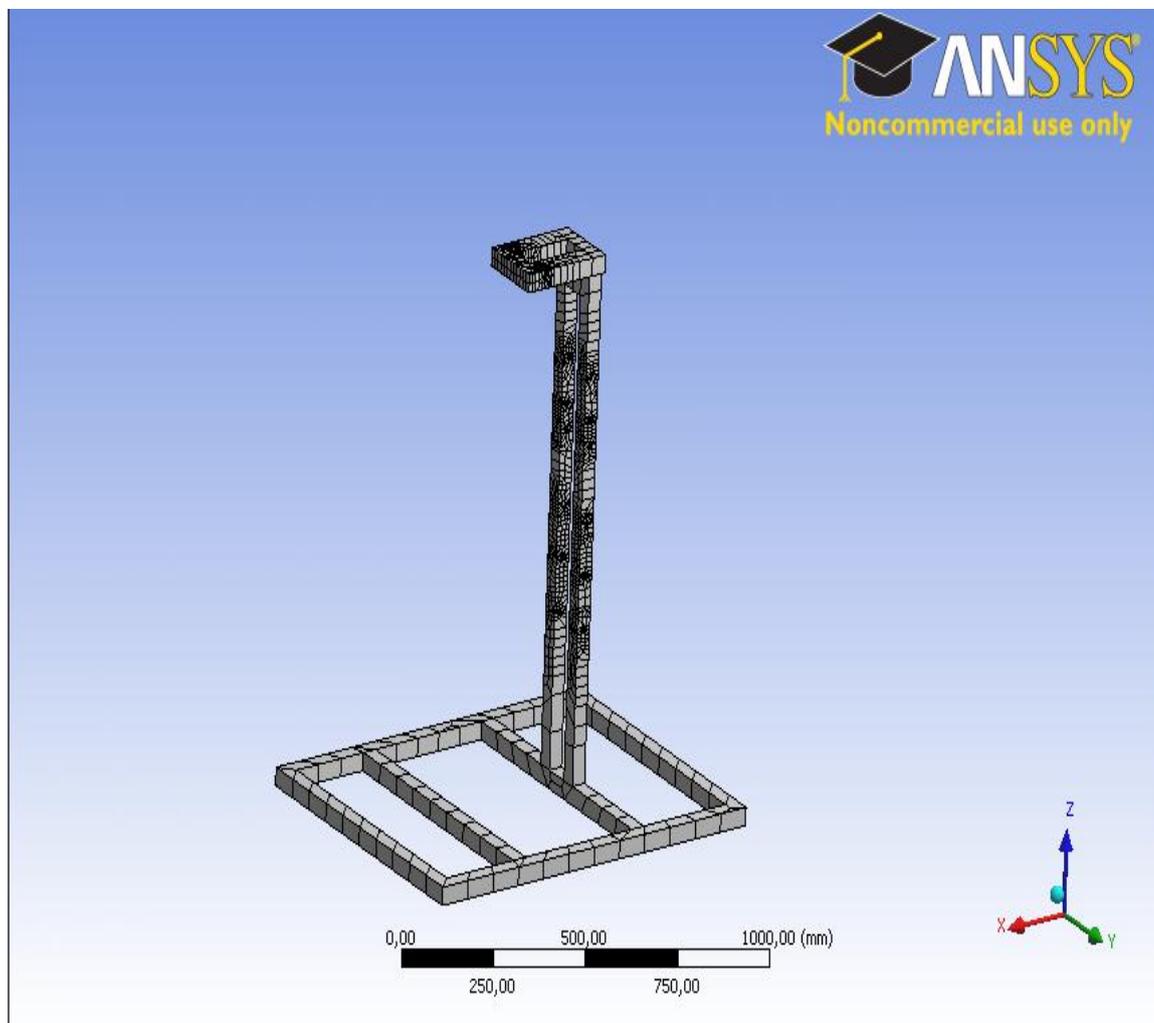
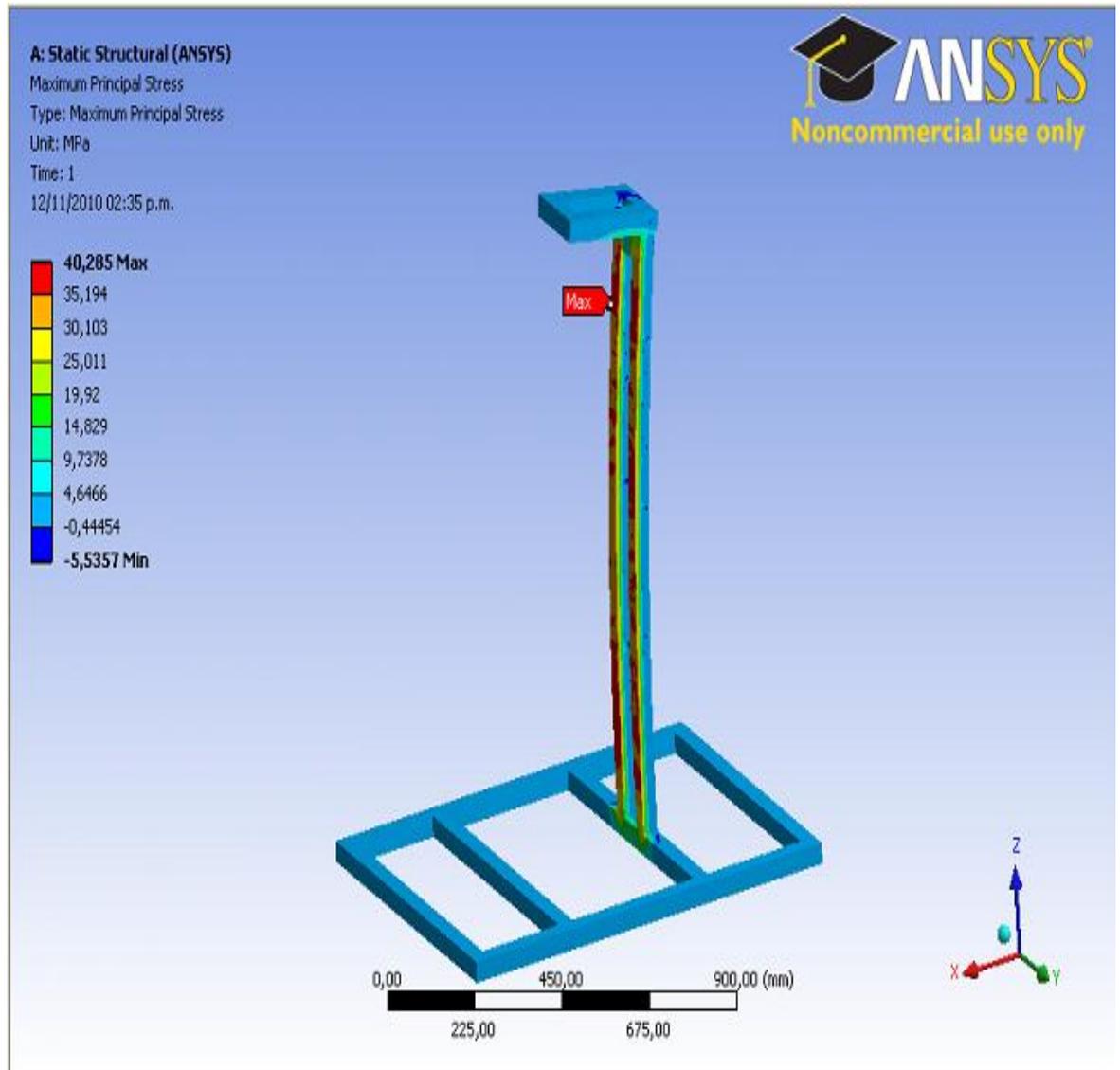


Figura 34 enmallado base estructural (Ansys)



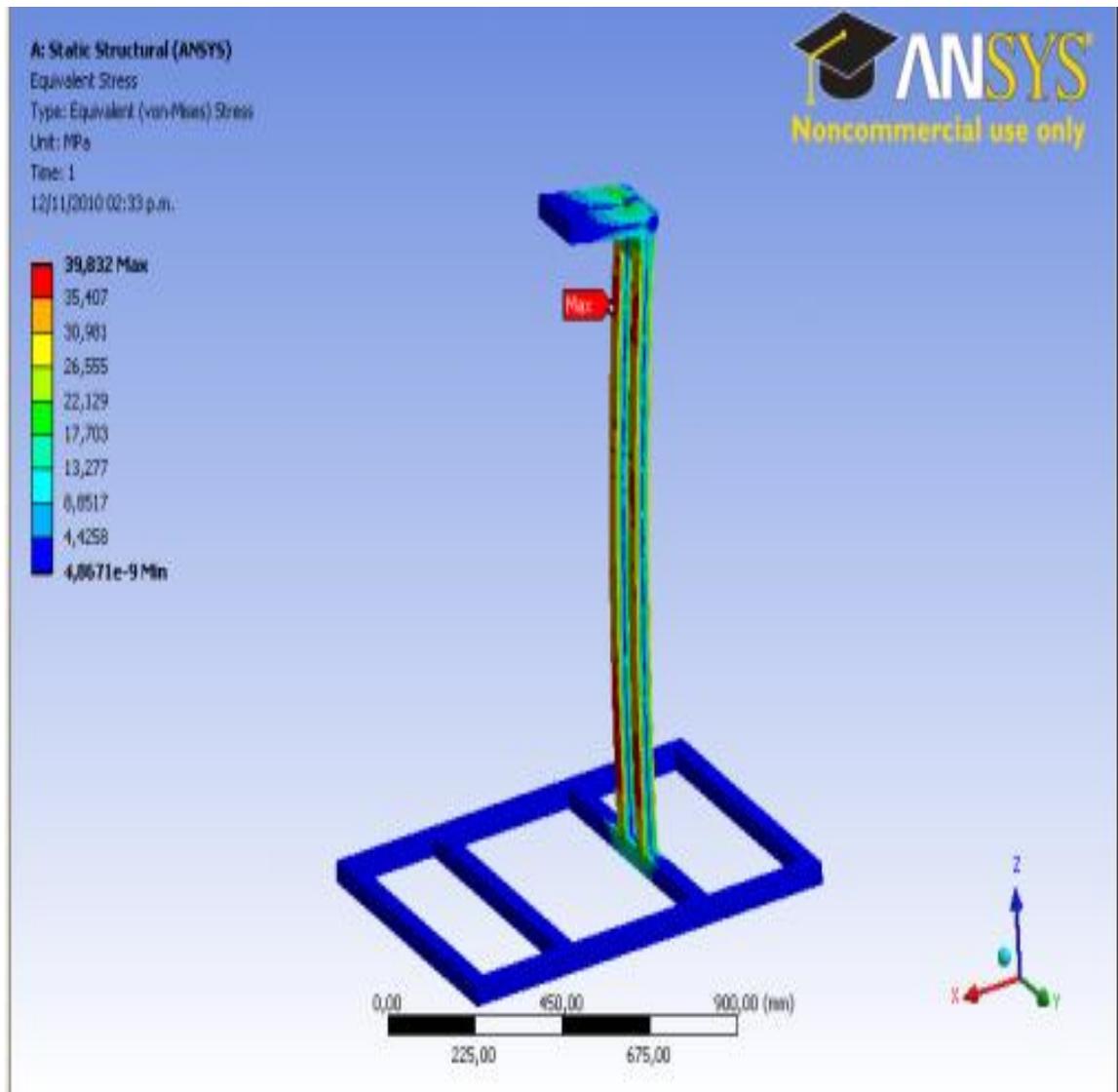
- Inicialmente se hace un mallado de la base estructural del BEMCO donde se muestran cuales podrían ser los puntos críticos de este. Dando como resultado mallados más finos hacia la parte de los agujeros de la estructura.

Figura 35 Máximo principal stress. Base estructural (Ansys)



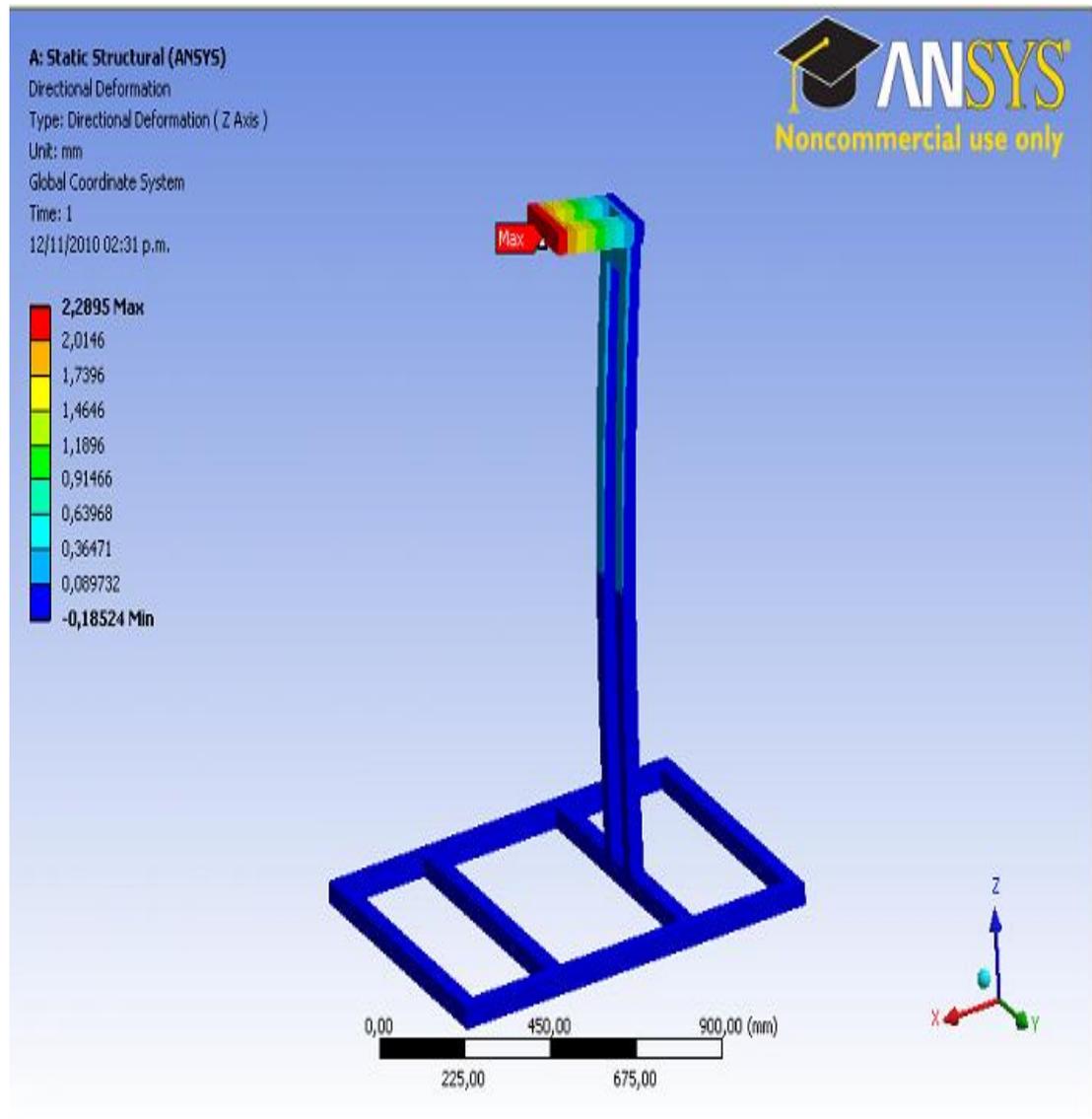
- Tal como lo muestra la figura, el análisis realizado por elementos finitos mediante el programa ANSYS workbench se visualiza el punto máximo de stress a tensión con un valor de 40,285 Mpa (color rojo) y un valor mínimo de 4.6466 Mpa (color azul claro) y 5.5357 Mpa (azul oscuro)

Figura 36 Equivalent stress. Base estructural (Ansys)



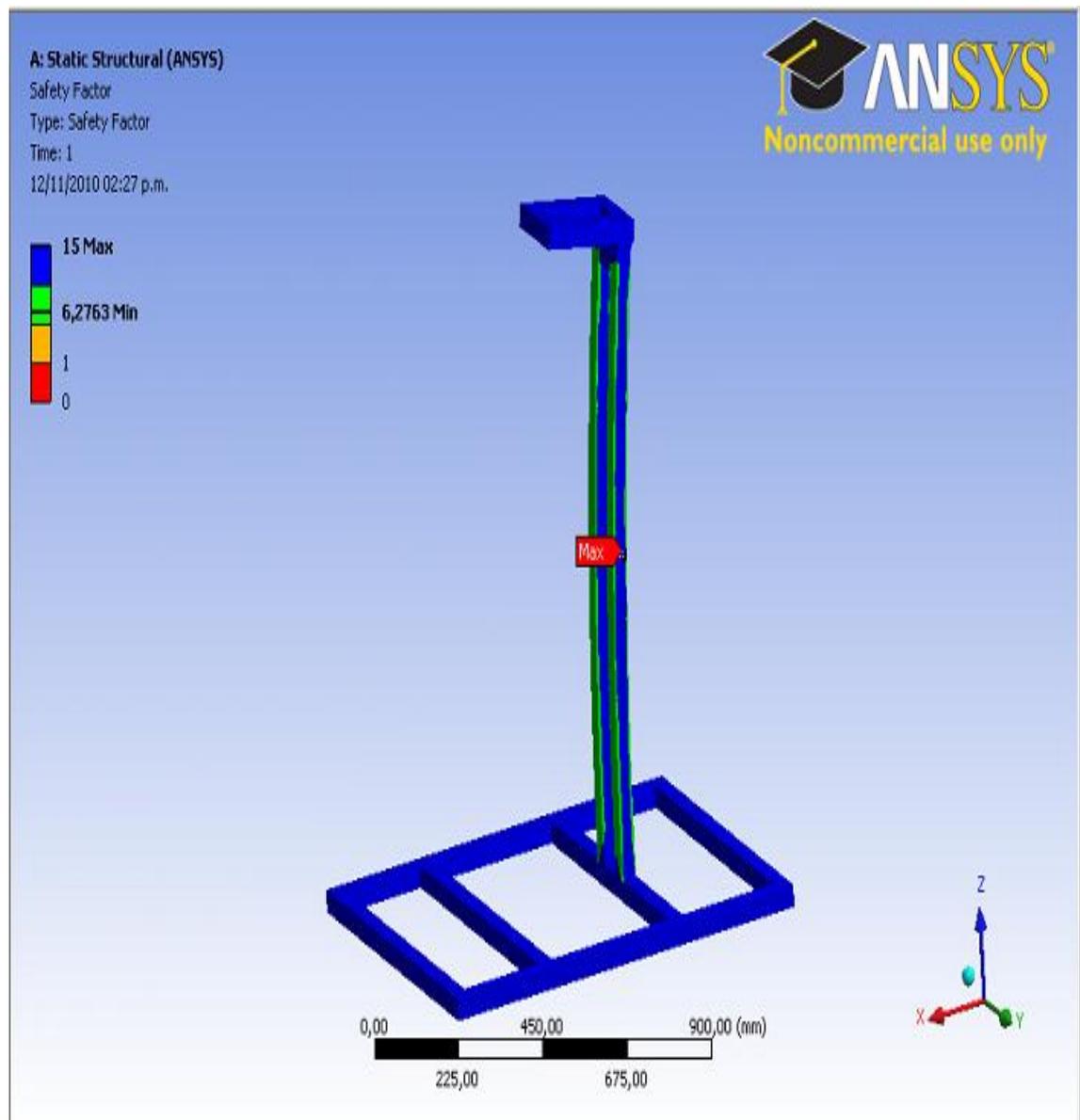
- En el análisis realizado se encontró que La concentración de esfuerzos, se presenta en los bordes verticales internos de la base estructural (en color rojo).
- Adicional se evidencia que los extremos horizontales, la concentración de esfuerzos en la base estructural no representa ningún valor considerable que contribuya para la modificación de la pieza.

Figura 37 Directional deformation. Base estructural (Ansys)



- Según el análisis se muestra en la figura la máxima deformación direccional lograda por la base estructural visualizando un punto máximo de 2,2895 mm (color rojo) y una deformación mínima de 0,089 mm (color azul claro) visualizada.
- Con este análisis se puede entender que la estructura del BEMCO es suficientemente rígida y difícil lograr una deformación por completo.

Figura 38 Safety factor. Base estructural (Ansys)



- El análisis muestra el factor de seguridad o safety factor de la base estructural del BEMCO obteniendo un valor de 6,2763 visualizado en los bordes verticales (color verde) dándonos un alto grado de seguridad por parte de la estructura.

5.1.2 Material BEMCO

Este banco de ensayos para motores cohete o BEMCO, será fabricado con acero laminado en caliente (HR) de bajo contenido de carbono, alta soldabilidad y ductilidad.

Tabla 14 Especificaciones del material BEMCO

DIMENSIONES			PESO	AREA	PROPIEDADES EJES X-X e Y-Y		
DESIGNACION	B	e	P	A	I	W	i
Pulg.	mm	mm	Kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
3/4	20	1.5 2.0	4.98 6.30	1.05 1.34	0.58 0.69	0.58 0.69	0.74 0.72
1	25	1.5 2.0	6.36 8.16	1.35 1.74	1.21 1.48	0.97 1.18	0.95 0.92
1 1/4	30	1.5 2.0	7.80 10.08	1.65 2.14	2.19 2.71	1.47 1.81	1.15 1.12
1 1/2	40	1.5 2.0 3.0	10.62 13.86 19.80	2.25 2.94 4.21	5.48 6.92 9.28	2.47 3.46 6.46	1.56 1.53 1.48
2	50	1.5 2.0 3.0	13.44 17.58 25.50	2.85 3.74 5.41	11.06 14.13 19.40	4.42 5.65 7.76	1.97 1.94 1.89
2 3/8	60	1.5 2.0 3.0	16.26 22.44 33.30	3.74 4.54 6.61	18.68 25.12 35.06	6.22 8.37 11.69	2.23 2.35 2.30
3	75	2.0 3.0 4.0	27.00 39.60 51.54	5.74 8.41 10.95	50.47 71.54 89.98	13.46 19.08 24.00	2.97 2.92 2.87
4	100	2.0 3.0 4.0	36.42 53.76 70.38	7.74 11.41 14.95	122.99 176.95 226.09	24.60 35.39 45.22	3.99 3.94 3.89

Fuente MATERIALES ACEROS: Dimensiones y especificaciones

Disponible en internet (Citado marzo de 2011) web site> http://www.fajobe.com.co/t_estructural.htm

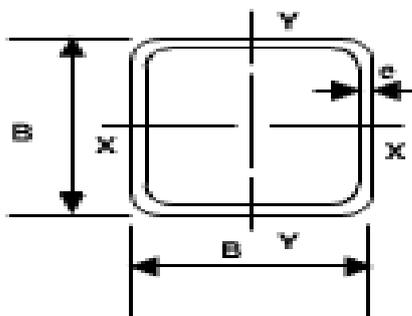
A= Area de la selección transversal del tubo cm²

I= Momento de inercia de la selección cm⁴.

W= Modulo de resistencia de la sección, cm³

i = radio de giro de la sección ,cm

Figura 39 Dimensiones material. Base estructural



Fuente MATERIALES ACEROS: Dimensiones y especificaciones

Disponible en internet (Citado marzo de 2011) web site> http://www.fajobe.com.co/t_estructural.htm

Normas internas

Tolerancia dimensional:

$\frac{3}{4}$ " (20x20) – 4' (100x100) = 0.30 mm

Variación longitud = 0 +10

Rectitud 0.4 % de longitud (máxima)

Radio máximo 3 veces el espesor

Especificaciones generales

Largo normal: 6 metros

Recubrimiento : negro o galvanizado

espesor : desde 1.5 a 4 milímetros

calidad del acero: jls g 3132spht-1 Astm a 569

Fuente MATERIALES ACEROS: Dimensiones y especificaciones

Disponible en internet (Citado marzo de 2011) web site> http://www.fajobe.com.co/t_estructural.htm

5.2 Tornillos BEMCO

Dentro de la estructura se utilizaran tres clases de pernos que se citaran a continuación:

Figura 40 Tornillo de 5/8



Tabla 15 Características tornillo 5/8

Referencia	D (mm)	L (CM)	F (Broca a utilizar)	Hilos
5/8	14,30	7	17/32	18

Fuente: MUNDIAL DE TORNILLOS. Disponible en internet (citado abril de 2011) web site >
<http://www.mundialdetornillos.com>>>

Figura 41 Tornillo 1/2



Tabla 16 Características tornillo 1/2

Referencia	D (mm)	L (CM)	F (Broca a utilizar)	Hilos
1/2	12,70	2,5	27/64	12

Fuente: MUNDIAL DE TORNILLOS. Disponible en internet (citado abril de 2011) web site >
<http://www.mundialdetornillos.com>>>

Figura 42 Tornillo de 1/4



Tabla 17 características tornillo 1/4

Referencia	D (mm)	L (CM)	F (Broca a utilizar)	Hilos
1/4	12,70	2,5	13/64	20

Fuente: MUNDIAL DE TORNILLOS. Disponible en internet (citado abril de 2011) web site >
<http://www.mundialdetornillos.com>>>

5.2.1 Rodamiento

Este rodamiento ira incrustado en el tornillo para hacer deslizar el cohete en el ensayo. Este rodamiento es auto lubricado, y viene totalmente sellado para mayor seguridad y rendimiento.

Figura 43 Vistas rodamiento

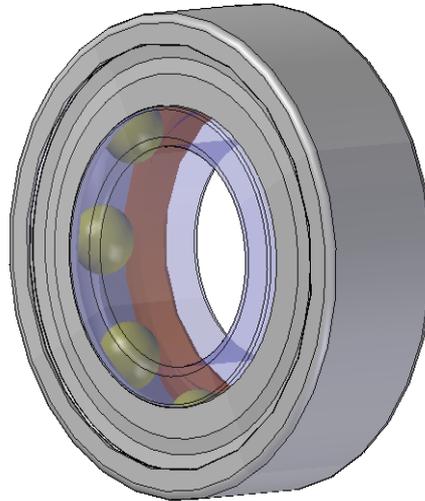


Tabla 18 Características rodamiento

Referencia	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Ancho (mm)	Velocidad de referencia limite
624 RS	5	13	5	60000 rpm



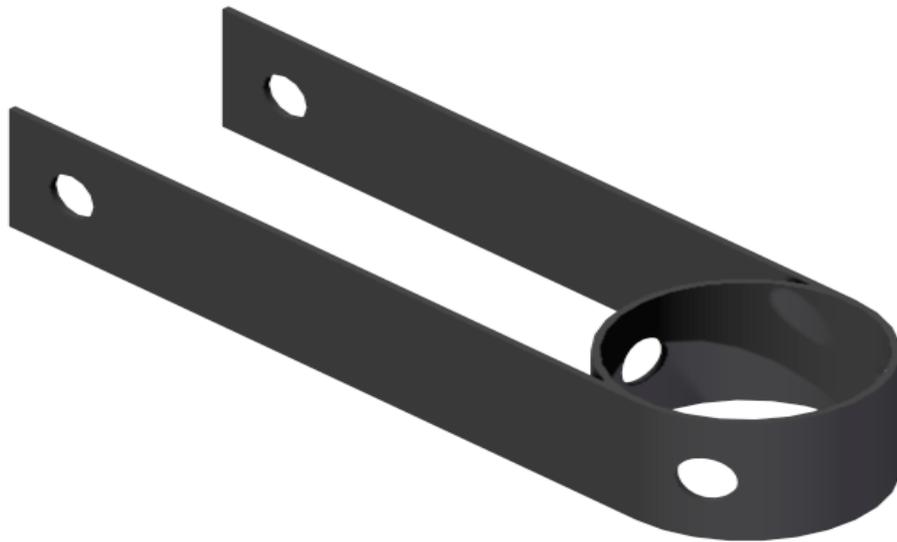
5.2.2 Soportes

Dentro del BEMCO encontraremos dos tipos de soportes guía que darán dirección al motor hacia la celda de carga.

Soporte direccional superior

El soporte superior es totalmente fijo, controla el cabeceo del motor y a la vez garantiza el direccionamiento de este.

Figura 44 vistas rodamiento superior

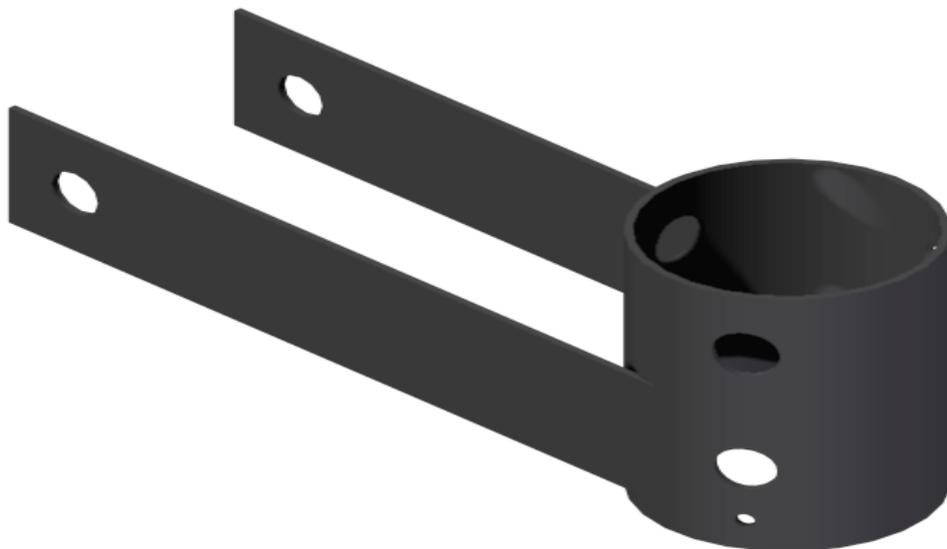


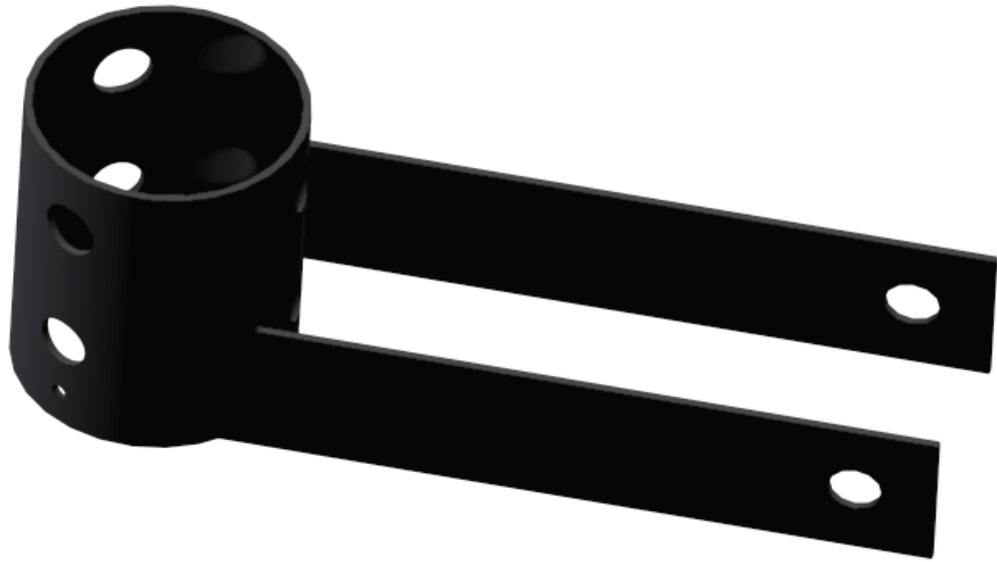


Soporte direccional inferior

El soporte inferior es el encargado de darle una geometría variable al BEMCO, este soporte tiene como fin adaptarse a todos los motores cohete que se utilizaran Y mantener en posición al motor para que no se deslice hacia abajo.

Figura 45 vistas soporte inferior





5.2.3 Tornillo rodamiento

Este BEMCO está diseñado para el ensayo de diferentes motores cohete por lo tanto es necesario adaptarse a las diferentes dimensiones de estos, se utilizara un tornillo rodamiento que permitirá ajustar el área adecuada para los motores cohete dentro de los soportes del BEMCO.

Figura 46 Tornillo rodamiento

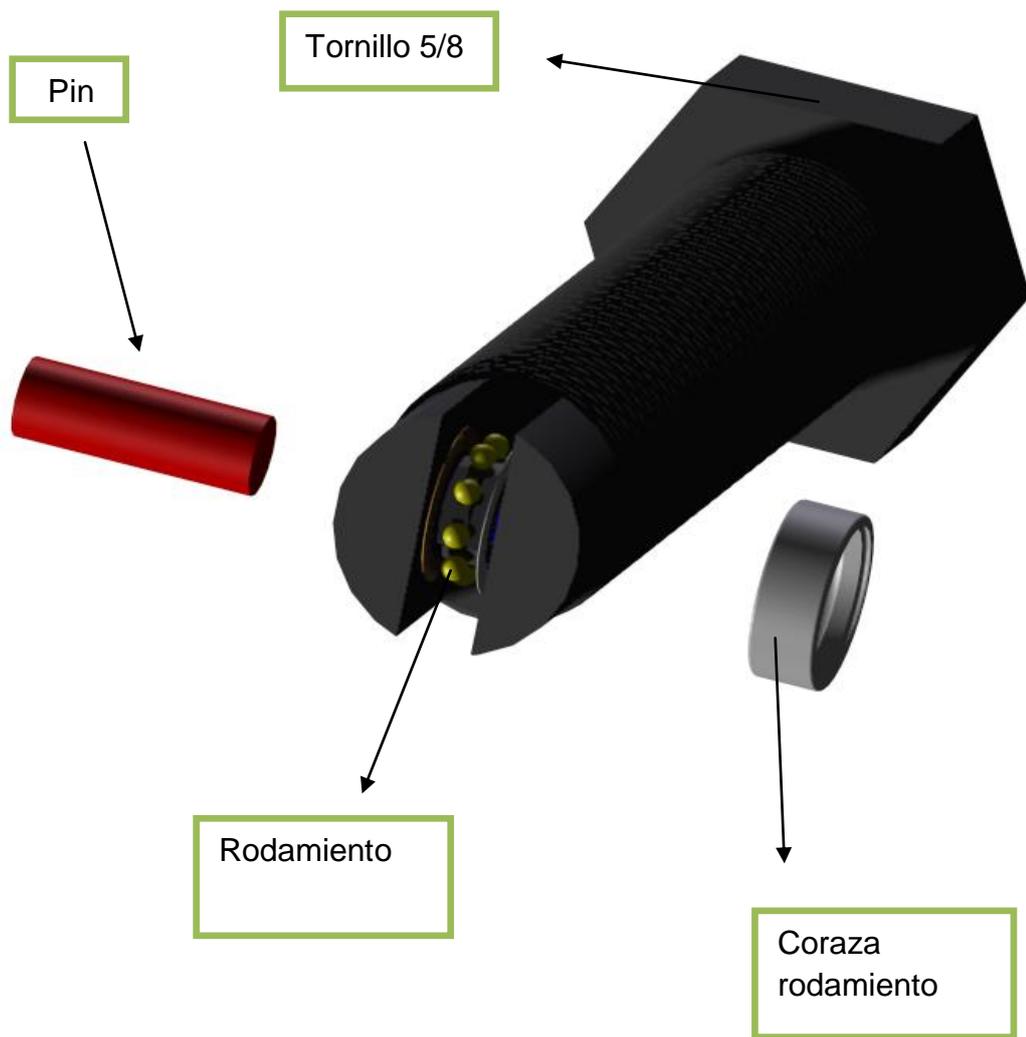


Figura 47 Soporte superior con tornillo rodamiento



Figura 48 Soporte inferior tornillo rodamiento

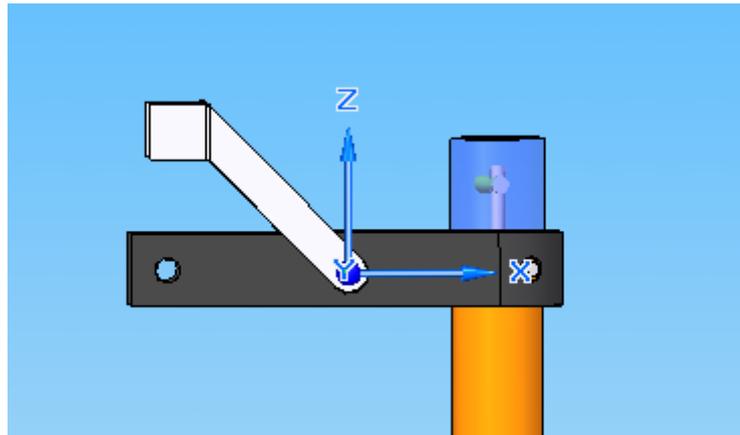


5.3. Soportes de momento

Estos soportes de momento tendrán la función de mantener estático los soportes de dirección en caso dado de que el motor genere conflicto ya sea por fricción o estallido en el momento del ensayo.

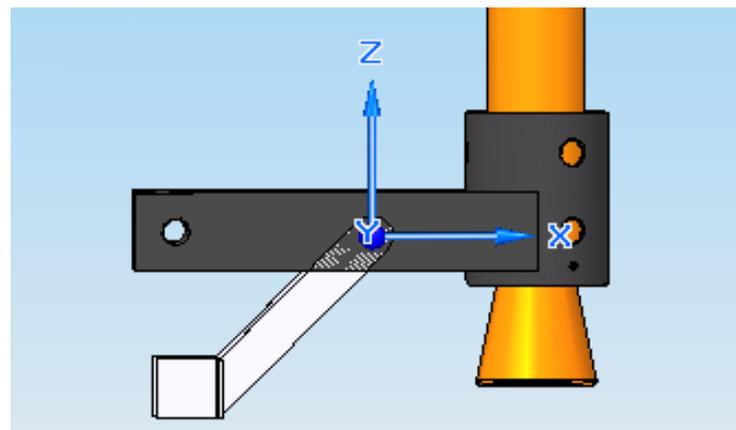
5.3.1 Soportes de momento superiores

Figura 49 soporte de momento superior



5.3.2 Soportes de momento inferiores

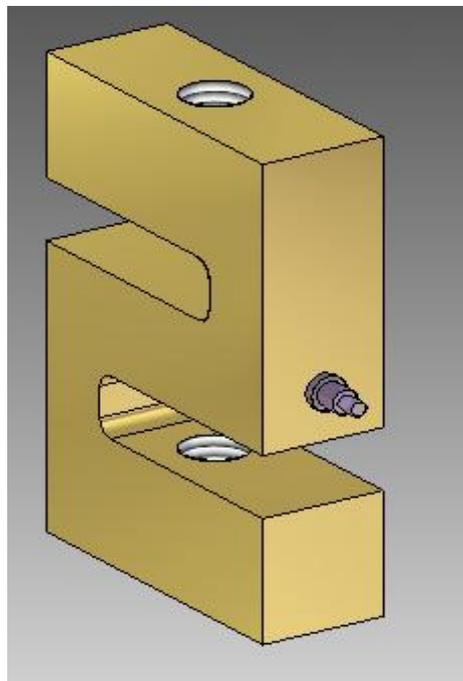
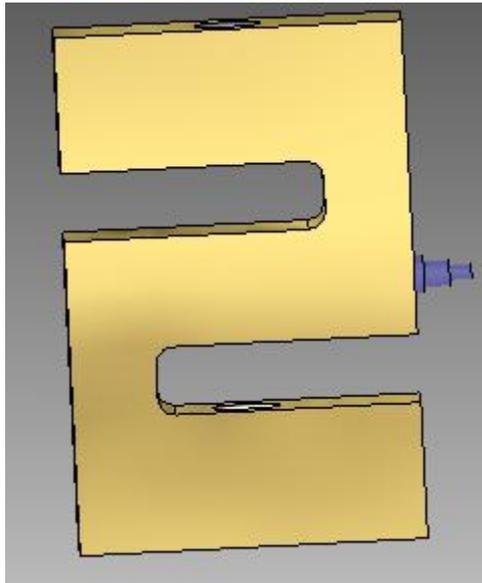
Figura 50 soporte de momento inferior



5.3.3 Celda de carga

Este instrumento estará conectado con su respectiva plataforma, se encargara de censar el empuje de los motores Y enviar la señal recibida al computador.

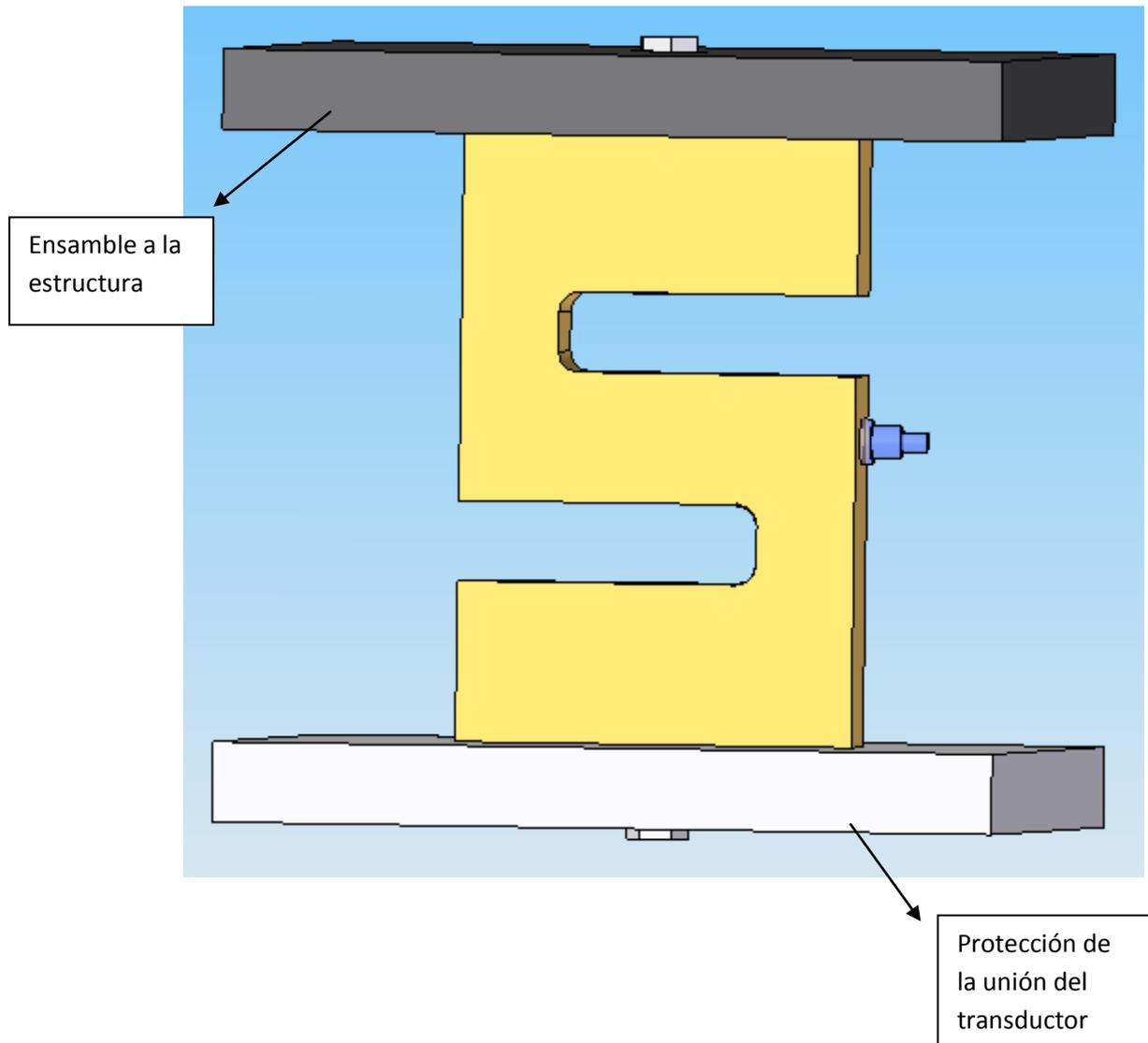
Figura 51 Celda de carga



5.3.4 Lámina de la celda de carga

Para poder ensamblar la celda de carga a la estructura del BEMCO y protegerla del choque brusco del transductor es necesario agregar dos láminas de acero como se muestra continuación.

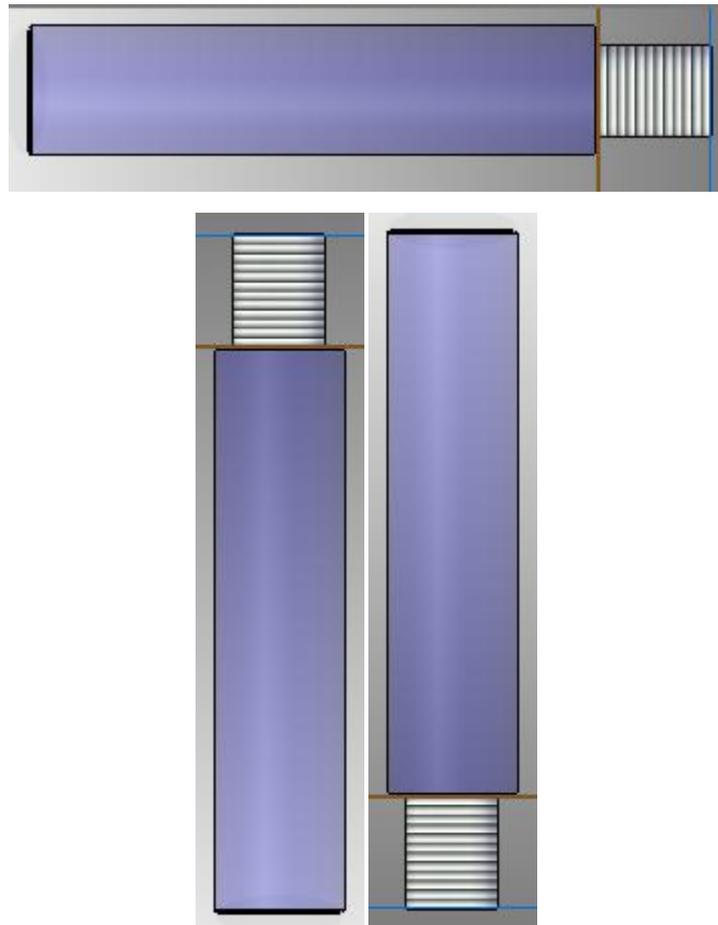
Figura 52 Lámina con celda de carga



5.4 Transductor de presión.

Este instrumento será el encargado de censar las diferentes presiones de motores cohete en el BEMCO hasta un máximo de 3000 PSI.

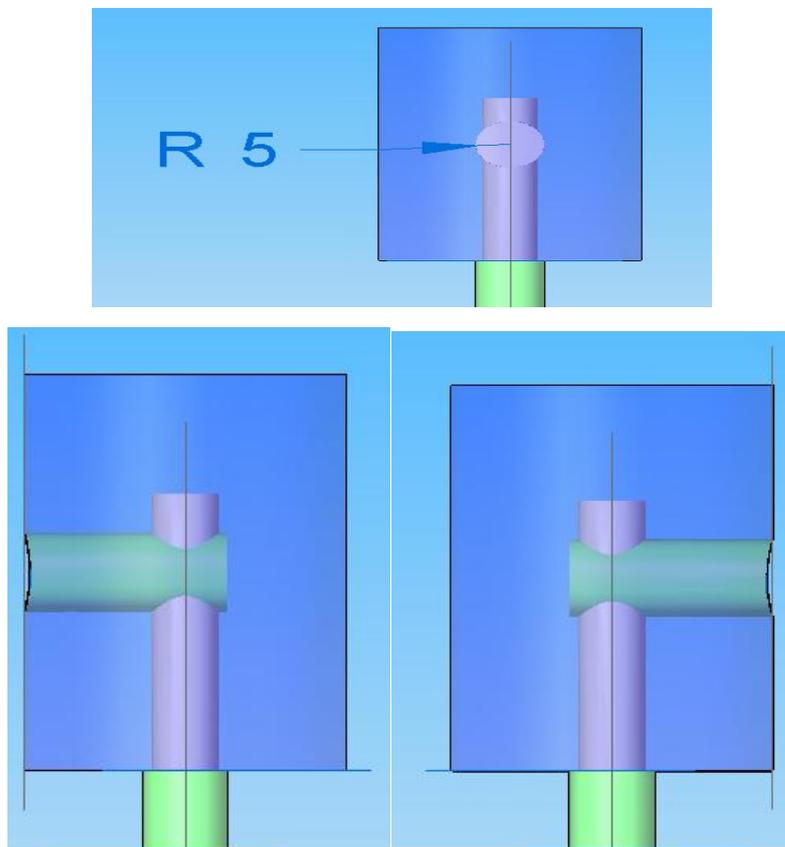
Figura 53 Vistas transductor de presión



5.4.1 Unión transductor de presión

Entre los instrumentos que utilizaremos en nuestro banco se encuentra el transductor de presión, ya que este es imposible ensamblar directamente al motor se requiere diseñar una unión entre el motor y el transductor de presión. Contara con un rosca interna de NPT 3/8 y será construida en Acero 1020.

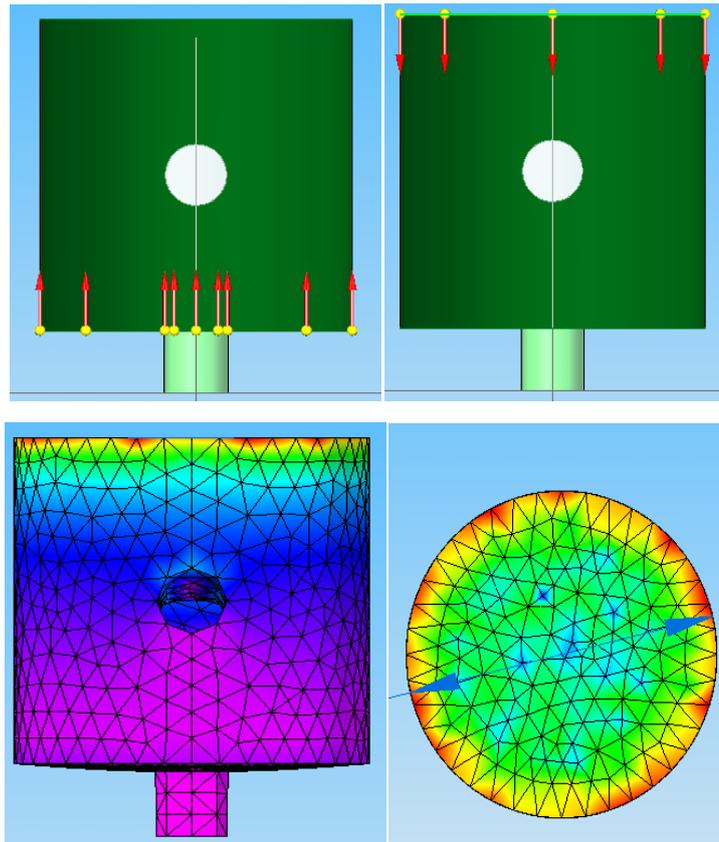
Figura 54 Vistas unión transductor



5.4.2 Análisis de fuerza (Ansys)

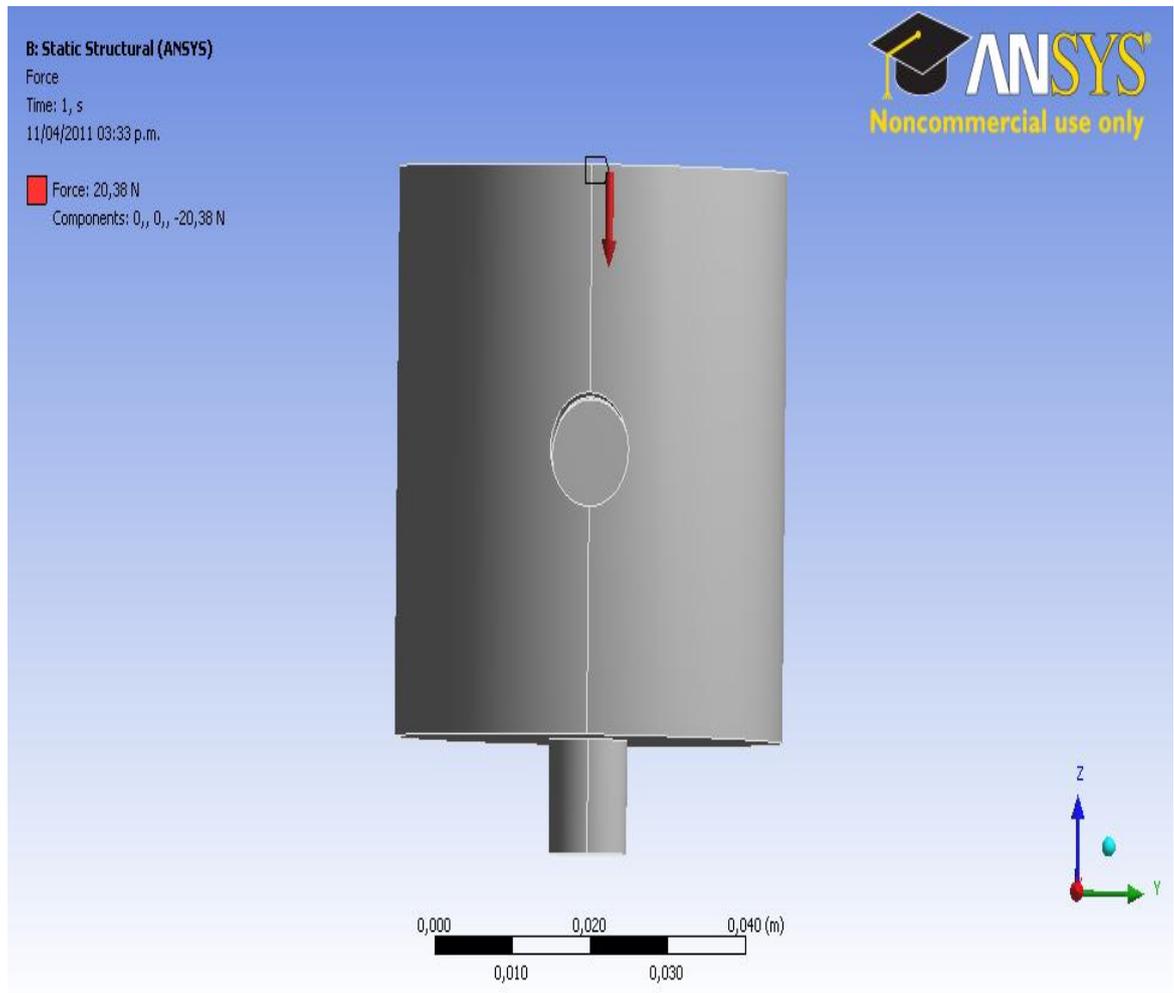
Como sabemos nuestro acople entre el motor y el transductor de presión va estar sometido a diferentes fuerzas por parte de nuestros motores cohete es necesario validarlo con algún software especial de esfuerzos.

Figura 55 fuerzas aplicadas unión transductor



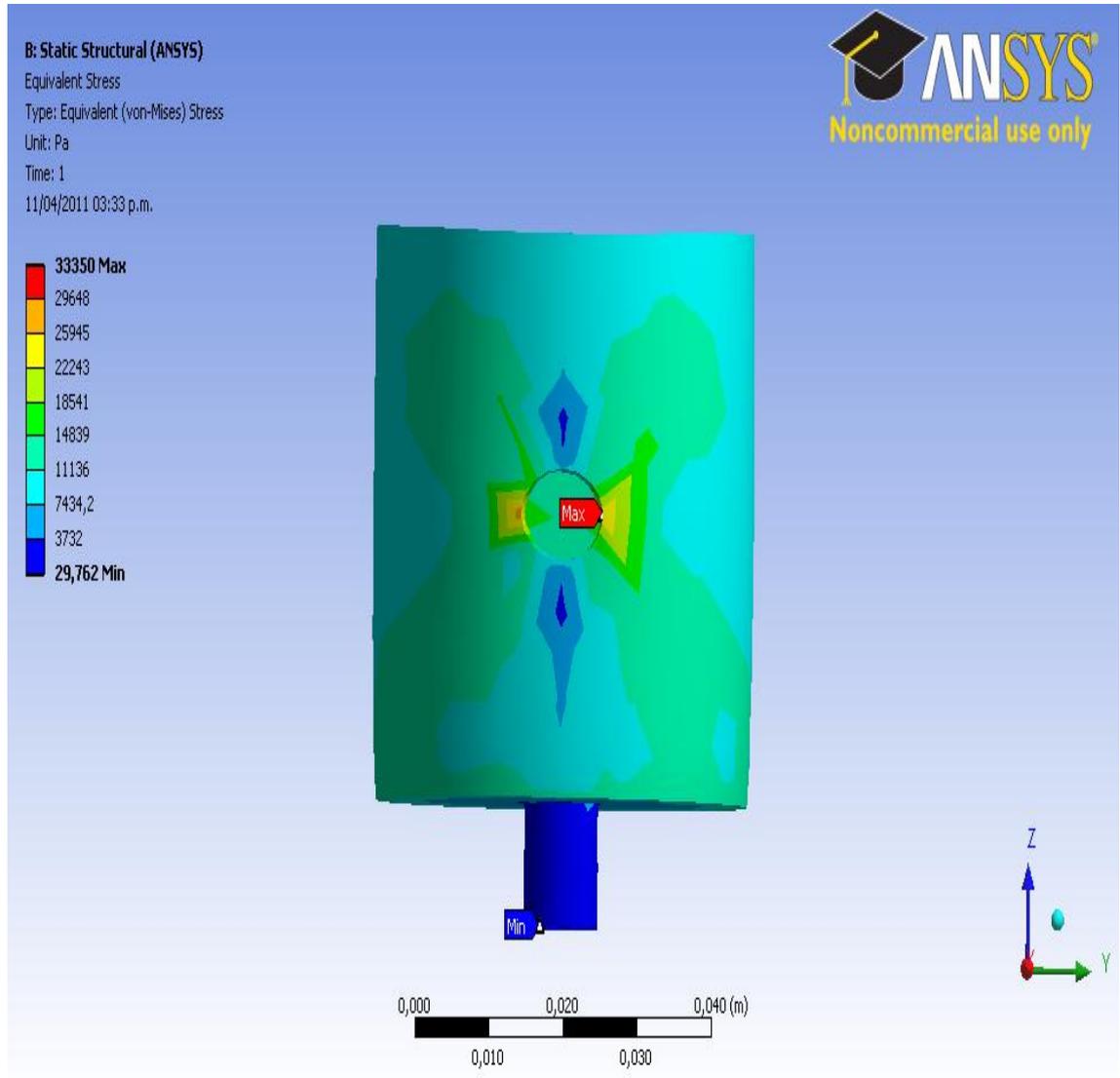
Inicialmente la unión del transductor del BEMCO es sometida a varios análisis de fuerza como se muestra a continuación en la figura.

Figura 56 Análisis unión transductor (Ansys)



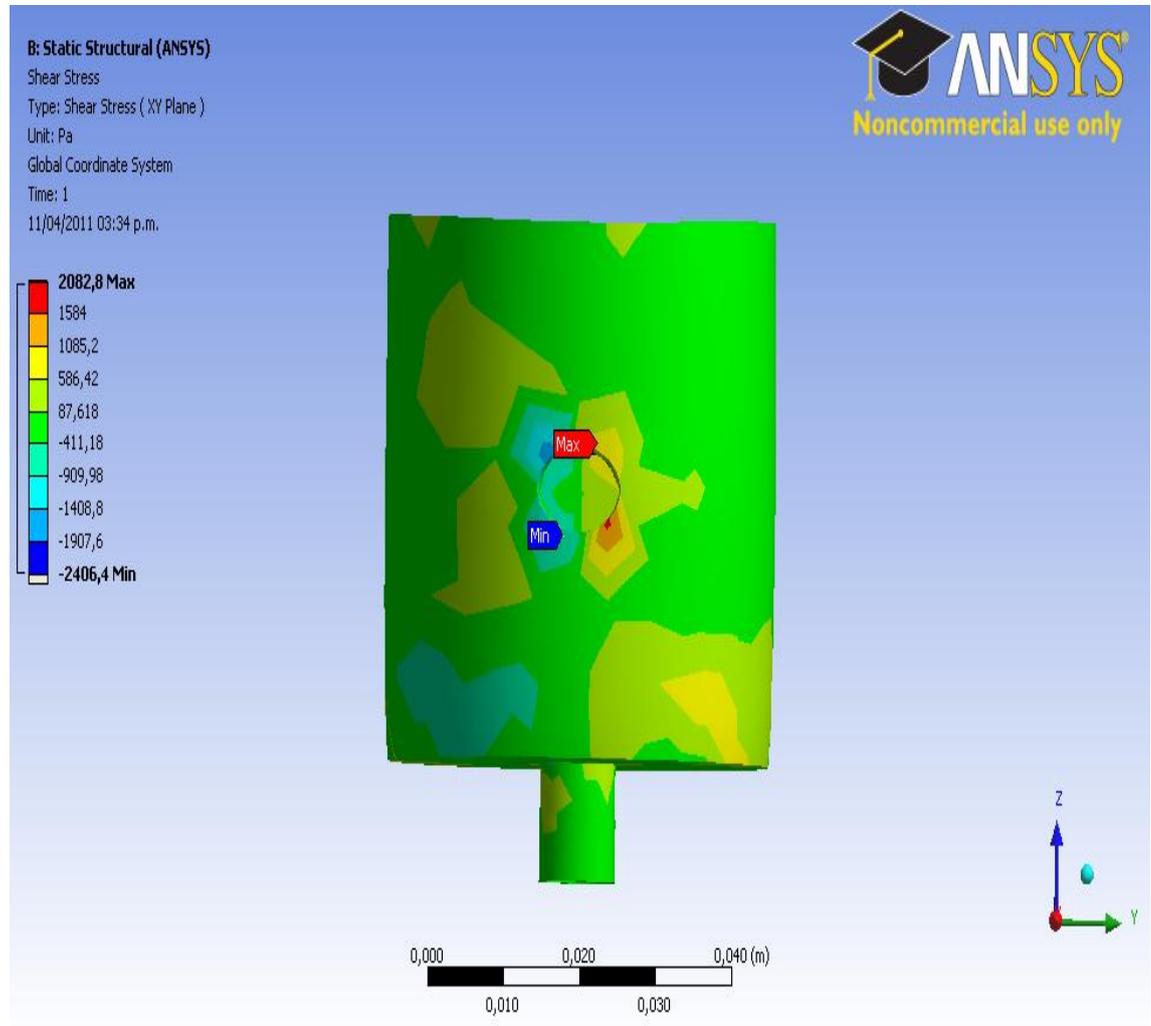
- La fuerza que se aplicó en la unión del transductor fue aproximadamente de unos 200 kgf o 2000, N, que es la fuerza máxima que se puede ejercer sobre la celda de carga que utilizaremos en el BEMCO.

Figura 57 Equivalent Stress. Unión transductor (Ansys)



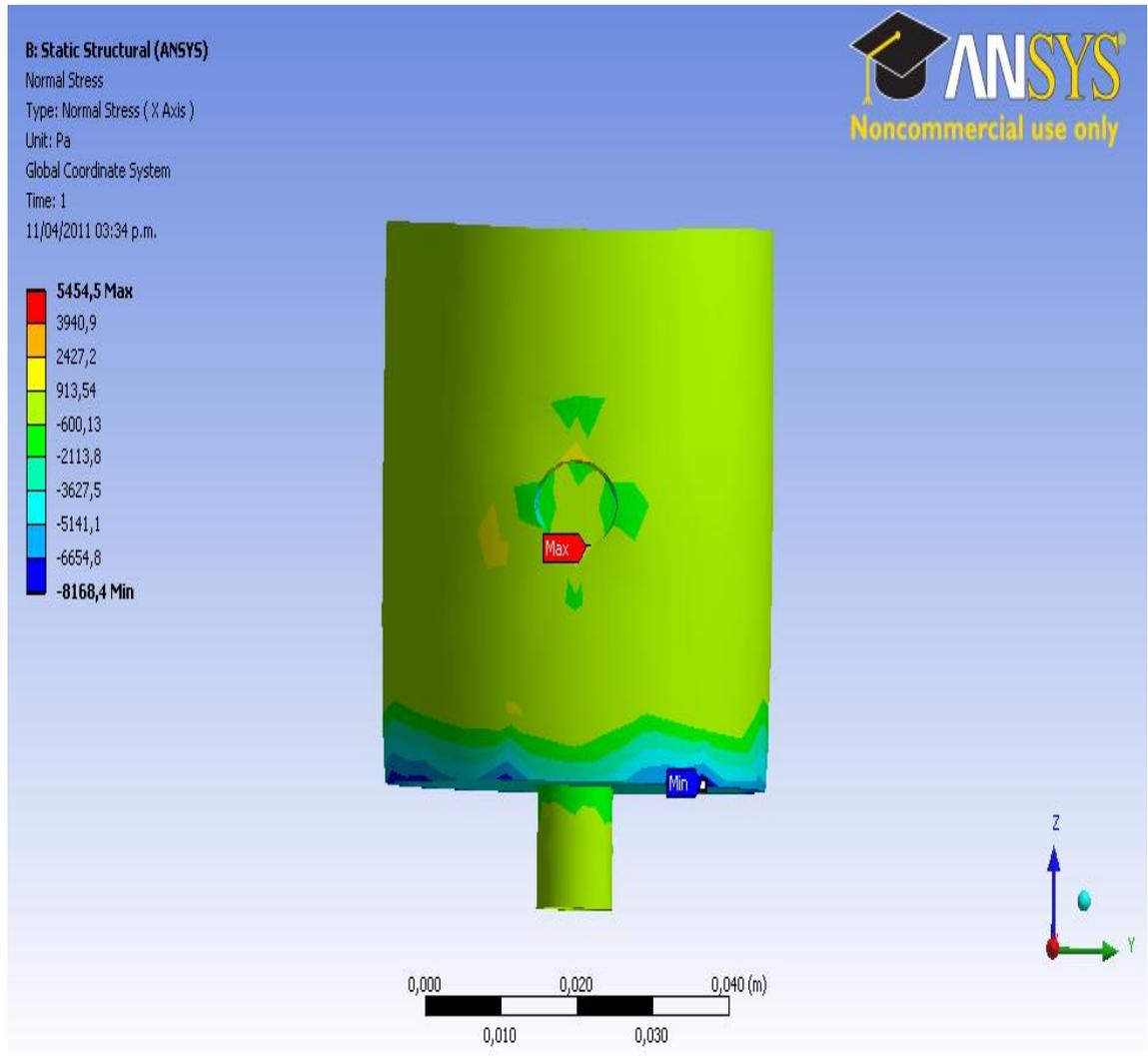
- Como se puede apreciar en el análisis la concentración de esfuerzos, dándonos los puntos de máximo esfuerzo que se presentan hacia las partes laterales del agujero (color amarillo).
- También podemos apreciar en la parte inferior o base de la unión del transductor nuestros puntos mínimos de esfuerzos (azul oscuro).

Figura 58 Shear stress .unión transductor (Ansys)



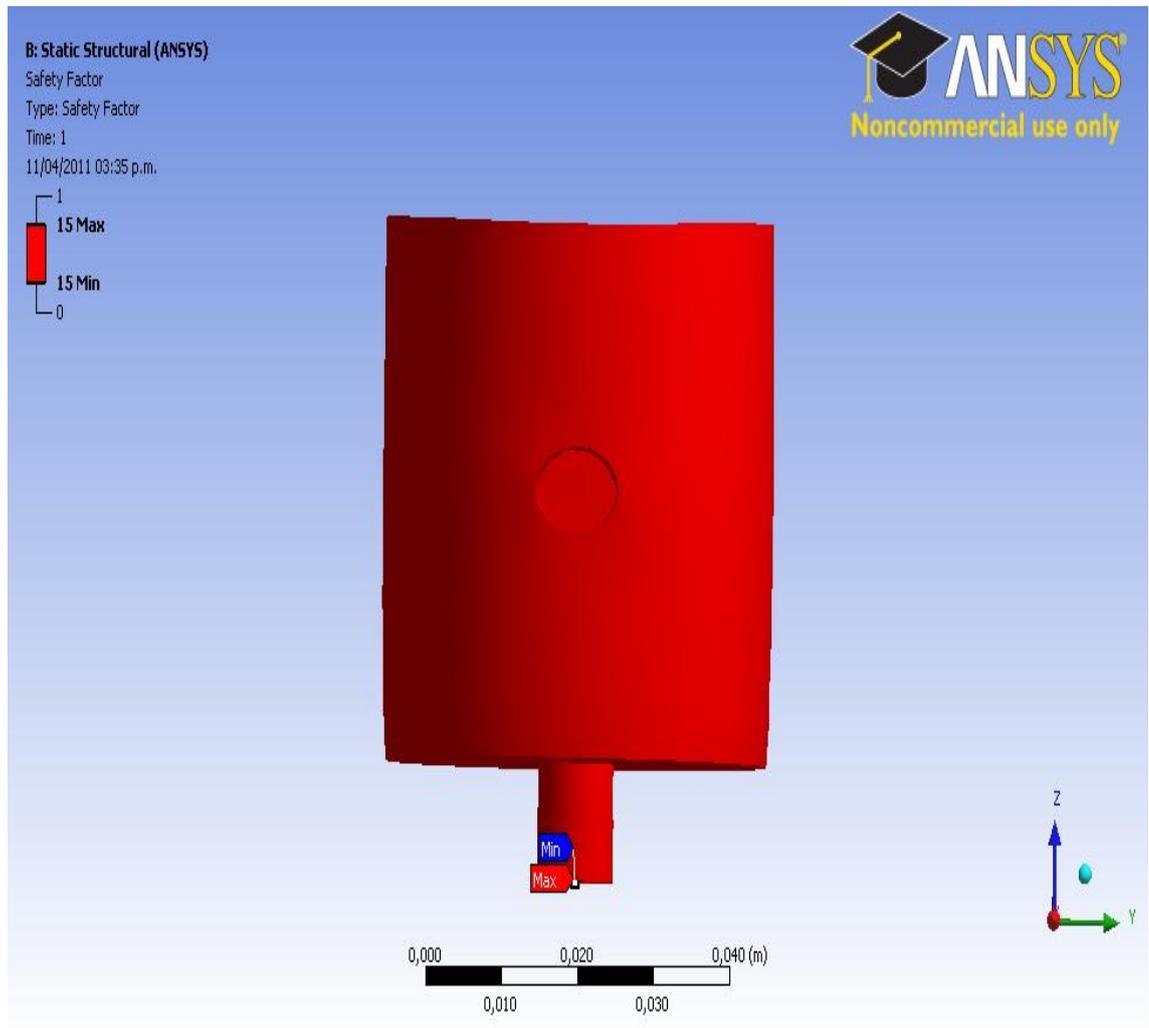
- El análisis nos muestra el efecto cortante que se produce en la unión del transductor obteniendo casi en su totalidad de recubrimiento una fuerza cortante de -411,18 pascales y unos puntos máximos y medios, con un punto máximo en rojo de (2082,8 pascales) y un punto medio de (586,42 pascales).

Figura 59 Normal stress (Ansys)



- Como sabemos el normal stress se refiere a la intensidad de las fuerzas que actúan perpendicularmente en un área. Nuestra grafica se enfoca en la variación de la fuerzas en la parte inferior de la unión del transductor que esta perpendicularmente situada a la fuerza aplicada.

Figura 60 Safety factor .unión transductor (Ansys)

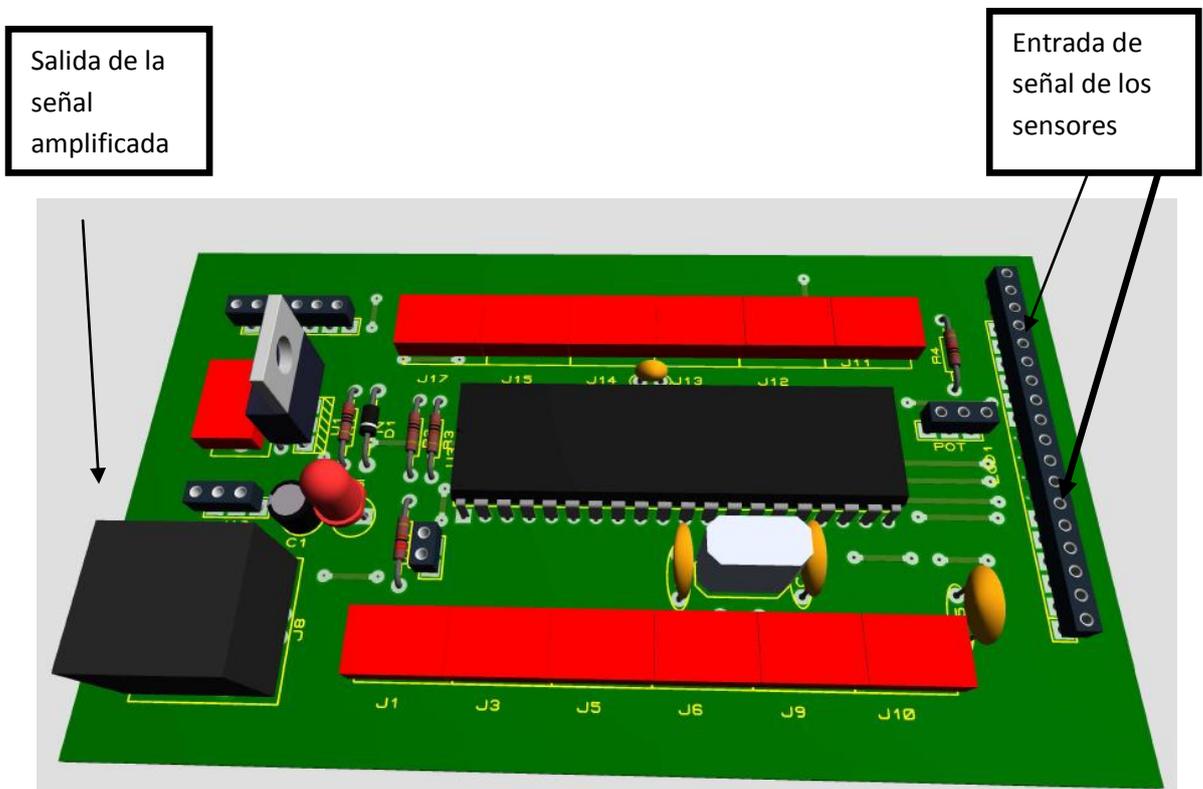


- Como se observa en la grafica, nuestra unión de transductor esta totalmente cubierta por color rojo. Lo que nos indica que el margen de seguridad de nuestra unión de transductor es bastante alto, con un porcentaje 15.

5.4.3 Tarjeta de adquisición de datos

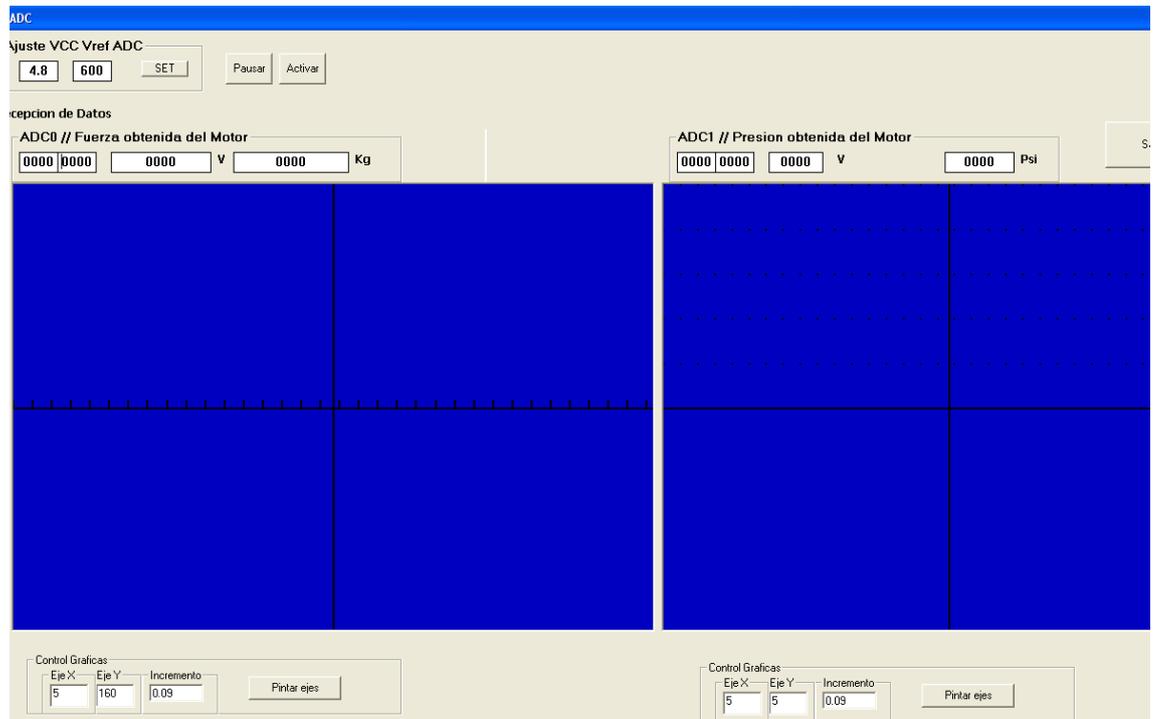
La tarjeta de adquisición de datos que utilizaremos tendrá como función principal tomar las señales emitidas por los sensores de fuerza y presión en mili voltios, amplificarlas y mediante un software especial ser leídas en el computador.

Figura 61 Imagen de la tarjeta



5.5 Software para la lectura de datos

Figura 62 Software



Por medio de este software se podrán observar las variaciones de fuerzas y presiones obtenidas del motor y analizarlas con los datos de diseño preliminar del motor

5.5.1 Calibración de los instrumentos

Esta prueba de calibración se desarrollo en la maquina universal de ensayos marca Tinius olsen calibrada.

Se toman los datos a velocidad constante a 2 mm por minuto, para poder calibrar la celda de carga, se toman los datos en milivoltios y se alimenta el sensor con una fuente 12 voltios.

Figura 63 universal de ensayos

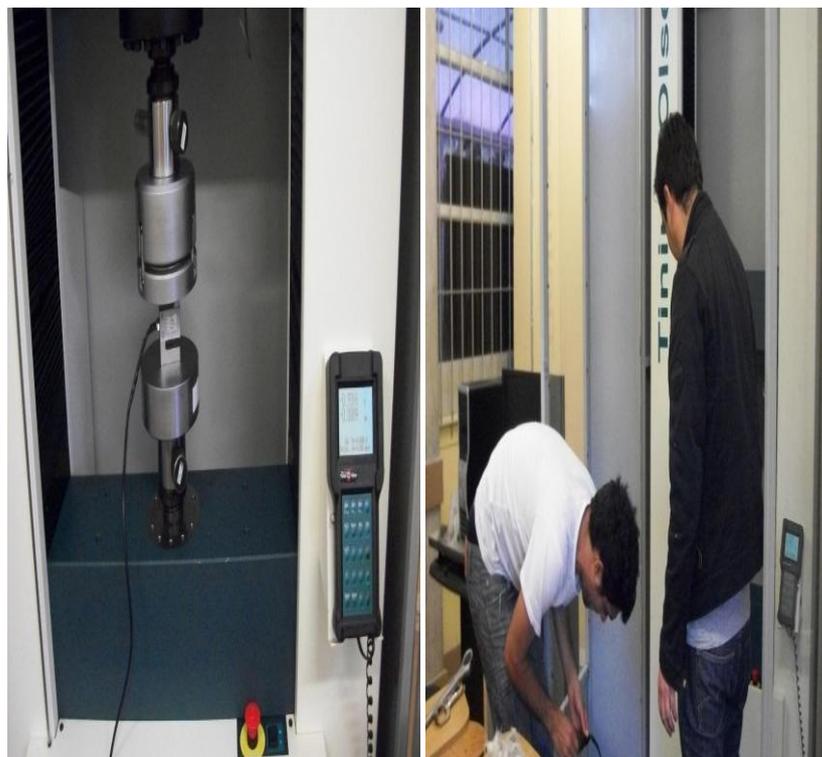
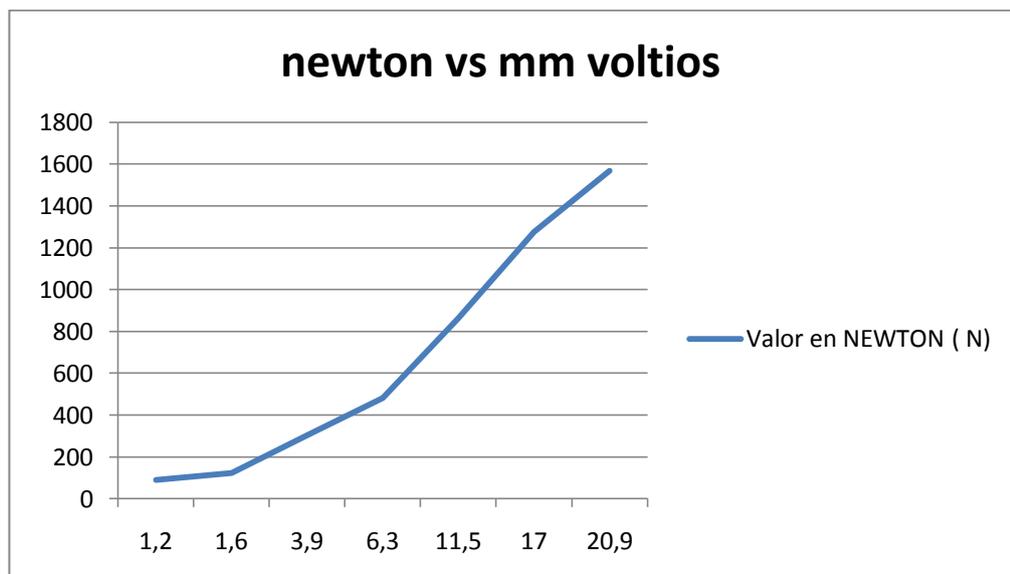


Tabla 19 Datos de calibración (Celda de carga)

Valor en NEWTON (N)	mm VOLTIOS	Valor en kilogramos KG
90	1,2	9,183673469
122,8	1,6	12,53061224
302,16	3,9	30,83265306
482,3	6,3	49,21428571
864	11,5	88,16326531
1275	17	130,1020408
1566,9	20,9	159,8877551

La universal de ensayos emite su fuerza en NEWTON por lo tanto es necesario convertirlas a kilogramos para tener un dato más exacto de la fuerza ejercida sobre el sensor

Figura 64 Tendencia de la celda carga

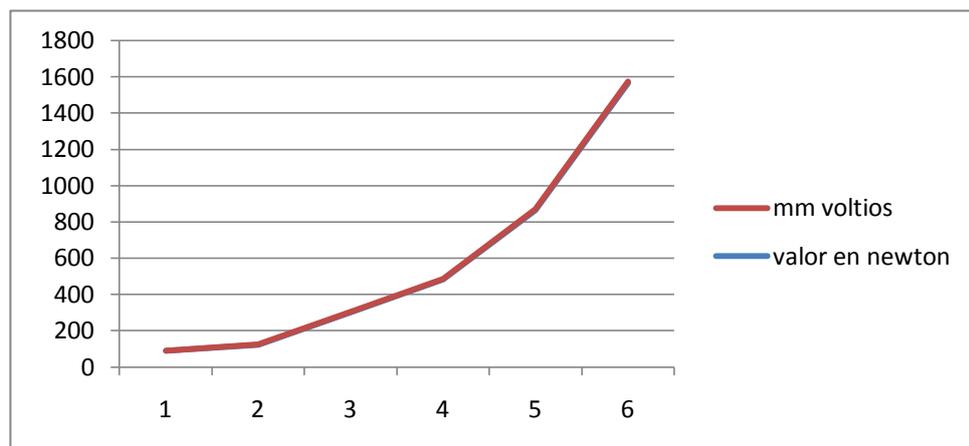


Como se observa en la figura la fuerza ejercida sobre el sensor es directamente proporcional al voltaje obtenido por parte de el.

Tabla 20 prueba sensor nuevo

valor en newton	mm voltios
90	0,4
122,8	0,6
302,16	1,7
482,3	2,6
864	4,8
1566	8,8

Figura 65 Tendencia sensor nuevo



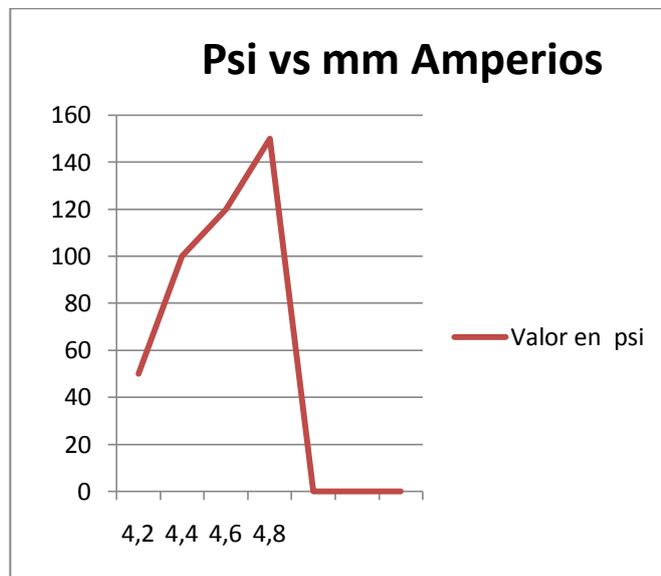
Como se puede observar en la figura estos sensores tienen tendencia lineal, por lo tanto la señal entregada en fuerza es directamente proporcional a los mm voltios de salida.

Tabla 21 datos de calibración (transductor de presión)

Valor en psi	valor en mA
50	4,2
100	4,4
120	4,6
150	4,8

El sensor de presión emite una señal en mili amperios de acuerdo a la presión obtenida por parte del compresor.

Figura 66 Tendencia del transductor de presión



Este sensor también tiene tendencia lineal al igual que la celda de carga. Como se aprecia en la grafica el valor máximo con en mili-amperios es 4,8 ya que es muy difícil alcanzar presiones tan altas.

Así finaliza el diseño detallado del banco estático para motores cohete mostrando un motor clase J montado y listo para ensayar.

Figura 67 Ensamble total del BEMCO.



6. Construcción del BEMCO

Inicialmente se construyó la base del BEMCO, esta fue construida en tubo estructural acerado HR de 40 x40 mm, la tubería fue cortada en piezas a la medida para el ensamble de la base.

Figura 68 Construcción base



La tubería que va en posición vertical fue prensada en la fresadora para poder abrir los diferentes huecos del BEMCO, cada uno de estos huecos está distanciado del otro de acuerdo a la configuración de los diferentes motores cohete.

Los agujeros en la tubería fueron hechos con una broca 37/64 que es la ideal para el tipo de tornillo a utilizar y a su vez se les dio rosca.

Figura 69 Construcción soportes



Para la unión de alguna de nuestras piezas fue necesario hacer un respectivo corte a 45 grados, esto se debió a que se quería dar una finalización tipo pieza única. Todo este ensamble fue finamente unido con soldadura tipo mig.

Figura 70 Unión de soportes con soldadura



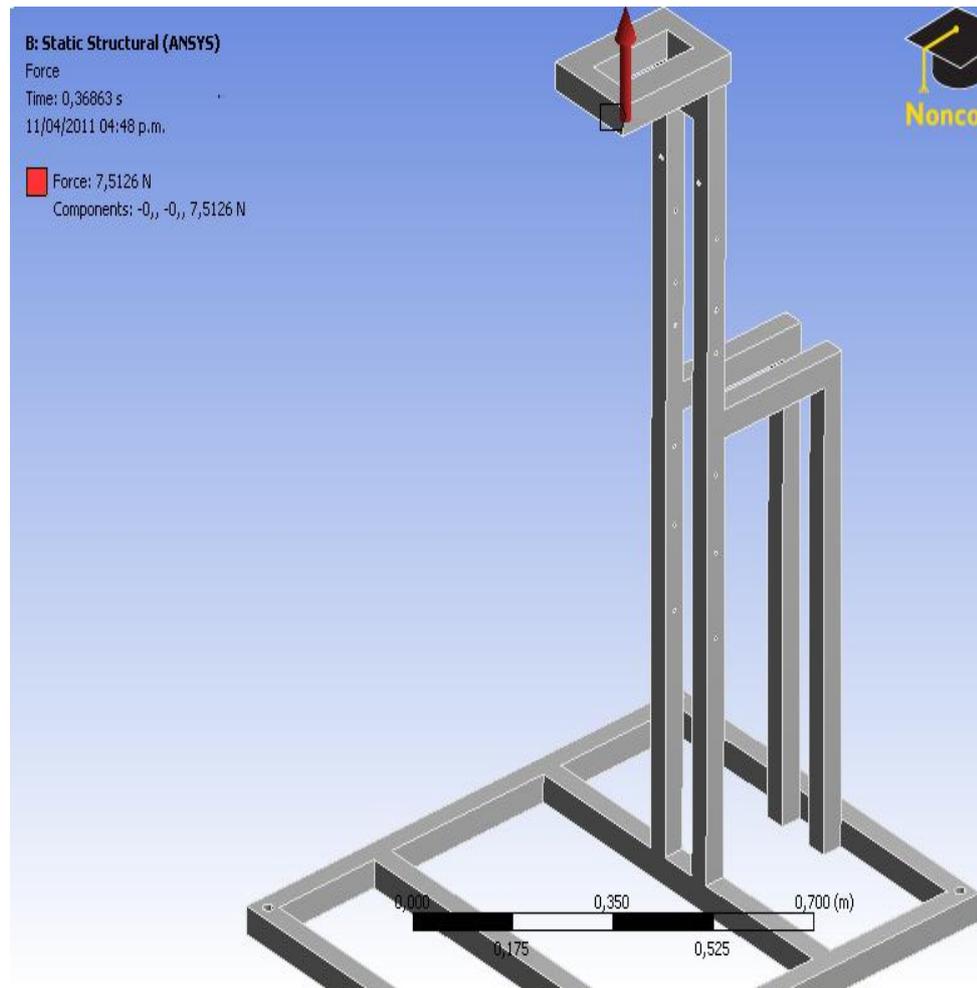
Cuando se construyó la base estructural del BEMCO, se encontró una alta vibración en la estructura, por lo que se decidió agregar dos soportes adicionales al diseño preliminar.

Estos soportes irían acoplados en la parte posterior del BEMCO, dando una unión entre los tubos verticales y la base horizontal que va anclada al suelo.

6.1 Nueva prueba a la base estructural.

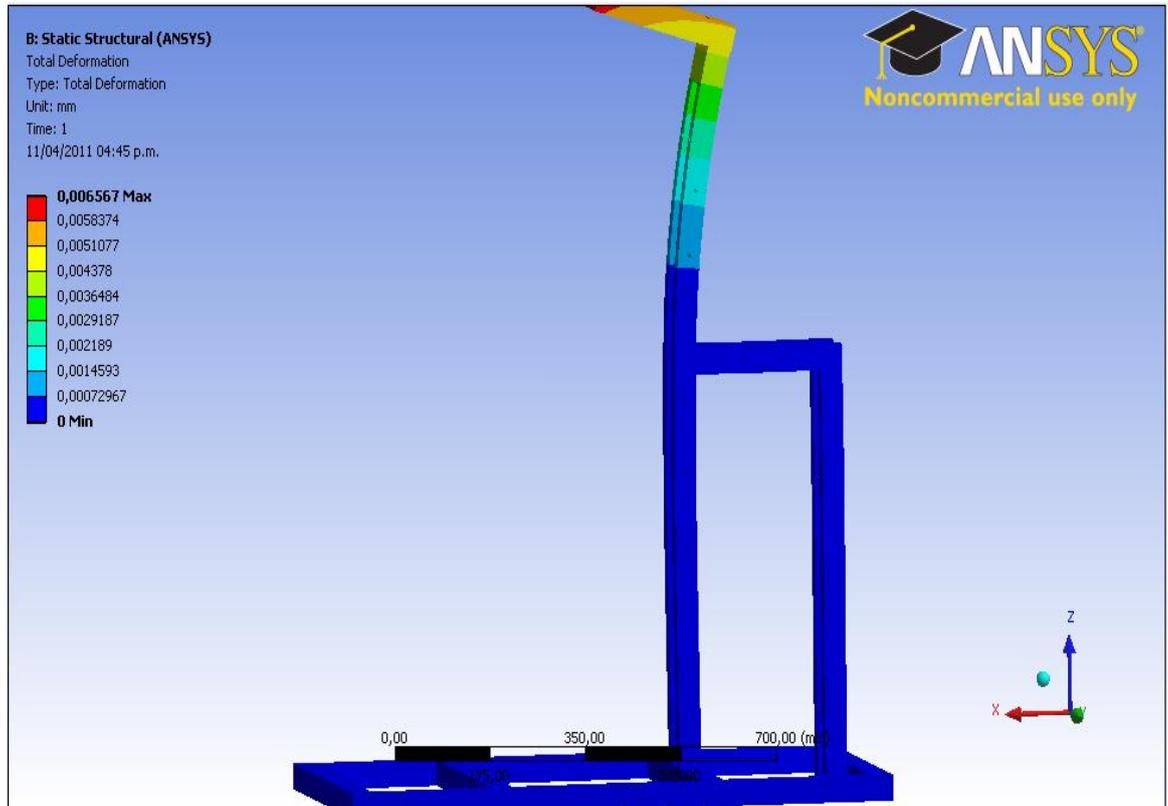
Posterior a esto era conveniente desarrollar de nuevo una simulación en ANSYS para validar de nuevo la base estructural del BEMCO.

Figura 71 Prueba base estructural (Ansys)



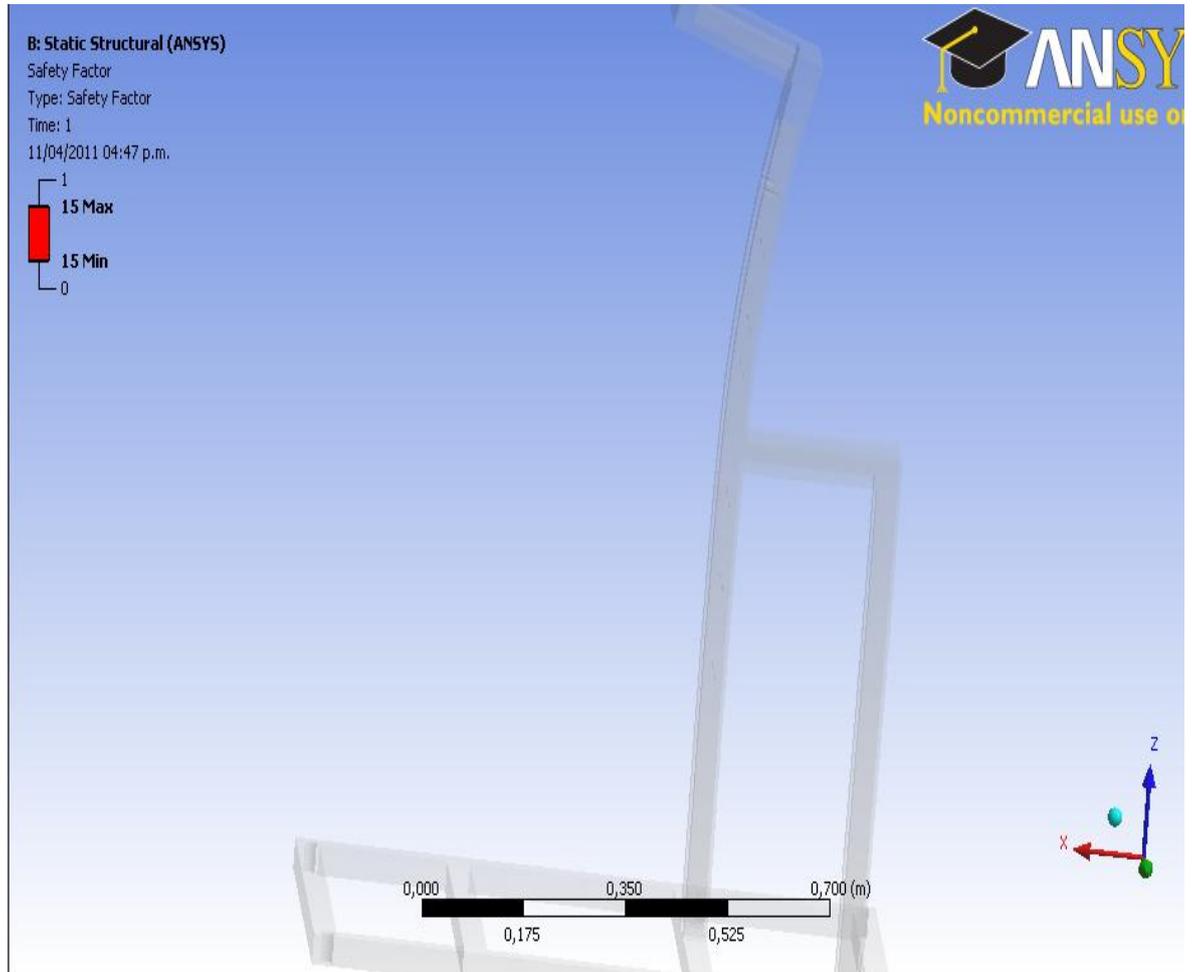
Se aplican diferentes fuerzas a la estructuras tratando de encontrar los puntos críticos en la deformación total y un factor de seguridad aceptable para la estructura del bando de ensayos.

Figura 72 Total deformation. Base Estructural (Ansys)



- Este es el resultado de la simulación con varias fuerzas en Newton, Como se puede observar en la grafica la deformación total del banco de ensayos es de (0,006567 mm) en color rojo. Esta deformación es mínima y es mucho menor a la obtenida en el diseño preliminar.

Figura 73 Safety factor. Base Estructural (Ansys)



- Como podemos observar en la figura el factor de seguridad de la estructura alcanza 15 veces la fuerza aplicada esto quiere decir que el factor de seguridad de la estructura aumento comparado con el factor de seguridad obtenido en el diseño preliminar.

Finalmente la base está terminada y nuevamente validada por ANSYS, Es pulida en todas sus partes dándole una terminación fina y sin grumos de soldadura en las intersecciones del material, obteniendo una superficie lisa y Fácil de pintar.

Figura 74 Estructura final BEMCO



A la base se le aplico una primera capa de pintura especial para metales de color negro brillante para evitar la corrosión de sus componentes y dar un acabado mucho más fino.

Finalmente terminada la estructura del BEMCO es necesario desarrollar pruebas de resistencia mecánica a la estructura la cual en su diseño preliminar fue validada mediante el software de análisis ANSYS.

En esta prueba la estructura será sometida a fuerzas aplicadas de 2000 N (200 kgf) y 3000 N (300 kgf)

Figura 75 Discos de prueba.



Para el desarrollo de esta prueba fue necesario adquirir cierto número de discos de peso. Estos discos fueron suministrados por el gimnasio de la universidad san buenaventura donde cada uno de ellos ha sido pesado previamente para la rectificación de su peso.

Cada uno de estos discos será puesto sobre la estructura para demostrar su resistencia que ya había sido validada en ANSYS, en la que serán ensayados los motores cohete que estén dentro del rango de operación del BEMCO.

Para el desarrollo de la prueba inicialmente, a la estructura le será aplicada una fuerza de 2000 N o (200 kgf) como se muestra a continuación.

Figura 76 prueba 2000 N



Sobre la estructura fueron puestos 8 discos de 55 lb cada uno como se muestra en la figura 75, demostrando la rigidez de la estructura del banco de ensayo para motores cohete.

Figura 77 prueba 3000 N



Teniendo una fuerza aplicada de 200 kgf sobre la estructura se aumenta el número de discos para completar 3000 N (300 kgf). Confirmando que la validación en ANSYS en el diseño preliminar es correcta obteniendo una estructura rígida y capaz de soportar esfuerzos para los cuales fue diseñada. Para ver los videos de esta prueba refiérase al anexo D.

Se compro un tubo de 3 pulgadas y se corto en las dimensiones acordadas en el diseño preliminar, las partes fueron refrendadas en el torno y se hizo la debida apertura de los agujeros en la fresadora utilizando una broca de 17/32 y otra de y a su vez fueron roscados.

Figura 78 Construcción de los soportes



Posterior a los agujeros se soldaron los conectores perpendicularmente al cilindro, además fueron ensamblados los tonillos rodamiento dentro de los soportes y finalmente pintados con pintura espacial para metales color negro brillante.

6.2 Construcción tornillo rodamiento

Para la construcción de este tornillo rodamiento fue necesario empotrar el tornillo de hierro en la fresado y con un escariador de 6 mm de diámetro hacer el respectivo vaciado con una profundidad de 13,5 milímetros.

Figura 79 Ensamble tornillo rodamiento

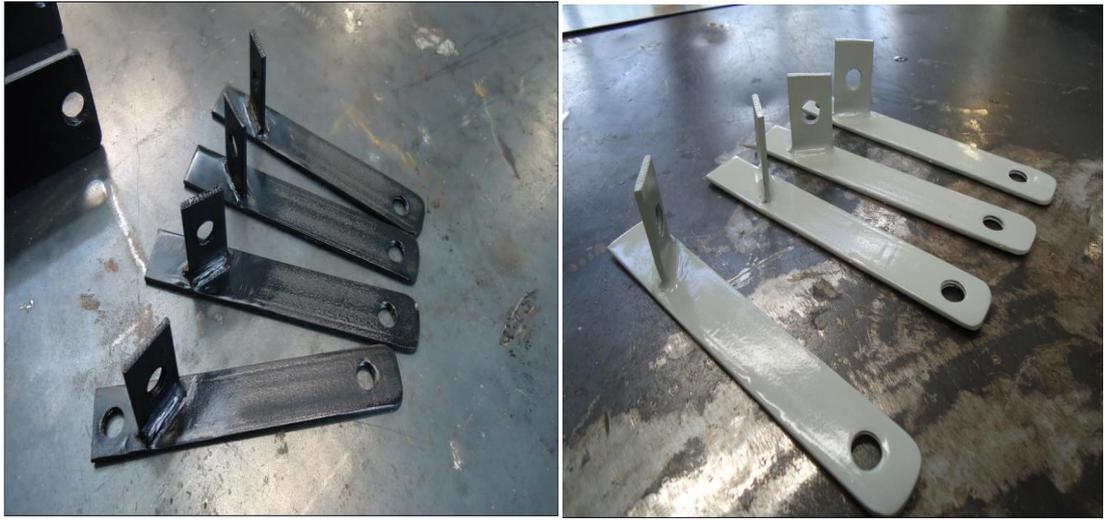


Con la misma fresadora se abrió un agujero de 5 mm utilizando una broca de 13/64, más adelante se compro una barra de acero plata de 5 mm de diámetro, fue cortada en pedazos de 1,5 cm para ser este el eje de rotación del rodamiento.

6.3.1 Construcción soportes de momento

Para la construcción de estos soportes de momento se compro la lamina correspondiente y se abrieron los agujeros en la fresadora utilizando una broca 27/64 Para un tornillo de 1/2 y a su vez se roscaron.

Figura 80 Soportes de momento terminados

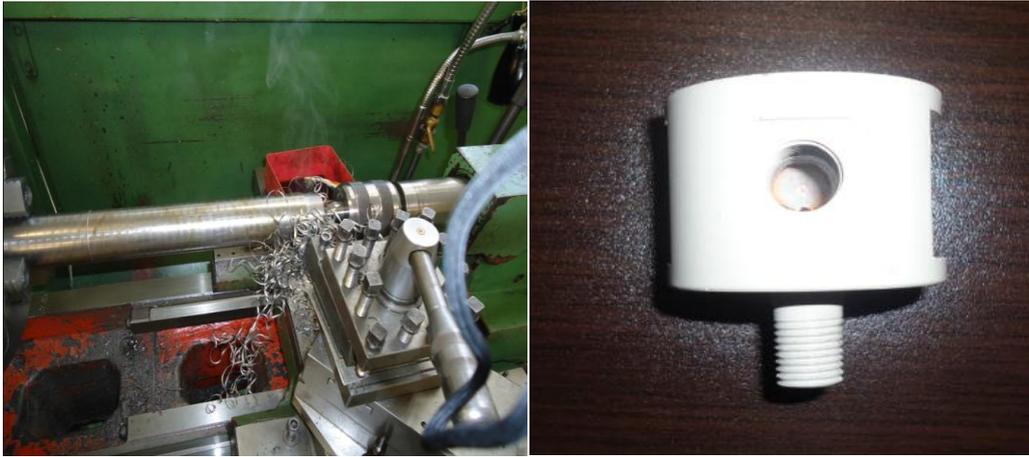


Adicional a esto se cortaron cuatro laminas de 4 cm y fueron soldadas con un Angulo de 40° aproximadamente, se aplico una capa de pintura para metales color negro brillante de base y luego fue aplicada la segunda capa con pintura gris.

6.3.2 Construcción transductor de presión

Se compro un cilindro macizo de 6 cm de diámetro con el cual se le dio la forma al cilindro, se dio un roscado NPT 3/8 al interior y al exterior de la pieza

Figura 81 Construcción unión transductor



Cuando la pieza estuvo terminada se le aplico una capa de pintura para metales color gris, dándole así el acabado final a la unión del transductor de presión.

6.3.3 Construcción de estacas

Para poder anclar nuestra estructura del BEMCO es necesario tener varias estacas, las cuales fueron construidas con lamina de acero y tubo de acero con aproximadamente 35 centímetros de largo. Esto dará un anclaje muy fuerte a la estructura del BEMCO ya que el motor tipo k que es el mas grande dentro del rango de operación del banco de ensayos. Ejerce una fuerza de hasta 160 kilogramos.

Figura 82 Estacas



Ensamble de total del BEMCO

En esta figura Encontramos la unión de cada una de a piezas construidas dándole forma a nuestro banco de ensayos para motores cohete.

Figura 83 Ensamble total del BEMCO



6.4 Ensayo

6.4.1 Motor tipo k para la prueba del BEMCO

Para el ensayo del BEMCO se utilizara un motor cohete tipo k con el cual se podrán obtener fuerzas y presiones por medio de nuestro motor cohete.

Figura 84 Motor tipo k



Para el correcto funcionamiento y seguridad del motor tipo k es necesario sellar la tapa y la tobera muy bien, para esto se contara con anillos tipo O u (O-rings) los cuales brindaran una un correcto sellado al motor

Figura 85 Anillos tipo O



El Propelente que se utilizara en esta prueba será el tipo “candy” (“dulce”, en inglés), que esta compuesto por Nitrato de Potasio y Azúcar común con sus siglas (KN/SU), o Nitrato de Potasio/Sorbitol con las siglas (KN/SO), este propelente es uno de los más seguros para su elaboración y además es muy eficiente para motores tipo K,

Figura 86 Propelente para el motor



Para el llenado del motor k utilizaremos el propelente “candy “con nitrato de potasio y sorbitol.

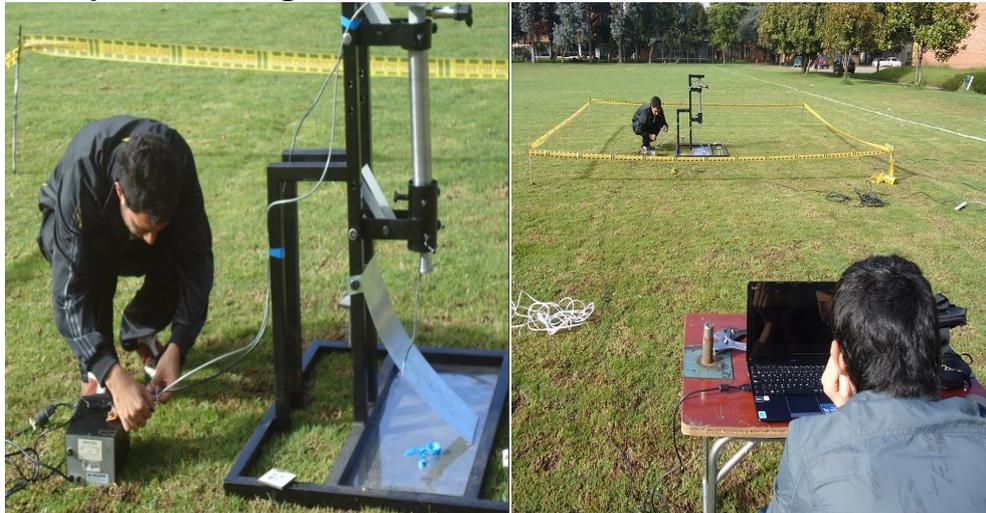
El motor k que se utilizara en la prueba tendrá 4 granos de 102 gr cada uno, para un total de 408 gr de propelente en el motor, como podemos observar en la figura 70 los granos de propelente están recubiertos por un pedazo de cartón suave que actuara como aislante térmico hacia el motor, este proceso no permitirá la entrega de calor inmediata hacia el acero del motor por lo tanto el incremento de la temperatura será mas lentamente.

6.5 Prueba del BEMCO

La prueba para el banco estático para motores cohete se llevo a cabo en las instalaciones de la universidad san buenaventura.

Se hicieron alrededor de 4 intentos de ignición del cohete pero ninguno de estos llevo al desarrollo de de una prueba exitosa. Esto condujo a reorganizara el sistema de ignición que no estaba funcionando correctamente, al reorganizar este sistema se llevo a cabo una última prueba.

Figura 87 pruebas de ignición



Donde se tomaron las mismas medidas de seguridad que en las pruebas anteriores tales como:

- Se acordono el área de trabajo con cinta de peligro para restringir el acceso de personal en la prueba.
- Se instalo en una forma adecuada el motor cohete para ser censado por nuestro banco de pruebas.
- Se organizo el sistema de alimentación para la fuente y sensores en una posición adecuada para su correcto funcionamiento.
- El computador que tomo los datos se adecuo a 25 metros del área restringida
- Todos los espectadores estuvieron a una distancia lo suficientemente alejada para su protección.

Figura 88 Prueba final



Desafortunadamente en esta prueba el motor cohete tipo K sufrió una expulsión de su tapa superior en la combustión, cambiando el curso de motor cohete, que a su vez perforo las laminas de acero inoxidable enterrándolo totalmente en el suelo.

Tengamos en cuenta que estos motores alcanzan presiones y temperaturas bastante altas por lo que esto pudo ser causante de algún desgaste de material.

Posibles causas de explosión del cohete

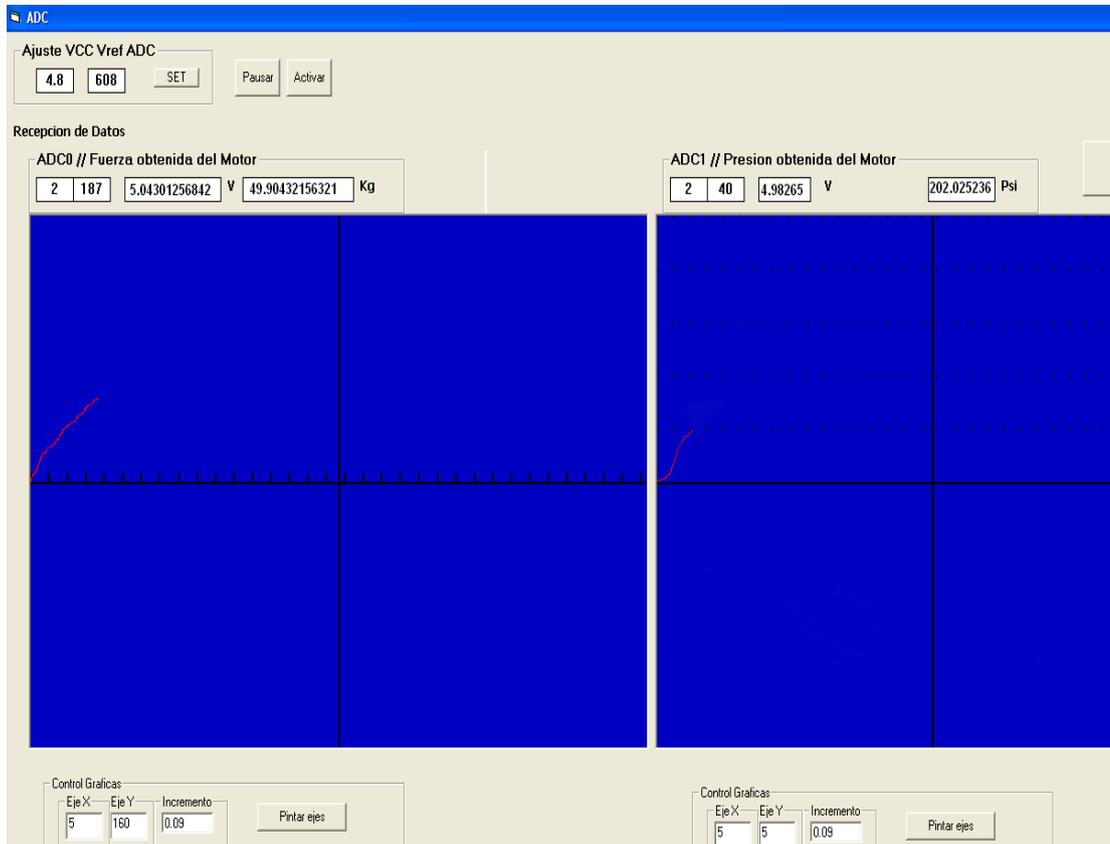
- Como este motor ya había sometido a una prueba anterior pudo ser que esta prueba haya sido responsable del desgaste de la rosca de la tapa superior.
Por lo que cuando el motor cohete experimenta la presión pico en la cámara de combustión la tapa superior haya salido disparada.
- Otra de las causas es que el propelente sólido haya tomado humedad por el tiempo de almacenamiento tan largo. Y su combustión no haya sido uniforme.
- Al momento de ingresar el propelente en el cilindro, este experimenta cierta fricción al entrar. Esta fricción pudo agrietar el propelente sólido y este tiende a explotar cuando se parte.

Figura 89 Motor destruido



Como podemos ver en nuestras figuras nuestro motor quedo totalmente destruido en su parte inferior y en su parte superior se ve como es vencida la rosca de la tapa. Adicional a esto tanto el transductor como la celda de carga fueron destruidos por completo.

Figura 90 Registro de software
Dentro de los registros que se encontraron



Como se observa en la figura el software de registro de datos recibe una excitación muy leve por parte de los sensores antes de la explosión del cohete y las grafica.

- Al lado izquierdo se aprecia la variación de fuerza en kilogramos (KG) alcanzando un máximo de 49.9043 kg de fuerza por parte del cohete.
- Al lado derecho se puede apreciar la variación de presión dentro de la cámara de combustión del cohete alcanzado un máximo de 202.02536 psi

7. RECOMENDACIONES PARA USO DEL BEMCO

1. Verifique que su motor cohete este dentro del rango de operación del banco de ensayos.
2. Tenga en cuenta que este banco de ensayos fue diseñado y construido únicamente para motores cohete como lo son (K,G,M,I,H,J)
3. Verifique el área de la prueba, tenga en cuenta que esta área sea descubierta y alejada de personas a su alrededor.
4. Delimite el área con cinta de seguridad, esto le dará un mejor control del área a trabajar
5. Este 100 % seguro de lo que está haciendo ya que esto le ayudara a evitar accidentes.
6. Tenga siempre a la mano un extintor en caso de emergencia.
7. El soporte inferior del banco de ensayos se ajusta en la base para cada tipo de motor cohete que este dentro del rango de operación,(Ajústelo de acuerdo a su motor cohete)
8. Este banco cuenta con una unión hacia el transductor de presión el cual tiene que ser enroscado en la parte superior del cohete (tapa) con una llave de tubo para evitar fugas.
9. La tapa de su motor debe tener rosca NPT de 0.5 para que sea compatible con la unión del transductor.
10. Para poner en posición su motor ajuste primero el soporte inferior , inclínelo hacia abajo y abra totalmente sus tornillos, de esta manera el motor entrara libremente.
11. Después cierre levemente los tornillos de $\frac{1}{4}$ o simplemente los más delgados del soporte inferior, estos le ayudaran a mantener el cohete en posición sin que este siga de largo.
12. Al finalizar acomode el soporte inferior de tal manera que quede totalmente alineado con el soporte superior.

13. Apreté el soporte inferior a la base de tan manera que este no tenga movimiento alguno. (llave expansiva)
14. Cierre cada uno de los tornillos rodamiento hasta lograr una pequeña holgura entre el cohete y el rodamiento.
15. Utilice las estacas para anclar la estructura del BEMCO lo mas fuerte posible.
16. Monte los sensores a la estructura del BEMCO
17. Utilice empaques de goma para la celda de carga , esto le ayudara a mantenerla quieta entre las laminas de protección
18. Apreté el transductor de presión a la unión que esta en el cohete. (llave expansiva)
19. Conecte los sensores a la tarjeta de adquisición de datos.
20. Conecte la fuente de energía con los sensores tenga en cuenta que la celda de carga es alimentada con 12 V y el transductor con 24 V.
21. Conecte el cable Usb en el computador y en la tarjeta de adquisición de datos, lo recomendable es tener un cable como mínimo de 10 m para la protección del equipo.
22. Verifique que esté recibiendo señal en el computador por parte de la tarjeta y de los sensores.
23. Acomode la cámara de video lo mas central posible para la filmación de la prueba.
24. Encienda su motor con el sistema de ignición diseñado lo más lejos posible.
25. No se acerque hasta que se haya quemado totalmente el propelente.
26. Utilice guantes para desmontar el motor cohete y demás piezas del BEMCO.
27. Tome la información suministrada por la prueba en el computador.
28. compare los datos obtenidos con los del diseño del motor cohete

7.1 PROTOCOLO DE SEGURIDAD PARA LA MANIPULACIÓN DE MOTORES COHETE EN BANCOS DE PRUEBA.

Introducción

Las seguridad y el orden son las principales consideraciones que se deben tomar con los motores cohete y ensayo de estos, a continuación una serie de medidas de seguridad para el uso de bancos de prueba.

Equipo personal

1. Utilice una máscara facial o anteojos para su protección facial.
2. Utilice ropa de algodón (nuca utilice ropa sintética ya que estas prenden fuego fácilmente y las lesiones en la piel son mucho más graves)
3. Utilice guantes para la manipulación de los elementos.
4. Tenga todas la herramientas que van hacer utilizadas para la prueba a la mano.
5. Tenga puesta toda su atención en el ensayo y siempre presente el peligro que corre al hacer este tipo de ensayos.

Motor de la prueba

1. Durante el llenado del cohete con el combustible solido absténgase de estar fumando o de estar cerca de personas que lo estén. (esto puede ocasionar la quema del combustible antes de tiempo y poner en peligro su vida)
2. Cerciórese que esté totalmente sellado y no haya peligro de fugas por la tapa superior e inferior del motor cohete.
3. Organice el sistema de ignición del motor cohete antes de ser montado dentro del banco de ensayos. (si este sistema de ignición es por corto eléctrico tenga disponibles por lo menos 50 metros de cable para accionar el motor cohete a una distancia segura)
4. Absténgase de realizar pruebas con motores que hayan sido puestos a prueba antes de esta.

Desarrollo de la prueba

1. Escoja un área a campo abierto libre de personas alrededor para mayor seguridad de su prueba.
2. Tenga un plan de emergencia que le permita estar preparado para lo peor.
3. Nunca haga una prueba de cohetes en solitario siempre arme un equipo de trabajo.
4. Dentro de su equipo de trabajo es indispensable estar bajo la supervisión de un profesor o ingeniero encargado de la prueba.
5. Tenga un plan para el desarrollo de su prueba en el cual asigne funciones a cada una de las personas de su equipo de trabajo.
6. Ponga en posición el banco de ensayos (BEMCO) para la prueba.
7. Acordone el área en la cual va a ser instalado el banco de ensayos (BEMCO) con cinta de seguridad (se recomienda cercar con 50 metros cuadrados como mínimo)
8. Si utiliza dispositivos electrónicos tenga en cuenta que esos no pueden estar cerca de la expulsión de gases del cohete, ya que esto podría ocasionar un corto eléctrico. (se recomienda situar todos estos dispositivos detrás del banco de ensayos (BEMCO) a una distancia apropiada por seguridad.
9. Acordone el área en la cual va a ser instalado el banco de ensayos (BEMCO) con cinta de seguridad (se recomienda cercar con 50 metros cuadrados como mínimo)
10. Verifique que todas las conexiones de sus sensores estén conectadas correctamente.
11. Si hay espectadores establezca un lugar seguro para la toma de videos y fotos.
12. Verifique una a una las tareas asignadas a su equipo de trabajo y dele el visto bueno a cada una de ellas.
13. Cuando usted haya chequeado cada una de estas tareas, comuníquelo a su profesor o ingeniero responsable de la prueba para que este proporcione el visto bueno final para el desarrollo de esta.
14. Haga un conteo regresivo para alertar a todos que la prueba está por comenzar.
15. Accione su cohete y manténgase alejado hasta que este haya quemado totalmente el propelente.
16. Tome los datos y adquiridos en la prueba para analizarlos.

17. Espere de 10 a 15 minutos para desmontar el cohete, cuando haya pasado este tiempo no olvide utilizar los guantes para evitar quemaduras.
18. Siga a cabalidad este protocolo de seguridad que le ayudara a tener una prueba exitosa y fuera de peligro.

Medio ambiente

1. Sea consciente y nunca deje desperdicios en el área de trabajo.
2. Para evitar incendios se recomienda tener un extintor a la mano para el desarrollo de la prueba.
3. No deje material de fuego rápido en el area de trabajo, ya que esto puedo ocasionar incendios y accidentes.

Nota: Tenga en cuenta este protocolo de seguridad ya que esta hecho pensando en su bienestar y el desarrollo de una prueba exitosa.

Recuerde que los daños a su integridad física no tienen reparo.

Experiencia de prueba de cohete.

Mi proyecto de grado fue enfocado hacia un banco de ensayos para motores cohete con la cual se quería brindar una herramienta útil para el ensayo de estos motores en la universidad san Buenaventura.

Para el desarrollo de esta prueba se utilizó un motor cohete tipo K fabricado por la Universidad militar nueva granada, donde se siguieron todos los protocolos de seguridad para la construcción del motor y la fabricación del propelente sólido. Este motor cohete ya había sido probado con anterioridad, mi prueba fue llevada a cabo en la universidad san Buenaventura utilizando el banco de pruebas para motor cohetes(BEMCO) diseñado en esta tesis.

Les puedo decir que mi experiencia fue un poco tormentosa ya que el motor cohete tipo k expulsó su tapa superior y cambió su curso, atravesando el deflector de llama y las laminas de acero inoxidable que se pusieron por seguridad, enterrándose por completo en el suelo.

Se intentó hacer la prueba del motor cohete tipo k unas 4 veces antes pero en ninguna de estas se tuvo éxito, ya que el sistema de ignición que era por corto eléctrico no estaba funcionando de la mejor manera. Este sistema de ignición lleva al uso de por lo menos 50 metros de cable para tener una distancia óptima y fuera de peligro.

Tratando de organizar este sistema de ignición se gastaron alrededor de 36 metros de cable de los cuales todos se quemaron y nunca se logró prender el cohete, con el cable sobrante se hizo la prueba final un error que se comete y que jamás debe volver a repetirse. Mi consejo es simple no se desespere si no le sale bien la primera vez, tome un tiempo para pensar en cada detalle, y analice bien los conceptos, y por ningún motivo deje de preguntarle al profesor encargado cualquier duda.

Todas las pruebas con cohetes tienen algo que enseñar y esta no es la excepción, esta prueba nos muestra uno de los aspectos más importantes de trabajar con cohetes que por ningún motivo se debe pasar por alto y es la seguridad de trabajo.

Tenga en cuenta mi experiencia para sus construcciones de motores y el uso de banco de pruebas. Y tenga siempre presente lo peligroso que es manipular

estos elementos, ármese de paciencia porque se necesita al trabajar con estos motores.

En esta prueba se tomaron medidas básicas de seguridad pero también se pasaron otras por alto, afortunadamente en esta prueba ninguna persona resultó herida y otro sería el caso si se hubieran pasado por alto todas las medidas de seguridad.

En esta tesis encontrará un protocolo de seguridad que le servirá como guía para sus pruebas con motores cohete por favor sígalo que está hecho pensando en su seguridad personal.

8. CONCLUSIONES

Se realizó el respectivo diseño del banco de ensayos (BEMCO), teniendo en cuenta los respectivos datos de entrada de diseño del motor cohete tipo K se estableció una sensorica adecuada y dimensiones correspondientes a la estructura del BEMCO, analizando esta a su vez en el software de análisis de esfuerzos (ANSYS)

Se establece un protocolo de seguridad para el usuario al igual que ciertas recomendaciones en las cuales se plasman las condiciones de trabajo del banco de pruebas para motores cohete (BEMCO), que serán la guía principal para una prueba de motores segura y exitosa.

En este banco de ensayos para motores cohete (BEMCO) Se establece un rango de operación mediante la sensorica expuesta en el documento y las dimensiones de la estructura que se encuentran relacionadas con los motores de clase K,M,H,I,J,G y todo aquel que esté dentro de estas categorías siempre y cuando no sobrepase los límites de la sensorica que son 200 kg de empuje y 2500 psi de presión.

Se llevo a cabo la construcción de una estructura solida para la prueba y análisis de motores cohete a nivel aficionado. La cual fue sometida a pruebas de resistencia mecánica para la comparación del banco real con el diseño teórico establecido desde un principio.

Un motor clase K fue puesto a prueba en el banco de ensayos para motores cohete, tal y como fue previsto desde un principio. Este motor no pudo ser analizado por completo ya que sufrió una expulsión de su tapa superior imposibilitando el análisis del motor cohete.

BIBLIOGRAFÍA

- APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Diseño del motor UNG K. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 22 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.
- APONTE RODRIGUEZ, JORGE. Control de calidad propelente MSEN II. Mision Seneca II cohete Ainkaa II. Bogotá, 2010 8 p. Tesis I de maestría (Departamento de ingeniería mecánica) Universidad de los Andes. proyecto uniandino aeroespacial PUA.
- BANCOS DE ENSAYOS para motores cohete. Disponible en internet (citado octubre 2010)
http://www.aeroconsystems.com/ts_pics/ts_pics.htm
- BCILTD. instrumentos y equipos de medición. Citado (marzo 2011)
website <http://www.bciltda.com/id72.html>
- COHETE V2 VON BRAUN.WERNHER. Disponible en internet (citado septiembre de 2010)<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Cohete_V2>
- GRUPO EXPERIMENTAL DE COHETERIA: Disponible en internet (citado junio de 2011)
<http://coheteriapaisa.blogspot.com/search/label/Sistema%20de%20encendido>
- INCONTEC :normas incontec para la presentación de trabajos escritos Disponible en internet (web site)
<http://es.scribd.com/doc/56501897/NORMAS-ICONTEC-2011-2>
- INSTRUMENTOS PCE-IBERICA.: disponible en internet (citado junio de 2011)web site <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-vibracion-pce-m641b01.htm>
- ISTISP, sistemas de ignición pirógenos; disponibles en internet (citado junio de 011).<http://www.ictisp.com/~cortijos/TUTORIALES/ignitores.pdf>

- MATERIALES ACEROS: Dimensiones y especificaciones Disponible en internet (Citado marzo de 2011) web site>
http://www.fajobe.com.co/t_estructural.htm
- MUNDIAL DE TORNILLOS. Disponible en internet (citado abril de 2011) web site > <http://www.mundialdetornillos.com>>
- NAKKA.RICHARD.Experimental rocketry site[online]solid propellant rocket motor desing and testing(citado en junio de 2011) Disponible en internet en españole ingles web site: <www.nakka-rocketry.net>
<http://www.nakka-rocketry.net/articles/teoria_de_los_motores_cohete.pdf
- Parczewski.Juan.coheteria experimental amateur.htm online (junio 2003) (citado en septiembre de 2010) disponible en internet en español <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>
- SENSORES STS. Disponible en internet (citado junio 2011)
<http://www.stssensors.com/asperrorpath=/contenido/English/Home/Products/PressureTemperature/tabid/72/language/en-US/Default.aspx>

GLOSARIO

b Espesor del propelente listo para quemado (mm)

D Diámetro exterior del propelente

D_{int} Diámetro interior del propelente

L Longitud del grano propelente

R Rata o velocidad de quemado

IS impulso específico

\dot{w}_b Flujo másico

P_c Presión en la cámara de combustión

I_T Impulso total

t_b Tiempo de combustión

E_{pro} Empuje promedio

m Masa de propelente

CF Coeficiente e empuje

ρ Densidad del propelente

D_{ic} Es el diámetro interior de la cámara

P_{pc} Presión pico en la cámara de combustión

T Espesor de la pared de la cámara de combustión

H_t Espesor de la tapa del motor

s_y Esfuerzo de cadencia

r_p Radio de la tapa del motor

ϵ Índice de desempeño de la combustión

\dot{A} Area de garganta

BEMCO: Banco de ensayos de motores cohete.

CANDY : Propelente del motor cohete

Anexo A tabla de costos

Producto	Valor en pesos.
Tuberia H3 en acero cudrada	200.000
Tuberia circular calibre 90 x 50 cm	28.000
Lamina de hierro delgada x 1 m	3000
Eje en acero plata po 1 m	6000
Tornillo de 5/8 en hierro x 10	10.000
Tornillo de 1/4 acerado x 6	4200
Tornillo de 1/2 hierro x 6	8000
Rodamientos 624 RS x 10	26.000
Macho NPT 0.5	23.000
Lamina de cold roll	10.000
Lamina de acero gruesa x 30 cm	10.000
Lamina de acero inoxidable	15.000
Tarjeta de adquisicion de datos	410.000
Cable electrico por 30 metros	23.000
Cable usb X 10 metros	17.000
Celda carga capacidad 200 kg (propiedad de la Universidad Militar)	185.000
Tranductor de presion capacidad 300 psi (propiedad de la universidad militar)	500.000
Combustible propelente x 408 gr 8 propiedad de la Universidad Militar	60.000
Taxis y buses	120.000
Total	1.658.200

Anexo B Certificado de material

06/04/2011

ARME S.A. | Certificados

CORRECCIÓN A LOS EFECTOS DE CALIDAD POR NÚMERO

CERTIFICADO No.		CLIENTE	FECHA DE EMISIÓN			NORMA	
77		ARME	DD	MM	AAAA	ASTM A500(NTC 4526)	ASTM A1011 GR 50
			23	12	2010		

ROLLO DE LOTE #	ESPESOR mm	COLADA	ENSAYOS MECÁNICOS				ANÁLISIS QUÍMICO																	
			Fuerza	Esf. Max	Alargamiento	Doblado	C	Mn	P	S	Si	Cu	NI	Cr	V	Mo	N	Nb	Al	Ti	B	Sn	Cb	Ca
RU-58748-008	2.5	104011	kgf/mm2	kgf/mm2	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			390/416	523/540	28	OK	20	42	12	5	20	4	3	3	0.3	0.2	7	1.5	3	0.4	0.16	-	-	-

PRUEBAS REALIZADAS A LA TUBERÍA										
No.	# DE LOTE DEL ROLLO	DESCRIPCIÓN	FECHA	ABOCARDADO			APLASTAMIENTO			
				PROBETA	DU	RESULTADO	PROBETA	RESULTADO		
									DIMENSIONES	DIMENSIONES
				No.	pulg.	mm	No.	pulg.		
1	A20828	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	1	5-1/2 x 2.5	100	OK	1	5-1/2 x 2.5	OK
2	A20828	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	2	5 X 2.50	100.5	OK	2	5 X 2.50	OK
3	A20828	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	3	5 X 2.50	102	OK	3	5 X 2.50	OK
4	A20827	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	1	6 X 2.50	70	OK	1	6 X 2.50	OK
5	A20827	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	2	6 X 2.50	71	OK	2	6 X 2.50	OK
6	A20827	TUBERIA ESTRUCTURAL RECTANGULAR 2.5 100 X 50 X 6000 SS GR50	2010-12-21	3	6 X 2.50	92	OK	3	6 X 2.50	OK
7	A20826	TUBERIA CUADRADA 2,50 40 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-01-17	1	5-1/2 x 2.5	64	OK	1	5-1/2 x 2.5	OK
8	A20826	TUBERIA CUADRADA 2,50 40 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-01-17	2	6-1/2 x 2.5	61	OK	2	6-1/2 x 2.5	OK
9	A20826	TUBERIA CUADRADA 2,50 40 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-01-17	3	5-1/2 x 2.5	57	OK	3	5-1/2 x 2.5	OK
10	A20825	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 90 X 50 X 6000 MM SS GR50	2011-01-27	1	6 X 2.50	94	OK	1	6 X 2.50	OK
11	A20825	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 90 X 50 X 6000 MM SS GR50	2011-01-27	2	6-1/2 x 2.5	92	OK	2	6-1/2 x 2.5	OK
12	A20825	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 90 X 50 X 6000 MM SS GR50	2011-01-27	3	6 X 2.50	95	OK	3	6 X 2.50	OK
13	A20824	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 60 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-02-19	1	5-1/2 x 2.5	77	OK	1	5-1/2 x 2.5	OK
14	A20824	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 60 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-02-19	2	6 X 2.50	76	OK	2	6 X 2.50	OK
15	A20824	TUBERIA RECTANGULAR 2,50 60 X 40 X 6000 MM SS GR50	2011-02-19	3	5-1/2 x 2.5	79	OK	3	5-1/2 x 2.5	OK

OBSERVACIONES: Los datos relacionados en el presente documento correspondientes a la Composición Química y Ensayos Mecánicos de cada lote, son una copia de los datos suministrados en el Certificado de Calidad entregado por el proveedor de la materia prima. La información correspondiente a las pruebas de aplastamiento y abocardado son el resultado de los ensayos realizados en ARME S.A. de acuerdo a lo especificado en las normas NTC4526, NTC103

Anexo C Planos BEMCO

Referenciados en la carpeta de planos en el CD ROOM

Anexo D PRUEBA ESTRUCTURAL

REFERENCIADOS EN CARPETA DE VIDEOS DE PRUEBA

ANEXO E CERTIFICADO DE CALIBRACION

REFERENCIADOS EN CARPETA DE CALIBRACION DE PRUEBA