

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA RODAMIENTOS
PARA EL SISTEMA METROCABLE DEL METRO DE MEDELLÍN**

**DIEGO ALONSO CARMONA CASTAÑO
MAURICIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2014**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA RODAMIENTOS
PARA EL SISTEMA METROCABLE DEL METRO DE MEDELLÍN**

**DIEGO ALONSO CARMONA CASTAÑO
MAURICIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

**Director
Jhony Mauricio Gutierrez Florez
Ingeniero Mecánico
Magister en Gestión Energética Industrial**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2014**

Dedicatoria

*A mi esposa amada que con su paciencia
y apoyo incondicional me ayudó a superar
una etapa más en mi vida.*

*A mis hijos queridos que siempre han sabido
comprender que no todo el tiempo que tengo
se los puedo dedicar como quisiera.*

*A mis padres por apoyarme en todas mis
decisiones y brindarme su acogedora
compañía en las tardes.*

Diego.

*A mis padres, como las personas que me
dieron la vida, la educación, los principios
y valores que se desarrollan normalmente
en un ser humano.*

*A mi esposa e hijos, hermanos y compañeros,
que dieron la motivación suficiente para ser
constantemente en mi labor y gracias a su colaboración
se hizo posible mi misión por ser mejor.*

Mauricio.

Agradecimientos

A Dios por brindarnos esta oportunidad y la salud necesaria para afrontarla con empeño y dedicación.

A Nuestros tutores y en especial al Instituto Tecnológico Pascual Bravo, pues nuestra formación como profesionales se debe a su sacrificio y amor a la docencia, teniendo en cuenta el uso de los recursos disponibles para el desarrollo de la ingeniería.

Al Metro de Medellín, quien en el desarrollo de sus actividades hizo posible la observación, análisis y desarrollo de actividades que facilitaron la aplicación de nuestro aspecto académico. Agradecemos en especial a los ingenieros Ricardo Antonio Cano Domínguez, Alexander Trujillo Vásquez y Gustavo Alberto Mejía que contribuyeron a la implementación de nuestros conocimientos en las actividades que ellos coordinan.

Mauricio González Martínez.

Agradezco especialmente al ingeniero Julián Henao y a mi compañero Mauricio Ospina por su colaboración con mi horario de trabajo ya que sin su valiosa ayuda no hubiese sido posible alcanzar esta meta.

Diego Alonso Carmona Castaño.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	12
RESUMEN	17
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	23
3.1 OBJETIVO GENERAL	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. REFERENTES TEÓRICOS	24
4.1 CONCEPTOS TÉCNICOS DE UN RODAMIENTO	24
4.2. PARTES DE UN RODAMIENTO	25
4.2.1 Aro o anillo exterior	26
4.2.2 Aro o anillo interior.....	26
4.2.3 Elementos rodantes (bolas)	26
4.2.4 Separador o jaula.....	27
4.2.5. Cubiertas	27
4.2.6. Frecuencias de deterioro de un rodamiento	28
4.2.6.1 BPFO	28
4.2.6.2 BPGI.....	28
4.2.6.3 BSF.....	28
4.2.6.4 FTF.....	29
4.2.7 Mantenimiento correctivo.....	29
4.2.8 Mantenimiento preventivo.....	30
4.2.9 Manual de Operación y Mantenimiento.....	31
4.3 ANTECEDENTES	31
4.3.1 Bancos de rodamientos en la industria	31
5 METODOLOGÍA	35
5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	35
5.1.1. Tipo de proyecto	35
5.1.2. Fases del proyecto	36
5.1.2.1 Estudios previos	37
5.1.2.2 Cálculos y Estudios Técnicos.....	37
5.1.2.3 Fabricación del banco y manual de operaciones	37
5.2 RECURSOS	37
5.2.1 Recursos Humanos	37
5.2.2 Recursos Locativos.....	38
5.2.3 Recursos Tecnológicos.....	38
5.2.4 Recursos Materiales	38
5.2.5 Recursos financieros	38
6 RESULTADOS DEL PROYECTO	39
6.1 DESARROLLO FASE 1 - ESTUDIOS PREVIOS	39
6.1.1 Visitas reconocimiento	39
6.1.2 Recopilación de datos de mantenimiento de rodamientos actual	41
6.1.3 Meta proyectada tras la implementación del banco de pruebas.....	43

6.1.4	Cantidad de rodamientos a reutilizar y comprar.....	44
6.2	DESARROLLO FASE 2 - CÁLCULOS Y ESTUDIOS TÉCNICOS.....	44
6.2.1	Cálculos técnicos y listado de materiales	44
6.3	FASE 2 DISEÑO DE BANCO.....	50
6.3.1	Partes diseño del banco de prueba de rodamientos	51
6.4	FASE 3. FABRICACIÓN Y ELABORACION DEL MANUAL	56
6.4.1	Mesa soporte	56
6.4.2	Motor eléctrico	57
6.4.3	Variador para motor eléctrico	59
6.4.4	Equipo medidor de vibraciones.....	60
6.4.5	Eje de soporte de rodamientos y tuercas de ajuste	61
6.4.6	Placas de sujeción del eje de soporte y tornillos niveladores	62
6.4.7	Correa tensora y de tracción.....	63
6.4.8	Masa de tensión.....	64
6.4.9	Manguitos de sujeción de rodamientos	64
6.5	MONTAJE DEL BANCO EN IMÁGENES	65
6.6	LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS EN METROCABLE	68
6.7	MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE RODAMIENTOS	71
6.7.1	Generalidades.....	71
6.7.1.1	Mantener el rodamiento limpio y en sitio limpio	72
6.7.1.2	Manejar con cuidado.....	72
6.7.1.3	Uso adecuado de las herramientas.....	72
6.7.1.4	Prevención de la corrosión	72
6.7.2	Inspección visual de rodamientos para ser recuperados.	72
6.7.3	Inspección de los rodamientos en el banco de pruebas.....	78
6.7.3.1	Instalación de los rodamientos en el banco de pruebas.....	78
6.7.3.2	Encendido del motor eléctrico y la velocidad de giro.	82
6.7.3.3	Inspección con el Rodacheck y los valores de aceptación.....	84
7	CONCLUSIONES.....	88
7.1	IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE RODAMIENTOS	88
7.1.1	Confiabilidad.....	88
7.1.2	Costos de operación	89
7.1.3	Costos de mantenimiento:	90
8	RECOMENDACIONES	92
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	94
	ANEXOS.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Chumacera.....	10
Figura 2. Polea de desviación.....	12
Figura 3. Poleas de pilonas de compresión.....	12
Figura 4. Poleas de pilonas de soporte.....	13
Figura 5. Rueda de circulación.....	14
Figura 6. Partes de un Rodamiento.....	25
Figura 7. Frecuencia de deterioro de un rodamiento.....	29
Figura 8. PT 500.04.....	35
Figura 9. Fases del proyecto.....	38
Figura 10. Medidas eje portarodamientos.....	48
Figura 11. Diagrama MD solid cálculo de torsión.....	48
Figura 14. Tuercas de fijación.....	51
Figura 15. Eje.....	51
Figura 16. Placa sujeción eje.....	51
Figura 17. Placa soporte nivelación.....	52
Figura 18. Paral.....	52
Figura 19. Eje Unión paral.....	53
Figura 20. Placa Posterior.....	53
Figura 21. Placa Frontal.....	53
Figura 22. Soporte Nivelación.....	54
Figura 23. Placa base.....	54
Figura 24. .Masa de Tensión.....	54
Figura 25. Polea de tracción y Buje.....	55
Figura 26. Chasis.....	55
Figura 27. Ensamble de motor, poleas y masa de tensión.....	56
Figura 28. Motor eléctrico.....	57
Figura 29. Variador para Motor eléctrico.....	59
Figura 30. Medidor de vibraciones.....	60
Figura 31. Eje de soporte de rodamientos.....	61
Figura 32. Placas de sujeción de eje.....	62
Figura 33. Correa tensora y de tracción.....	63
Figura 34. Masa de tensión.....	64
Figura 35. Manguitos de sujeción.....	64
Figura 36. Mesa soporte y elementos para montaje.....	65
Figura 37. Montaje del eje.....	66
Figura 38. Montaje eje en mesa soporte.....	66
Figura 39. Montaje eje de soporte.....	67
Figura 40. Montaje Manguitos de sujeción.....	67
Figura 41. Rodamiento con deficiencia en grasa.....	68
Figura 42. Rodamiento sin grasa.....	69
Figura 43. Comparación rodamientos 1.....	70
Figura 44. Comparación rodamientos 2.....	70
Figura 45. Inspección visual de rodamientos.....	73
Figura 46. Anillo interno con rayas.....	75

Figura 47. Pista y cuerpos rodantes con desgaste	75
Figura 48. Arañazos en pista	75
Figura 49. Desgaste de la jaula.....	76
Figura 50. Oxidación y excoriaciones en superficie.....	76
Figura 51. . Marcas de impacto	77
Figura 52. Deslizamiento en la superficie del agujero	77
Figura 53. Alteración de color.....	78
Figura 54. Instalación de manguito rotador en rodamiento.....	79
Figura 55. Instalación en el eje de rodamiento de manguito rotador	80
Figura 56. Instalación del eje que soporta los rodamientos.....	81
Figura 57. Variador de motor eléctrico	82
Figura 58 . Indicaciones display en el variador de velocidad	86
Figura 59. Valor maximo en el variador de velocidad	86
Figura 60. Rodacheck.....	84
Figura 61. Vibrometro	85

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1	Relación Equipos y rodamientos	39
Tabla N° 2	Relación Equipos y periodicidad de mantenimientos a los rodamientos	40
Tabla N° 3	Total rodamientos hoy en operación	41
Tabla N° 4	Rodamientos cambiados por mantenimiento preventivo.....	42
Tabla N° 5	Rodamientos cambiados por mantenimiento correctivo.....	42
Tabla N° 6	Relación de tiempos de mantenimiento por equipo.....	43
Tabla N° 7	Relación de compras de rodamientos durante los últimos nueve años	44
Tabla N° 8	Valores de resistencia para los aceros	49
Tabla N° 9	Severidad para la configuración de la envolvente en los equipos	71
Tabla N° 10	Atrasos por cambios de rodamientos durante la operación - 2013.....	89
Tabla N° 11	Masa de rodamientos inspeccionados (2013)	92

GLOSARIO

Chumacera: Pieza de metal con perforaciones en que descansa y gira cualquier eje de tracción, que va montado sobre unos rodamientos. Es de un solo cuerpo se sujeta a la estructura por medio de pernos de fijación. Por lo general, tiene acoplado una llanta de tracción de cabinas en un extremo y al otro extremo tiene una polea en V, doble canal.

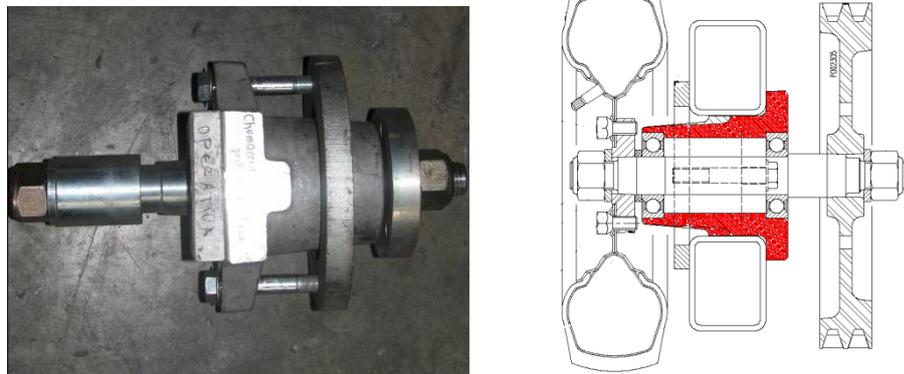


Figura 1. Chumacera

Cojinete: Pieza o elemento mecánico que sirve de apoyo a un eje, le facilita su giro y reduce fricción y esfuerzos mecánicos. Según el tipo de contacto entre las piezas, pueden ser de deslizamiento o de rodadura y, según el elemento de rodadura que llevan en su interior, los hay de bolas, de rodillos o de agujas. También, hay cojinetes radiales o axiales en función del tipo o sentido del esfuerzo mecánico sobre el mismo. (Autoresiduos,SL, 2001-2013)

Desgaste: La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica. (Fundación Wikimedia, Inc, s.f.)

Falla: Pérdida de la capacidad de un activo para cumplir la función establecida desde su diseño.

Lubricante: Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.
(www.fludeco.com, s.f.)

Manguito de sujeción: Son elementos metálicos, con determinadas características y son utilizados para la instalación de rodamientos en los ejes; su manipulación es de fácil montaje y desmontaje.

Mantenimiento: Tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.
(<http://www.solomantenimiento.com>, s.f.)

Polea de desviación: Es un elemento mecánico que gira sobre un eje excéntrico que permite realizar una desviación del cable para permitir el correcto desembague o embrague de la cabina al mismo cable en las estaciones.

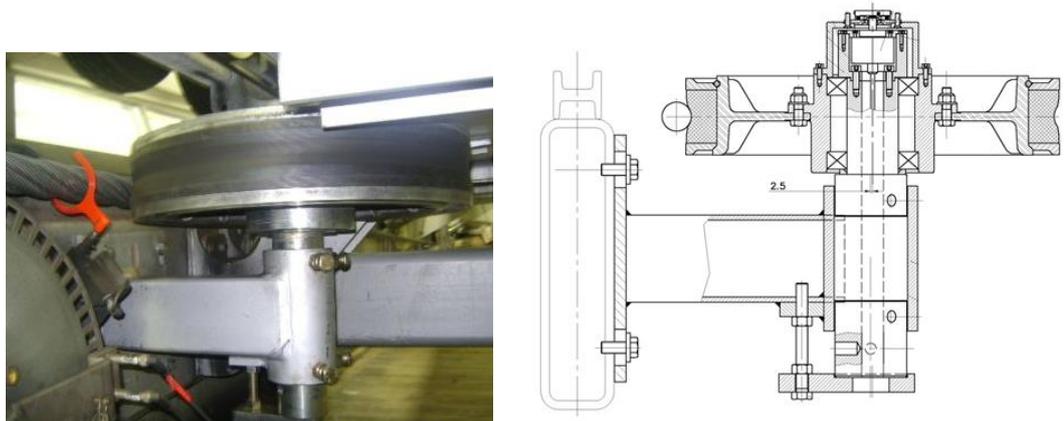


Figura 2. Polea de desviación

Poleas en pilonas de compresión: Las pilonas son estructuras metálicas que soportan el cable, está conformada por balancines, que a su vez están compuestos por poleas que permiten el movimiento del cable, es decir, el cable se apoya por debajo de las poleas.

Las poleas de las pilonas de compresión contienen el cable para permitir aumentos de pendiente de la línea.



Figura 3. Poleas de pilonas de compresión

Poleas de pilonas de soporte: Las pilonas son estructuras metálicas que soportan el cable, está conformada por balancines, que a su vez están compuestos por poleas que permiten el movimiento del cable, es decir, el cable se apoya por encima de las poleas.

Las poleas de las pilonas de soporte sostienen el Cable en los puntos donde hay reducción de pendiente de la línea.



Figura 4. Poleas de pilonas de soporte

Rodacheck: Este es el nombre o la referencia del equipo medidor de vibraciones.

Ruedas de circulación y apertura-cierre de pinzas: La rueda de circulación permite que la cabina pueda ser traccionada libremente por las estaciones mientras está separada del cable portador-tractor. La rueda de apertura y cierre de pinza permite que la cabina se pueda soltar o acoplar al cable, es decir que por medio de una rampa, la pinza se ve forzada a cerrarse o abrirse para permitir el acoplamiento o desacoplamiento del cable.

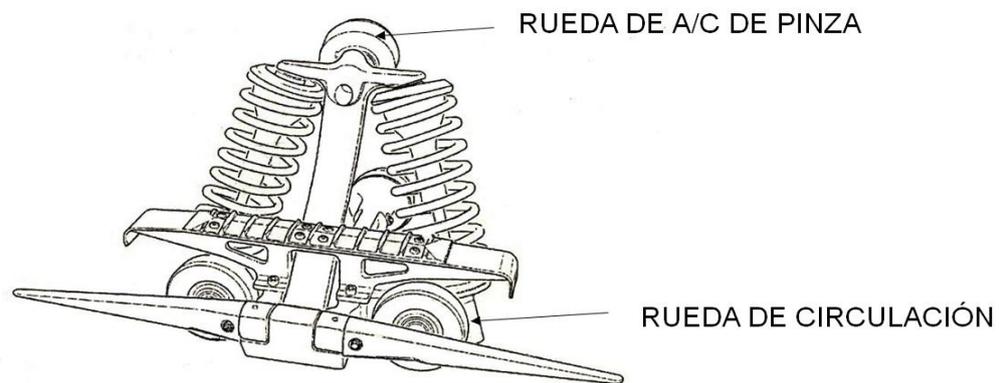


Figura 5. Rueda de circulación

Riesgo Ambiental: Posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente natural o social por causa de un fenómeno natural o una acción humana.

(Academic, 2000-2013)

Viscosidad: Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor. (Grupo ROLCAR, 2002)

RESUMEN

Se ha diseñado y construido un banco de pruebas de rodamientos con el fin de hacer más eficiente económica y ambientalmente los procesos de mantenimiento de los equipos rotativos en el metrocable del sistema Metro de Medellín.

Los conocimientos básicos para desarrollar este proyecto fueron adquiridos en la formación académica adquirida en la ingeniería mecánica en la Institución Universitaria Pascual Bravo y en el ejercicio profesional anterior como tecnólogos mecánicos. Para el desarrollo se utilizaron 3 fases, Estudios previos, cálculos y estudios técnicos y fabricación del banco y manual de operaciones.

Con la implementación del banco se logró identificar que a los rodamientos a los que anteriormente se les observaba una vida útil de seis meses pueden incluso durar seis meses más, por tanto la cantidad de rodamientos reincorporados a la operación, hace que la compra de rodamientos para metrocable disminuyan y que también se desechen menos rodamientos, que se anteriormente se convertían en chatarra, cumpliendo el objetivo de ser costo eficientes y ambientalmente responsables.

Mediante la aplicación de la ingeniería mecánica puede diseñarse una solución innovadora representada en un banco para pruebas de rodamientos mediante la medición de vibraciones y suministro de grasa que permita incrementar la vida útil de los rodamientos, disminuyendo los tiempos por intervenciones correctivas y aumentando la confiabilidad de los equipos.

ABSTRACT

It has been created a bearing testing bank in order to make more efficient economical and environmentally in the metro cable of the system Metro de Medellin rotating equipment maintenance process.

The basics knowledge for this project's development were acquired in the academics formation acquired in the mechanical engineering in the Institucion Universitaria Pascual Bravo and the professional practice as mechanical technologists. For the development we needed 3 phases previous studies, calculations and technical studies and bank manufacturing and operations manual.

With the implementation of this bank we could identify that the bearings whom previously had a 6 months life can also endure another 6 months, hence the amount of reincorporated bearings to operation making the bearing's purchase for the metro cable system decreases and also the bearings reduce discards, that previously became in scrap serving the purpose of being cost efficient and environmentally responsible.

Through the application of the mechanical engineering can be designed a innovative solution represented in a test bearings bench through a vibrations and grease supply measurement that allow increase the life time of the bearings decreasing the stop times by corrective interventions and increasing the reliability of the work team.

INTRODUCCIÓN

Durante los procesos de mantenimiento de los equipos rotativos en el Metrocable del Metro de Medellín, se evidencia la cantidad de rodamientos utilizados en la tracción de las cabinas para pasajeros y los equipos que intervienen en el correcto funcionamiento del sistema. Se cuenta con una gran cantidad de poleas, chumaceras y ruedas que permiten la libre circulación de las cabinas en las estaciones y del cable portador-tractor por las pilonas que suspenden el cable.

Para la tracción de las cabinas que transitan por las estaciones, se cuenta con una serie de trenes de potencia, compuestos por poleas, chumaceras y demás elementos que hacen una marcha segura. Los elementos que intervienen en dicha marcha utilizan una cantidad considerable de rodamientos, especialmente rodamientos de bolas, que son ensamblados para garantizar la durabilidad de dichos equipos.

Mediante la aplicación de la ingeniería mecánica puede diseñarse una solución innovadora representada en un banco para pruebas de rodamientos mediante la medición de vibraciones y suministro de grasa que permita incrementar la vida útil de los rodamientos, disminuyendo los tiempos por intervenciones correctivas y aumentando la confiabilidad de los equipos. El alcance de este proyecto de grado para aspirar al título de Ingenieros Mecánicos será la implementación de un banco para pruebas de rodamientos, que son desmontados en los procesos de mantenimiento correctivo y preventivo existentes en el área de operación de cables aéreos del Metro de Medellín, dicha implementación

incluirá los cálculos y mediciones pertinentes, manual de operación, la implementación y fabricación de dicho banco.

La implementación de este banco de pruebas pretende apoyar las políticas de sostenibilidad económica y ambiental y la seguridad operacional, de acuerdo a las necesidades de la empresa y se adecuará a las rutinas de mantenimiento que se posean actualmente.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa de transporte masivo del valle de Aburra, Metro de Medellín Ltda, cuenta desde hace 9 años con sistemas de mediana capacidad que utiliza cabinas suspendidas en un cable portador-tractor, que se dedica al transporte de pasajeros, convirtiéndose en una solución para la movilidad de las personas ubicadas en la periferia y en las partes elevadas de la ciudad de Medellín. La operación de estos sistemas requiere de una gran cantidad de equipos rotativos y estos a su vez, utilizan una gran cantidad de rodamientos. Actualmente en las rutinas de mantenimiento preventivo y con las actividades correctivas, se generan una gran cantidad de residuos, entre ellos un número significativo de rodamientos.

Es así como en contraste con las políticas ambientales y prácticas de mantenimiento del Metro de Medellín, se evidencia que aún se ejecuta de una manera muy artesanal, si bien las practicas actuales cumplen con el objetivo para que puedan ser reparados los equipos rotativos (poleas, chumaceras, entre otros), las reparaciones no se realizan aplicando una tecnología apoyada en procedimientos técnicos, simplemente se realiza apoyados en la experiencia de los operarios y no garantiza el aprovechamiento máximo de los rodamientos, que aún pueden contar con vida útil. La cantidad de rodamientos desechados es considerable, generando costos por la compra de nuevos rodamientos y yendo en contravía de la política ambiental empresarial que es la disminución de la generación de residuos en los procesos de mantenimiento.

A raíz de esta cantidad de residuos, se hace necesario buscar alternativas para aprovechar al máximo los rodamientos usados, manteniendo la confiabilidad de los

equipos y disminuyendo las actividades correctivas, esto a su vez contribuirá a disminuir las intervenciones del personal de mantenimiento mientras los sistemas de cable aéreo estén en operación, evitando retrasos en el servicio de transporte.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo en metrocable, se evidencia una cantidad de rodamientos que son desechados, con condiciones aun de operación óptima y que pueden continuar instalados en los equipos rotativos, por lo cual existe una alternativa viable para aprovechar al máximo los rodamientos usados en el sistema, manteniendo la confiabilidad de los equipos y disminuyendo las actividades correctivas.

La implementación de un banco de rodamientos puede ser una alternativa viable para tal fin, permitiendo además una optimización de recursos y un adecuado acoplamiento a las políticas ambientales de la empresa Metro de Medellín Ltda.

2. JUSTIFICACIÓN

Se ha identificado en el proceso de mantenimiento preventivo y correctivo, que algunos rodamientos se desmontan antes de alcanzar su vida útil final. Al realizar una inspección detallada de los elementos desmontados, se evidencia que con un análisis adecuado del espectro de vibraciones y un nuevo proceso de lubricación se puede recuperar un alto porcentaje de estos rodamientos, optimizando su vida útil.

Reutilizar los rodamientos aplicando una tecnología de inspección como es el análisis de vibraciones, garantizará que el rodamiento pueda ser utilizado nuevamente en los equipos rotatorios, aumentando la confiabilidad de los equipos y disminuyendo las intervenciones del personal de mantenimiento. La cantidad de rodamientos nuevos que se adquieren para satisfacer las necesidades de reparación disminuirán, ya que al aumentar la vida útil de los que son utilizados no se hará necesario manejar un alto inventario de los mismos.

En la parte ambiental, se justifica la disminución en la generación de residuos, ya que son menos las intervenciones y por ende los productos utilizados para las reparaciones como son los químicos y material de limpieza; se contribuirá así a las políticas empresariales según la norma ISO 14001.

Todo lo anterior se suma a la confiabilidad de los equipos, pues las posibilidades de falla se reducirán, lo cual aportará al cumplimiento de uno de los objetivos empresariales “prestar un servicio de pasajeros de manera segura, con menos intervenciones en operación comercial”, con lo cual se verá favorecida la imagen corporativa al no generar

retrasos que usualmente se traducen en afectación del servicio para los usuarios, menos ingresos y poca confiabilidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un banco de prueba para rodamientos, apoyado en la medición de vibraciones para optimizar la vida útil de los mismos, generando confiabilidad en los equipos rotativos del sistema de transporte por cables aéreos de la empresa Metro de Medellín Ltda.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los estudios previos necesarios para el diseño del banco de rodamientos para determinar las necesidades que se presentan en el mantenimiento de algunos equipos rotativos.
- Diseñar un banco de rodamientos para tener una aproximación a las condiciones de operación de los rodamientos utilizados en metrocable.
- Realizar las pruebas pertinentes con el banco de rodamientos para poder definir los parámetros de operación del mismo y lograr la estandarización del proceso de recuperación de rodamientos en metrocable del Metro de Medellín.
- Entregar manual de operación y recomendaciones para la correcta inspección de rodamientos.

4. REFERENTES TEÓRICOS

4.1 CONCEPTOS TÉCNICOS DE UN RODAMIENTO

En busca de mejorar el rendimiento mecánico de las maquinas se emplea diferentes elementos que ayudan a mejorar la movilidad interna de estas. Uno de estos son los rodamientos, los cuales alargan la vida útil de las piezas rotacionales, dando una mayor durabilidad y control de la temperatura, en los puntos de fricción.

Existen varios tipos de rodamientos y día tras día las necesidades del mercado buscan avanzar en la calidad de los rodamientos; es así como hoy en día las industrias sacan al mercado gran variedad de alternativas en cuanto a rodamiento se refiere.

Los rodamientos utilizados en metrocable son básicamente del tipo rígido de bolas; Robustos, versátiles y silenciosos. Pueden funcionar a altas velocidades y son fáciles de montar. Los rodamientos de una hilera también están disponibles en versiones obturadas; en teoría están lubricados de por vida y no necesitan mantenimiento.

El rodamiento mencionado es un conjunto de esferas que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y se mueve sobre el cual se apoya.

Los rodamientos se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos cojinetes no necesitan lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista. Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es

nunca exactamente constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista. Este deslizamiento genera calor. Para disminuir esta fricción se lubrica el rodamiento creando una película de lubricante entre las bolas y la pista de rodadura.

Las bolas, en su trayectoria circular, están sometidas alternativamente a cargas y descargas, lo que produce deformaciones alternantes, que a su vez provocan un calor de histéresis que habrá que eliminar. Dependiendo de estas cargas, el cojinete se lubricará simplemente por grasa o por baño de aceite, que tiene mayor capacidad de disipación de calor. La carga, la velocidad y la viscosidad de operación del lubricante afectan las características de fricción de un rodamiento.

4.2. PARTES DE UN RODAMIENTO

Las partes de un rodamiento son las siguientes:

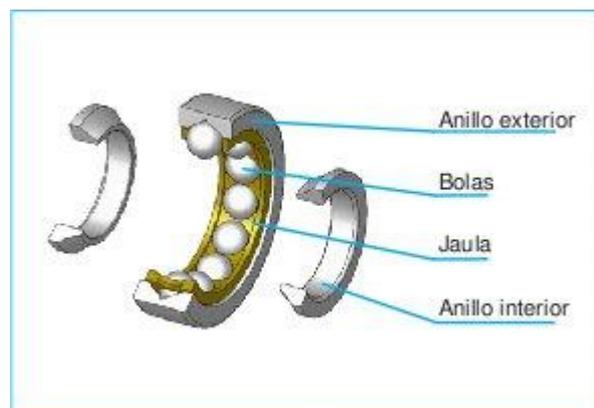


Figura 6. Partes de un Rodamiento

4.2.1 Aro o anillo exterior

El anillo exterior está montado en el alojamiento de la máquina y en la mayoría de los casos no rueda (en metrocable existen las dos posibilidades). La parte de la trayectoria de los elementos rodantes se llama corredor o raceway, y la sección de los anillos donde los elementos giran, es llamada superficie de rodadura o raceway surface. En el caso de rodamientos de bola, como existen unos surcos o canales provistos para las bolas, a estas también se les denomina surcos, canales de rodadura o raceway grooves. Los anillos se fabrican normalmente con aceros SAE 52100 endurecido de 60 a 67 Rockwell C.

4.2.2 Aro o anillo interior

El anillo interno está montado en el árbol de la máquina y en la mayoría de los casos está en la parte rodante. El anillo interno esta normalmente comprometido con un eje.

4.2.3 Elementos rodantes (bolas)

Estos elementos pueden ser tanto bolas como rodillos. Existen muchos tipos de rodamientos con variadas formas de rodillos como ser: de bola, rodillo cilíndrico, rodillo cilíndrico largo, rodamiento de aguja, rodillo trapezoidal y rodillo convexo. Se utilizan también materiales como el acero inoxidable, cerámicos, plásticos y materiales especiales en caso de trabajo con corrosivos. Para el caso de metrocable, son los rodamientos rígidos de bolas los que serán analizados en el banco de prueba de rodamientos.

4.2.4 Separador o jaula

Sirve para guiar los elementos de giro a lo largo de los anillos del rodamiento en una relativa posición correcta. Existen variadas clases de separadores que incluyen las prensadas (las más usadas), maquinadas (utilizadas para mayor resistencia o altas velocidades), moldeadas y en forma de clavija o chaveta. Debido a su menor resistencia a la fricción en comparación con los anillos y elementos rodantes, los rodamientos con separadores son más convenientes para trabajar bajo rotaciones de alta velocidad.

Las jaulas se fabrican de bronce o plásticos sintéticos (que trabajan mejor a altas velocidades con un mínimo de fricción y ruido). En los rodamientos de costo relativamente bajo, algunas veces se omite el separador, pero este tiene una función importante de evitar el contacto de los elementos rodantes a fin de que no ocurra rozamiento entre ellos.

4.2.5 Cubiertas

Todos estos cojinetes pueden obtenerse con cubiertas o protectores en uno o en ambos lados. Las cubiertas no proporcionan un cierre completo, pero sí ofrecen protección contra la entrada de polvo y suciedad. Una variedad de cojinetes se fabrica con sellos herméticos en uno o en ambos lados. Cuando los sellos están en ambos lados, los cojinetes se lubrican en la fábrica. Aunque se supone que un cojinete sellado tiene lubricación por toda la vida, algunas veces se proporciona un medio para su re-lubricación.

4.2.6. Frecuencias de deterioro de un rodamiento

Los rodamientos están formados por varios componentes claramente diferenciados, como ya se vio. El deterioro de cada uno de estos elementos generará una o varias frecuencias características en los espectros de frecuencia que nos permitirán una rápida y fácil identificación. (<http://www.sinais.es>, 2013)

Las cuatro posibles frecuencias de deterioro de un rodamiento son:

4.2.6.1 BPFO

O frecuencia de deterioro de la pista exterior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.

4.2.6.2 BRFI

O frecuencia de deterioro de la pista interior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo

4.2.6.3 BSF

O frecuencia de deterioro de los elementos rodantes. Físicamente es el número de giros que realiza una bola del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

4.2.6.4 FTF

O frecuencia fundamental de tren o de deterioro de la jaula. Físicamente es el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

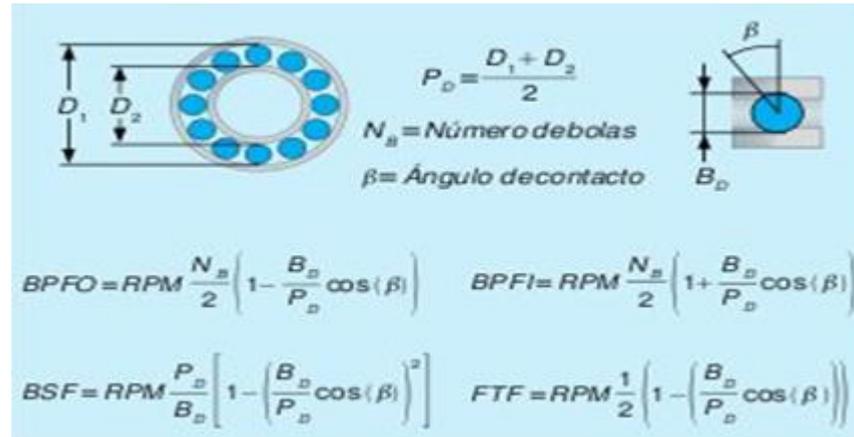


Figura 7. Frecuencia de deterioro de un rodamiento

4.2.7 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo es aquel en el que solo se interviene el equipo después de que este ha presentado una falla y genera un paro no programado, causando que este se deba intervenir inmediatamente para corregir la falla y mantener en funcionamiento el equipo.

Es evidente que sólo se aplicará en aquellas situaciones en que los elementos sean de bajo costo y baja criticidad de funcionamiento. Este mantenimiento por tanto resulta ideal en casos en que la restitución o reparación no afecte en gran medida a la

producción, o cuando la puesta en práctica de un sistema más complejo resulte menos rentable que una práctica correctiva.

El mantenimiento correctivo, sin embargo, no debe estar exento de tareas rutinarias de engrase, lubricación y/o sustitución de partes que permitan alargar la vida útil de los componentes, a menos que se trate de una instalación o repuesto en las fases finales de su vida útil.

Los principales inconvenientes están relacionados con la imprevisibilidad de las averías y fallos que resultan inoportunas. Debido a que las tareas no están programadas, es esperable que cuando se produzca el fallo sea demasiado tarde y se necesite más mano de obra y recursos para corregirlo. Otro grave inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento es que el problema que ha causado la falla no se resuelve, por lo que éste puede repetirse en situaciones posteriores en la misma máquina afectando su confiabilidad. Es por esto que el mantenimiento correctivo normalmente viene acompañado de un aumento en la frecuencia de fallas.

4.2.8 Mantenimiento preventivo

Es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan establecido. El propósito es prever averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener la instalación en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. El mantenimiento

preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costes de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

4.2.9 Manual de Operación y Mantenimiento

El Manual de Operación es una herramienta importante para garantizar la seguridad del operario y la seguridad de los demás en el sitio de trabajo. Dicho manual de operación describe las normas, la organización y los procedimientos que se utilizan en la empresa para efectuar las actividades de recuperación de los rodamientos. Dicho manual eleva el papel del mantenimiento a un lugar muy importante en la organización, cuando los procesos se encuentran ordenados y son llevados a cabo de una manera satisfactoria.

Se apoya en pasos secuenciales, ilustrados de tal manera que faciliten la ejecución de las actividades y que sea de fácil consulta para el operario en caso de requerirlo. Adicionalmente, hace parte de la gestión del conocimiento que actualmente se posee en la empresa.

4.3 ANTECEDENTES

4.3.1 Bancos de rodamientos en la industria

Se realiza la investigación pertinente identificando donde existe un banco para prueba de rodamientos y por ser una aplicación tan puntual no se logra identificar unas necesidades parecidas por empresas que apunten a las del Metro de Medellín. Sin

embargo, después de realizar las consultas a empresas que suministran rodamientos, correas y equipos de vibración, dichas empresas hablan de que existen equipos para realizar la medición cuantitativa y cualitativa de vibraciones pero con los equipos instalados en las maquinas rotativas.

De acuerdo a estas necesidades, se detectaron artículos donde se mencionan banco de prueba de rodamientos, pero de manera pedagógica, donde se muestran los daños de los rodamientos analizados. Entre alguno de los bancos de prueba de rodamientos, se cuenta con el PT 500.12, el cual tiene las siguientes características:

El análisis de las vibraciones es una herramienta importante para diagnosticar el estado de un rodamiento. La variación lenta del espectro de vibraciones proporciona criterios para determinar la vida útil restante de un rodamiento y decidir sobre su sustitución. La distribución espectral permite sacar conclusiones exactas sobre el tipo y la ubicación del defecto. El kit contiene seis rodamientos en los que se pueden comprobar y explicar diversos defectos. La carga radial del cojinete se puede ajustar dentro de unos límites amplios con el kit de transmisión por correa PT 500.14 (ajuste de la tracción de la correa, carga fija). (G.U.N.T. Geratebau GmbH, 2005)

El kit se utiliza junto con el sistema básico para el diagnóstico de máquinas PT 500 y se monta sobre su placa base. Para la medición y la evaluación del ensayo se necesita el analizador de vibraciones asistido por PC PT 500.04. Contiene todos los sensores necesarios, un amplificador de medición y un software de análisis

para registrar los fenómenos de vibraciones. (G.U.N.T. Geratebau GmbH, 2005)

Con este equipo se puede realizar:

- Espectro vibracional de rodamientos, influencia de defectos en el anillo exterior, el anillo interior o el cuerpo del rodamiento en el espectro de vibraciones.
- Estimación de la vida útil de los rodamientos.
- Influencia del lubricante en el espectro de vibraciones.
- Detección de rodamientos defectuosos.
- Comprender e interpretar espectros de frecuencia.
- Uso de un analizador de vibraciones asistido por PC.



Figura 8. PT 500.04

También se cuenta con artículos informativos sobre el uso de bancos de rodamientos el cual se anexa.

En la actualidad, un importante porcentaje de la maquinaria encontrada en las industrias, se caracteriza por disponer de sistemas rotativos encargados de transmitir movimiento con diferentes fines. Este tipo de máquina, presenta fallos o muestras de

deterioro muy característicos que suelen afectar a elementos tales como rodamientos, cojinetes de fricción o engranajes.

El análisis de vibraciones resulta una técnica fiable para la detección de estos fallos, encontrando diferentes autores que localizan y justifican la existencia de espectros de frecuencia característicos para cada tipología de fallo. La aplicación práctica de estos conceptos, no resulta tarea sencilla, dada la dificultad de disponer de maquinaria comercial con fallos reales en los laboratorios docentes.

Por este motivo, desde la Universidad Miguel Hernández se han diseñado y ejecutado diferentes montajes prácticos pensados para que el alumno sea capaz de detectar y justificar la presencia o no de estos espectros característicos, en función del fallo causado al montaje. Este artículo recoge las características básicas de estos bancos de ensayo, los pasos seguidos para su correcto manejo y los resultados obtenidos a través de los mismos. (Peral Orts, 2008)

5 METODOLOGÍA

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

5.1.1. Tipo de proyecto

Un proyecto tecnológico es un estudio razonado y completo que comprende una serie de documentos, de cálculos y planos para la concepción, Diseño, fabricación o puesta en funcionamiento de un producto nuevo o para la mejora de otro existente, en este caso el alcance del proyecto tecnológico comprenderá la concepción y la fabricación y puesta a punto de un banco de prueba para rodamientos.

En el desarrollo de este proyecto tecnológico se busca dar respuesta al problema planteado e identificado con anterioridad en la empresa de transporte masivo del valle de aburra, en el área de operación de cables aéreos.

Se empleará una metodología de observación participativa mediante la cual se conseguirá la información requerida para el logro del objetivo, en este orden de ideas se utilizarán las siguientes estrategias metodológicas:

- **Visitas de observación y captura de datos:** En estas se podrán ampliar los antecedentes, clarificar la necesidad y obtener los datos necesarios para proyectar el resultado esperado en términos de reutilización de rodamientos y disminución de compras de los mismos y producción de residuos. Para esto se realizará el reconocimiento de los rodamientos desmontados y las condiciones donde se ubicaría la máquina que pretende implementarse.

- Análisis de datos y realización de cálculos a partir de las normas de análisis de vibraciones para la definición de dimensiones, materiales y especificaciones a tener en cuenta para la fabricación del banco.
- Diseño de planos
- Elaboración del banco y manual de operación del banco
- Entrega de informe final

5.1.2. Fases del proyecto

El entregable de este proyecto será el manual de implementación del banco de prueba de rodamientos, la base de lubricación y las recomendaciones pertinentes. Para lograr este entregable se desarrollarán tres fases específicas presentadas en el siguiente diagrama:

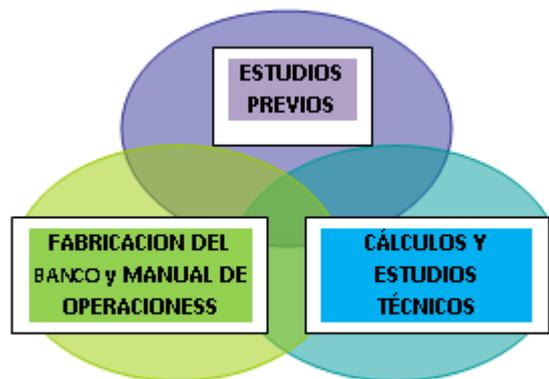


Figura 9. Fases del proyecto

5.1.2.1 Estudios previos

Durante esta etapa se identificarán los datos de mantenimientos, cambios de rodamientos e intervenciones por causa de falla de los rodamientos, la relación de compras y la relación proyectada con la implementación del banco de prueba de rodamientos.

5.1.2.2 Cálculos y Estudios Técnicos

En esta fase se realizarán los cálculos técnicos de materiales, planos y los elementos necesarios para la ejecución del banco de prueba de rodamientos.

5.1.2.3 Fabricación del banco y manual de operaciones

En esta etapa se elaborara el banco de pruebas de acuerdo a las disposiciones técnicas y se elaborará el manual de operación del mismo.

5.2 RECURSOS

5.2.1 Recursos Humanos

Para el diseño y desarrollo del presente proyecto se contó con el siguiente equipo de trabajo: Diego Alonso Carmona Castaño y Mauricio González Martínez, tecnólogos mecánicos aspirantes al título de ingenieros mecánicos del ITPB, Asesor trabajo de grado.

5.2.2 Recursos Locativos

Instalaciones de la empresa de transporte masivo del valle de Aburra, estación La Aurora y la Institución Universitaria Pascual Bravo.

5.2.3 Recursos Tecnológicos

Software Maintraq predictive.

5.2.4 Recursos Materiales

PC, papel, impresiones, fotografías, variador de velocidad, motor eléctrico.

5.2.5 Recursos financieros

El costo estimado de este proyecto es de \$8.800.000, éste costo será asumido en su totalidad por el área de mantenimiento de la empresa Metro de Medellín Ltda. La adecuación del espacio físico no se valoró ya que estaba dispuesto por la empresa para tal fin.

6 RESULTADOS DEL PROYECTO

6.1 DESARROLLO FASE 1 - ESTUDIOS PREVIOS

6.1.1 Visitas reconocimiento

Se realizaron dos visitas de reconocimiento en la cual encargados del área de mantenimiento del metrocable del Metro de Medellín brindaron la información necesaria respecto a los procedimientos existentes antes de la implementación del banco de rodamientos.

Durante estas visitas se pudo identificar que en las programaciones de los diferentes tipos de mantenimiento, se cuenta esencialmente con dos tipos de ellos, el correctivo y el preventivo.

El mantenimiento preventivo se ejecuta a los siguientes equipos rotativos, que cuentan con rodamientos rígidos, de esferas o bolas, a cada uno de los equipos se logró identificar la cantidad de rodamientos que poseen como se referencia en la tabla a continuación:

Tabla 1. Relación Equipos y rodamientos

EQUIPO	REF. RODAMIENTO
Chumaceras de estaciones	6308.
Poleas de desviación en las estaciones	6020.
Poleas de pilonas de compresión	6307
Poleas de pilonas de soporte	6309
Ruedas de circulación y apertura-cierre de pinzas	6306

Aunque se realiza mantenimiento preventivo a otros equipos, el banco de rodamientos se diseñara para recuperar los rodamientos de los equipos mencionados en la tabla anterior, ya que durante las visitas de reconocimiento se determinó que en ellos se maneja un alto volumen de rodamientos y por ende se hace costo-eficiente el proceso de mantenimiento con la recuperación.

Además de identificar los equipos que poseen mayor número de rodamientos y que son objeto de mantenimiento preventivo y correctivo, se determinó la periodicidad con la cual se realizan dichos mantenimientos para cada uno de los equipos referenciados. (Ver tabla No. 2)

Tabla 2. Relación Equipos y periodicidad de mantenimientos a los rodamientos

EQUIPO	Periodicidad
Chumaceras de estaciones	Inspecciones diarias y cambios preventivos anuales
Poleas de desviación en las estaciones	Inspecciones diarias y cambios preventivos anuales
Poleas de pilonas de compresión	Se realizan inspecciones semanales y se programan cambios preventivos cada 3 años.
Poleas de pilonas de soporte	Se realizan inspecciones quincenales y se programan cambios preventivos cada 3 años.
Ruedas de circulación y apertura-cierre de pinzas	Se realizan inspecciones cada dos meses y se programan cambios preventivos cada 6 meses.

La programación del mantenimiento correctivo surge de acuerdo a las actividades de inspecciones realizadas.

6.1.2 Recopilación de datos de mantenimiento de rodamientos actual

Para determinar una meta de relación costo-eficiente con la implementación del banco de rodamientos se determinó también durante esta fase 1 de estudios previos la cantidad de rodamientos que se desechan actualmente. Esta información es tomada como base al momento de determinar la eficiencia esperada del banco de rodamientos.

De acuerdo a la cantidad de equipos rotativos, en la siguiente tabla se hace un recuento de los rodamientos que actualmente (al momento de la visita de reconocimiento se encuentran en operación; cada chumacera, polea de balancín o piona y ruedas de cabina, se conforma por pares de rodamientos, es decir en cada equipo rotativo analizado, hay dos de éstos:

Tabla 3. Total rodamientos hoy en operación

Elemento	cantidad
Pilonas	3.160
Chumaceras	2.568
Balancín estaciones	928
Cabinas	1.768
Total	8.424

Anualmente, se realiza un cambio promedio de rodamientos (contando todas las clases anteriormente mencionadas) de 4.580 rodamientos, aunque en los registros no aparecen tantos, debido a que muchos de ellos son cambiados por empresas contratistas y son las que suministran dichos rodamientos.

En la siguiente tabla se agrupa la cantidad de rodamientos cambiados tanto en mantenimientos preventivos como correctivos durante los últimos siete años.

Tabla 4. Rodamientos cambiados por mantenimiento preventivo

AÑO	total rodamientos
2006	5725
2007	4580
2008	4580
2009	4580
2010	4580
2011	4580
2012	4580

Tabla 5. Rodamientos cambiados por mantenimiento correctivo

AÑO	total rodamientos
2006	1006
2007	418
2008	792
2009	692
2010	516
2011	510
2012	430

A continuación se detalla los tiempos aproximados que se requieren para intervenir los diferentes equipos rotativos en metrocable, es decir el promedio de cambio y reparación de una chumacera, una polea o una rueda de cabina:

Tabla 6. Relación de tiempos de mantenimiento por equipo

Equipo	Cambio (hora)	reparación del repuesto (hora)	Total
Chumacera	1	0,5	1,5
Polea de piona	0,5	0,5	1
ruedas de cabinas	0,5	0,5	1

6.1.3 Meta proyectada tras la implementación del banco de pruebas

De acuerdo a las observaciones realizadas y con los datos recopilados, teniendo en cuenta las deficiencias que se encuentran en la lubricación de los rodamientos, las vibraciones a las que se encuentran expuestos, la carga y las condiciones ambientales que los afectan, se proyecta una meta de recuperación del 30 % de la cantidad de rodamientos que antes de la implementación del banco de pruebas se desechan.

Teniendo en cuenta un tiempo aproximado de una hora por cambio de cada equipo y tomando como base los rodamientos cambiados, se espera disminuir los tiempos de mantenimiento que afectan la prestación del servicio, los cuáles en los últimos años se han calculado en 9 días al año cuando el indicador de calidad se relaciona en 10 minutos anuales.

El banco de pruebas de rodamientos será pues una excelente alternativa para cumplir con el indicador planteado.

6.1.4 Cantidad de rodamientos a reutilizar y comprar.

Tabla 7. Relación de compras de rodamientos durante los últimos nueve años

Referencia	Año								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
6306	450	1130	1940	340	1975	2550	1305	1260	450
6307	120	274	1000	X	200	200	900	935	490
6308	72	311	1297	200	440	300	X	x	150
6309	120	474	1282	X	x	X	330	980	X
6020	X	X	X	X	x	34	70	65	65

En el historial de compras no aparece la cantidad cambiada por mantenimientos preventivos debido a que dichas actividades fueron contratadas y los rodamientos los suministró el mismo contratista.

Teniendo en cuenta que la meta es reutilizar el 30% de los rodamientos que hoy se desechan y tomando como base el promedio de compras de los años 2012-2013, es decir 2.198 rodamientos nuevos al año, se estaría disminuyendo la compra anual a 1.539 rodamientos.

6.2 DESARROLLO FASE 2 - CÁLCULOS Y ESTUDIOS TÉCNICOS

6.2.1 Cálculos técnicos y listado de materiales

A continuación se enuncian los materiales necesarios para la construcción del banco de pruebas:

- Acero inoxidable: Para la mesa soporte, el eje de soporte y mesa de tensión.

- Aglomerado MDF: Para el recubrimiento de la mesa soporte
- Motor Eléctrico de inducción: Este tipo de motores se requiere para el banco, ya que se deben modificar las RPM para ser aplicados a los rodamientos y simular las condiciones de funcionamiento.
- Variador para motor eléctrico: Para regular la velocidad del motor
- Equipo medidor de vibraciones
- Hierro fundido: para las placas de sujeción del eje de soporte y tornillos niveladores
- Correa tensora y de tracción elaborada en goma
- Manguitos de sujeción de rodamientos:
- Tornillos
- Tuercas roscadas
- Soldadura
- Herramienta para ensamble mecánico
- Eje de soporte de rodamientos y tuercas de ajuste

El eje diseñado para este sistema es uno de los elementos determinantes para el funcionamiento del mismo. El material elegido para este elemento es el acero SAE 1045, el cual se diseña para que cumpla la función fundamental de alojar dos rodamientos en sus extremos y en el centro va a recibir el elemento que le proporciona movimiento al eje soporte rodamiento. Por tanto el diámetro de diseño de 32 mm (1.258") en los extremos cumple con los requerimientos mecánicos de flexión y torsión, los segmentos que reciben los rodamientos que son dos se diseñan con un diámetro de 24 mm (0.944").

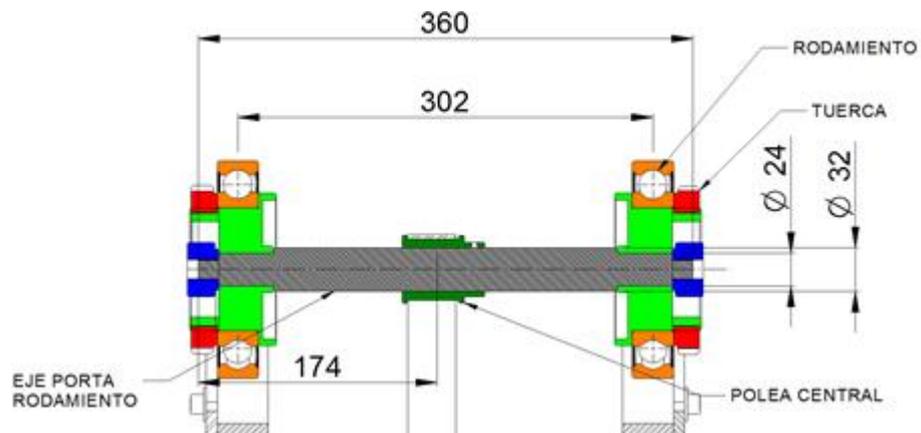


Figura 10. Medidas eje portarodamientos

Las propiedades mecánicas del eje se demuestran en los siguientes cálculos:

Datos para cálculo del eje:

- RPM: 1700
- Motor: 1/2" HP (0.5) HP
- Longitud: 360mm (14.173")
- Diámetro mayor: 32mm (1.259")
- Diámetro intermedio: 24mm (0.944")
- Acero: 1045.
- Resistencia ultima a la fractura: 2380 MPa (345kpsi)
- Resistencia de fluencia 1520 Mpa (220kpsi)
- Resistencia ultima a la tracción 1580 Mpa (230kpsi)
- Resistencia a la fractura 2380 Mpa (345 kpsi)

Para el cálculo de torsión y flexión del eje se necesita saber el torque al cual está sometido.

Formula de torque $T = P / W$

- $T = 0.5 \text{ hp} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi} \times 6600 \text{ lbf pul}$
- $1700 \text{ rev} \times 2\pi \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times 1 \text{ hp}$
- $T = 18.536,0 \text{ lbf pul}$
- Calculo de torsión en programa MD solid 3

Usando la fórmula de tensión de torsión ($T = T_c / J$) se computa la tensión de cizallamiento de eje del par de torsión, el momento polar de la apatía, y el radio del eje.

Entonces tensión de cizallamiento = $(18.536,0 \text{ libra-in} \times 0,3125 \text{ in}^4) \div 0,01498 = 386.682 \text{ psi}$

La torsión crea la tensión de cizallamiento en el eje, refiriéndose el eje como a un típico elemento de tensión, esta tensión actúa sobre una superficie longitudinal superficie de x en la dirección circunferencial, la dirección de y sobre una cara circunferencial, la superficie de y en una dirección longitudinal. La magnitud de la tensión de cizallamiento en el eje es $\tau_{xy} = 386.682 \text{ psi}$.

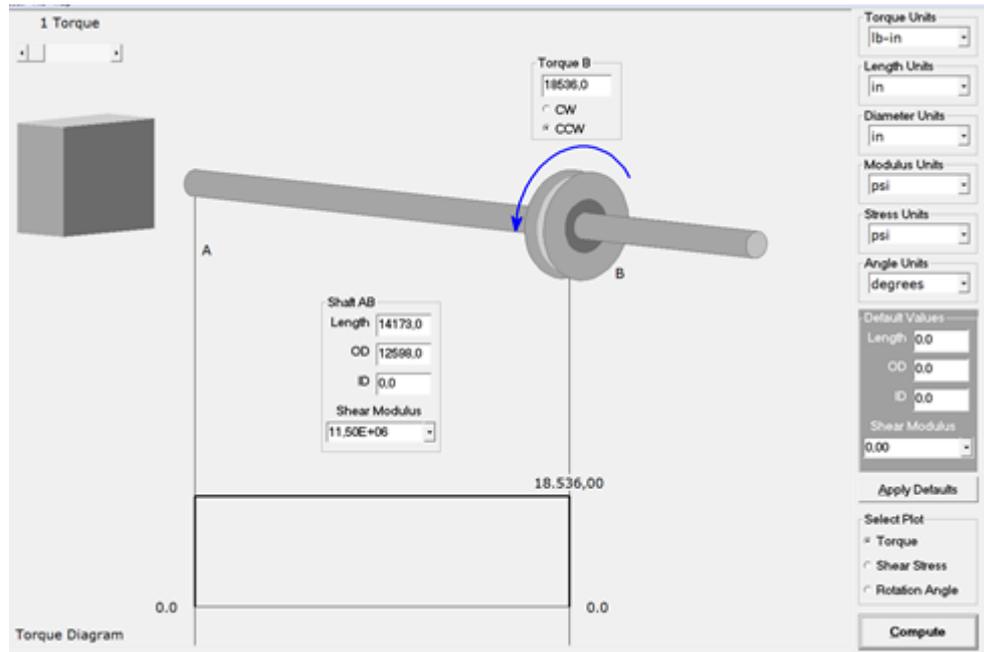


Figura 11. Diagrama MD solid cálculo de torsión

Resumen del cálculo

- Par de torsión 18.536,0 lb-in
- Diámetro exterior 32mm (1.2598")
- Resultados
- Tensión de cizallamiento 386.682 psi
- Momento polar de inercia 0,01498 in⁴
- Tensión normal máxima 273.912,2 psi

Con el resultado logrado por el cálculo el cual esta resaltado con un ovalo rojo en la figura 15 se puede determinar si este valor es menor al dato que se encuentra en la tabla # 6 para el acero SAE 1045, para esto se realiza una conversión de unidades de psi a

Mpa como figura en la tabla, si se encuentra dentro de los esfuerzos permisibles el eje cumple con las características mecánicas para la cual fue diseñado.

Conversión de unidades

$$\begin{aligned} & \bullet 386.687 \text{ lb} \times \text{N} \times \text{in}^2 \times \text{m}^2 & = & 2676.4 \text{ N/mm}^2 \\ & = & 2676.4 \text{ Mpa} \\ & \bullet \text{in}^2 \times 0.224 \text{ lb} \times 0.000645 \text{m}^2 \times 1000000 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

El valor que muestra la tabla 6 de resistencia a la fractura encerrado en ovalo negro es de 2380 Mpa y valor del cálculo realizado anteriormente es de 2676. Mpa, con este resultado se aprecia que el valor calculado se acerca al ACERO AISI 1045, está un poco por encima pero es material más cercano. (Norton, 2011)

Tabla 8. Valores de resistencia para los aceros

NÚMERO	MATERIAL	CONDICIÓN	RESISTENCIA				EXP. RESIST. A DEFORM., m	DEFORM. A LA FRACT., ϵ_f
			DE FLUENCIA, S_y MPa (kpsi)	ÚLTIMA, S_u MPa (kpsi)	DE FRACTURA, σ_f MPa (kpsi)	COEFICIENTE DE, σ_o MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1)†	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130)†	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	720 (100)†	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	Q&T 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273)†	0.041	0.81
4142	Acero	Q&T 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255)†	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221)†	1410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233)†	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2)†	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3)†	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102)†	882 (128)	0.13	0.18

*Valores provenientes de uno o más grados (calores) y que se cree pueden obtenerse por especificaciones de compra apropiadas. La deformación a la fractura puede variar hasta en 100%.

† Valor derivado.

Fuente: J. Datsko, "Solid Materials," cap. 7 in Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke (eds.), *Standard Handbook of Machine Design*. McGraw-Hill, Nueva York, 1986, pp. 7.47-7.50.

6.3 FASE 2 DISEÑO DE BANCO.

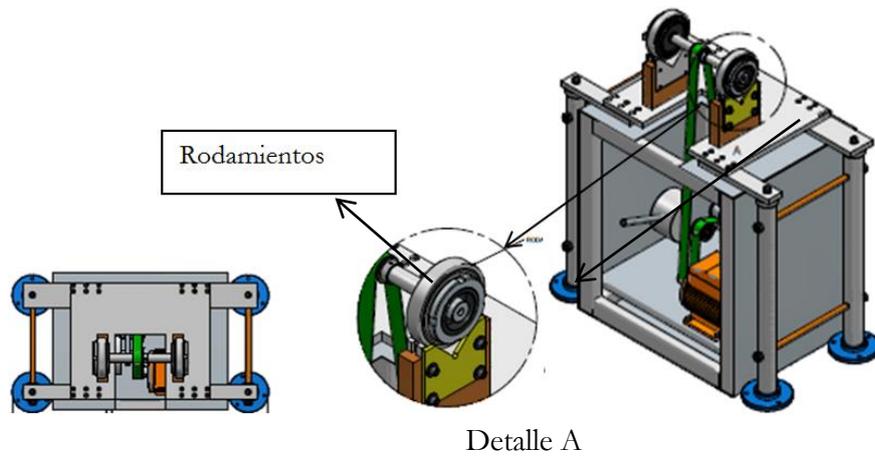


Figura 12. Detalle del rodamiento ensamblado en el banco de pruebas

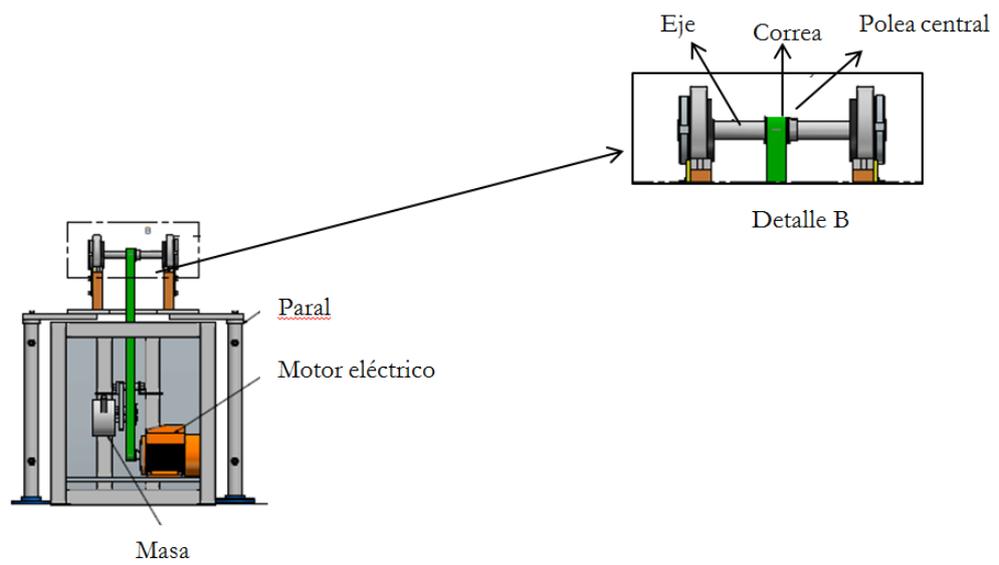


Figura 13. Correa de tracción

6.3.1 Partes diseño del banco de prueba de rodamientos



Figura 14. Tuercas de fijación

Las tuercas de fijación sirven para sujetar el rodamiento en el eje central.

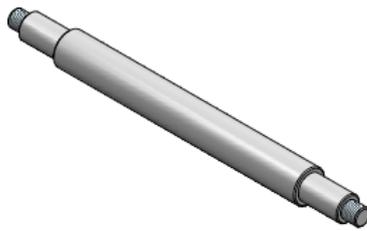


Figura 15. Eje

La función principal del eje es transmitir las RPM a los rodamientos por medio de la polea central.

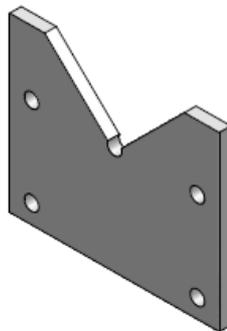


Figura 16 Placa sujeción eje

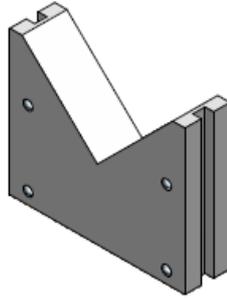


Figura 17. Placa soporte nivelación

Este soporte se encarga de recibir el rodamiento y darle una alineación perpendicular con respecto al eje para permitir un adecuado análisis de vibración.

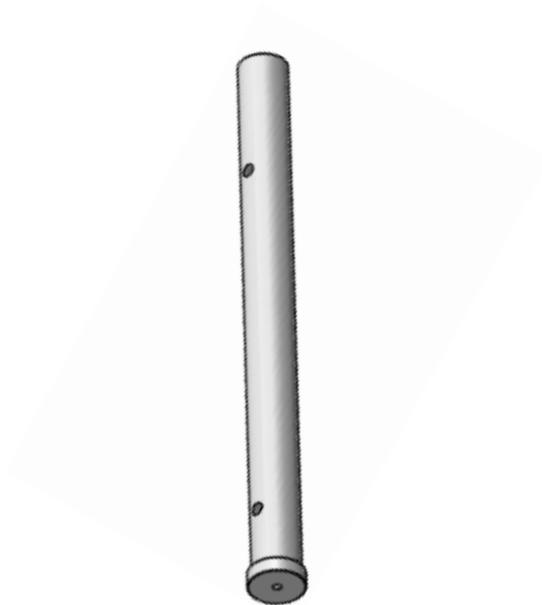


Figura 18. Paral

El paral soporta y nivela el chasis del banco de rodamientos.



Figura 19 Eje Unión paralel

Une los paralel permitiendo la rigidez necesaria a la estructura del chasis para que no genere vibraciones externas.

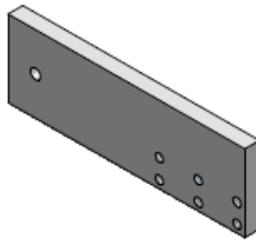


Figura 20. Placa Posterior

Esta placa se encarga de unir el paralel con la placa base en la parte posterior.

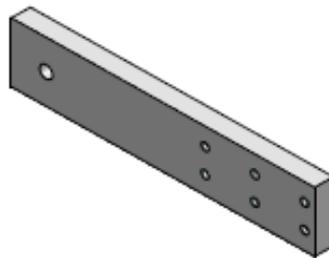


Figura 21 Placa Frontal

Esta placa se encarga de unir el paralel con la placa base en la parte frontal.

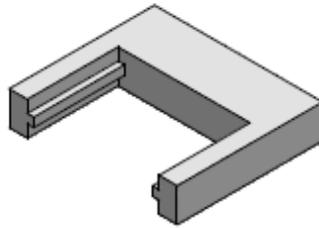


Figura 22. Soporte Nivelación

Este soporte sirve de guía y da altura a la placa soporte nivel.

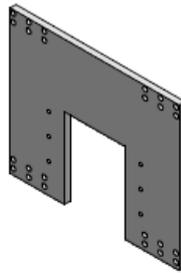


Figura 23 Placa base

Esta placa es la base donde se acoplan todas las piezas para realizar el análisis de vibración.

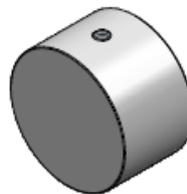


Figura 24 .Masa de Tensión

Es la encargada de quitar o dar tensión a la correa de transmisión.

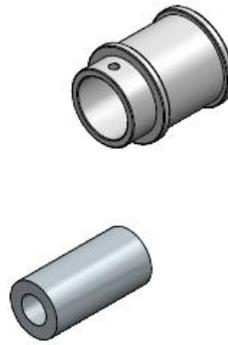


Figura 25 Polea de tracción y Buje

Son los encargados de guiar la correa para transmitir movimiento.

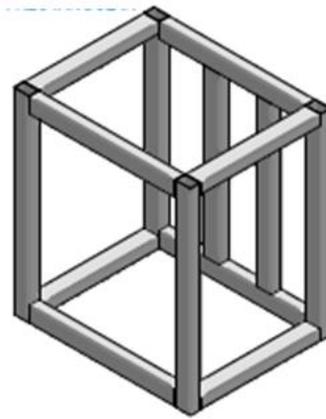


Figura 26 Chasis

El Chasis es el encargado de soportar todo el montaje del sistema de piezas del banco de rodamientos

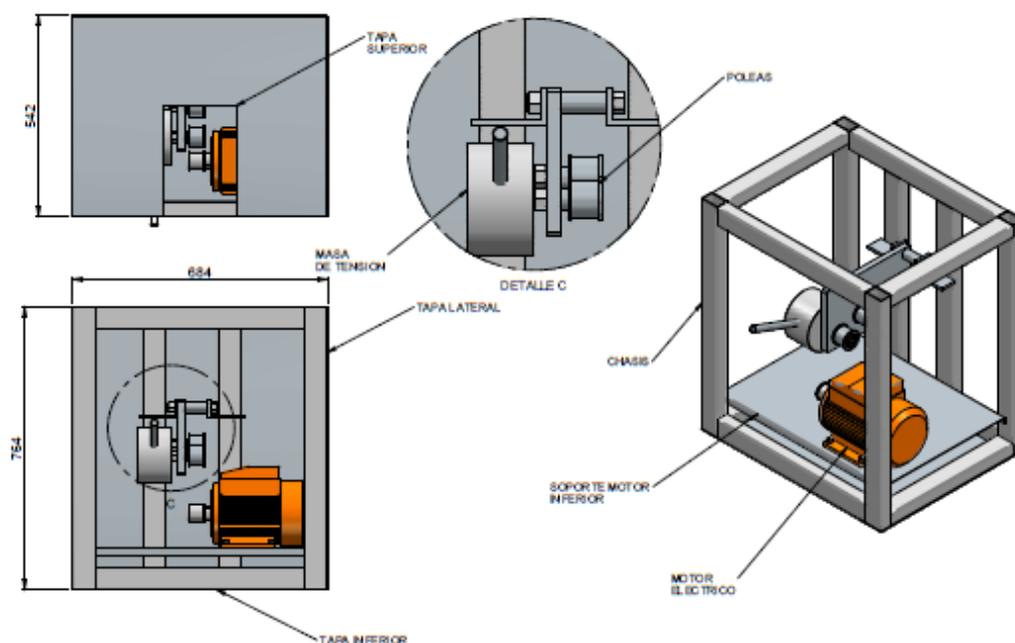


Figura 27 Ensamble de motor, poleas y masa de tensión

6.4 FASE 3. FABRICACIÓN Y ELABORACIÓN DEL MANUAL

Para la fabricación del banco de pruebas se ensamblaron las piezas que se describen a continuación:

6.4.1 Mesa soporte

La mesa es un mueble cuya finalidad es servir de asiento para los equipos que conforman el banco de prueba para rodamientos. Tiene cuatro patas, con niveladores para lograr la estabilización de la misma y garantizar que todo el banco se encuentre en

condiciones óptimas para simular las cargas en la tracción del sistema dinámico que simula las condiciones de trabajo de los rodamientos.

También cuenta con una base para colocar el equipo que sirve para realizar las mediciones de vibraciones. Está constituido en acero y su recubrimiento es de aglomerado, con el fin de realizar la protección para el operario del banco.

6.4.2 Motor eléctrico

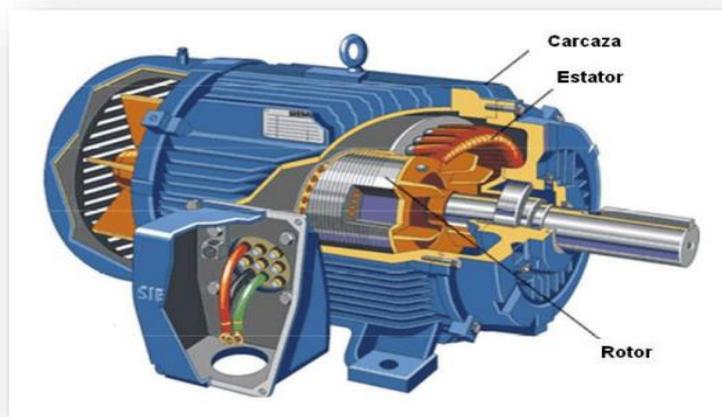


Figura 28 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos. Consta de las siguientes partes:

- El estator: Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los

bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.

- El rotor: Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son el Rotor de jaula de ardilla o Rotor bobinado.

A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas. En el caso de los motores a los que hace referencia estas notas, las corrientes que circulan por el rotor son producidas por el fenómeno de inducción electromagnética, conocido comúnmente como ley de Faraday.

Este tipo de motores se requiere para el banco, ya que se deben modificar las RPM para ser aplicados a los rodamientos y simular las condiciones de funcionamiento.

6.4.3 Variador para motor eléctrico



Figura 29 Variador para Motor eléctrico

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Donde

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos

El variador de velocidad se requiere para variar la velocidad rotacional del motor eléctrico, con el fin de simular las RPM a las que están expuestos los rodamientos y poder realizar la medición de vibraciones.

6.4.4 Equipo medidor de vibraciones



Figura 30 Medidor de vibraciones

Es un medidor de vibraciones mecánicas portátil que verifica la condición de rodamientos y el estado vibratorio de máquinas. Ha sido especialmente diseñado para tener un control de sus equipos rotantes y no posean conocimientos sobre análisis de vibraciones. (Soluciones Idear S.R.L, 2012)

Este equipo se utiliza para lo siguiente y se aplica en el banco de prueba de rodamientos:

- Mide envolvente.
- Funciona como estetoscopio para escuchar rodamientos

- Utiliza un acelerómetro piezoeléctrico que se pega a la máquina con una base magnética
- Indica la condición de rodamientos
- Determina el estado vibratorio de máquinas según norma ISO 10816
- Detecta fallas en rodamientos, deficiencias en la lubricación, cavitación, desbalanceo, desalineaciones, soldaduras mecánicas y otros problemas

6.4.5 Eje de soporte de rodamientos y tuercas de ajuste



Figura 31 Eje de soporte de rodamientos

Elemento con geometría cilíndrica que se emplea como soporte de piezas giratorias, en ella se acoplan los manguitos de sujeción, que a su vez contienen los rodamientos que van a ser analizados en el equipo de vibraciones. Los manguitos de sujeción se acoplan al eje y quedan sujetos por las tuercas de sujeción, que van roscadas al eje de soporte.

El eje de soporte es de acero, debido a que debe soportar la tensión que realiza la correa, con la masa de tensión y la tracción que se realiza desde el motor eléctrico.

6.4.6 Placas de sujeción del eje de soporte y tornillos niveladores

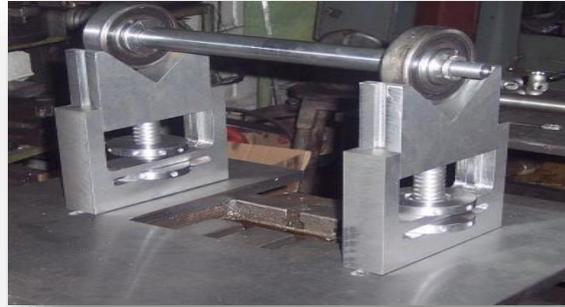


Figura 32 Placas de sujeción de eje

Las placas de sujeción del eje de soporte para los rodamientos se fabrican con hierro fundido acerado para ofrecer opciones de sujeción que sea de una manera rígida y permita el libre acoplamiento de piezas de trabajo. Con el material y la geometría que tiene determinada se reduce al mínimo el esfuerzo de la fundición y se garantizan una rigidez y una estabilidad máximas de la placa.

Cuenta con unos tornillos niveladores, con el fin de no tener desalineaciones en los rodamientos para ser inspeccionados y que alteren las mediciones de vibraciones. Las placas de sujeción se fabricaron con la estructura, las dimensiones y la capacidad de carga más adecuadas para el tamaño y el peso de las piezas de trabajo que se vayan a sujetar.

6.4.7 Correa tensora y de tracción



Figura 33. Correa tensora y de tracción

Es un correa de transmisión que se une al eje de soporte de rodamientos y por medio de poleas se une al eje del motor eléctrico, que está sujeta al movimiento de rotación de dicho motor, por medio de esta correa continua, la cual abraza a las poleas ejerciendo fuerza de fricción suministrándoles energía desde el eje del motor eléctrico.

Es importante destacar que la correa de transmisión basa su funcionamiento fundamentalmente en las fuerzas de fricción, esto las diferencia de otros medios de flexibles de transmisión mecánica, como lo son las cadenas de transmisión y las correas dentadas las cuales se basan en la interferencia mecánica entre los distintos elementos de la transmisión. Ésta correa de transmisión es de goma y facilita el montaje del eje de soporte de rodamientos.

6.4.8 Masa de tensión

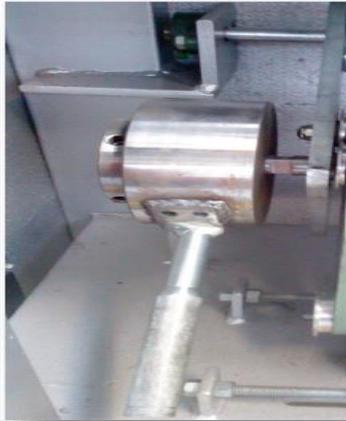


Figura 34 Masa de tensión

Está constituida de acero y tiene un peso de 1 kg aproximadamente, que mediante un eje y un brazo de sujeción, permite el desplazamiento a través de una palanca soldada a dicha masa, permite acoplar o desacoplar la correa tensora y de tracción.

Se toma este medio de tensión en la correa, porque ayuda a la fácil manipulación de la misma y con esto, se facilita el montaje y el desmontaje del Eje de soporte de rodamientos.

6.4.9 Manguitos de sujeción de rodamientos



Figura 35 Manguitos de sujeción

Los manguitos de fijación para rodamientos se utilizan para fijar los rodamientos con un eje de soporte de rodamientos. Los manguitos facilitan el montaje y el desmontaje del rodamiento.

El manguito de sujeción está compuesto por un soporte y una tuerca roscada que se acopla a dicho soporte, el rodamiento a inspeccionar queda en medio de estas dos piezas, que son de fácil ensamble y a raíz del manguito tiene un grafilado, permite la fácil manipulación, sin la utilización de herramientas especiales.

6.5 Montaje del banco en imágenes



Figura 36 Mesa soporte y elementos para montaje



Figura 37 Montaje del eje



Figura 38 Montaje eje en mesa soporte



Figura 39. Montaje eje de soporte



Figura 40 Montaje Manguitos de sujeción

6.6 LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS EN METROCABLE

De acuerdo a las observaciones realizadas en los rodamientos desmontados en los diferentes equipos rotativos se detectó lo siguiente: Debido a ruidos no identificados en chumaceras y poleas, se realizó una verificación de vibraciones en unas chumaceras con análisis de espectros pero no se realiza de manera efectiva porque uno de los puntos de medición queda oculto por los demás elementos como poleas o correas de tracción y genera un factor de riesgo alto para el operario, por lo tanto, después de que se tomó una muestra de vibraciones y que personal de la noche desmontó una chumacera, luego de esto se realizó el siguiente procedimiento, sin desmontar los rodamientos:

- Se verificó con comparador de carátula la rotación del eje instalado en la chumacera y la variación era de menos 0,01 mm.
- Se retiraron los sellos de caucho de los rodamientos y se evidenció que tenían poca grasa y que la que tenía estaba alojada en la canastilla, las pistas estaban sin lubricación; por lo tanto, se procedió a colocarles grasa, pero de los rodamientos que estaban para darle de baja y que aparentemente estaban en buen estado y tenían la misma referencia (desconociendo el tipo de grasa):



Figura 41 Rodamiento con deficiencia en grasa

- Se verificaron los tornillos de apriete de las camisas de esta chumacera (chumacera reparada por cuna), colocándoles LOC TITE 244 y dándoles un ajuste con la mano.
- Se colocaron nuevamente los sellos de caucho y se les aplicó silicona exteriormente para evitar la pérdida de grasa.
- Se ubica nuevamente de esta chumacera en la posición que fue desmontada, se realiza la medición pertinente en vibraciones, en valores cuantitativos, sin realizar el análisis de espectros debido a que se determinó que no era costo-efectivo. Los valores de la variable envolvente disminuyeron desde un valor de 1,39 gE hasta un valor de 0,06 gE.

Adicionalmente, a esta chumacera se le verificó el ruido que tenía inicialmente y detectado en las rutinas de inspecciones y éste no se percibió. Después de esto, se procedió a verificar los rodamientos bajados de las poleas de línea y otras chumaceras, que fueron desmontados por ruido y se evidencia que también falta grasa en los rodamientos:



Figura 42 Rodamiento sin grasa



Figura 43 Comparación rodamientos 1

Se realizaron comparaciones entre rodamientos 6309 nuevos, de dos marcas diferentes y se encontraron las siguientes diferencias:



Figura 44 Comparación rodamientos 2

- Cantidad de grasa.
- Diferente clase de grasa.
- Diferencias en el diseño de las pistas y canastillas.

Los análisis respectivos fueron apoyados en las tablas de la norma ISO 18436-2, donde se resume los valores de envolvente, en alarma y en peligro:

Tabla 9. Severidad para la configuración de la envolvente en equipos

RPM	DIAMETRO EJE (mm)	TOLERABLE ALARMA 1 gE pk-pk	SEVERO ALARMA 2 gE pk-pk	TIPO BASE
600	25	0,7	2,1	RIGIDA Y FLEXIBLE
	50	1	3,1	
	100	1,5	4,5	
	150	1,9	5,6	
	200	2,2	6,5	
	300	2,7	8,2	
	400	3,2	9,6	
	500	3,6	10,8	

6.7 MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE RODAMIENTOS

6.7.1 Generalidades

El rodamiento se torna inutilizable cuándo sufre fallas prematuras debido al manejo y procedimientos de mantenimiento inadecuados. Las fallas prematuras son totalmente diferentes de la descamación, que es la pérdida de material por la fatiga del acero.

Inicialmente se deben tener los siguientes cuidados cuando se realiza la manipulación de rodamientos:

6.7.1.1 Mantener el rodamiento limpio y en sitio limpio

Polvo y suciedades aunque invisibles a ojo desnudo, tienen efectos nocivos sobre los rodamientos. Es necesario prevenir la entrada de polvo y suciedades manteniéndolos, así como el ambiente, lo más limpio posible.

6.7.1.2 Manejar con cuidado

Choques durante el manejo pueden rajarse o causar otros daños al rodamiento, posiblemente resultando en falla. Impactos fuertes pueden causar ruido (abolladuras de brinelling), fracturas o rajaduras.

6.7.1.3 Uso adecuado de las herramientas

Siempre utilice herramientas adecuadas para montar los rodamientos.

6.7.1.4 Prevención de la corrosión

Desde el sudor de las manos hasta los más diversos contaminantes pueden causar corrosión. Mantenga sus manos limpias cuando manejar los rodamientos, y si posible utilice guantes.

6.7.2 Inspección visual de rodamientos para ser recuperados.

Se examinan los rodamientos para evaluar la posibilidad o no de reutilización.

En la inspección se debe verificar la existencia de anomalías y daños como: la reducción en la precisión dimensional, el aumento del juego interno del rodamiento, el estado de deterioro de la jaula, el estado de la superficie de ajuste, de la superficie de giro, de la superficie de los cuerpos rodantes (bolas), entre otros.

Los rodamientos que no se desensamblan como los rodamientos de bolas, cuando son como los manejados en el área (6307, 6309, 6020, entre otros) y que inicialmente han sido desmontados, se les puede confirmar la suavidad de giro manteniendo el anillo interior en la horizontal en una de las manos y girando el anillo externo. Si al realizar esta actividad, se siente que las pistas se frenan o hay puntos donde el rodamiento trata de quedarse frenado, este no debe ser recuperado.



Figura 45. Inspección visual de rodamientos

Los rodamientos que se desensamblan como el de rodillos cónicos, por ejemplo los de los reductores principales, permiten la verificación de los cuerpos rodantes y de la pista del anillo externo individualmente.

Se verifican con atención, en los rodamientos de mayor tamaño, que no permiten el giro manual, el aspecto visual de los cuerpos rodantes, la superficie de la pista, la jaula y la superficie de contacto en el reborde. Para un mayor nivel de importancia del rodamiento, mayor deberá ser la seriedad de los exámenes.

Se hace la evaluación de la posibilidad de reutilización solamente tras haber considerado el grado de daños, la capacidad de la máquina, el grado de importancia, las condiciones de trabajo y el intervalo de tiempo hasta la próxima inspección. Sin embargo, si cualquiera de los defectos siguientes se observa, la reutilización del rodamiento es impracticable, y entonces es necesaria la sustitución por otro nuevo:

- Cuando hay rayas o astillados en el anillo interno, en el anillo externo, en los cuerpos rodantes (bolas) o en la jaula.



Figura 46. Anillo interno con rayas

- Cuando hay descamación en la pista o en los cuerpos rodantes.



Figura 47 Pista y cuerpos rodantes con desgaste

- Cuando hay arañazos significativos en la pista, en el reborde o en los cuerpos rodantes.



Figura 48 Arañazos en pista

- Cuando el desgaste de la jaula es significativo o los remaches se suelten.



Figura 49. Desgaste de la jaula

- Cuando hay oxidación o excoiaciones en la superficie de la pista o de los cuerpos rodantes.



Figura 50 Oxidación y excoiaciones en superficie

- Cuando hay impresiones o marcas de impacto significativas en la superficie de la pista de los cuerpos rodantes.



Figura 51 . Marcas de impacto

- Cuando hay deslizamiento significativo en la superficie del agujero o en la superficie del anillo externo.



Figura 52. Deslizamiento en la superficie del agujero

- Cuando hay alteración significativa de color debido al calor.

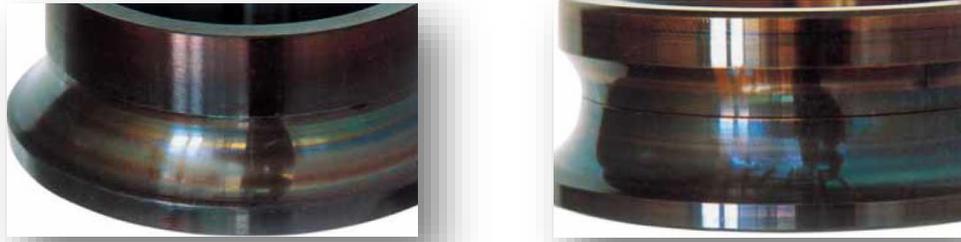


Figura 53 Alteración de color

- Cuando hay daños significativos en los sellos del rodamiento.

Se debe considerar tanto el procedimiento de montaje, como el de desmontaje de los rodamientos, utilizando la herramienta adecuada. Posterior a esta verificación del estado de los rodamientos, se procede a realizar la inspección en el banco de prueba de rodamientos.

6.7.3 Inspección de los rodamientos en el banco de pruebas.

Después de realizar las verificaciones visuales pertinentes en los rodamientos, se procede a realizar la instalación de estos en el banco de pruebas.

6.7.3.1 Instalación de los rodamientos en el banco de pruebas

Para instalar los rodamientos en el banco de prueba se realiza el siguiente procedimiento:

Paso 1: Instalación del manguito de sujeción en el rodamiento:

Los manguitos de sujeción presentan unas dimensiones de acuerdo a la referencia del rodamiento; ya están previamente marcados con los rodamientos utilizados en OCA y se instalan en la pista interior del rodamiento:



Figura 54 Instalación de manguito rotador en rodamiento

Este procedimiento se realiza de manera manual y no requiere herramientas para realizar el torque de la tuerca, el cual se debe ajustar hasta llegar a tope, garantizando que la tuerca no se vaya a soltar.

Para realizar la instalación en el banco de prueba, se deben tomar 2 rodamientos de la misma referencia, que van instalados en dos manguitos de sujeción similares.

Paso 2: Instalación en el eje del rodamiento que está en el manguito de sujeción.

Después de tener los 2 rodamientos instalados en los manguitos de sujeción, se procede a instalarlos en el eje que transmitirá el movimiento a dichos rodamientos, a través de una correa, desde el motor eléctrico ubicado en la parte inferior del banco.



Figura 55 Instalación en el eje de rodamiento de manguito rotador

Se debe dar torque manualmente la tuerca que acopla el manguito de sujeción al eje de soporte, asegurándose de que dicha tuerca no se afloje durante la operación en el banco.

Paso 3: Instalación del eje que soporta los rodamientos en el banco de pruebas

La correa debe estar previamente desinstalada del eje del motor eléctrico, con el fin de que se pueda colocar los rodamientos con el eje en los soportes del banco.

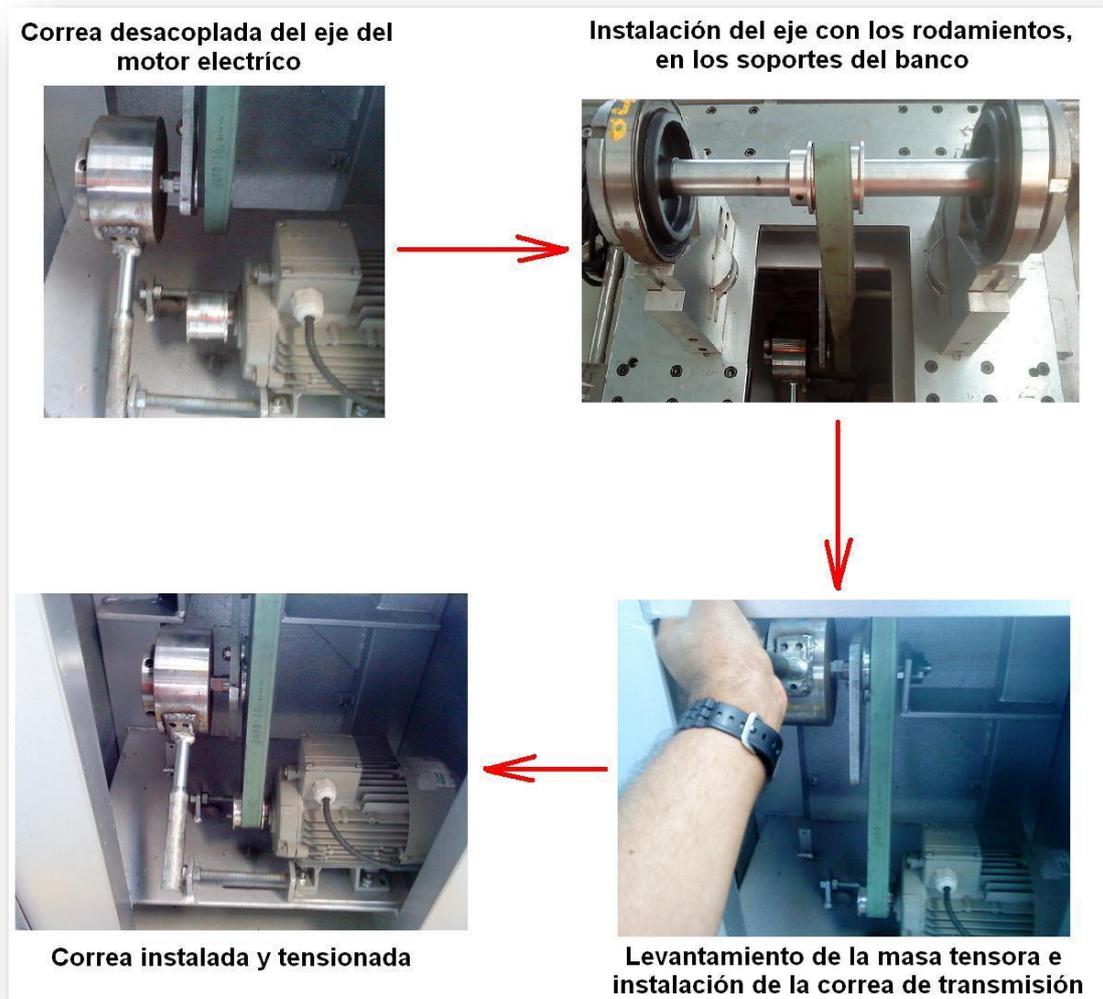


Figura 56 Instalación del eje que soporta los rodamientos

6.7.3.2 Encendido del motor eléctrico y la velocidad de giro.

El variador del motor eléctrico del banco, posee un visualizador y unos botones de control, que permiten la operación del motor del banco de rodamientos, para unas condiciones establecidas:

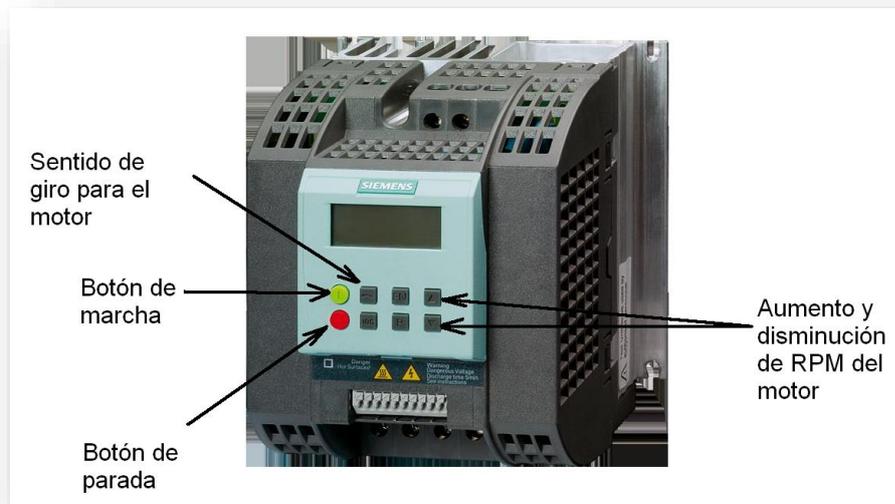


Figura 57 Variador de motor eléctrico

Inicialmente, se debe conectar la alimentación del banco a una red de 220 AC y seguir estos pasos:

- Después de realizar ésta conexión, el variador del motor se energiza y en el display se muestran las siguientes indicaciones:



Figura 58. Indicaciones display del variador de velocidad

Aunque se muestra este valor, el motor aún no tiene movimiento.

- Para mover el motor, se pulsa el botón de marcha y éste comienza a girar de manera lenta. Se debe tener precaución y realizar una verificación de que todos los elementos giratorios se encuentren bien sujetos y en estado normal de operación.
- Luego, se presiona suavemente el pulsador de aumento de RPM (Δ) se lleva hasta un valor de 11.00 Hz:

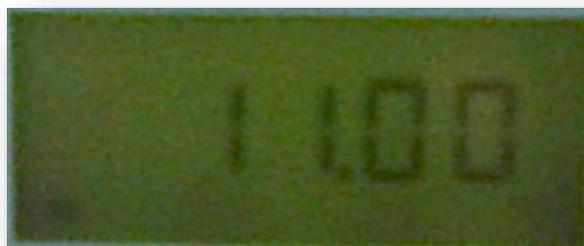


Figura 59. Valor máximo en el variador de velocidad

- Esto corresponde aproximadamente a 300 RPM, medidos en el eje donde estarán acoplados los rodamientos que van a ser inspeccionados.
- El giro del eje para probar los rodamientos, se utiliza en el valor positivo mostrado en el display, si aparece con un valor negativo, se puede cambiar su sentido de giro, pulsando el botón de cambio de sentido.
- Después de realizar la medición del estado de los rodamientos, se procede a apagar el motor eléctrico del banco desde el botón de parada.

6.7.3.3 Inspección con el Rodacheck y los valores de aceptación.

Para la inspección de los rodamientos en el banco, se utiliza un equipo llamado Rodacheck y permite observar el estado vibratorio de los rodamientos; En la siguiente grafica se observa las partes:



Figura 60 Rodacheck

Las funciones de este equipo, aparecen en el menú principal del equipo, para poderlas observar, se debe encender el equipo desde el botón de encendido:

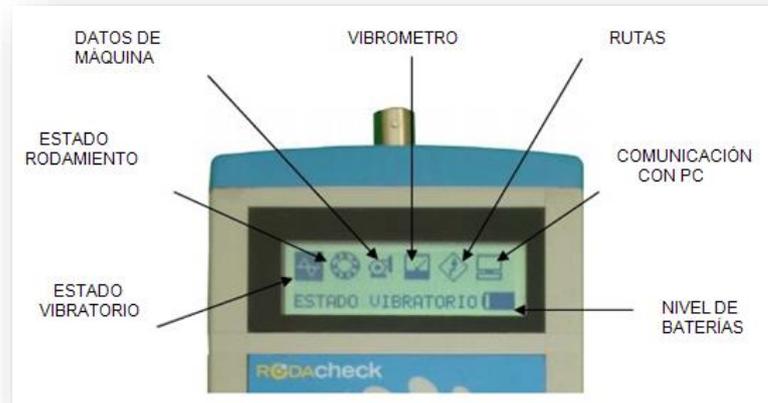


Figura 61. Vibrometro

Inicialmente, se muestra el estado de carga en las baterías del equipo (nivel de baterías); si este nivel es bajo, se debe colocar a cargar este equipo, con el fin de poder realizar las mediciones requeridas.

Para recorrer o navegar en las demás funciones, se realiza desde los botones de navegación horizontal del equipo.

La función que se requiere para verificar el estado vibratorio de los rodamientos es la función VIBROMETRO (o estado vibratorio) y su ingreso se realiza de la siguiente manera:

- Desde los botones de navegación, ubicarse en estado vibratorio (vibrometro):



Figura 62. Selección del vibrometro

- Presionar “enter”
- Desde los botones de navegación, ubicarse donde se realiza la medición de la envolvente:



Figura 63. Selección del valor envolvente en el vibrometro

Los valores máximos permitidos para admitir un rodamiento en el proceso de recuperación, se basa en el valor de 300 RPM, para un diámetro del eje de 25 mm, con una alarma tolerable de 0,4 gE pk-pk, para una base rígida o flexible.

Cuando se realice la medición del estado de los rodamientos, y verificando el valor de la envolvente, se arroja en el Rodacheck un valor inferior a 0,4, el rodamiento puede ser reutilizado.

Por el contrario, si dicho valor es igual o superior a 0,4, el rodamiento debe ser rechazado.

7 CONCLUSIONES

7.1 IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE RODAMIENTOS

De acuerdo a la implementación del banco de rodamientos, se tiene como conclusiones los siguientes parámetros:

7.1.1 Confiabilidad

Realizar una inspección detallada de los rodamientos utilizando una técnica de mantenimiento predictivo genera una conducta de observación acertada y procura que los elementos inspeccionados sean aprovechados de manera eficiente durante su vida útil.

El inspeccionar los rodamientos con el banco, obliga al personal de mantenimiento a que para la instalación de los mismos en los diferentes equipos, realicen las inspecciones correspondientes a los diferentes alojamientos donde serán instalados dichos rodamientos; esto está apoyado en los manuales, las características de diseño y principios mecánicos, las tolerancias en los ajustes y demás condiciones que permiten un correcto funcionamiento de los equipos.

Esto está garantizando que por ejemplo, que los rodamientos de una rueda de circulación, a los cuales se les tiene estipulado una vida útil de 6 meses, puedan ser aprovechados 6 meses más y que además, permitan que las ruedas tengan un correcto desempeño, lo que garantiza un desgaste normal debido a la fricción disminuyendo los cambios de estos elementos en el mantenimiento correctivo.

Con la instalación de equipos "confiables", se puede ser coherente con las políticas empresariales de prestar un servicio rápido y seguro.

Después de realizar el cálculo de del diámetro por flexión y realizar el análisis de fatiga para el eje, se determina realizar la construcción del eje de acuerdo al diámetro mayor calculado, es decir, el diámetro arrojado por el cálculo de flexión equivalente a 32 mm. Esto implica que el operario del banco de prueba de los rodamientos puede tener una seguridad operacional, concentrando las maniobras en la inspección de los elementos probados en el banco. También con este análisis se logró determinar que el banco se comporta como una máquina rígida para el análisis de las vibraciones medidas.

7.1.2 Costos de operación

Los costos de operación se ven directamente afectados con la confiabilidad del equipo. El costo de operación debido a los atrasos ocurridos durante el año 2013, se ha disminuido porque el sistema durante operación comercial no ha generado atrasos de duración extensa y en la que se vean implicados los rodamientos.

En el cuadro a continuación se pueden observar los atrasos ocurridos a la fecha en línea K y línea J (línea L no ha tenido atrasos generados por averías en los rodamientos):

Tabla 10. Atrasos por cambios de rodamientos durante la operación - 2013

Línea	Causas	Total atrasos (en minutos)	%
línea K	Ruedas Circulación	4,20	0,20
	Poleas	4,03	0,19
línea J	Ruedas Circulación	0,00	0,00
	Poleas	21,62	0,73
Total		29,85	

Según el anterior cuadro, se contaba con un atraso promedio por año de 9 horas por mantenimiento correctivo y en el año 2013 solo e cuenta con 30 minutos de atraso a causa rodamientos.

7.1.3 Costos de mantenimiento:

Los costos de mantenimiento correctivo y de mantenimiento preventivo, se han disminuido porque actualmente no se tienen planificados los cambios sistemáticos de elementos, lo cual disminuye la utilización del personal de mantenimiento en dichas labores y se puede aprovechar en la ejecución de otras actividades como son la organización, planificación y la observación de eventos, que pueden contribuir a que se optimicen los recursos.

Realizar una inspección detallada a los equipos rotativos, instalados y operando, genera un costo muy alto, ya que se requeriría mucho tiempo en la solo medición de vibraciones, el mantenimiento no se vuelve costo-efectivo y esto se debe a que por la gran cantidad que poleas, chumaceras y demás elementos, se crea un volumen muy alto para ser observado, medido y posteriormente analizado. Además realizar la medición de

vibraciones genera un riesgo alto de atrapamiento para las personas de mantenimiento, incrementando el costo debido a que se contemplan riesgos incluso fatales.

Es a raíz de todo lo anterior, que se buscó una alternativa para garantizar que los equipos instalados en metrocable, posean una confiabilidad más alta, de acuerdo a parámetros establecidos.

La utilización del banco de rodamientos ha generado una nueva actividad para el personal de mantenimiento en la recuperación de rodamientos.

8 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las observaciones realizadas se menciona la siguiente recomendación para el sistema metrocable del Metro de Medellín:

Se recomienda continuar con la implementación y sostenimiento del banco de rodamientos ya que la utilización de menos rodamientos por los reincorporados a la operación, hace que la compra de los mismos para metrocable disminuya, esto también contribuye a que se generen menos residuos sólidos que se convertirían en chatarra.

En la siguiente tabla se observa el comparativo:

Tabla 11. Masa de rodamientos inspeccionados (2013)

Clase de rodamientos	cantidad	peso promedio rodamiento (kg)	peso total (kg)	%
rodamientos inspeccionados	905	0,62	561,1	100
rodamientos no rechazados	507	0,62	314,34	56,02
rodamientos rechazados	398	0,62	246,76	43,98

Según el dato anterior, se tenía estipulado generar 561 kg de chatarra que corresponden a 905 rodamientos que se estimaba desechar. Al realizar la inspección y recuperación de rodamientos, se redujo la generación de chatarra a un 43,98%.

Además, no realizar cambios de elementos mecánicos a raíz de mantenimiento preventivo y correctivo que implique cambio de rodamientos, ayuda en la política ambiental, ya que se da una menor generación de residuos por las siguientes razones:

- Uso de franela para limpieza
- Uso de grasas
- Usos de desengrasantes para limpieza

Por lo anterior se determina que la implementación del banco de rodamientos para el sistema Metrocable del Metro de Medellín es exitosa en los aspectos económico y ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Academic. (2000-2013). http://enciclopedia_universal.esacademic.com/65674/Riesgo_ambiental. Recuperado el 13 de 03 de 2013
- Autoresiduos,SL.(2001-2013).
http://www.autoresiduos.com/diccionarios/diccionario_motor/definicion_motor_COJINETE%200.asp. Recuperado el 27 de 3 de 2013
- Cerón, Charry & Coronado (2006). *Análisis de falla del eje de un agitador para tratamiento de agua*. Universidad del Valle, Colombia.
- Fundación Wikimedia, Inc. (s.f.). <http://es.wikipedia.org/wiki/Desgaste>. Recuperado el 13 de 3 de 2013
- G.U.N.T. Geratebau GmbH. (2005). http://www.gunt.de/static/s4633_3.php?p1=&p2=&pN. (s.f.). Recuperado el 13 de 04 de 2013
- Grupo ROLCAR. (2002). <http://www.rolcar.com.mx/Diccionario/Lubricacion/V.htm>. Recuperado el 18 de 03 de 2013
- <http://www.sinais.es>. (2013). http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/rodamientos/frecuencias_rodamientos.html. (s.f.). Recuperado el 28 de 03 de 2013
- <http://www.solomantenimiento.com>. (s.f.). <http://www.solomantenimiento.com/diccionario.htm>. (s.f.). Recuperado el 13 de 03 de 2013
- Norton, Robert L (2011). *Diseño de máquinas*. México: Pearson Educación
- Peral Orts, Ramon (2008). *Bancos de ensayo para docencia en vibraciones mecánicas*. Alicante, España: Elche.
- Soluciones Idear S.R.L. (2012). <http://www.idearnet.com.ar>. Recuperado el 29 de 01 de 2013, de <http://www.idearnet.com.ar/especificaciones/vibracheck-100.pdf>.
- www.fludeco.com. (s.f.). <http://fludeco.com/index.php/19-sample-data-articles/joomla?start=8>. Recuperado el 13 de 03 de 2013

ANEXOS

Planos diseño y calculo del eje del banco de pruebas de rodamientos

Anexo 1. Tuerca de fijacion 1

Anexo 2. Tuerca de fijacion 2

Anexo 3. Tuerca de fijacion 3

Anexo 4. Placa sujecion eje

Anexo 5. Placa sujecion eje

Anexo 6. Placa soporte nivelacion

Anexo 7. Paral

Anexo 8 . Eje union para

Anexo 9. Placa posterior

Anexo 10. Placa frontal

Anexo 11 Soporte nivelacion

Anexo 12 Placa base

Anexo 13. Polea rotulante

Anexo 14. Base soporte motor

Anexo 15. Masa de tension

Anexo 16. Soporte y esparrago

Anexo 17. Polea de traccion y buje

Anexo 18. Placa soporte polea

Anexo19.Chasis1

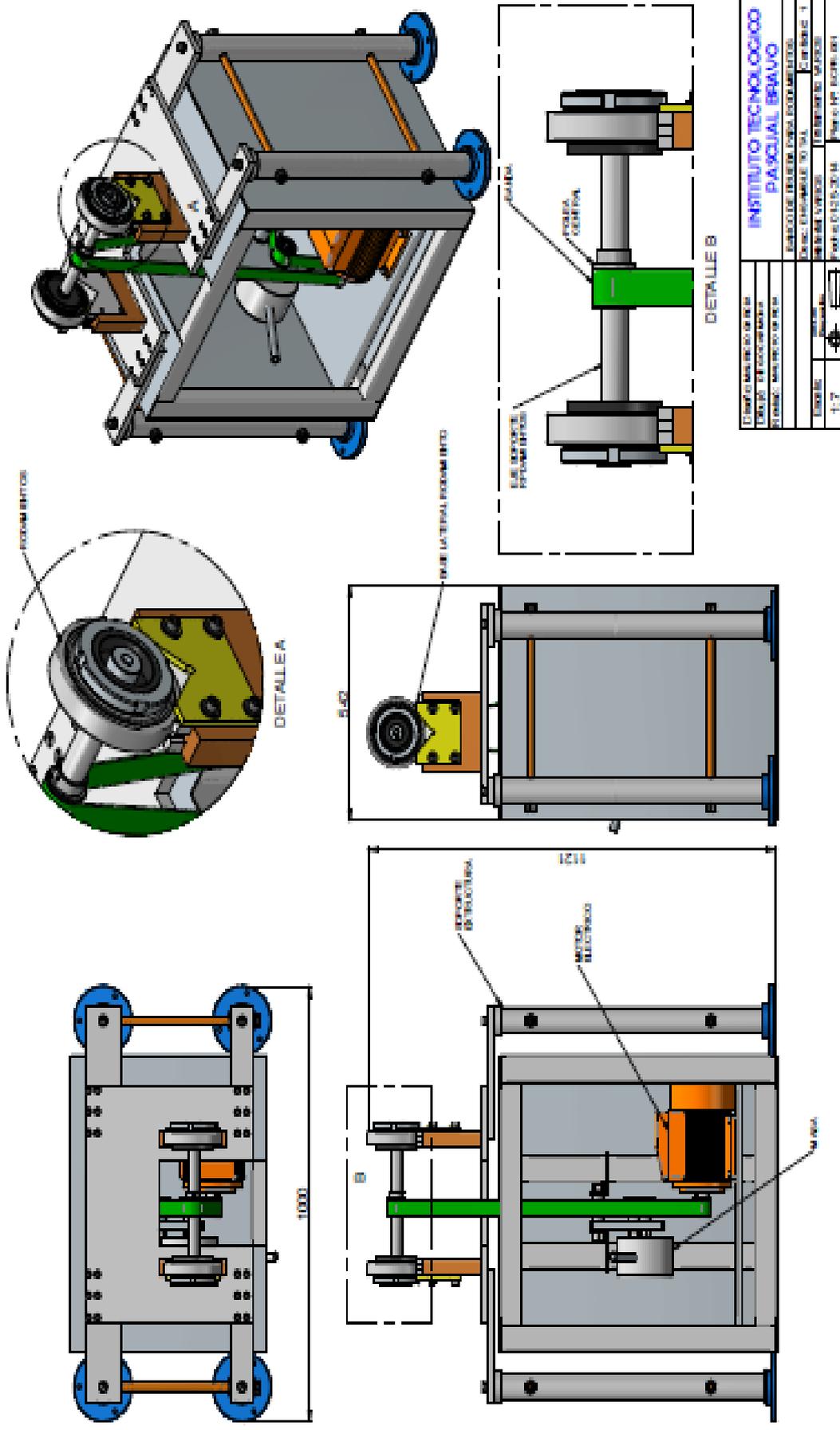
Anexo 20. Chasis 2

Anexo 21. Ensamble total 1

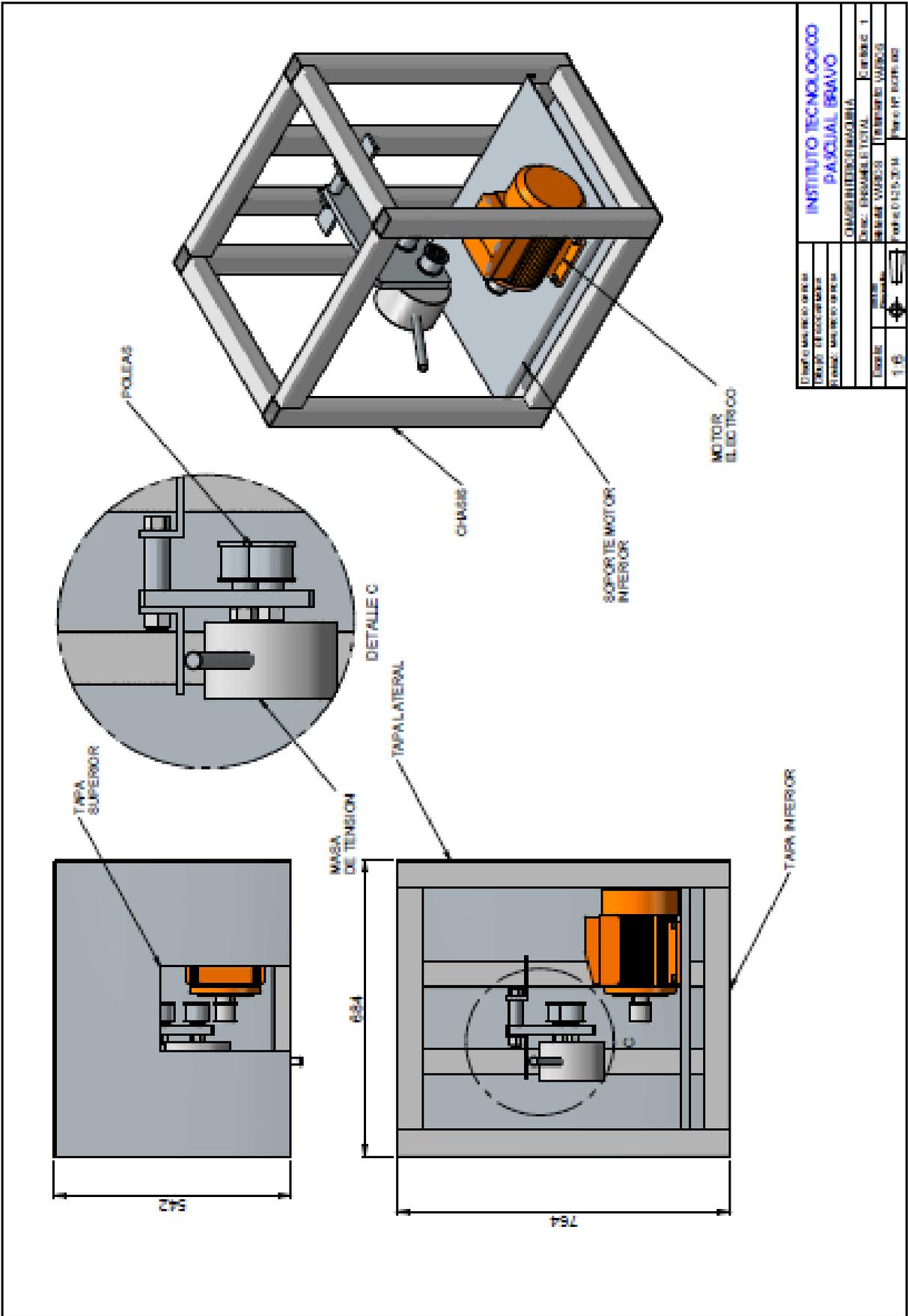
Anexo 22. Ensamble total 2

Anexo 23. Calculo del eje del banco de rodamiento

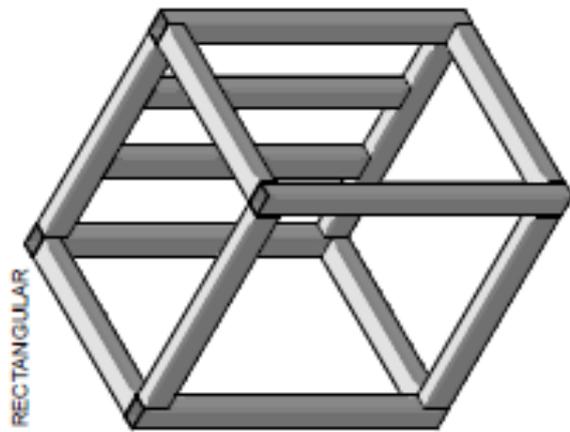
Anexo 24. Analisis de fatiga para el eje



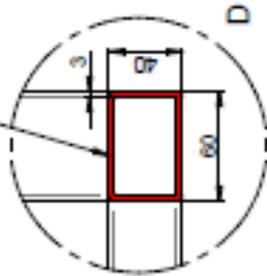
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		INSTITUTO TECNOLÓGICO	
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA		PASQUALE BRAVO	
CATEDRA DE MECÁNICA DE MÁQUINAS		DISEÑO DE MÁQUINAS DE FRENADO	
TÍTULO: Tesis de Grado		CARRERA: 1	
AUTOR: [Nombre]		FECHA DE ENTREGA: [Fecha]	
TUTOR: [Nombre]		FECHA DE CALIFICACIÓN: [Fecha]	
1:1		Página 1 de 1	



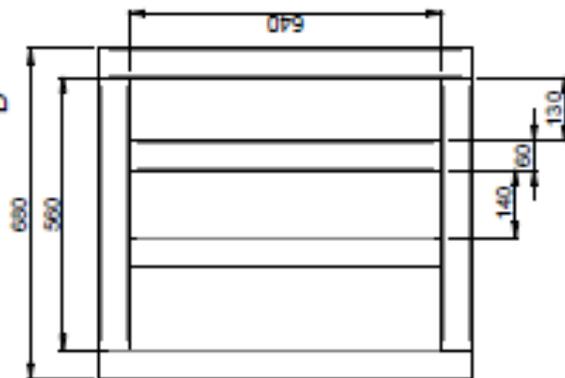
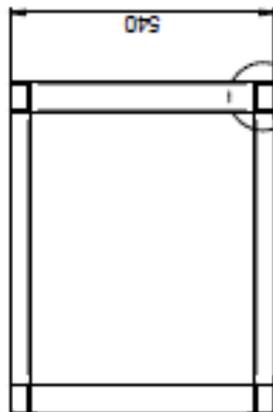
INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CITEC) - MANTENIMIENTO	CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CITEC) - MANTENIMIENTO
TÍTULO: MANTENIMIENTO	CARRERA: INGENIERÍA EN MECÁNICA
NOMBRE: J. J.	NÚMERO: 1
FECHA: 15/05/2014	ESCALA: 1:1



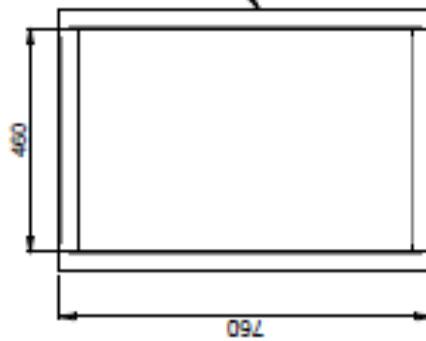
TUBERIA MECANICA RECTANGULAR
40 X 60 X 3mm esp.



D

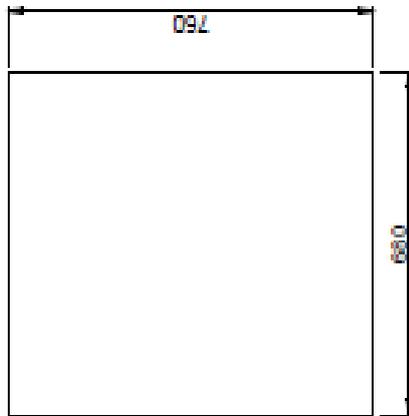


ESTRUCTURA
SOLDADA

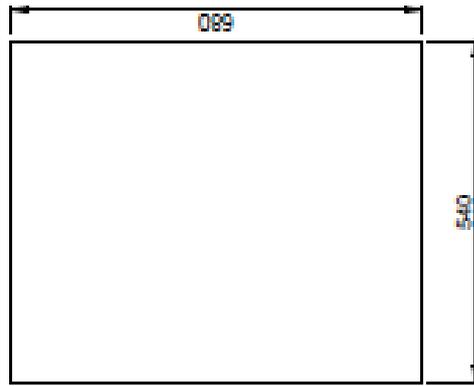


Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc.: CHASIS	Cantidad: 1
Plano N°: BCPR-003	Material: TUBERIA MECANICA RECTANGULAR	
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO	
Escala: 1:12		
Dib. de Proyecto:		

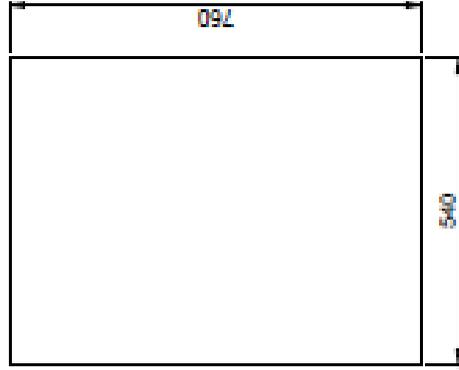
NOTA: PINTURA ELECTROESTATICA COLOR GRIS



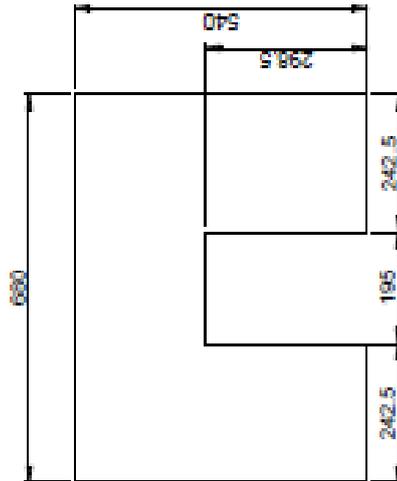
TAPA POSTERIOR
MATERIALLAMINA CAL. 14(mm)
RECUBRIMIENTO-PINTURA ELECTROESTATICA



TAPA INFERIOR
MATERIALLAMINA CAL. 14(mm)
RECUBRIMIENTO-PINTURA ELECTROESTATICA



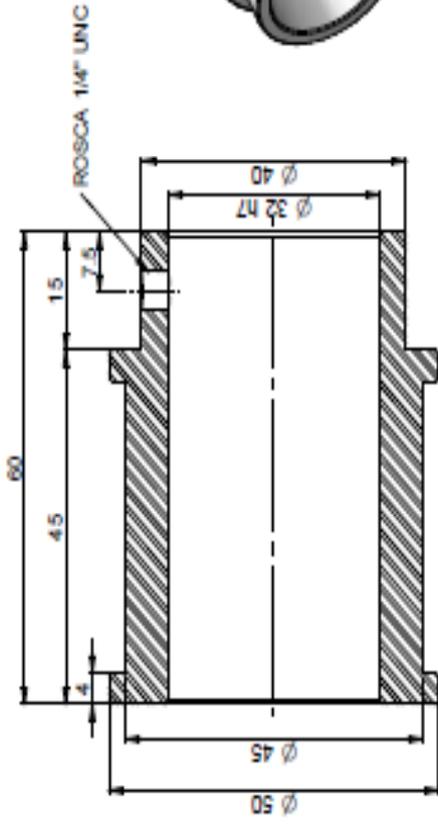
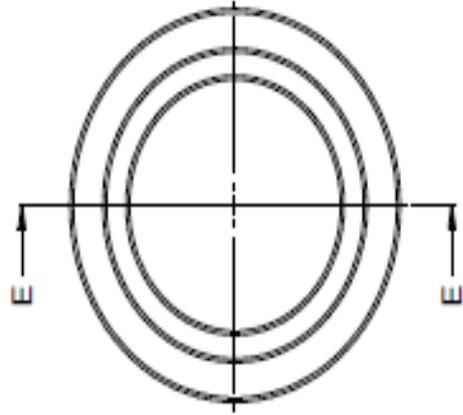
TAPA LATERAL
MATERIALLAMINA CAL. 14(mm)
RECUBRIMIENTO-PINTURA ELECTROESTATICA
CANT: 2 UNID



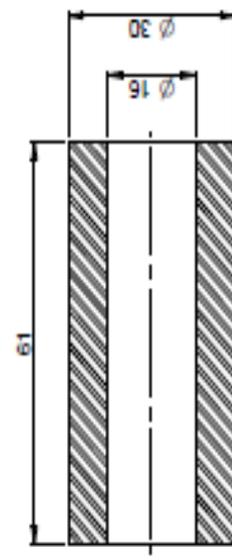
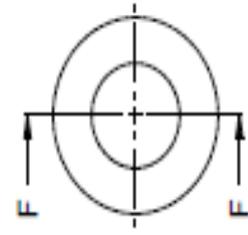
TAPA SUPERIOR
MATERIALLAMINA CAL. 14(mm)
RECUBRIMIENTO-PINTURA ELECTROESTATICA

Dibujó: MAURICIO GARCIA		INSTITUTO TECNOLOGICO	
Revisó: DIEGO CARMONA		PASCUAL BRAVO	
Fecha: 01-25-2014		BANCO DE PRUEBA PARA ROOMMIENTOS	
Plano N°: BCFR-004		Desc: CHASIS	
Medidas: mm		Cantidad: 1	
Escala: 1:1.2		Material: LAMINA OR CALBRE 14(mm)	
Mét. de Proyección: 		Tratamiento: NINGUNO	

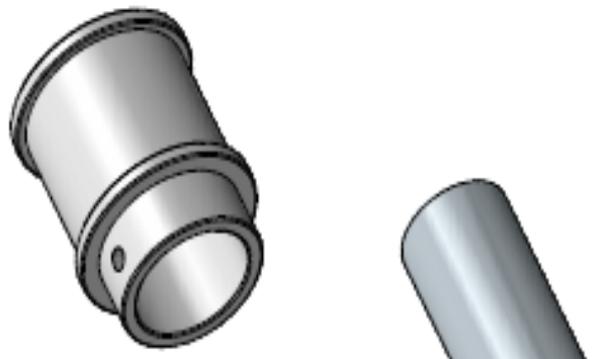
POLEA DE TRACCION



CORTE E-E

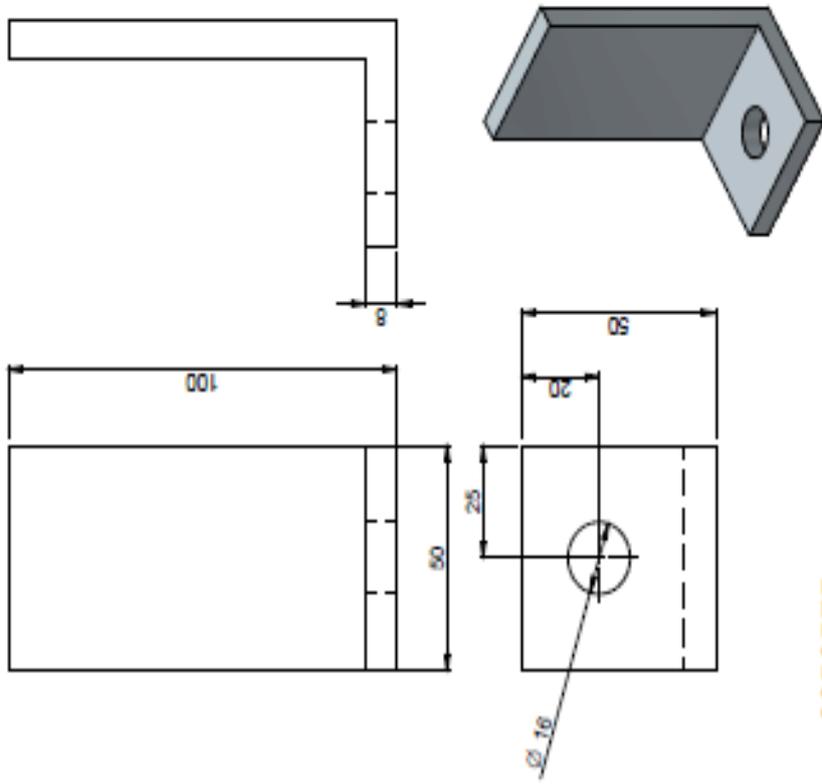


CORTE F-F

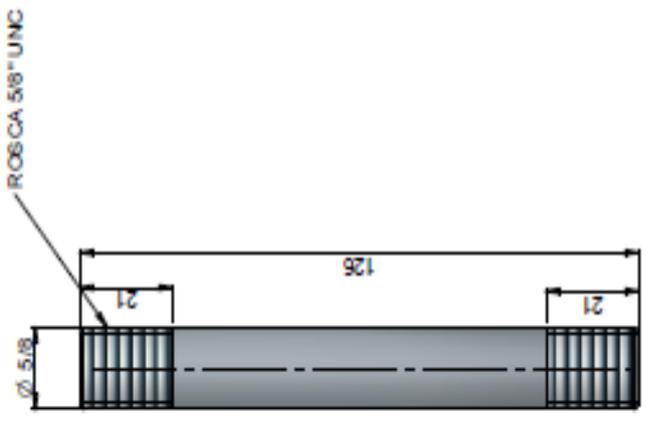


**BUJE SEPARADOR
MATERIAL: A CERO A51 10 20
RECUBRIMIENTO: TROPICALIZADO
CANT.: 1**

Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS
Fecha: 01-25-2014	Desc: POLEA DE TRACCION Y BUJE Cantidad: 2
Plano N°: BCPR-006	Material: ACERO AISI 1045
Medidas: mm	Tamaño: NINGUNO
Escala: 1:1	
Bot. de Proyección	

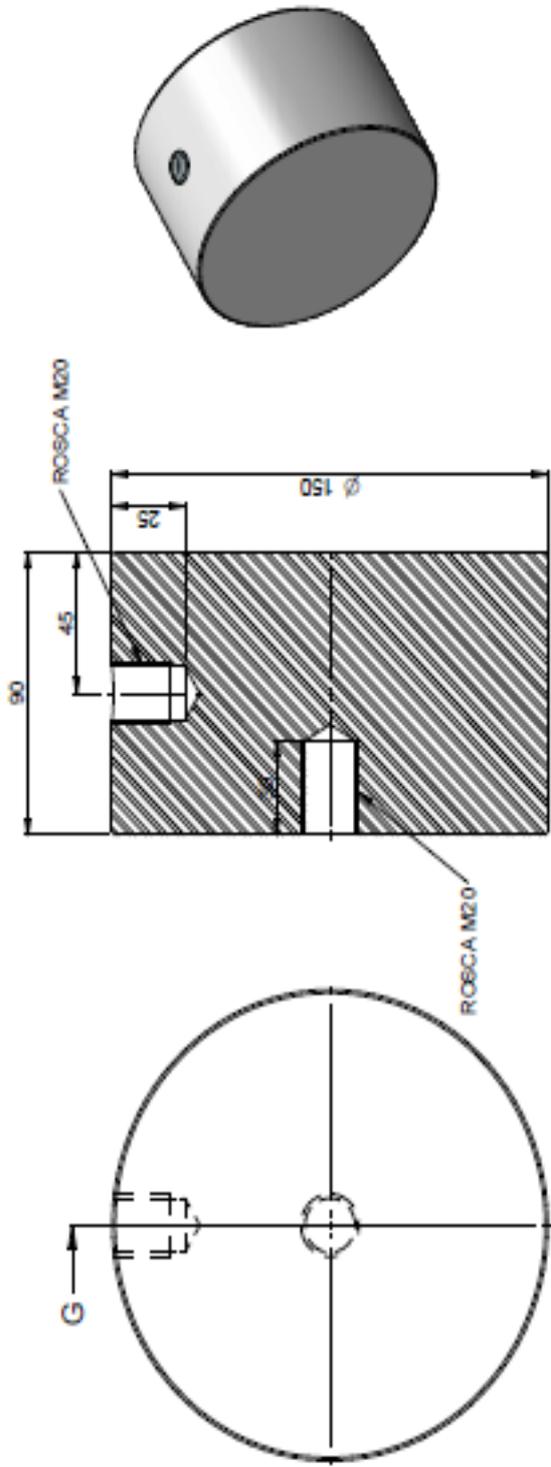


SOPORTE
MATERIAL: ACERO A51 1020
RECUBRIMIENTO: TROPICALIZADO
CANT: 2



ESPARRAGO
MATERIAL: ACERO A51 1020
RECUBRIMIENTO: TROPICALIZADO
CANT: 1

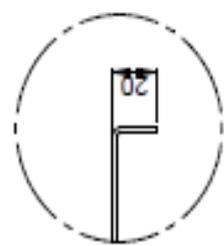
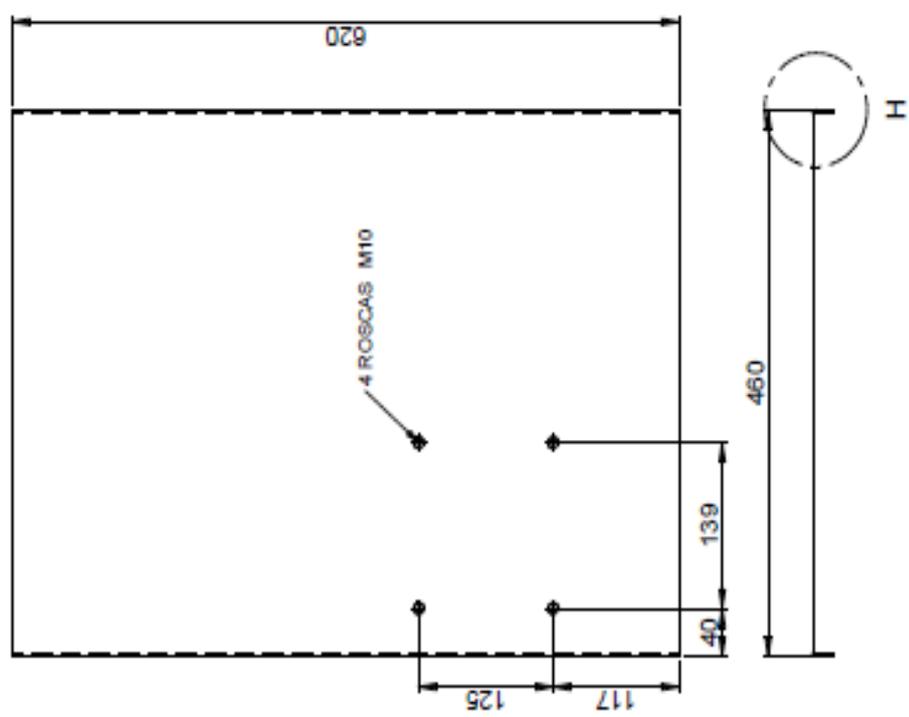
Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc: SOPORTE Y ESPARRAGO	Cantidad:
Plano N°: BCPR-007	Material: A.CERO A51 1020	
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO	
Escala: 1:1		



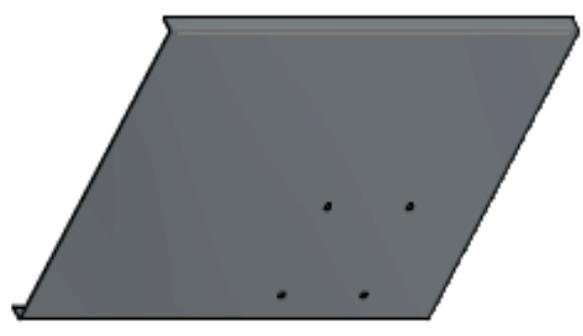
**INSTITUTO TECNOLOGICO
PASCUAL BRAVO**

Dibujó: MAURICIO GARCIA		BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Revisó: DIEGO CARMONA		Desc.: MASA DE TENSION	Cantidad: 1
Fecha: 01-25-2014		Material: ACERO AISI 1045	
Plano N°: BOPR-008		Tratamiento: NINGUNO	
Medidas: mm			
Escala: 1:2			
Aut. de Proyección			

**PALANCA MASA
MATERIAL: ACERO AISI 1045
RECUBRIMIENTO: TROPICALIZADO
CANT.: 1**

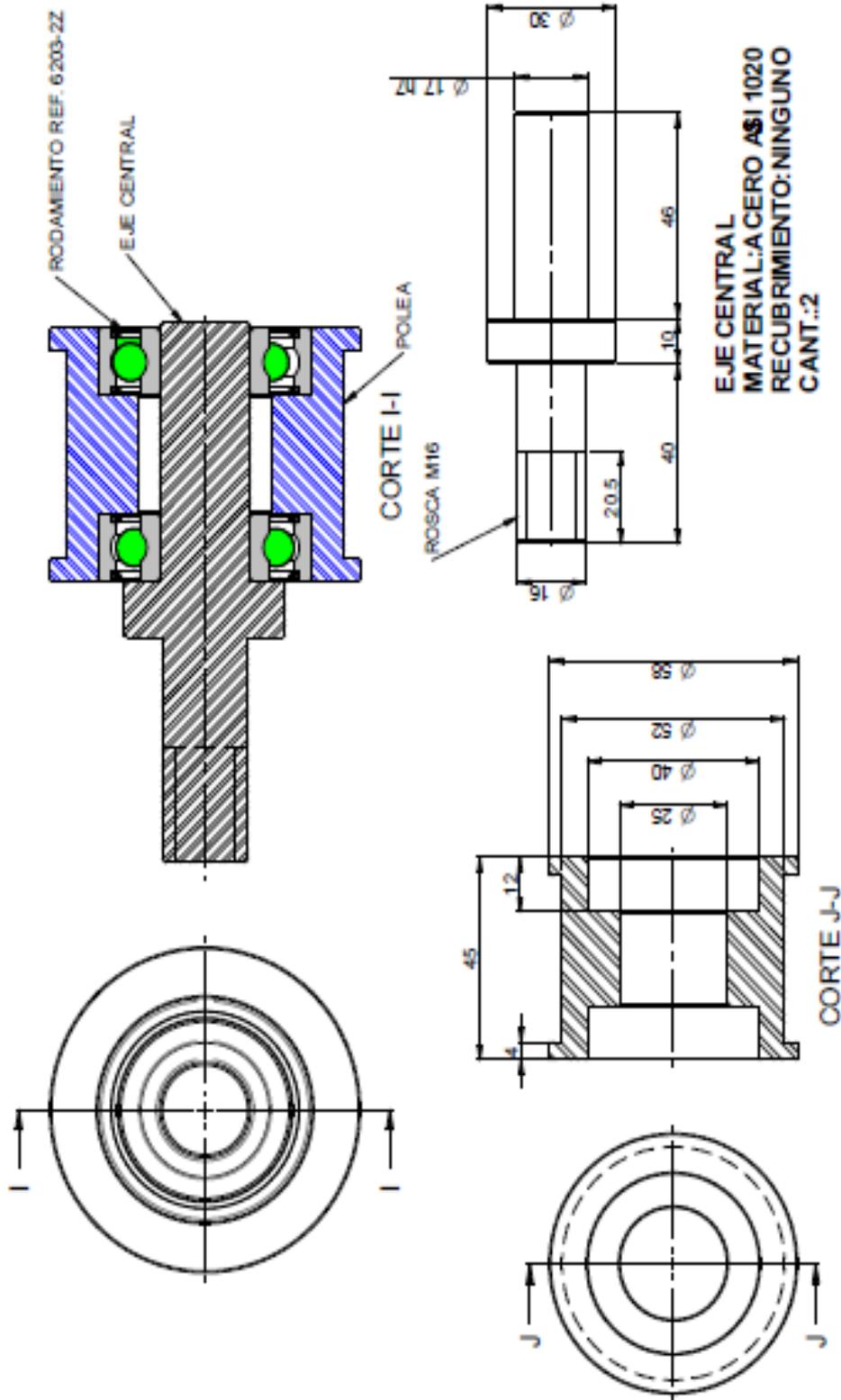


DETALLE H

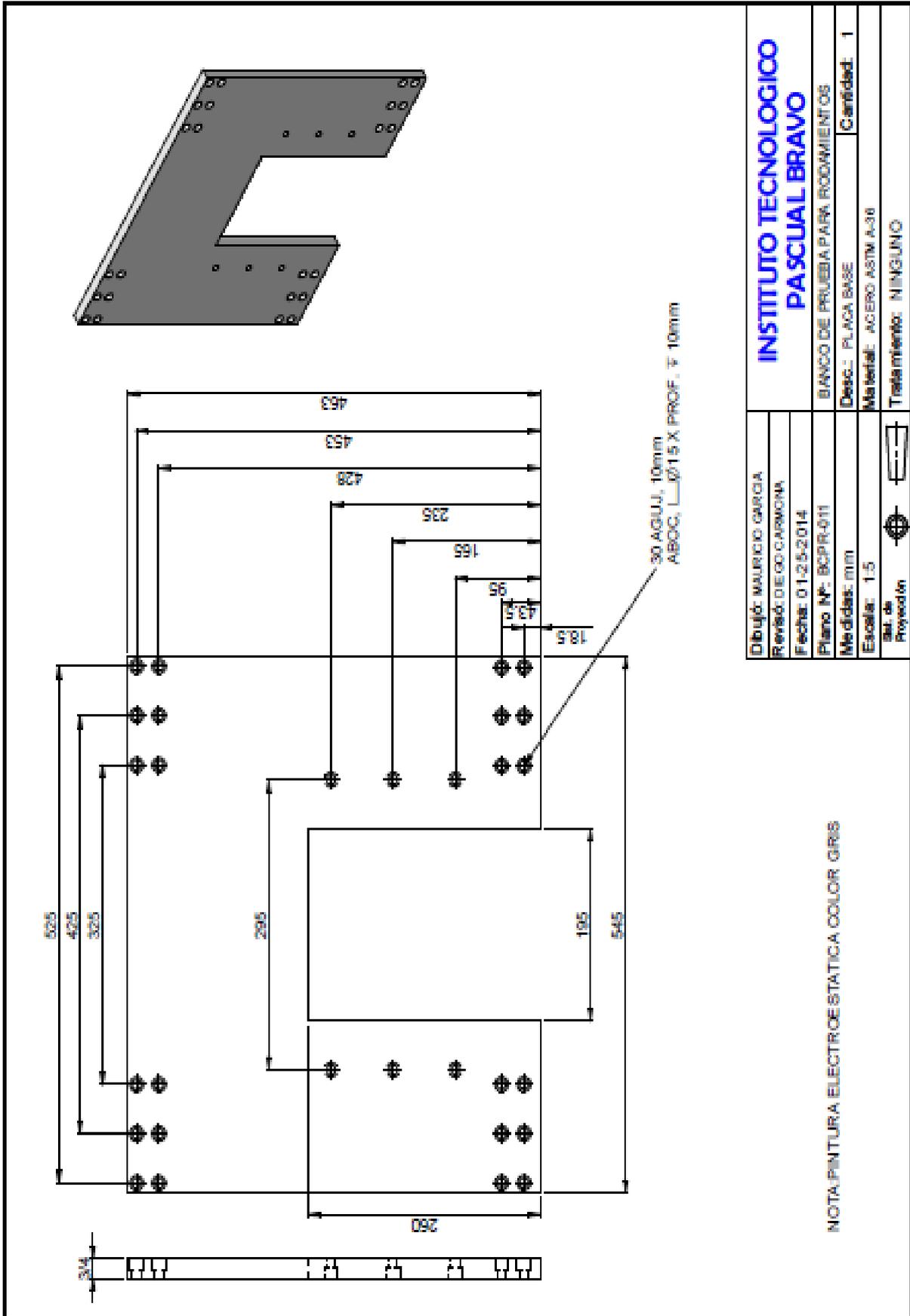


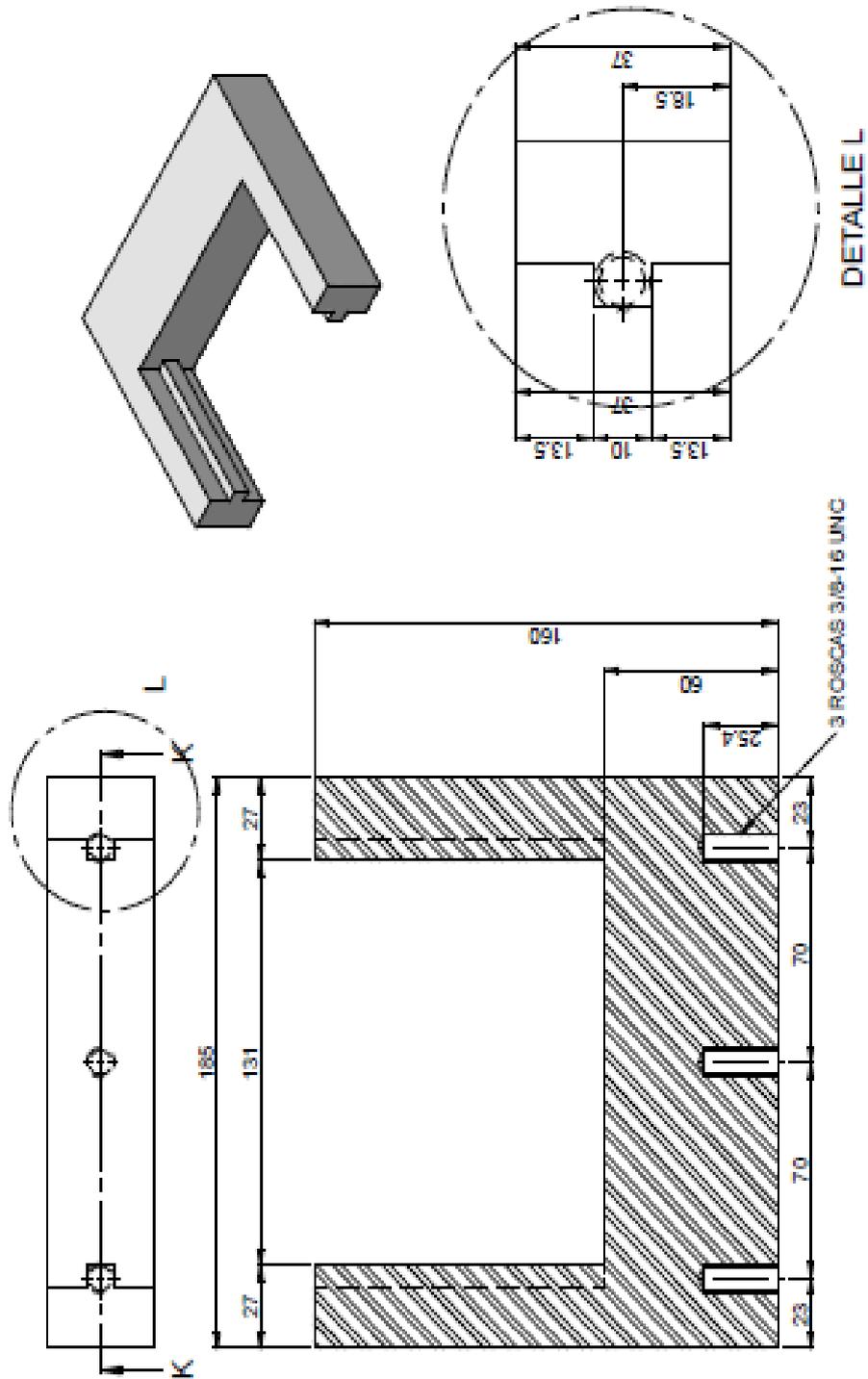
Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BIANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc: BASE SPORTE MOTOR	Cantidad: 1
Plano N°: BQPR-009	Material: LAMINA OR CALIBRE 14(1mm)	
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO	
Escala: 1:5	Sist. de Proyección	

NOTA: PINTURA ELECTROSTATICA COLOR GRIS



Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc.: POLEA ROTULANTE	Cantidad: 2
Plano N°: BOPR-010	Materia: VARIOS	
Medidas: mm	Escala: 1:1	
	Met. de Proyección	Tratamiento: NINGUNO



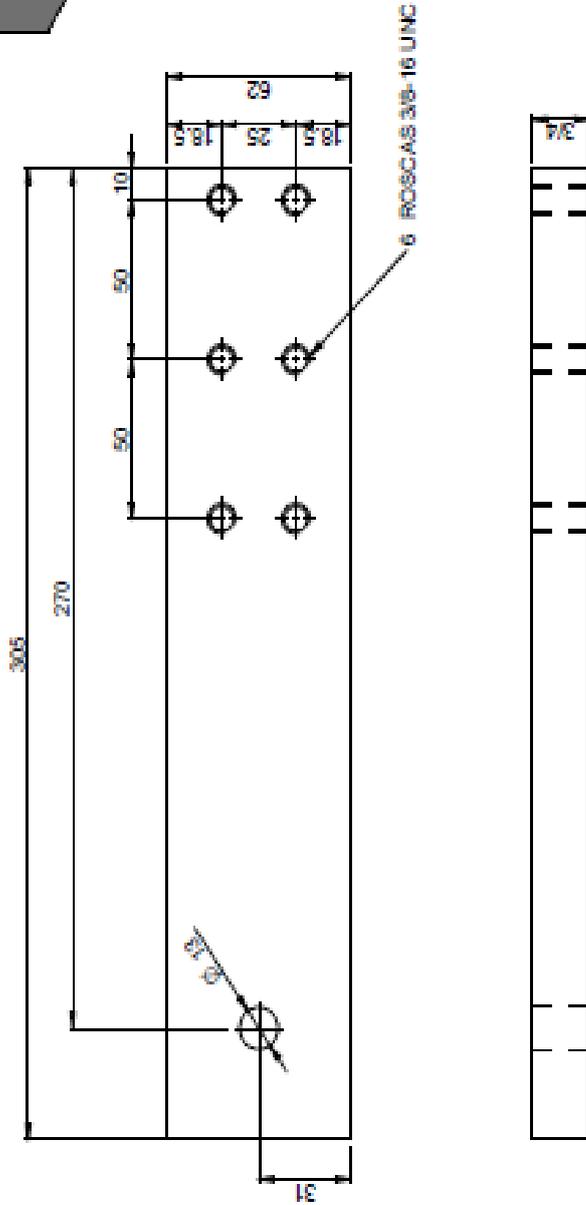
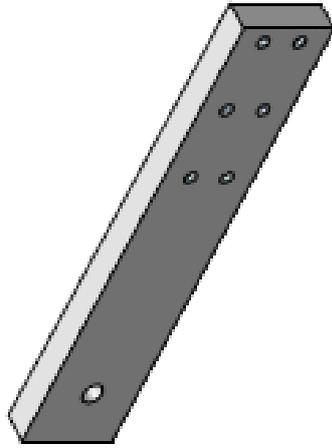


CORTE K-K

DETALLE L

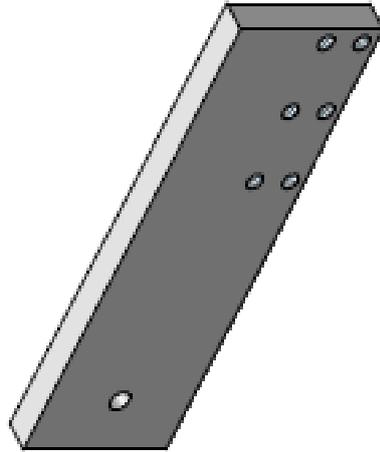
Dibujó: MAURICIO GARGA	INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARRASCA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc.: SOPORTE NIVELACION	Cantidad: 2
Plano N°: BICPR-012	Materia: ACERO ASTM A-36	Tamaño: 1:5
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO	
Escala: 1:5	 	

NOTA: PINTURA ELECTROESTÁTICA COLOR GRIS

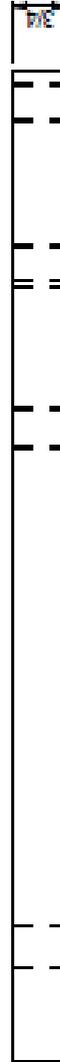
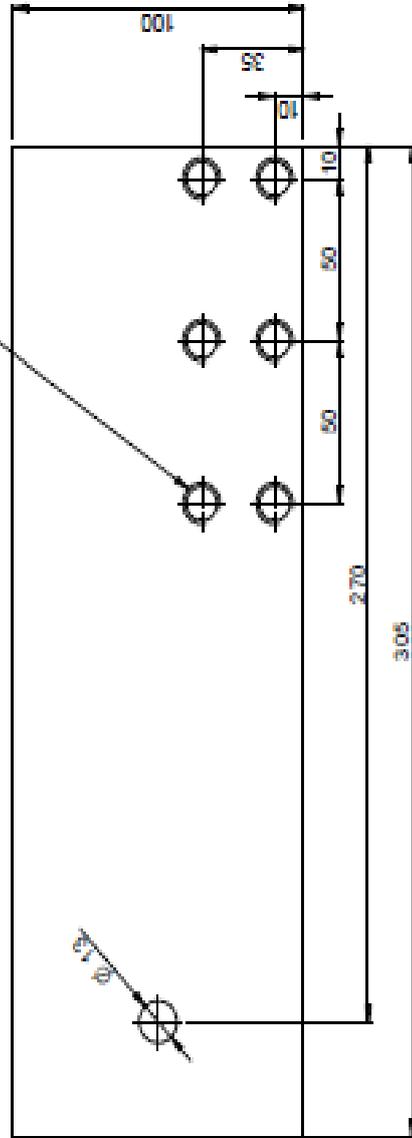


INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Desc.: PLACA FRONTAL	Cantidad: 2
Material: ACERO ASTM A-36	
Tratamiento: NINGUNO	
Dibujo: MAURICIO GARCIA	
Revisó: DIEGO CARMONA	
Fecha: 01-25-2014	
Plano: NC-BCFR-013	
Medidas: mm	
Escala: 1:2	
Aut. de Proyecto	

NOTA: PINTURA ELECTROESTÁTICA COLOR GRIS



6 ROSCAS 1/2-13 UNC

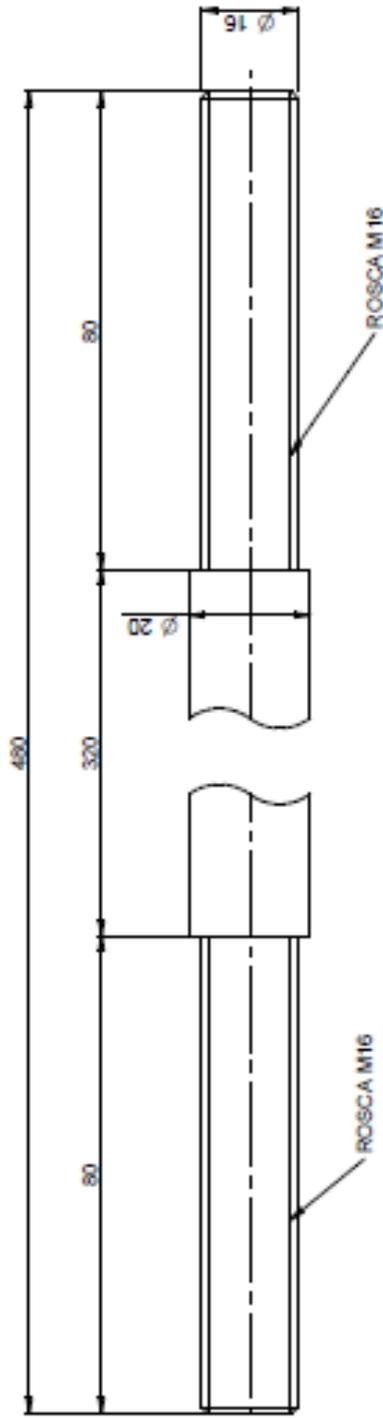


Dibujó: MAURICIO GARCIA	
Revisó: DIEGO GARCONA	
Fecha: 01/25/2014	
Plano N°: BCPR-014	
Medidas: mm	
Escala: 1:2	
Est. de Proyección	

**INSTITUTO TECNOLOGICO
PASQUAL BRAVO**

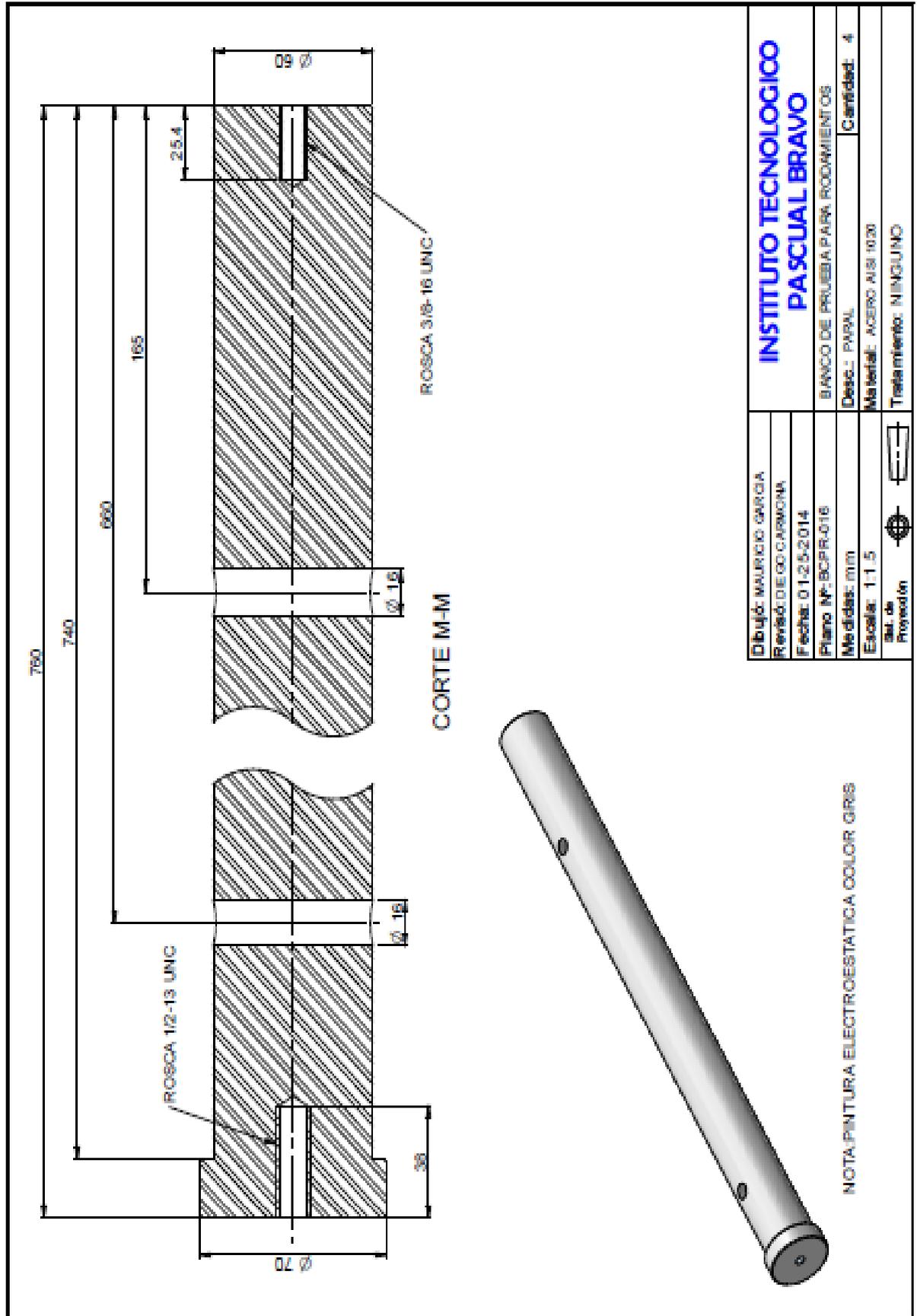
BLANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Desc.: PLACAPOSTERIOR	Cantidad: 2
Material: ACERO ASTM A-36	
Tratamiento: NINGUNO	

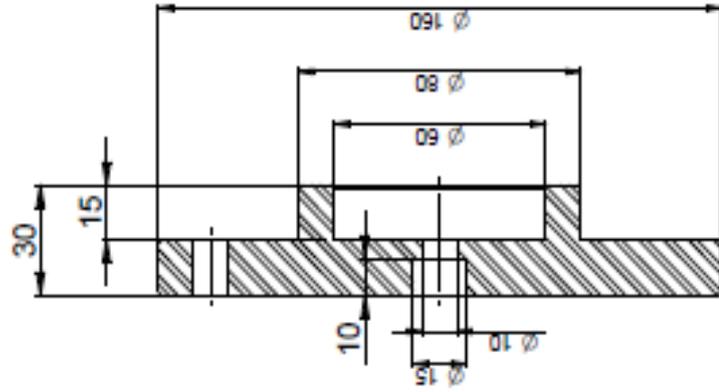
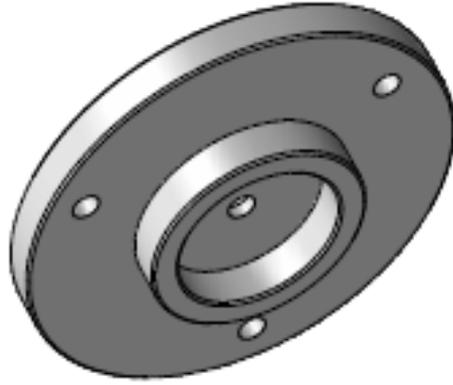
NOTA: PINTURA ELECTROESTATICA COLOR GRIS



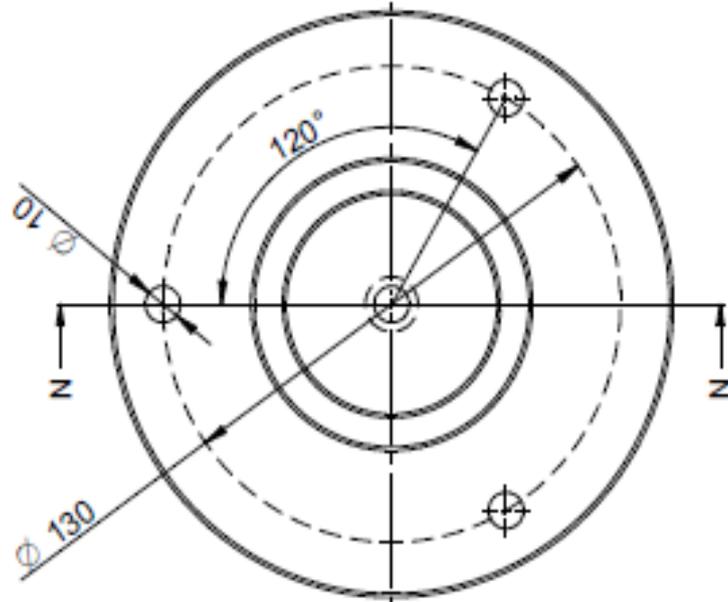
NOTA: PINTURA ELECTROESTATICA COLOR GRIS

Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO GARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc.: EJE UNICIN PARAL	Cantidad: 4
Plano N°: BCPR-015	Material: ACERO AISI 1020	
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO	
Escala: 1:1		



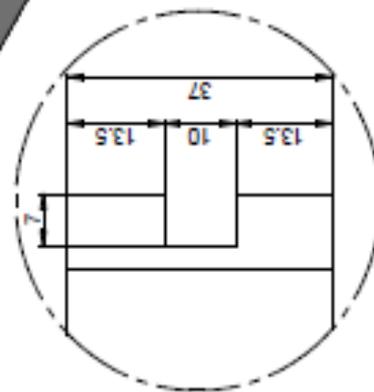
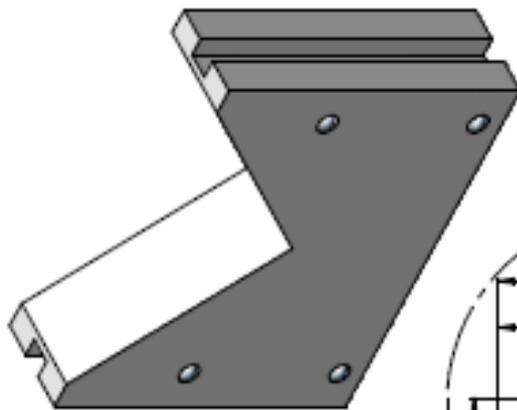
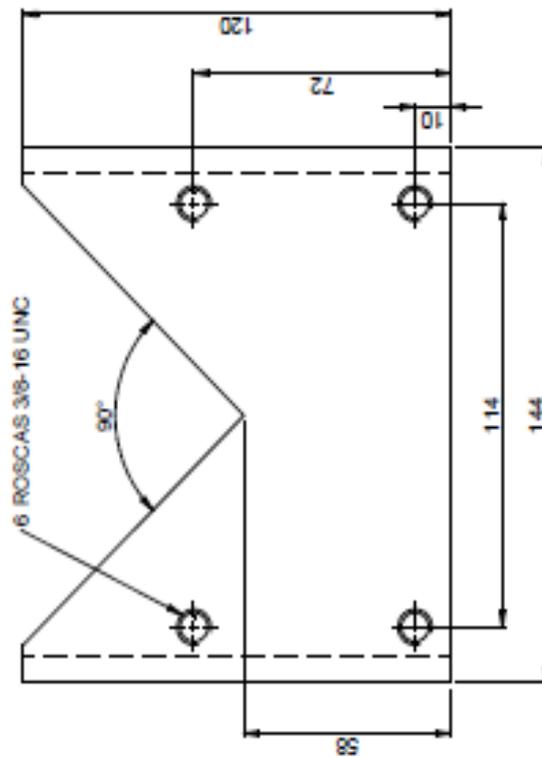
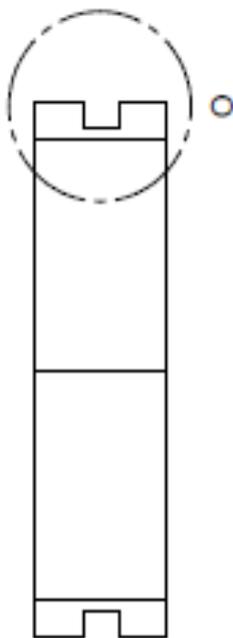


CORTE N-N



INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
Dibujó: MAURICIO GARCIA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS
Revisó: DIEGO CARMONA	Desc.: BASE ESCALAE PISO
Fecha: 01-25-2014	Materia: ACERO ASTM A-36
Plano N°: BCPR-017	Cantidad: 4
Medidas: mm	
Escala: 1:1.5	
Est. de Proyección	Trazado: NINGUNO

NOTA: PINTURA ELECTROESTATICA COLOR GRIS



DETALLE O

Dibujó: MAURICIO GARCIA

Revisó: DIEGO CARMONA

Fecha: 01-25-2014

Plano N°: BCPRI-018

Medidas: mm

Escala: 1:1.5

3rd. de Proyección

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
PASCUAL BRAVO**

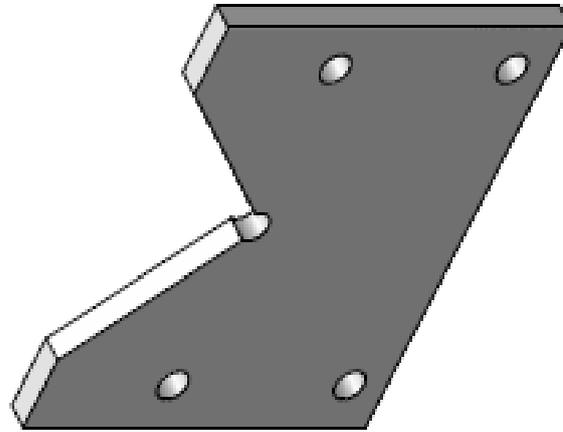
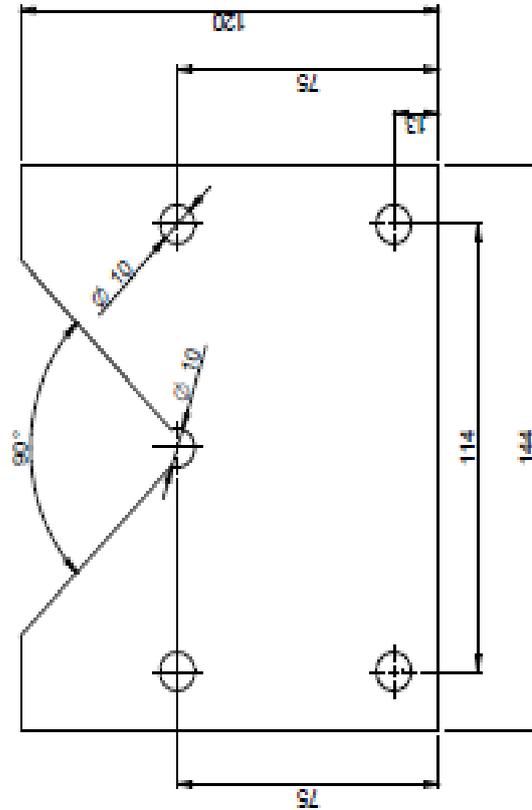
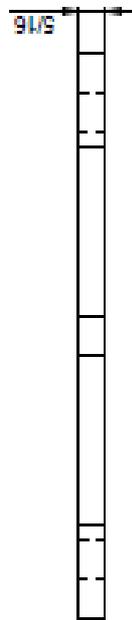
BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS

Desc.: PLACA SOPORTE NIVELACION Cantidad: 2

Materia: ACERO ASTM A-36

Tratamiento: NINGUNO

NOTA: PINTURA ELECTROESTÁTICA COLOR GRIS



Dibujó: MAURICIO GARCIA
 Revisó: DIEGO CARMONA
 Fecha: 01-25-2014

**INSTITUTO TECNOLOGICO
 PASCUAL BRAVO**

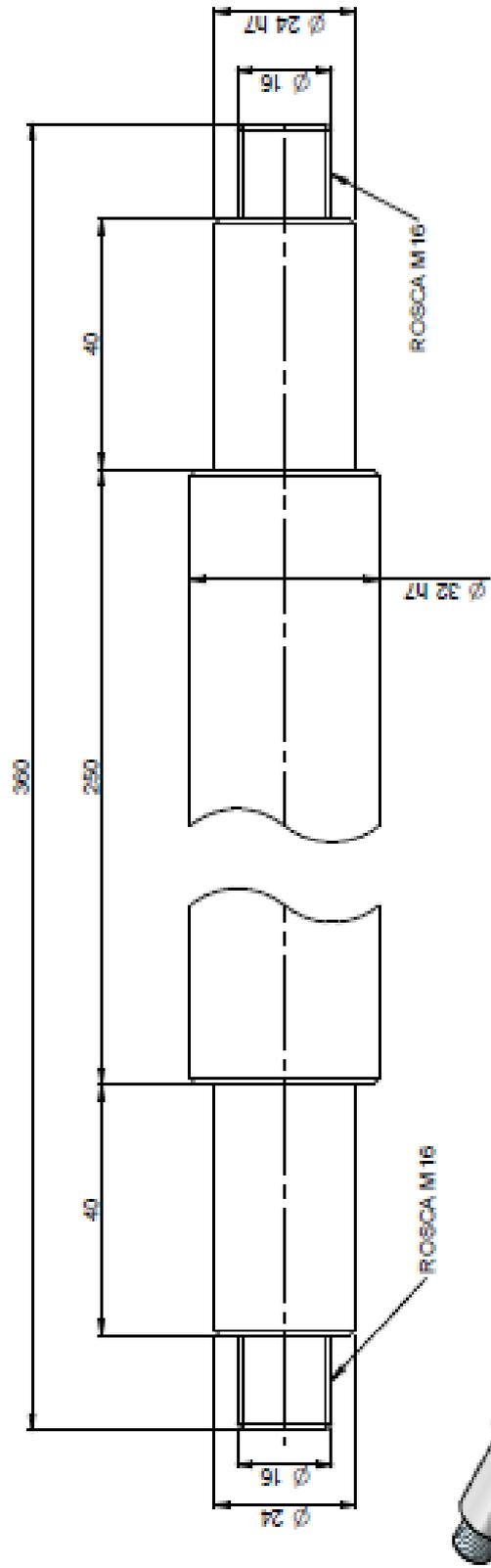
BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS

Desc.: PLACA SUECION EJE Cantidad: 2

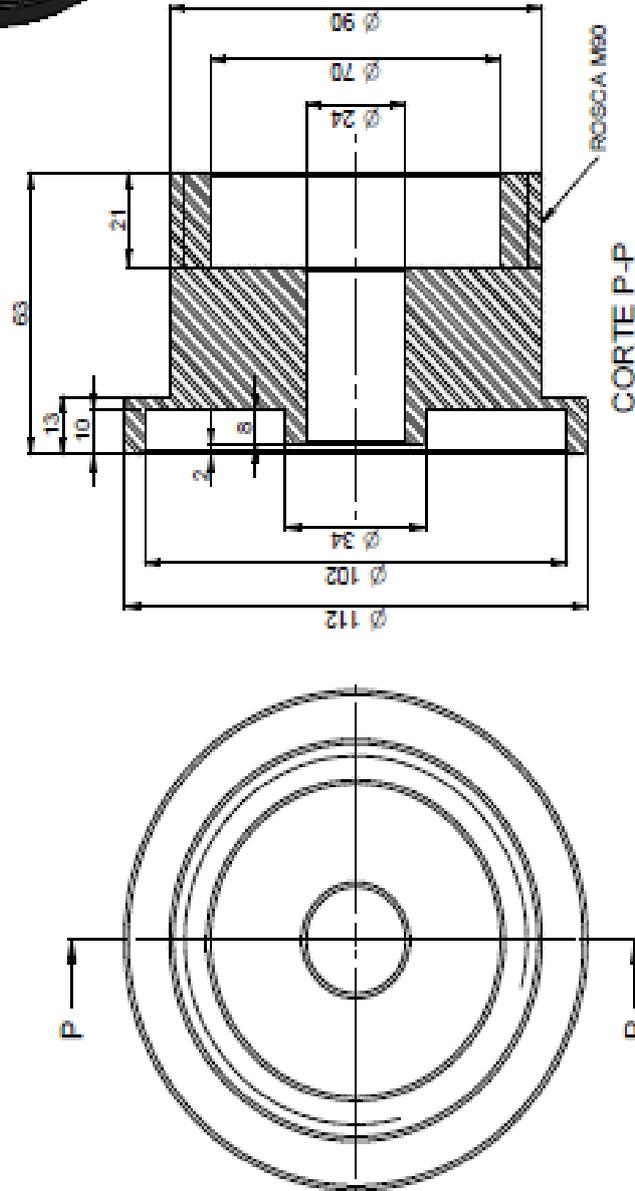
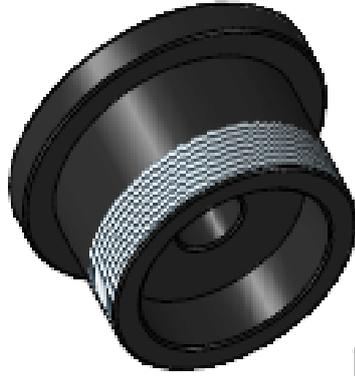
Materia: ACERO ASTM A-36

Tratamiento: NINGUNO

NOTA: PINTURA ELECTROESTATICA COLOR GRIS



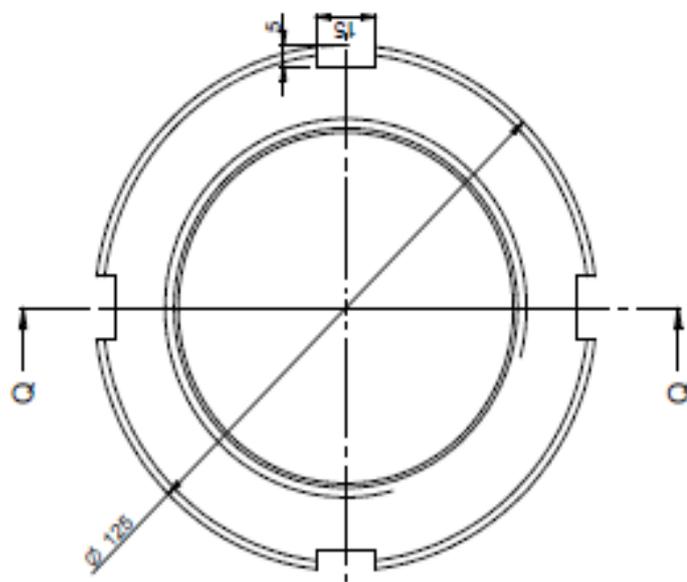
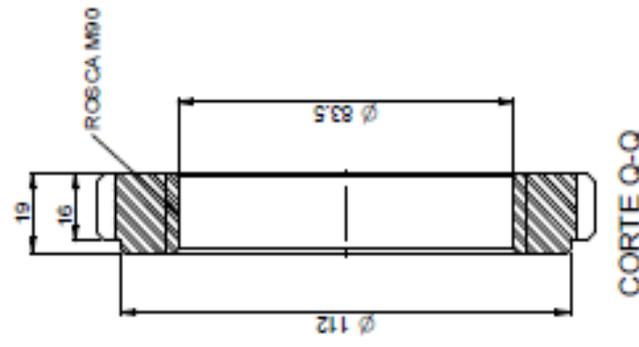
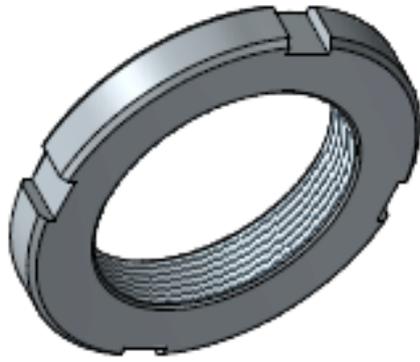
Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc.: PLACA SUJECION EJE	Cantidad: 1
Plano N°: BCPR-020	Mat. Metal: ACERO AISI 4140	Tratamiento: NINGUNO
Medidas: mm	Escala: 1:1	
Aut. de Proyección		



NOTA: Dependiendo de la referencia del rodamiento se utiliza un juego de esta tuerca

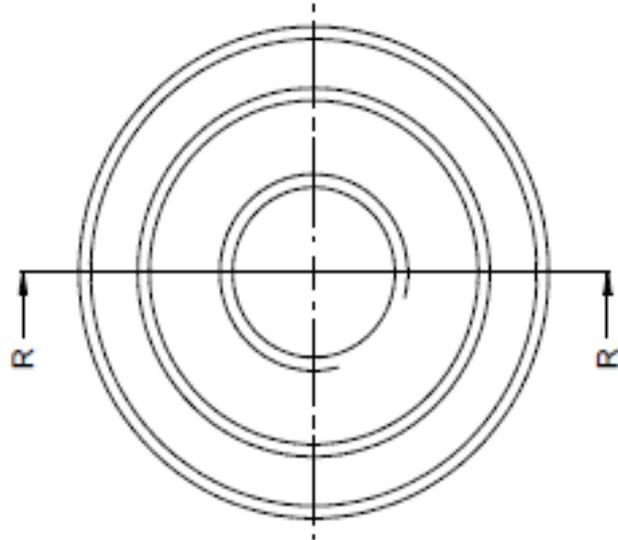
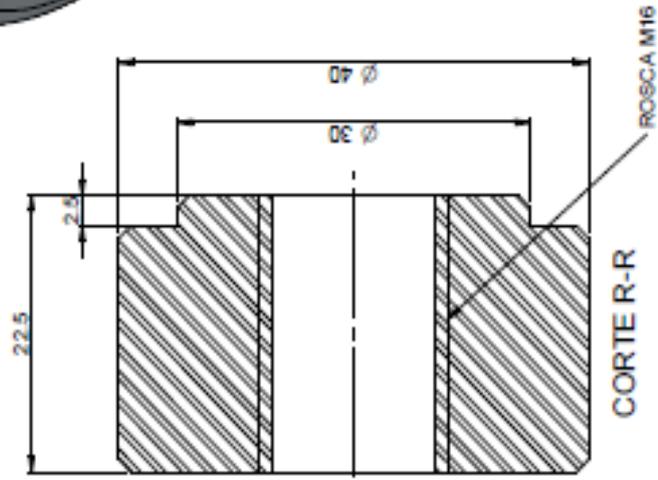
**INSTITUTO TECNOLOGICO
PASCUAL BRAVO**

Dibujó: MAURICIO GARCIA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS
Revisó: DIEGO CARMONA	Desc.: TUERCA DE FUNCION
Fecha: 01-25-2014	Cantidad:
Plano N°: BCP-R-021	Material: ACERO AISI 4140
Medidas: mm	Tratamiento: NINGUNO
Escala: 1:1.5	
Dir. de Proyección	



NOTA: Dependiendo de la referencia del rodamiento se utiliza un juego de esta tuerca

Dibujó: MAURICIO GARCIA	INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO	
Revisó: DIEGO CARMONA	BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS	
Fecha: 01-25-2014	Desc: TUERCA DE FLUJACION	Cantidad:
Plano N°: BQPR-022	Material: ACERO AISI 4140	Trazamiento: NINGUNO
Medidas: mm		
Escala: 1:1.5		



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
PASCUAL BRAVO**

Dibujó: MAURICIO GARCIA

Revisó: DIEGO CARMONA

Fecha: 01-25-2014

Plano N°: BCPR-020

Medidas: mm

Escala: 2:1

Tit. de Proyección



Tratamiento: NINGUNO

BANCO DE PRUEBA PARA RODAMIENTOS

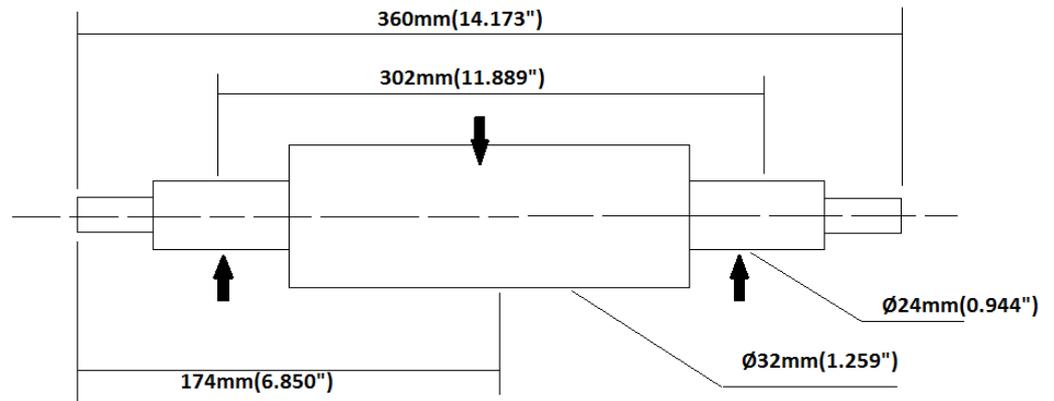
Desc.: TUERCA DE FUNCIÓN

Cantidad: 2

Materia: ACERO A36 4140

Anexo 23

CALCULO DE EJE



Datos De Diseño

RPM = 1700

Hp = 0.5

Long. Total eje = 360 mm (14,173")

Distancia entre Rodamientos = 302 mm (11.889")

Ø mayor = 32 mm (1.259")

Ø Soporte Rodamiento = 24 mm (0.944")

Ø de la polea central = 45 mm (1.77")

Material = AISI 1045

Calculo del torque del eje

P = 0.5 HP

W = 1700 RPM

T = P / W

$$T = \frac{P}{W} = \frac{0.5 \text{ hp} \cdot \text{min} \cdot \frac{1 \text{ RV}}{2\pi} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{6600 \text{ lbf} \cdot \text{pul}}{\text{sen} \cdot 1 \text{ hp}}}{1700 \text{ RPM}}$$

T = 18.53 lbf * pul

Fuerza = T/r T = torque r = radio

R = radio de la polea central = 0.88"

$$F = \frac{T}{r} = \frac{18.53 \text{ lbf} \cdot \text{pul}}{0.88 \text{ pul}} = 21.05 \text{ lbf} = 21.05 \text{ lbf}$$
 Esta es la fuerza que ejerce el eje la polea central al eje (Cerón, Charry & Coronado, 2006)

Flexion del eje

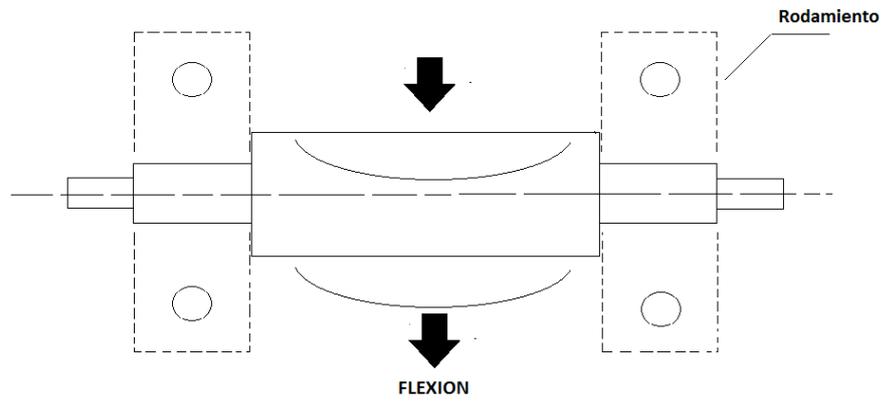


Diagrama de cuerpo libre

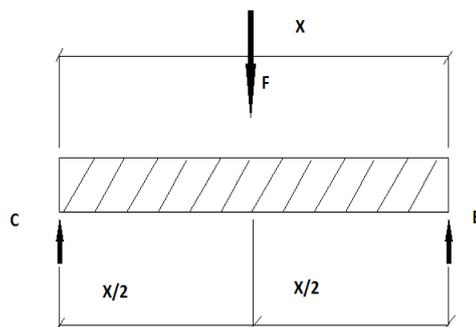
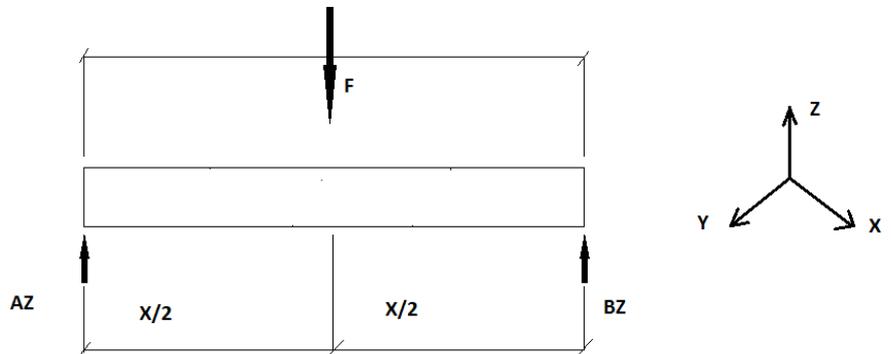


Diagrama de cuerpo libre plano Z



Sumatoria de fuerza de AZ y BZ

X = distancia entre rodamientos

$X = 11.889''$

$$\sum MBZ = 0$$

$$-\frac{1}{2}X*FZ+X*BZ=0$$

$$-\frac{1}{2}(11.889pul)*21.05lbf+11.889pul*BZ = 0$$

$$BZ = \frac{+\frac{1}{2}(11.889pul)*21.05lbf}{11.889pul} =$$

$$BZ = 10.52 \text{ lbf}$$

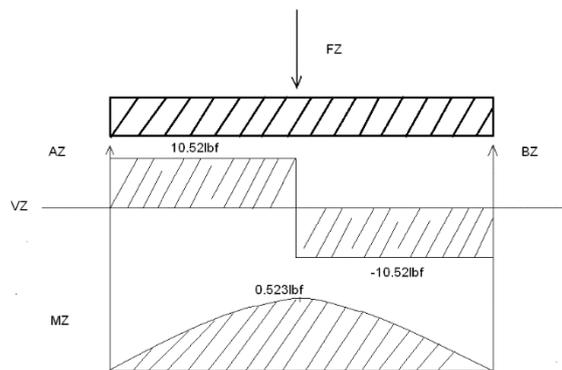
$$\sum MAZ = 0$$

$$AZ-FZ+BZ = 0$$

$$AZ = FZ - BZ$$

$$AZ = 21.05 \text{ lbf} - 10.52 \text{ lbf}$$

Diagrama de fuerzas y momentos de flexion del plano Z



Fatiga por Flexion

$$\sigma_X = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

σ_X = Tension de flexion

M = Momento flector en secci3n critica

D = Diametro en la zona de flexion critica

Momento Flector del eje

$$M = 0.523 \text{ lbf} * \text{pulg}$$

Esfuerzo por flexion

$$\sigma_X = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_X = \frac{32 * 0.523 \text{ lbf} * \text{pulg}}{\pi * (1.259^3 \text{ pulg})}$$

$$\sigma_X = 2.669 \text{ lbf} * \text{pulg}^2$$

$$\sigma_X = 2.669 \text{ psi}$$

Anexo 24

ANÁLISIS DE FATIGA PARA EL EJE

Siendo el caso para analizar el eje del banco de rodamientos y que tiene por objeto identificar si se puede presentar la rotura del eje, se procede a tomar la carga y la torsión repetidas constante y para ello se utiliza la siguiente ecuación: (Cerón, Charry & Coronado, 2006)

$$d = \left\{ \frac{32 N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4} (k_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4} (k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

d = Diámetro del eje (m)

N_f = Factor de seguridad a la fatiga (1 para el banco manipulado por operarios)

K_f = Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga (2,25)

M_a = Momento flector (Nm)

K_{fs} = Factor de concentración de esfuerzo de torsión a la fatiga (2,25)

T_a = Par de torsión (Nm)

S_f = Resistencia a la fatiga (Pa)

K_{fm} = Factor de concentración de esfuerzo medio a la fatiga (2,25)

M_m = Momento flector medio (Nm)

K_{fsm} = Factor de concentración de esfuerzo de torsión medio a la fatiga (2,25)

T_m = Par de torsión medio (Nm)

S_{ut} = Esfuerzo último de tensión (Pa)

Calculo del momento flector:

$$M_a = WL$$

W = peso del rotor (N)

L = Longitud del eje del motor (m)

$$M_a = (7,4 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0,05) = 3,62 \text{ Nm}$$

El par de torsión (T_a) por referencia del motor es de 1,04 Nm

La resistencia a la fatiga se calcula así (el S_u para un acero AISI-SAE 1045 es de 565 Mpa):

$$S_f = 0,436 S_u = 0,436 (565 \text{ Mpa}) = 246,34 \text{ Mpa}$$

El momento flector medio para el eje es:

$$M_m = M_a$$

El par de torsión medio para el eje es:

$$T_m = T_a$$

Reemplazando en la formula inicial da como resultado: $d = 0,018 \text{ m} = 18 \text{ mm}$.

Despues de realizar el calculo del diametro por flexion y realizar el análisis de fatiga para el eje, se determina realizar la construccion del eje de acuerdo al diametro mayor calculado, es decir, el diametro arrojado por el calculo de flexion equivalente a 32 mm.