



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE MÁQUINA PARA
EVALUACIÓN DE DESGASTE EN
COJINETES DE DESLIZAMIENTO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA**

P R E S E N T A :

ING. EFRAIN RAMOS TREJO

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO ORTIZ PRADO

CD. UNIVERSITARIA

2006



ÍNDICE

Prólogo	I
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	
1.1 Generalidades	1
1.2 Contexto de la metodología	3
1.3 Metodología de diseño	3
1.4 Descripción de la metodología propuesta	5
1.5 Etapas de la metodología	11
Capítulo 2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA	
2.1 Concepto de cojinete de deslizamiento y principio de funcionamiento	15
2.2 Fundamentos de lubricación	17
2.3 Ecuación hidrodinámica	19
2.4 Materiales usados para cojinetes	20
2.5 Condiciones generales de los ensayos	21
2.6 Principio de prueba	22
Capítulo 3 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	
3.1 Definición y metodología del análisis de falla	27
3.2 Descripción de la máquina de ensayos	30
3.3 Protocolo de operación	33
3.4 Mantenimiento e inspección	36
3.5 Historia de servicio del elemento	36
3.6 Descripción de elementos dañados	37
Capítulo 4 DISEÑO CONCEPTUAL	
4.1 Criterio de decisión	44
4.2 Pasos para construir la matriz de la decisión	45
4.3 Construcción del modelo a través de la matriz	47
4.3.1 Sistema estructural	51
4.3.2 Sistema de arrastre y transmisión de movimiento	53
4.4 Evaluación de alternativas y selección de configuraciones factibles	55
Capítulo 5 DISEÑO DE DETALLE	
5.1 Descripción general	60
5.1.1 Sistema 1. Sistema estructural	61
5.1.2 Sistema 2. Transmisión y arrastre de carga	62
5.1.3 Sistema 3. Sistema de apoyo y rotación	66
5.1.4 Posicionamiento y fijación de sistemas	66
5.2 Materiales	69

5.3	Dimensiones generales	70
5.4	Cálculo de componentes	71
5.5	Generalidades de instrumentación	73
	Conclusiones y recomendaciones	74
	Referencias	77
Anexo 1	Planos de fabricación	79

Prólogo

Simular un fenómeno de cualquier índole bajo condiciones de laboratorio requiere de la adecuada caracterización de condiciones y parámetros de funcionamiento; el objetivo de la presente tesis tiene una relación con este hecho, puesto que se trata del rediseño de un sistema de pruebas aceleradas de desgaste para cojinetes de deslizamiento.

Durante su vida útil los cojinetes se someten a diferentes condiciones demandadas por el motor, la finalidad del sistema de ensayos es caracterizar el potencial de estos elementos en sus propiedades mecánicas, físicas, estructura metalúrgica y química con el objetivo de garantizar que no fallen durante su operación, además de establecer condiciones de desempeño y predecir su comportamiento.

El banco de pruebas a rediseñarse operó durante un periodo de cinco años. Sin embargo, las condiciones de funcionamiento dañaron en gran medida varios de sus componentes haciéndolo inestable y peligroso para su operación.

En términos generales, este trabajo describe la metodología aplicada para el rediseño de la máquina de desgaste para cojinetes, en esta se establecieron etapas para definir objetivos y metas graduales, esto para obtener resultados de calidad en el menor tiempo posible. Asimismo, en cada etapa se definieron factores críticos de éxito y una lista de tareas que conviene realizar.

En el capítulo uno se presentan generalidades y conceptos básicos sobre la metodología utilizada para el rediseño del sistema de pruebas. Esta última presenta una secuencia de etapas detalladas y organizadas jerárquicamente en diferentes niveles de abstracción del problema de acuerdo con norma.

En el capítulo dos se realiza una descripción del principio de funcionamiento del cojinete, su entorno, y las condiciones en las que trabaja. Asimismo, se establecen las condiciones generales del ensayo y el principio de prueba, conceptualizando los diferentes dispositivos que permiten simular las condiciones críticas del cojinete.

El capítulo tres establece la problemática presentada en la máquina de desgaste desarrollada en la UDIATEM, mediante análisis de falla. Se describe el equipo y las partes que lo constituyen, el protocolo de operación, mantenimiento, inspección e historia de servicio. Se analiza cada componente, identificando los que presentan daño para establecer un diagnóstico y el panorama de las partes que requieren un rediseño.

En el capítulo cuatro se presenta el análisis de las características e inconvenientes de los sistemas fallados aplicando una matriz de evaluación, de ésta identificaron los sistemas a rediseñar. Posteriormente se generaron diferentes alternativas de solución a los

problemas, los que se evaluaron y analizaron para configurar el sistema nuevo, esto sin perder de vista las condiciones de funcionamiento.

En el capítulo cinco se presenta la propuesta del banco de pruebas, describiendo cada sistema a detalle, los materiales que se propone usar, las dimensiones generales y la evaluación del comportamiento simulando el sistema mediante elemento finito

El último rubro muestra una serie de conclusiones y recomendaciones en cuanto a la posibilidad de completar el sistema de pruebas para tener un mejor control en la experimentación. Así como dar continuidad a una línea de investigación en la cual se han obtenido resultados y en donde se ha seguido trabajando en el desarrollo de nuevas aleaciones para cojinetes involucrando su caracterización bajo condiciones de trabajo.

Se presenta también un anexo donde se muestran los planos a detalle de las piezas que constituyen el nuevo banco de pruebas para su implementación.

Finalmente agradezco al personal de la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales, muy en especial a la M. en I. Sara Mercedes Cerrud Sánchez (Q.E.P.D.) a quien le debo en gran medida este trabajo al ser en un inicio mi directora de tesis, además de brindarme sus enseñanzas, consejos, vivencias y fortaleza, gracias. Al Dr. Armando Ortiz Prado coordinador de la Unidad por los valiosos conocimientos aportados durante el desarrollo del trabajo, al Dr. Víctor Hugo Jacobo por su apreciable amistad y consejos en la revisión del trabajo, al Ing. Edgar Isaac Ramírez Díaz y Violeta López Pérez por su amistad y apoyo en la realización de innumerables intentos para desarrollar la parte de elemento finito, al M. en I. Ignacio Cueva Güitrón y al Biólogo Germán Álvarez primeramente por su amistad durante tantos años y por su apoyo para terminar este trabajo, a mis compañeros Ing. Roberto Cisneros, Ing. Jorge Luis Romero, Esteban Ortiz y Juan Armando Ortiz por los entrañables momentos que pasamos en el cubículo.

Efraín Ramos Trejo
Ciudad Universitaria
Coyoacán, México, D.F.
Abril de 2006

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El que una máquina o sistema entregue productos de mala calidad, presente paros y fallos en su funcionamiento o simplemente deje de operar; implica elevados costos y pérdidas de recursos y tiempo. En base a éstos aspectos se plantea el presente trabajo, cuya finalidad es establecer una metodología que permita identificar las partes que tienen mayor impacto en el funcionamiento de una máquina de desgaste para cojinetes automotrices. Dicho equipo ha presentado un funcionamiento inadecuado durante su operación, por lo que se requiere realizar su rediseño de tal manera que se obtengan beneficios en términos de tiempo y costo.

Para lograr este objetivo existen varias metodologías de diseño y rediseño reportadas en la literatura [1], cuyo fin es auxiliar en la generación de nuevos productos, aumentar la certidumbre de obtener resultados exitosos, hacer eficaz el trabajo en equipo y facilitar el control de proyectos. La gran mayoría de estas metodologías están enfocadas a la realización de nuevos productos aunque también se han propuesto algunas para el rediseño, éstas últimas incluyen la caracterización del producto original, para asimilar su

funcionamiento y estructura física, para en base a esto proponer cambios y mejoras del producto.

Para establecer las bases de este trabajo es necesario mencionar que la máquina que se desea rediseñar evalúa el comportamiento de cojinetes de deslizamiento para motores de combustión interna. Éstos elementos durante su vida útil son sometidos a diferentes demandas. Bajo este esquema, las pruebas deben caracterizar el potencial de los cojinetes en sus propiedades mecánicas, físicas, estructura metalúrgica o química. El objetivo del sistema es realizar pruebas que permitan garantizar que el cojinete no falle o tenga problemas durante su período de operación, además de establecer condiciones de desempeño y permitir predecir su comportamiento.

La experimentación consiste en simular un rango de condiciones críticas, de tal manera que se genere fatiga por sobrecarga en el cojinete. Para lograrlo el cojinete se mantiene fijo al sistema mediante una biela, la cara del cojinete se expone al giro de un eje situado en su interior, sobre dicho eje se encuentran dispuestas masas excéntricas que al girar aplican carga variable debido a la fuerza centrífuga que se genera (Figura 1.1).

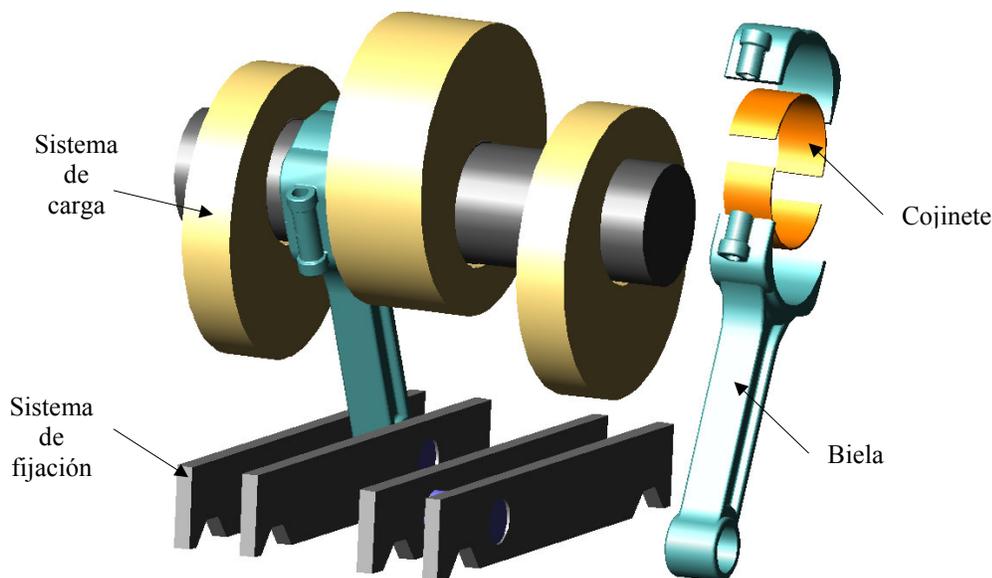


Figura 1.1 Configuración de sistema para fatiga en cojinetes

Si bien el sistema planteado permitió simular condiciones de deterioro en cojinetes y desarrollar conclusiones con relación a los mecanismos microestructurales que dan lugar a la falla de la pieza, su principal inconveniente se generó a partir de los graves problemas de vibración inherentes a su funcionamiento. La propuesta de rediseño debe considerar todos los parámetros de ensayo, además de homogeneizar las condiciones de operación y corregir las partes inoperantes del sistema.

1.2. CONTEXTO DE LA METODOLOGÍA

Para proponer un método de rediseño es necesario definir claramente el objeto de estudio. En este sentido, una máquina es un producto ingenieril, discreto y físico cuyas principales especificaciones son funcionalidad, confiabilidad y en el cual se presenta algún sistema de conversión de energía [2]. En forma genérica, una máquina tiene el fin de transformar o procesar un objeto cambiando la constitución física o química de un material, o bien combinar dos sub-productos para lograr un tercero.

Por otro lado, una máquina es definida y caracterizada por sus propiedades (funcionalidad, capacidad, dimensiones, facilidad de mantenimiento, facilidad de fabricación, de operación, costo, etc). Las propiedades de una máquina se pueden agrupar y clasificar de diversas formas obedeciendo a distintos criterios: funcionalidad, operación, ergonomía, estética, costo, entre otras.

La estructura funcional y las características de diseño, son propiedades que se especifican durante su periodo de concepción o cuando se definen las operaciones que desempeñará y determinan de manera fundamental la calidad del proceso y del producto obtenido. Las características de diseño incluyen la estructura física de la máquina (ensambles y componentes), forma o geometría de la máquina y de cada una de sus partes, dimensiones, tolerancias, calidad de superficies y materiales.

La calidad del proceso que genera una máquina puede determinarse con propiedades cuantificables, entre las más usadas en la industria se encuentran indicadores de confiabilidad, eficiencia y productividad. En forma análoga, la calidad de un producto o sistema se especifica comúnmente revisando que los valores de determinadas propiedades se apeguen a los establecidos en una especificación. Estas propiedades pueden ser dimensiones, peso, apariencia, confiabilidad, etc. Asimismo, la calidad del producto está determinada también por la calidad del proceso para su generación y por el material a transformar.

Así pues, el diseño o rediseño de una máquina concluye cuando se han definido su estructura funcional y características de diseño; sin embargo, el contexto para llevar a cabo dichas tareas abarca más conceptos, como se plantea en las diferentes metodologías reportadas.

1.3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Modificar un equipo salvo casos excepcionales es la solución más práctica, sin embargo, en un alto porcentaje de los casos los cambios se realizan “a prueba y error” debido a la prontitud de resultados. Lo anterior origina que dichas modificaciones sean poco efectivas, representen costos inútiles y en ocasiones se alteren otras funciones del

equipo; sustituir un equipo es una solución extrema que en la mayoría de los casos es inviable lo que implica rediseñar el sistema.

Se define como rediseño al proceso de interpretación, identificación de problemas y el empleo de la información para mejorar en el funcionamiento de un sistema [1]. Para la planificación de dicho proceso se habrá de especificar el modo en el que las actividades se ajustan en una metodología de desarrollo. Este plan al que se hace referencia debe de seleccionar un conjunto de pasos o etapas que de una u otra manera pueden ser agrupados en cuatro secciones fundamentales y claramente definidas:

- (a) **Análisis:** Es siempre el inicio del trabajo, un análisis apropiado debe entender e identificar el contexto del sistema a modificar, especificar los requerimientos operacionales y de usuario, evaluar el diseño de acuerdo con los criterios de usuario e identificar la problemática presente. Asimismo debe dejar documentación apropiada para que cualquier metodología sea capaz de retomar el concepto.
- (b) **Diseño:** Concluido el análisis, es necesario decidir qué y cómo se va a dar solución al problema planteado, esta fase del diseño debe generar diferentes alternativas para el desarrollo del sistema centradas en distintos puntos de vista, los resultados deben permitir integrar el diseño conceptual.
- (c) **Construcción:** Una vez completados (al menos parcialmente) los pasos anteriores, se puede empezar a traducir los aspectos diseñados en una solución real (generación de prototipos).
- (d) **Pruebas:** La última etapa del proceso antes de entregar la solución al usuario es evaluar el sistema para su uso en el medio.

En literatura [1,3] se ofrecen múltiples posibilidades y una amplia variedad de esquemas que representan procesos de diseño (Figura 1.2), sin embargo se insiste en que es necesario pensar en términos del propio proceso y producto será competencia del diseñador el modo en el que se planifique y ejecute tal proceso. Para este efecto los factores condicionantes se especifican en la presente propuesta.

Cada una de las etapas es muy elaborada, por lo que han surgido varias metodologías [1,3,4] que permiten realizarlas de una manera estructurada. El esquema en Cascada (Figura 1.3), es característico de los sistemas de rediseño, este método plantea etapas o pasos a seguir para la elaboración de un sistema y su implementación. A partir de este esquema se propone la metodología IDEF0 [5,6] para desarrollar el rediseño.

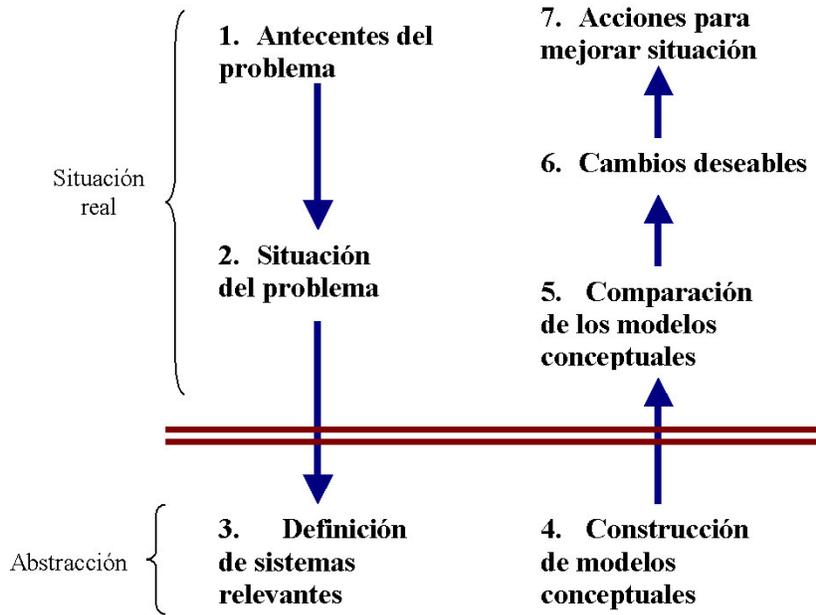


Figura 1.2. Estrategia para el desarrollo del diseño

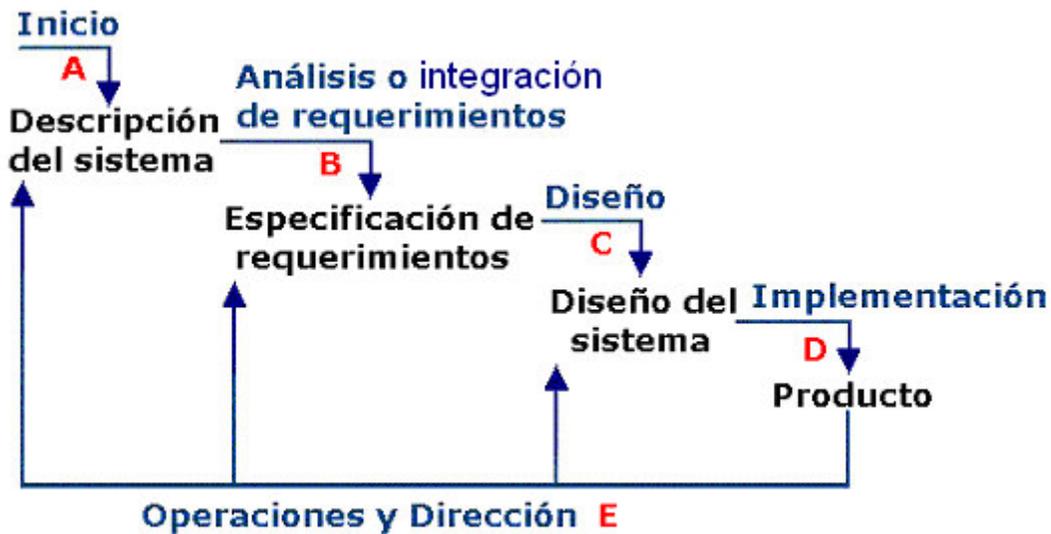


Figura 1.3. Esquema de diseño en cascada

1.4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La finalidad de la metodología es organizar los procedimientos para obtener resultados de calidad en el menor tiempo posible. El método IDEF0 (*Integration Definition for Function Modeling*) plantea una secuencia de etapas que es aproximadamente equivalente a las mostradas en los esquemas de las figuras 1.2 y 1.3 pero más detallada, utiliza la combinación de gráficas y texto presentados en forma jerárquica, organizada y

sistemática. Además proporciona para cada etapa su descripción, definición de objetivos y metas, productos de la etapa, factores críticos de éxito, y una lista de tareas que conviene realizar. Asimismo es posible auxiliarse de herramientas y técnicas que facilitan la puesta en práctica del método.

NORMAS DE REPRESENTACIÓN

Este modelo consiste en una serie de diagramas jerárquicos representados mediante cajas, flechas, textos y referencias cruzadas. El diagrama gráfico es el principal componente de un modelo IDEF0, las funciones se representan a través de diagramas (cajas) que pueden ser divididos o descompuestos en diagramas secuenciales más detallados hasta que se logre describir el tema al nivel necesario para lograr los objetivos establecidos por el proyecto. La comunicación se logra dando al tema definido, una cantidad de información detallada para profundizar en el modelo. (Figura 1.4.)



Figura 1. 4. Unidad básica del sistema IDEF0

Las partes que se identifican en el diagrama son:

Actividades o funciones: Unidades básicas representadas como cajas o rectángulos, se definen como el componente de un sistema que desarrolla una acción. El nombre de la caja siempre debe ser un verbo o una frase verbal que sea descriptiva de la función que la caja representa. La forma de la caja siempre debe ser rectangular con las esquinas rectas y del suficiente tamaño para albergar el nombre de la función.

Entrada: Las flechas que se encuentran a la izquierda de la caja son las entradas (*inputs*), éstas son transformadas o consumidas por la función para producir las salidas, es

algo que es transformado por una actividad. Pueden ser necesidades, requisitos, estados, documentos, etc.

Salida: Las flechas ubicadas a la derecha de la caja son salidas (*outputs*), los *outputs* son datos u objetos producidos por la función, es el resultado de una actividad.

Control: Las flechas de control se suelen asociar con al parte superior de una caja IDEF0, expresa control de IDEF0, es decir, aquellas condiciones requeridas para detonar la actividad y producir un salida correcta de la función. Estas pueden ser políticas, manuales de calidad, presupuestos y procedimientos.

Mecanismo: Es aquello que se necesita para desarrollar una función, se sitúan en la parte baja de la caja IDEF0. Los mecanismos muestran las interrelaciones con otros procesos y los recursos externos necesarios para el desarrollo de la actividad. Estos comprenderán sistemas de información, asesores externos, otros procesos, máquinas o recursos que desarrolla la actividad.

Llamada: Las flechas de mecanismo que salen de la caja hacia abajo son flechas de llamada. Las flechas de llamada posibilitan compartir detalles entre modelos o entre partes del mismo modelo, la caja que es llamada ofrece detalles para el desarrollo de la actividad de la caja “solicitante”.

Diagrama A-0

Como concepto de modelado el método IDEF0 va introduciendo gradualmente más niveles de detalle a través de la estructura gráfica. Todo modelo debe tener un diagrama de alto nivel de contexto (*top-level*), en el se representa el tema a desarrollar con una caja única con sus correspondientes flechas que se interconectan con funciones fuera del área del tema. (Figura 1.5)

A este diagrama se le denomina diagrama A-0, proporciona una descripción general o abstracta del tema representado en el modelo, también establece el objetivo del modelo así como su orientación, presentará breves reseñas especificando el *punto de vista y el propósito* del modelo, a este diagrama le siguen una serie de diagramas hijos (filiales) que van a proporcionar más detalle sobre el mismo.

Diagramas filiales

La función representada en el diagrama *top-level* puede descomponerse en distintos diagramas de contexto hijos (filiales) de menor nivel. Asimismo, estas sub-funciones pueden ser descompuestas en nuevos diagramas hijos en niveles inferiores. En un diagrama pueden descomponerse todas las funciones, algunas, o ninguna de ellas. Cada diagrama hijo

contiene cajas hijas y flechas que proporcionan un detalle adicional sobre la caja padre (parental). (Figura 5)

La expresión de referencia de detalle (ERD) indica que una caja padre tiene una caja filial de detalle. La ERD es un código corto escrito debajo de la esquina inferior derecha de la caja del diagrama que está siendo detallado (el padre), normalmente tiene un número cronológico creado llamado Número-C que identifica una versión concreta del diagrama hijo.

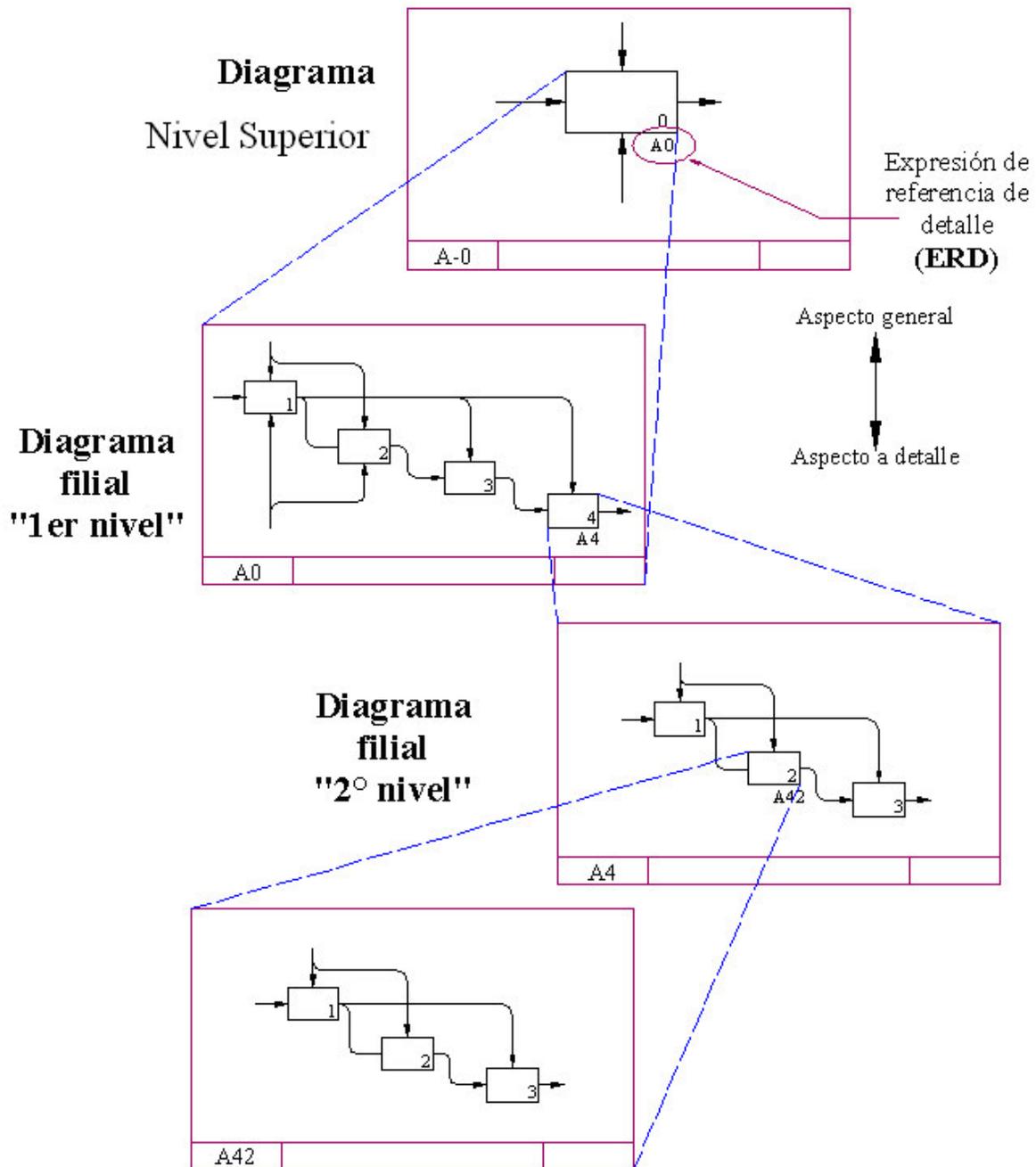


Figura 1.5. Diagrama de descomposición IDEF0

Reglas de sintaxis de los diagramas

Cada uno de los diagramas resultantes debe de cumplir con las siguientes reglas:

1. Los diagramas contexto deben tener números de nodo A-n, donde n es igual o mayor a cero.
2. El modelo debe contener un diagrama de contexto A-0 que contenga solo una caja.
3. El número de caja del diagrama de contexto A-0 (*Top nivel*) debe ser 0.
4. Un diagrama que no sea el de contexto debe tener entre tres y seis cajas.
5. Cada caja de un diagrama que no sea de contexto debe numerarse en su esquina inferior derecha desde 1 hasta n.
6. Cada caja que ha sido detallada debe tener la expresión de la referencia detallada de su diagrama hijo escrito bajo la esquina inferior derecha de la caja.
7. Las flechas deben dibujarse con trazos horizontales y verticales, nunca diagonales.
8. Cada caja debe tener un mínimo de una flecha de control y una flecha de salida.
9. Una caja puede tener ninguna o varias flechas de entrada.
10. Una caja puede tener ninguna o varias flechas de mecanismo.
11. Una caja puede tener 0 ó 1 flechas de llamada.
12. El extremo no conectado de las flechas de límite deben tener un código ICOM (Acrónimo para *Input, Control, Output, Mechanism*) propio que especifique su conexión a la caja padre (parental) en caso de que no este direccionada.
13. Las flechas de límite con final abierto que representan el mismo dato u objeto deben conectarse mediante flechas ramificadas a todas las zonas afectadas.
14. Los nombres de flechas y cajas no deben consistir únicamente en palabras tales como: función, actividad, proceso, *input, output*, control o mecanismo.

Reglas de numeración de los nodos

- El diagrama de contexto de alto nivel (*top-level*) siempre se numera A-0
- Otros diagramas de contexto de niveles superiores no requeridos se numeran como A-n siendo n mayor a cero.
- Los diagramas hijos (filiales) de primer orden se numeran como A1, A2,...

- Los diagramas hijos de un nivel inferior serán numerados como A11, A12,..., A61, A66... y así sucesivamente.

Operaciones en cadena y retroalimentación

Algunas funciones en un modelo pueden ser desarrolladas en cadena si las condiciones necesarias se han satisfecho. La salida de una caja puede proveer algunos o todos los datos y objetos necesarios para la activación de una o varias cajas. Cuando la salida de una caja proporciona algunas o todas las entradas (*inputs*), controles o mecanismos necesarios para otra caja, la activación de la última caja dependerá del desarrollo secuencial. Sin embargo, distintas activaciones de la misma caja con distintos requisitos pueden operar en cadena. (Figura 1.6)

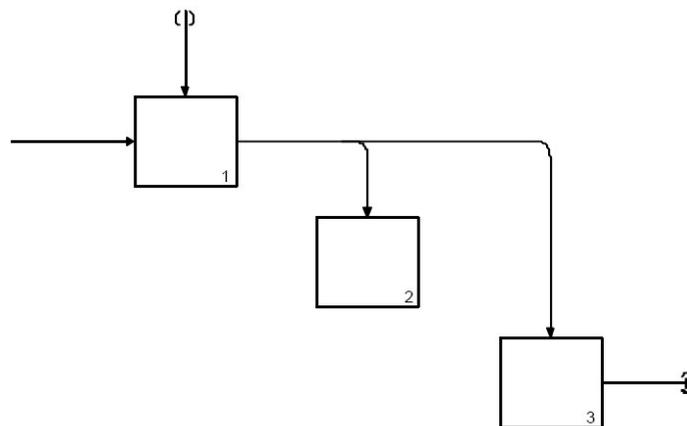


Figura 1.6. Operación en cadena

En los modelos de IDEF0 se puede representar la retroalimentación (Figura 1.7) de controles, entradas o mecanismos. Esto se produce cuando alguno de estos elementos vuelven a entrar en el proceso realimentándolo. Las formas de expresarlo son las siguientes:

- Los controles de retroalimentación de control se muestran con una flecha que sale hacia arriba y entra por la parte superior.
- La retroalimentación de entradas se muestran con una flecha que sale hacia abajo y entra por la derecha.
- Los mecanismos de *feedback* deben mostrarse con una flecha que sale hacia abajo y entra en la caja por abajo.

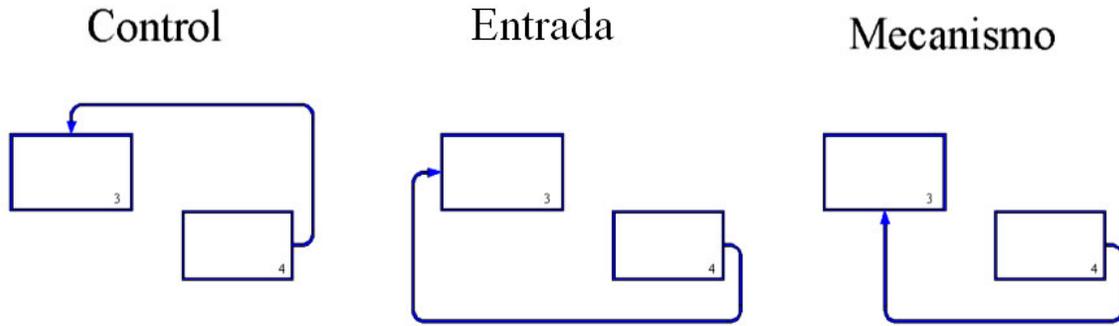


Figura 1.7. Operación de retroalimentación

Una vez que se ha logrado la solidez deseada en el modelo, los esquemas giran en torno a la evaluación y las técnicas auxiliares para cubrir cada uno de los diagramas.

1.5. ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

A partir de los aspectos discutidos anteriormente se ha definido seguir una metodología basada de las graficas IDEF0, en el cual la sintaxis y diagramas permitirán establecer la secuencia de pasos. Para el caso de estudio el sistema se agrupa como un todo para concebir la idea general (Figura 1.8), sin embargo, sistemas aparentemente independientes necesitan ensamblarse adecuadamente si se desea obtener soluciones satisfactorias a los problemas complejos.

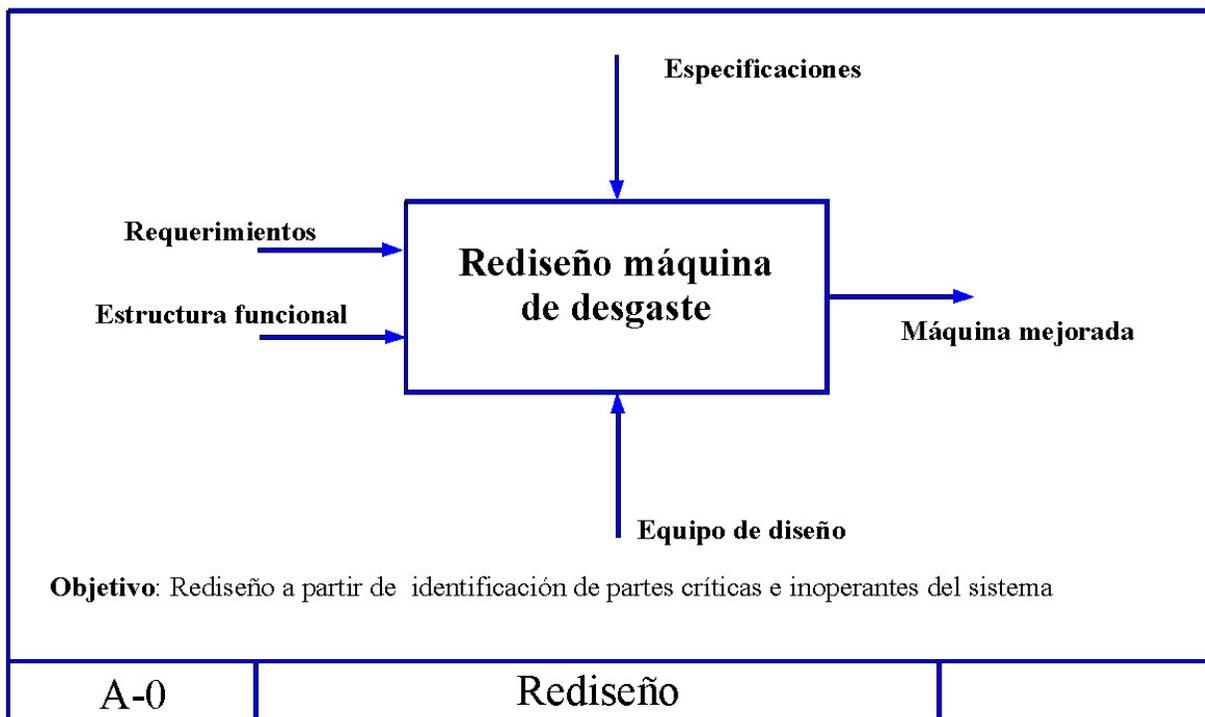


Figura 1.8. Diagrama de contexto general A-0

A continuación se describen de manera breve las diferentes etapas involucradas para el desarrollo de la metodología (Figura 1.9), posteriormente éstas serán tratadas de manera más amplia en cada uno de los subsecuentes capítulos.

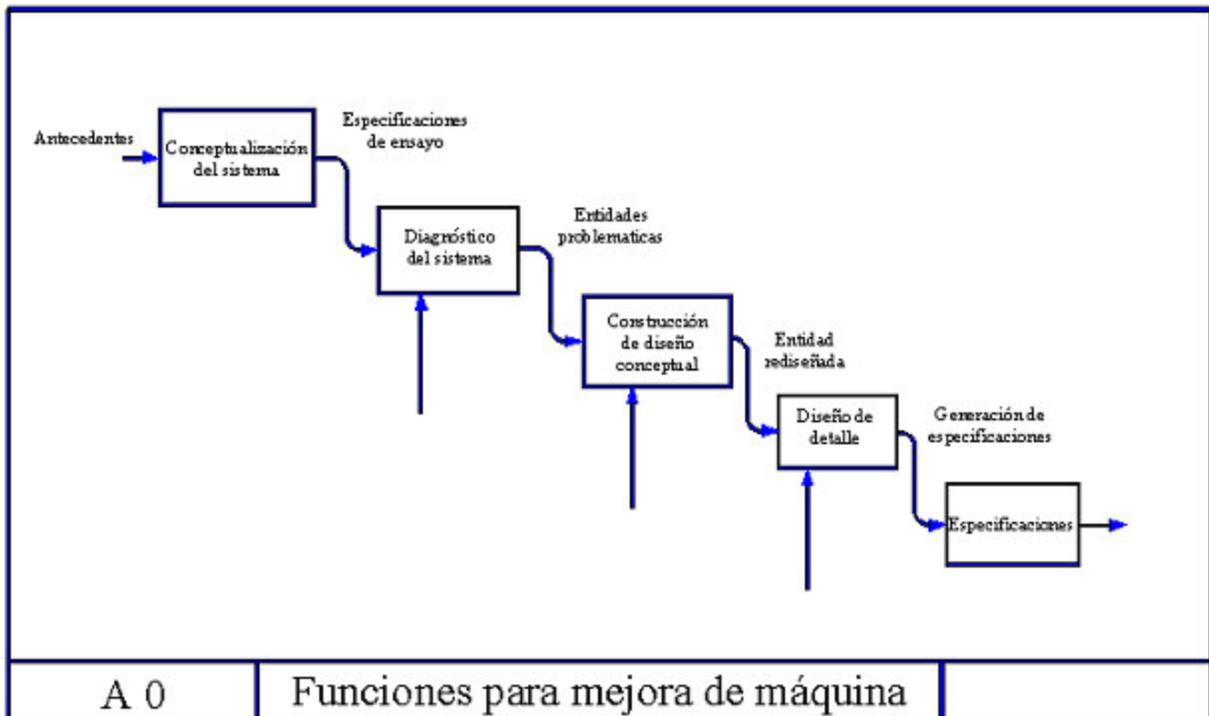


Figura 1.9. Diagrama de contexto descomposición

CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

La primera tarea es definir en términos precisos el sistema que se va a estudiar. Esto es, un proceso de análisis mediante la recopilación de los datos e información que formarán la base para el modelado del sistema. Es necesario entender con claridad el papel que el sistema tiene en el medio del cual es parte.

Esta etapa es trascendental, el objetivo es lograr un entendimiento claro de las necesidades del equipo y establecer los requerimientos del sistema o sistemas a rediseñar.

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

La actividad que se plantea en esta etapa es el análisis de lo que está sucediendo y por qué está sucediendo. Para este caso se deberá hacer la descomposición funcional del equipo ya que el funcionamiento incorrecto de los diferentes sistemas no necesariamente implica la sustitución total de estos por razones operativas y/o económicas.

Es necesario precisar que el sistema ha estado operando durante un lapso de tiempo previo a su falla, por lo que se debe realizar un análisis retrospectivo de su desempeño, para indagar las causas de su mal funcionamiento. Los resultados de esta etapa permitirán establecer las entidades problemáticas, la elaboración de esto último se hará de acuerdo a las necesidades actuales y futuras del sistema.

CONSTRUCCIÓN DE MODELO CONCEPTUAL

La etapa de diseño conceptual toma y verifica los descubrimientos de la etapa diagnóstico con el fin de obtener un refinamiento a partir de esta información. Para esto se desarrollan un conjunto de alternativas tendientes a generar tantas soluciones como sea posible para resolver los diferentes requerimientos, sin tomar en cuenta restricciones operativas, financieras o técnicas.

En esta etapa es necesario llevar a cabo una evaluación a nivel operativo y técnico con la participación de los responsables del equipo a modificar, la finalidad es expandir los conceptos desarrollados en suficiente detalle para asegurar la precisión de los modelos posibilitando un fundamento sólido para llevar a cabo el rediseño.

Por último, se debe llevar a cabo una evaluación de los diferentes conceptos generados, para lograr esto la capacidad de evaluación de las diferentes alternativas de diseño se vuelve crítica, por esto es necesario establecer una metodología para la búsqueda del modelo idóneo mediante relaciones lógicas, de tal manera que cualquier tipo de consulta o modificación sea posible.

DISEÑO DE DETALLE

En esta etapa se toman los conceptos desarrollados en la fase anterior transformándolos en una base de datos y especificaciones de diseño. Los resultados de esta etapa lo constituyen la arquitectura del sistema, el diseño de la base de datos, materiales, planos de fabricación, de detalle, de ensamble, memorias de cálculo, especificación de programas (si es necesario), especificación de manuales de procedimientos, etc.

A partir del diseño final generado en esta etapa, se puede proceder a la construcción del equipo con la consiguiente planeación e implementación. En esta metodología la transición que se lleva en cada una de las etapas conforma la implementación de todas las tareas necesarias para lograr cubrir el objetivo en particular y proporciona una secuencia lógica de eventos y una interrupción mínima de la organización, debe dejar a los usuarios confiados y listos para generar el nuevo sistema. El resultado final es un reporte que muestre que cada una de éstas fue satisfactoria.

Capítulo 2

CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

La primera tarea es definir en términos precisos el sistema que se va a estudiar. Esto es, un proceso de análisis mediante la recopilación de datos e información que formará la base para la modelación del sistema, así como entender con claridad la función que desempeña en el medio del cual es parte.

La conceptualización del sistema es el proceso en el cual se determinan los conceptos básicos del cojinete, el principio de funcionamiento de este elemento, así como el funcionamiento que tiene el sistema de ensayos. Para llevar a cabo esta etapa se descompone la tarea de acuerdo al diagrama IDEF0 presentado en la figura 2.1.

La función *conceptualización del sistema*, A1 en el diagrama, estudia qué necesidades cubre la máquina de desgaste, para esto es necesario familiarizarse con conceptos básicos del funcionamiento de un cojinete, su principio de operación, materiales y condiciones de operación. Finalmente establece los principios de evaluación en función de los parámetros obtenidos de la secuencia de pasos descritos.

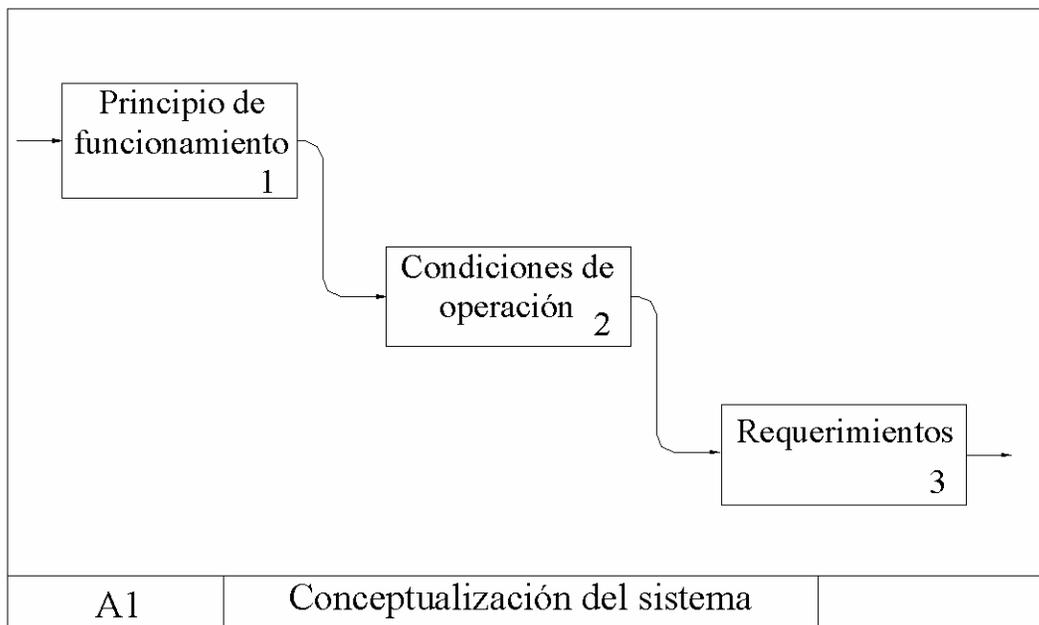


Figura 2.1. Diagrama IDEF0 para la conceptualización del sistema

2.1 CONCEPTO DE COJINETE DE DESLIZAMIENTO Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El fenómeno de desgaste es inherente a todo tipo de componentes que se encuentren en contacto y que presenten movimiento relativo. Un elemento que sufre desgaste está sujeto a fallar e implica su reposición, además existe una pérdida de precisión y en consecuencia una disminución en la eficiencia del mismo [7,13].

La forma más básica para reducir la fricción y el desgaste entre superficies que deslizan consiste en aplicar una película lubricante (comúnmente aceite). La búsqueda de soluciones ha generado algunos dispositivos que reducen en gran medida dicha situación pero es casi imposible eliminarla por completo. Dentro de los sistemas cuyo objetivo consiste en reducir tanto la fricción como el desgaste se encuentran los cojinetes de deslizamiento.

Un cojinete de deslizamiento es un elemento mecánico cuya función es permitir el movimiento relativo de dos elementos que deslizan, éste puede ser una película sólida adherida a la superficie fija del sistema la cual proporciona una barrera al contacto directo entre el elemento deslizante y el sistema [8]. El material de la película debe proporcionar un bajo coeficiente de fricción y un desgaste controlado, asimismo es fundamental que el cojinete cumpla con los requerimientos de soporte de carga, resistencia a la fatiga, ciclos de giro o deslizamiento demandado, estabilidad térmica, capacidad para disipar el calor ocasionado por el rozamiento, etc.

La geometría básica de un cojinete de deslizamiento lo constituye un cilindro que contiene al elemento rodante, este cilindro puede ser de una sola pieza o estar constituido por secciones, el árbol o muñón se aloja en el interior del cilindro de manera ajustada, en tanto los centros de éste y el cojinete se encuentran desfasados por una distancia llamada excentricidad (Figura 2.2).

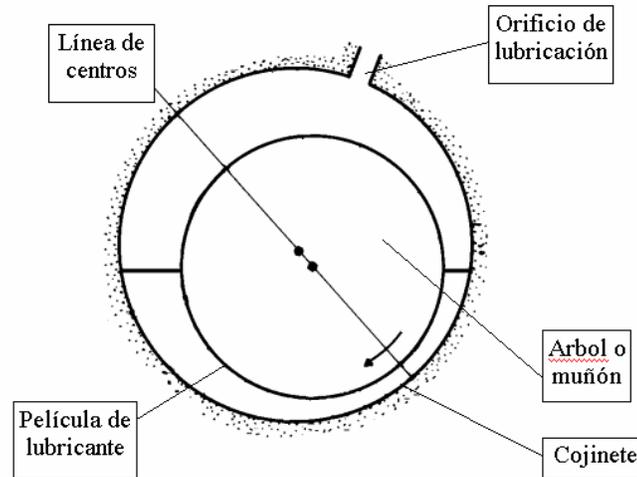


Figura 2.2 Geometría básica de un cojinete

El espacio o claro que existe entre las superficies de contacto se encuentra separada por una película de lubricante de manera que se evite el contacto entre metal y metal. La excentricidad de los dos componentes permite establecer una cuña geométrica, la cual en conjunción con el movimiento relativo del cojinete y el árbol, permite una presión que será desarrollada por efectos viscosos dentro de la delgada película de lubricante produciendo la capacidad de soportar cargas.

En un principio el muñón y el cojinete se encuentran en contacto, únicamente la película de lubricante evita que exista unión mecánica entre estos dos elementos. Al iniciar el desplazamiento del muñón sobre el cojinete su centro se desplaza formando una cubierta de aceite en la región de carga. La película es arrastrada hacia el interior de la misma por el movimiento del árbol en la sección A. Igualmente una pequeña cantidad de lubricante pasa a través de la delgada película sección B. Como el aceite es incompresible se crea una presión hidrodinámica dentro del flujo (Figura 2.3).

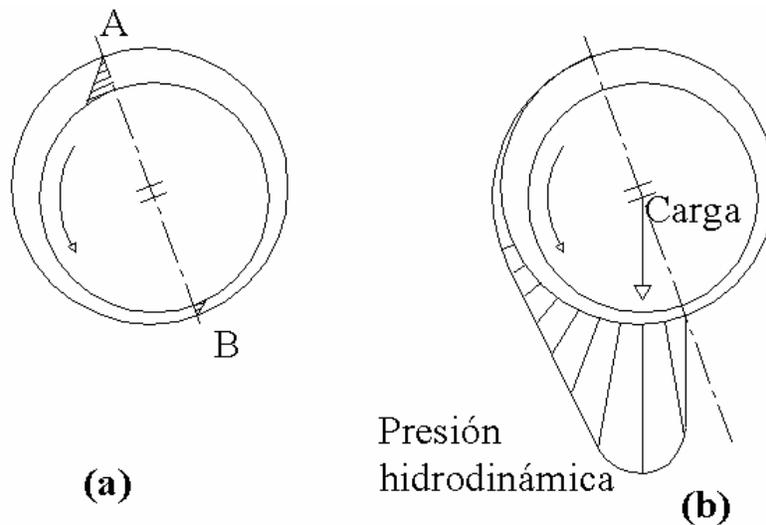


Figura 2.3 Posición de equilibrio de un cojinete

El centro del cojinete encontrará una posición de equilibrio, tal que esta presión soporte la carga. La capacidad de carga para una película delgada se ve favorecida con el flujo de arrastre, cuando se incrementa la velocidad del árbol o bien, si aumenta el diámetro del cojinete y ancho del mismo. Si el espesor de la película es mínimo y el ancho del cojinete es excesivo, cuando se incrementa el claro entre los elementos rodantes se puede ocasionar un decremento en la capacidad de carga, mientras que un incremento en el claro para un cojinete de menor ancho de cara con una delgada película de lubricante causa el efecto contrario. Otro factor considerable se da si la carga es demasiado grande o el árbol tiene una baja velocidad, la cuña geométrica no se formará y ocurrirá contacto entre el árbol y el cojinete.

2.2 FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN

Por todo lo anterior es importante recalcar que la lubricación tiene un papel esencial en el desempeño del cojinete y estos pueden operar en alguno de los siguientes tres regímenes de lubricación; capa espesa de lubricante, película delgada de lubricante o con lubricación en la frontera Tabla 2.1. Generalmente es preferible la operación en el régimen de película delgada.

Tabla 2.1 Regímenes de lubricación y sus características principales [8]

Régimen de lubricación	Contacto de la superficie del cojinete	Rangos de espesor de la película μm	Coefficientes de fricción	Grado de desgaste	Operación.
Película Gruesa	Únicamente durante el inicio o paro	25.4 – 254	0.01-0.005	Ninguno	Régimen de carga baja, alta velocidad
Película Delgada	Intermitente dependiendo de la rugosidad de la superficie	25.4 - 1.27	0.005-0.05	Moderado	Altas temperaturas de operación
En la frontera	Superficie a superficie	1.27	0.05-0.15	Grande	Alta carga 20.68 MPa (>3000 psi), baja velocidad (<60 r.p.m.) Alta generación de calor y fricción

La alimentación del fluido es otro factor importante para el correcto funcionamiento del cojinete, se encuentran cuatro tipos básicos para este fin:

- (i) Hidrodinámica: Es aquella en que las superficies del cojinete que soporta la carga están separadas por una película de lubricante relativamente gruesa de manera que se evite el contacto entre metal y metal. Depende completamente del movimiento relativo del árbol y el cojinete para arrastrar al fluido y producir la presión en la película para soportar la carga.
- (ii) Hidrostática: También llamada para cojinetes de presurización externa, en esta se mantienen la carga por el suministro de fluido a partir de una fuente de alta presión y no requiere de ningún movimiento relativo entre el árbol y la superficie de presión.
- (iii) Híbrida: Esta diseñada para usar ambos regímenes de lubricación (hidrodinámica e hidrostática) y conseguir el principio del sustento de la carga entre superficies de rotación.
- (iv) Con material sólido: Normalmente se utiliza cuando los cojinetes trabajan a temperaturas extremas, se utiliza grafito o bisulfuro de molibdeno, debido a que los aceites ordinarios se oxidan.

2.3 ECUACIÓN HIDRODINÁMICA

Las características de operación en cojinetes puede ser derivada de a partir de la ecuación de *Reynolds* que describe la presión en la película lubricante. Esta ecuación considera una porción de la película de fluido, en donde en general se consideran tres componentes de velocidad u , v y w [4,14,16]. Con el objeto de simplificar la solución se toman ciertas consideraciones tales como:

- Se considera que el flujo es laminar.
- Las fuerzas de inercia y de cuerpo son de menor magnitud comparadas con las fuerzas viscosas y de presión.
- La curvatura en la sección de estudio se puede despreciar para considerar que ambas superficies son paralelas.
- La variación de la presión perpendicular al flujo $\delta P/\delta y$ es despreciable.
- La velocidad v es despreciable respecto a las otras velocidades.

Aplicando estas suposiciones la ecuación de *Reynolds* para la película lubricante en un cojinete queda:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_b + U_j) \frac{\partial h}{\partial x} + 6h \frac{\partial(U_b + U_j)}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.1)$$

El primer término a la derecha de la ecuación 2.1 se refiere a la presión que se genera en la cuña, el cual debe ser negativo para que la presión sea positiva; el segundo y tercer término desaparecen para el caso hidrostático. La ecuación simplificada queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6v \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.2)$$

Donde v es la velocidad relativa de las superficies deslizantes. El gradiente de presión $\delta p/\delta z$ en dirección longitudinal (perpendicular al movimiento), y tiende a cero para un cojinete extremadamente largo.

Mediante éste análisis y las consideraciones de lubricación se establecen las características de operación del cojinete, sin embargo es necesario mencionar que existen otras variables a considerar para su funcionamiento.

2.4 MATERIALES PARA COJINETES

Con base en lo anterior y considerando que las condiciones de operación de los cojinetes de deslizamiento son ampliamente variadas en función de sus características de servicio, esto da como consecuencia que diversos materiales sean empleados en su fabricación.

En particular en los motores de combustión interna se emplean materiales bimetálicos y trimetálicos [8,9,10] tales como las aleaciones CuPb sinterizadas con recubrimiento de babbit, las AlSn, y las AlSnSiCu. Si bien los cojinetes en motores de combustión trabajan bajo un régimen de lubricación hidrodinámica, al inicio y al final de la operación están en contacto con el eje, razón por la cual estas piezas sufren deterioro por adherencia, abrasión, erosión, cavitación y fatiga [7,15]. Es por tanto que un cojinete debe garantizar las siguientes características:

- a) *Resistencia a la compresión*: La finalidad es soportar la carga radial que se genera.
- b) *Resistencia a la fatiga*: tolerar los cambios cíclicos de la carga como sucede en las máquinas reciprocantes.
- c) *Compatibilidad*: es la capacidad del material para no soldarse con otro cuando trabajan en condiciones de contacto mutuo. Esto se presenta cuando el sistema está en reposo experimentando contacto metal-metal, la rugosidad de las superficies origina una soldadura localizada debida a la presión desarrollada en estos puntos, o bien cuando la película de lubricante es mínima.
- d) *Incrustabilidad*: Considerando que el lubricante puede arrastrar partículas es conveniente disponer de buenas propiedades de incrustabilidad en la superficie del cojinete y evitar daño en el muñón
- e) *Conformabilidad*: es la capacidad de tolerar algún desalineamiento del muñón.
- f) *Resistencia a la corrosión*: este efecto se presenta cuando la temperatura de operación del sistema es muy alta y existe el riesgo de degradación del aceite. Los productos de la oxidación tienden a corroer componentes como zinc, plomo cadmio y aleaciones de cobre.
- g) *Alta conductividad térmica*: de tal manera que el calor generado debido a la fricción pueda ser disipado adecuadamente.

- h) *Coefficiente de expansión térmica*: se debe considerar una razonable expansión diferencial entre eje y cojinete.
- i) *Alto punto de fusión*: el material del cojinete debe poseer un punto de fusión por arriba de la temperatura normal de funcionamiento de la película del aceite del cojinete en cualquier condición operativa (entre 125 y 150 ° C).
- j) *Resistencia al desgaste bajo condiciones de frontera*: Durante las operaciones de arranque y paro se tiene las condiciones de más demanda lo que origina problemas por adherencia y abrasión.

Todo lo anterior da como resultado la necesidad de disponer de propiedades de fase blanda y de fase dura a la vez, lo cual se traduce en las muy peculiares aleaciones empleadas para estos fines.

2.5 CONDICIONES GENERALES DE LOS ENSAYOS

En general, cualquier metodología empleada en la simulación del deterioro del cojinete debe garantizar la falla de éste elemento produciendo condiciones de alta demanda o críticas para el sistema. Cualquier método consta de tres elementos básicos; simulación, aceleración y análisis del deterioro de las muestras ensayadas.

Una simulación adecuada asegura que el ensayo reproduzca, en forma acelerada, las condiciones de operación reales; el punto de inicio en la simulación es la recopilación de datos útiles sobre el sistema que desarrolla la función y extrapolarlo al sistema de prueba. Ésta es parte fundamental en el ensayo para garantizar que la prueba arrojará resultados adecuados y apegados a la realidad.

La relación entre el sistema real y el de prueba debe asociar todas las variantes y características para obtener un grado de similitud alto. Deben tomarse en cuenta los materiales asociados, el lubricante y el sistema de lubricación, así como también que las condiciones de operación de la prueba sean las mismas que requiere el sistema que se desea simular, entendiéndose esto como el medio ambiente.

Aceleración

Otro factor importante es el tiempo de ensayo, el cual influye significativamente en el éxito de la simulación, para garantizar un grado de confiabilidad adecuado, es importante analizar los factores críticos a fin de reducir tiempos, garantizando similitud en el deterioro.

La realización exitosa de un ensayo dependerá en gran medida del tiempo que tome éste, en muchas ocasiones una prueba puede llegar a durar más de 100 horas, lo cual retarda

y eleva su costo. Con la finalidad de tener un ensayo que se realice en un tiempo menor se implementan procedimientos en los cuales es posible obtener resultados en tiempos generalmente cortos, estas pruebas son más económicas y rápidas.

Bajo esta premisa se tiene que un ensayo para cojinetes deberá promover la generación de condiciones críticas en el servicio de dichos elementos. A la vez evitar que los efectos de la prueba generen condiciones de operación que pudieran causar la falla prematura de otros elementos mecánicos diferentes de los cojinetes.

2.6 PRINCIPIOS DE PRUEBA

Para garantizar que el cojinete va a presentar un comportamiento satisfactorio en el servicio, es necesario someterlo previamente a condiciones lo más aproximadas a la realidad, para esto y con la finalidad de evaluar su respuesta a la fatiga se han desarrollado ensayos en los que por efecto de una carga desbalanceada o mediante la presión ejercida por un pistón se generan las condiciones a las que estará sometido el cojinete [10,17].

Tipos de principios generales de prueba:

- a) Generación de cargas por efectos de masas desbalanceadas sobre el eje (*Underwood*).
- b) Aplicación de presión sobre el cojinete mediante un pistón hidráulico (*Sapphire*).

Las condiciones que buscan estos dos tipos de ensayo son primordialmente evaluar el contacto metal-metal entre el cigüeñal y cojinete, las condiciones causas principales para que se presente dicha situación son:

- (a) Al inicio del movimiento existe un momento, al arranque del sistema, en el que muñón y cojinete están en contacto íntimo; una película delgada es lo único que los separa, la formación de la cuña de aceite sucede después de que los dos elementos tienen su movimiento relativo. Ese periodo de tiempo es crítico para el cojinete.
- (b) Por la elevada rugosidad de las piezas: Si existe rugosidad se generan zonas donde el esfuerzo normal aplicado al área de contacto resulta muy alto, al ocurrir esto la unión se presenta por deformación plástica o elástica en los puntos en contacto. Esta unión dependerá del tiempo de contacto estacionario que exista entre las superficies. De manera que la fuerza necesaria para destruir dichas uniones formadas por interacción plástica depende principalmente de las propiedades mecánicas del material. El material más blando sufrirá una indentación por la carga del otro. Este efecto puede provocar que el material sea removido y ocasione la presencia de partículas en el fluido, que a su vez pueden causar erosión.

- (c) Por la aplicación de una carga elevada a mínima velocidad: para evaluar el desgaste y la resistencia mecánica de la aleación.

De esta forma se analiza la resistencia del material al amarre, así como su incrustabilidad; ya que de otra manera cualquier partícula presente en el aceite promoverá el desgaste del cojinete.

Las condiciones de máxima potencia producen calentamiento del motor, y con esto el peligro de una excesiva oxidación del aceite. El incremento de temperatura favorece, por otra parte, la deformación plástica del material. Es posible concluir que la condición de servicio a potencia máxima permite evaluar la resistencia del cojinete a: corrosión y fluencia.

Bajo los aspectos enumerados con anterioridad los diferentes tipos de dispositivos de prueba para cojinetes descritos en la literatura reflejan tantas variantes como condiciones requeridas para obtener resultados. Sin embargo, los bancos de ensayo son normalmente de dos tipos, máquinas de fatiga y equipos de desgaste.

La forma de aplicar la carga dinámica a un cojinete lubricado hidrodinámicamente, se basa en hacer fallar el revestimiento del cojinete por fatiga bajo una sobrecarga. La carga dinámica es ejercida mediante alguna de las siguientes formas: por el uso de pesos desbalanceados ubicados en una flecha giratoria (*underwood*), o bien mediante el empuje de un pistón hidráulico que aplica la carga sobre un cojinete montado en una sección de flecha excéntrica (*shapire*).

El procedimiento de pruebas de fatiga tiene características particulares en el caso de efectuarse bajo el principio de *Underwood*, el esfuerzo compresivo máximo es constante durante todo el ensayo, en tanto en el ensayo *Sapphire* la presión se incrementa cada cierto período de tiempo hasta alcanzar la falla del elemento.

En ambos casos la falla se correlaciona con un incremento súbito de temperatura, considerándose que ésta se presenta cuando el incremento del valor de operación rebasa los 200° C, evaluado esto en el respaldo del cojinete.

A continuación se hace una breve descripción de la operación de cada uno de los equipos de prueba

Ensayo Underwood

Los ensayos de fatiga en máquinas en las que la carga se genera por medio de fuerzas centrífugas producto de la rotación de masas excéntricas se han utilizado en la industria durante mucho tiempo, ésta permite evaluar los cojinetes bajo condiciones de fatiga y se relaciona con el número de horas que dura el ensayo o al número de ciclos

aplicados durante la prueba (Figura 2.4). Este método presenta las condiciones más representativas de un motor en servicio por lo que es de los más utilizados en la industria automotriz [7].

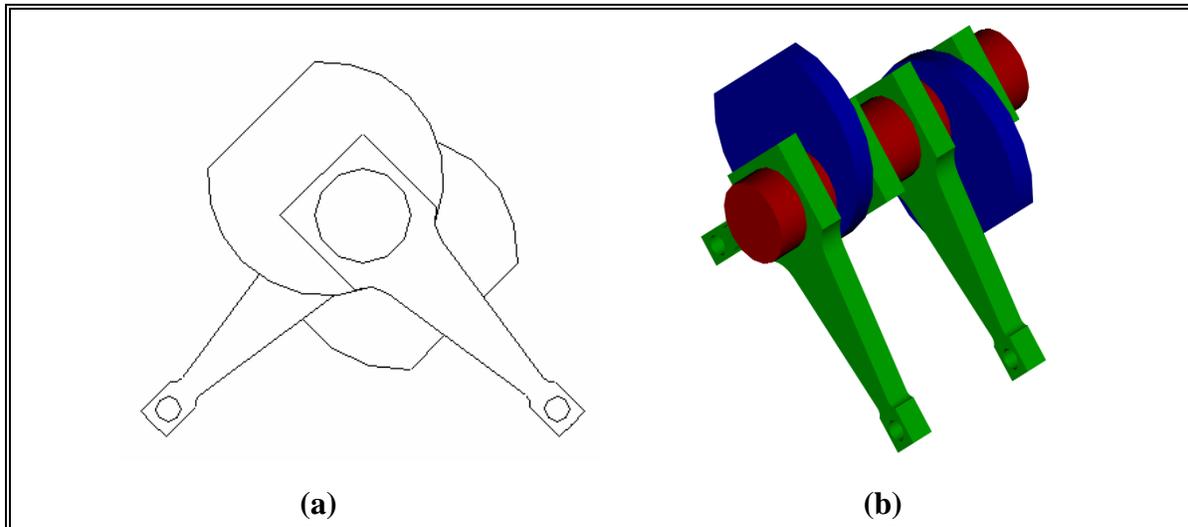


Figura 2.4. Disposición de la máquina de ensayos Underwood.

(a) Disposición de las bielas desfasadas 90° (b) Configuración del banco de pruebas

Lograr la variación de la carga aplicada mediante el principio de fuerza centrífuga requiere de una de las siguientes condiciones:

1. Cambiando el tamaño en las masas excéntricas (variación de su peso), lo que implica tener una amplia variedad de las mismas; sin embargo al variar la carga puede acarrear problemas como una sobrecarga de los elementos constitutivos de la máquina de pruebas.
2. Haciendo variar la velocidad de giro del eje, lo que implica el uso de un variador de frecuencia en el motor principal.
3. Finalmente, modificando el ancho del cojinete, de tal manera que el área de contacto entre eje y cojinete sea mayor.

Ensayo Sapphire

El ensayo *Sapphire* tiene una particular característica por la forma como se aplica la carga, para este caso se emplea un pistón controlado por una servoválvula. Este arreglo permite que la fuerza permanezca constante sobre el cojinete mientras que el eje se

encuentra girando. El uso del pistón controlado por la servoválvula permite un control preciso durante toda la prueba. (Figura 2.5)

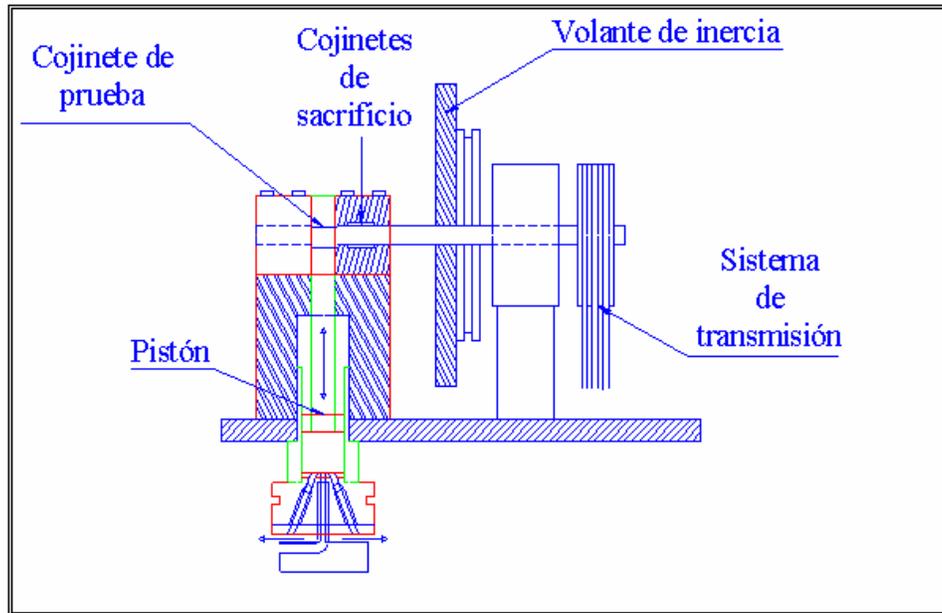


Figura 2.5. Arreglo del banco de ensayos Sapphire

La ventaja que presenta este arreglo es la variación de la carga de prueba automáticamente sin necesidad de detener el ensayo. Normalmente en este tipo de ensayo la carga se va variando cada 20 horas en incrementos de 7 MPa, hasta presentarse el incremento súbito de temperatura, el cual indica la falla del material.

Cada uno de los sistemas analizados tiene el objetivo de someter al cojinete a demandas de carga.

Capítulo 3

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

Cuando un equipo entra en servicio inicia la evaluación real de desempeño, esto significa que todas las consideraciones y predicciones realizadas en las etapas de diseño y desarrollo son puestas a prueba en su ambiente de trabajo, es también en este periodo cuando se presentan los posibles inconvenientes de tales acciones.

La variedad de factores que intervienen en su funcionamiento en ocasiones pueden conducir a la falla del equipo, este tipo de inconveniente presentes durante el servicio evidencian problemas que al analizarse sacan a la luz deficiencias ya sea en el diseño, selección incorrecta del material, manufactura inadecuada, condiciones de servicio que han modificado las indicadas por el diseño, errores de mantenimiento o bien errores en el ensamble. Sin embargo no son las únicas características que deben ser cuestionadas, es importante tener suficiente conocimiento de las condiciones de operación a la cual está expuesto el componente o sistema, entre las cuales se incluyen el tipo y la magnitud de la carga, el medio ambiente, la temperatura operacional, la vida esperada, entre otras.

Por lo anterior, este capítulo tiene la finalidad de establecer la problemática presentada en el equipo operado en la UDIATEM (sistema *Underwood*), a esta etapa se le

denomina diagnóstico del sistema. Se entiende por diagnóstico del sistema el análisis de lo que está sucediendo y por qué está sucediendo; esta visión permitirá establecer las bases para emitir un juicio sobre la eficiencia de los diferentes componentes del equipo.

Para cubrir la fase se recurre a las técnicas de Análisis de Falla especificadas en el diagrama IDEF0 de la figura 3.1. El análisis de falla es un proceso de mejora continua, en donde a través de las recomendaciones que se desprenden ayudan a extender la vida útil del sistema o si es el caso en el que ya no puede operar rediseñarlo evitando se presenten los problemas antes generados.

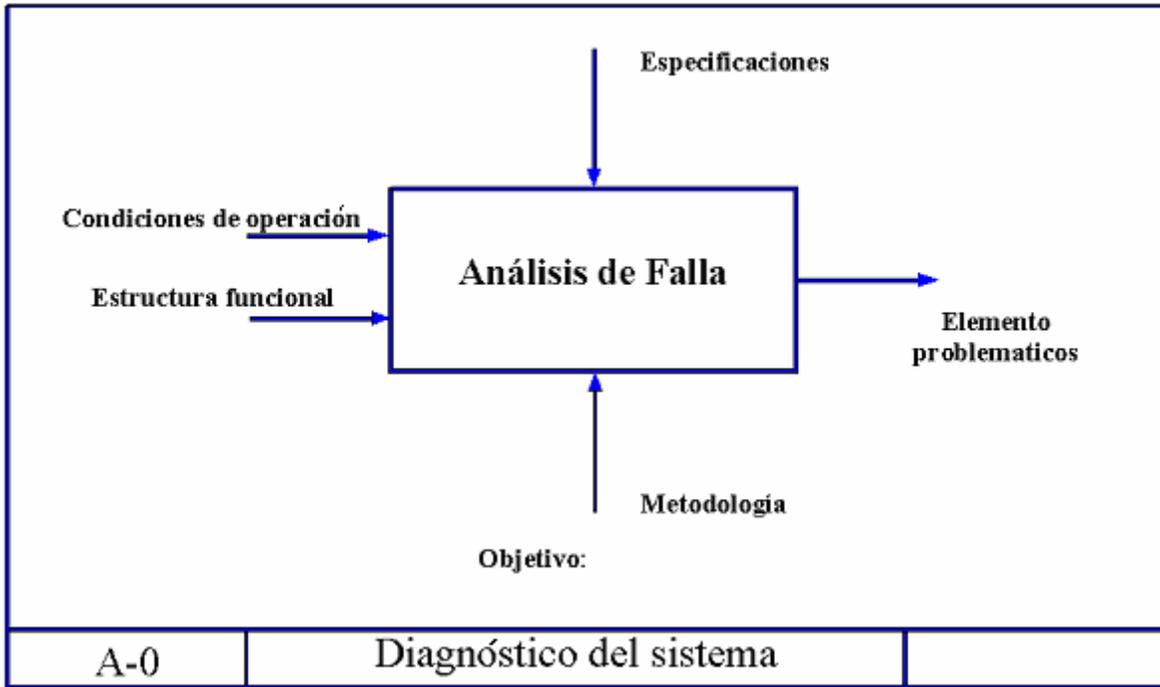


Figura 3.1 Diagrama correspondiente al diagnóstico del sistema

El concepto de análisis de falla engloba toda una metodología, lo que hace necesario tener un contexto de esta técnica; A continuación se da un panorama del concepto y la metodología a aplicar, a partir de este se generará un diagrama filial desarrollado representado en el diagrama A21 como la entrada para cubrir dicho cuadro.

3.1. DEFINICIÓN Y METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE FALLA

Por definición, una falla es una situación en donde un componente o equipo no cumple con la función para la que fue diseñada de manera satisfactoria [11,18]. Las fallas son eventos inevitables durante el periodo de vida de cualquier sistema. Es conveniente precisar el concepto exacto de una pieza o sistema fallado, de otra forma se tiene el riesgo

de considerar la falla como sinónimo de fractura de una pieza, lo que representa una visión limitada de la problemática. Se considera que una pieza o sistema ha fallado cuando:

- 1) La pieza llega a ser completamente inoperable.
- 2) La pieza esta aún en operación pero no estará durante mucho tiempo funcionando satisfactoriamente, debido a que ha dejado de cumplir con ciertas características para las que se diseñó
- 3) Serios deterioros han vuelto insegura a la pieza o sistema, y por lo tanto es necesario removerla inmediatamente de servicio para repararla o cambiarla.

El análisis de falla representa una labor de investigación similar a la que realiza un médico forense para determinar las causas de un deceso. El análisis de falla de manera análoga, a través de un proceso sistemático y metodológico permite definir las causas y secuencia de eventos que han conducido a la falla del sistema [11]. En síntesis, cualquiera que sea el caso la investigación de falla implica un enfoque sistemático que consta en varias etapas que pueden variar en función de la naturaleza de la falla y las características del propio material.

- **Recopilación de información:** Permite establecer lo ocurrido antes y durante la falla, corresponde también a obtener información referente al diseño, materiales y procesos de fabricación. Asimismo, es necesario conocer las condiciones bajo las cuales trabajo durante su vida útil y en particular las condiciones de operación al momento de la falla.
- **Examen preliminar del o los elementos fallados,** para esto es necesario efectuar una inspección visual de las condiciones del medio o sitio de la falla. Los datos recabados permitirán elaborar bosquejos y registros para así definir los elementos de análisis, además de tener una mejor comprensión del fenómeno y de la secuencia de eventos.
- **Pruebas mecánicas:** Es necesario no solo conocer si el material que se ha empleado corresponde al indicado en el diseño, es fundamental confirmar si este cumple con las especificaciones demandadas (metalografía, análisis químico).
- **Estudios de fractografía.** Determinan el tipo y naturaleza de la fractura de haber sucedido está.
- **Ensayos no-destructivos.** Estos permiten obtener información relativa a los defectos (superficiales y en el interior) del componente que falló si es el caso.
- **Análisis de la información recabada** que permita concluir en relación a las causas y en consecuencia definir recomendaciones para su prevención.

En consecuencia este proceso permite mejorar la confiabilidad del producto a través de recomendaciones de cambios en diseño, procesos de manufactura, materiales, y también ayuda a extender la vida útil del sistema o estructura.

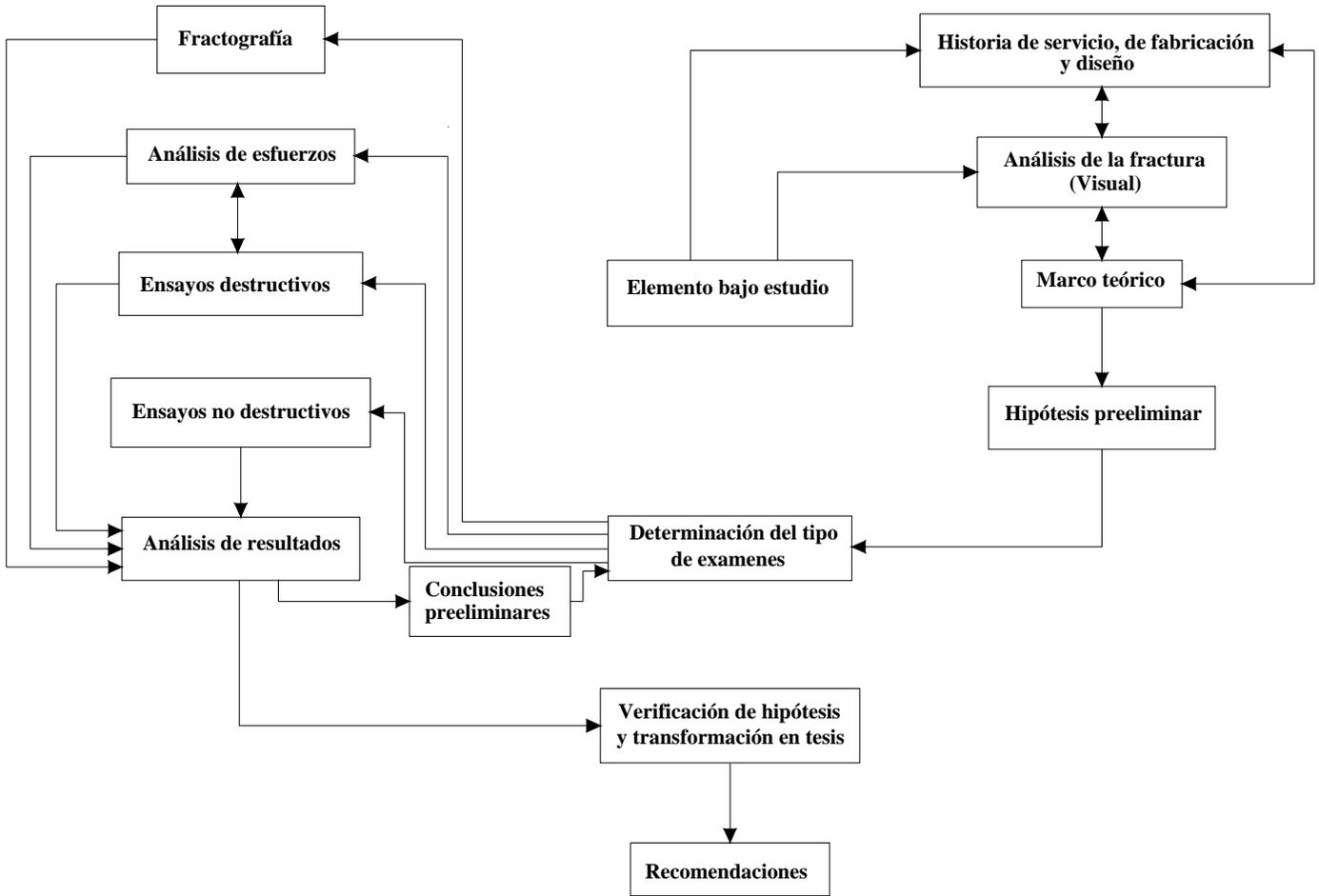


Figura 3.2 Diagrama correspondiente al diagnóstico del sistema [11]

Para la correcta aplicación de la metodología antes descrita se propone el empleo del siguiente diagrama IDEF0 denominado Análisis de falla (Figura 3.3). El diagrama permite establecer las secuencias de diagnóstico que facilita la comprensión y documentación de la lógica del sistema.

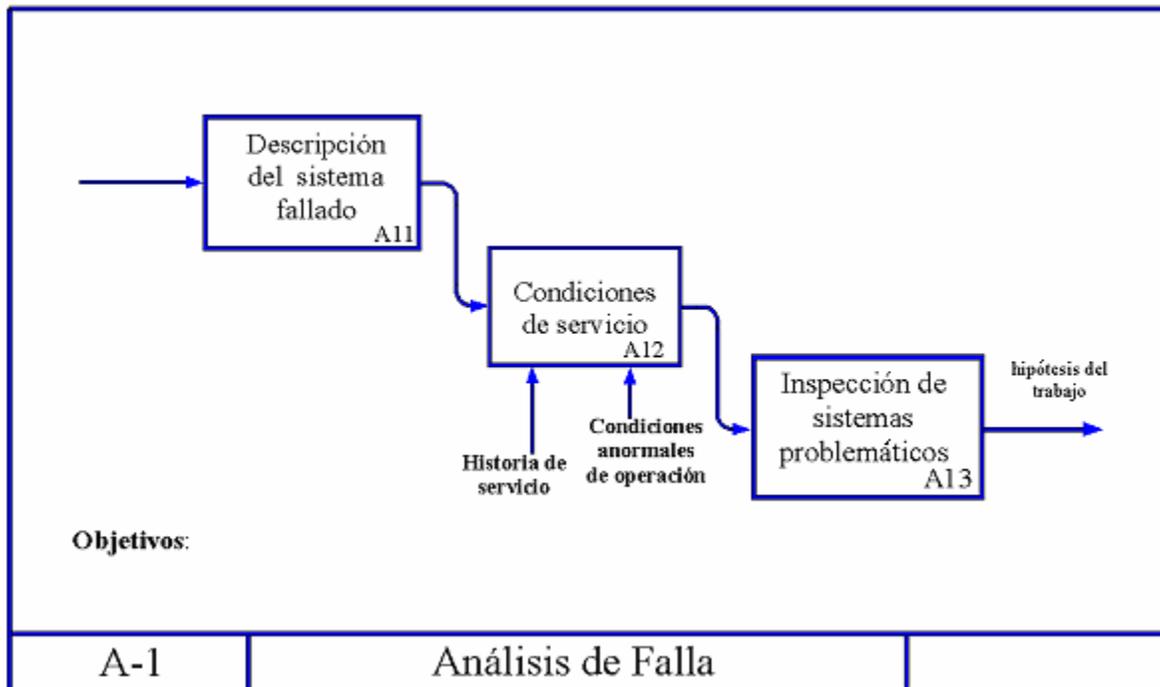


Figura 3.3. Mapa conceptual de retroalimentación de la investigación en fallas.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS

Para la realización de pruebas de fatiga en cojinetes se cuenta con un dispositivo que permite su ensayo bajo el principio *Underwood* (fuerzas centrífugas). A continuación se describe el sistema, su funcionamiento y partes constitutivas.

La parte medular del banco de ensayos está constituido por un elemento rígido de una sola pieza, se trata de una bancada de torno de hierro fundido, la configuración de ésta pieza es muy robusta debido al tipo de demandas al que se somete (elevados ciclos de carga). Dispuestos sobre la bancada están los diferentes elementos que constituyen la máquina de ensayos. El primer componente es la fuente motriz encargada de proporcionar el par suficiente para llevar a cabo la rotación del sistema de prueba, el régimen de giro es 3500 r.p.m. y se encuentra anclada a la bancada.

La flecha del motor se acopla a un conjunto de chumacera – flecha mediante un acoplamiento flexible (cadena y catarinas), ésta configuración permite algún desalineamiento entre ambos ejes. Las catarinas van colocadas en los extremos de las flechas que se acoplan, garantizando su posicionamiento mediante una cuña - prisionero. (Figura 3.4).

El arreglo chumacera-flecha formaba parte original del torno del que obtuvo la bancada, tiene la función de permitir acoplar el sistema de prueba (masas desbalanceadas)

con la fuente motriz; para tal efecto se cuenta con varios componentes en su configuración. La chumacera es una pieza de hierro fundido que se fija a la bancada, este elemento permite alojar un par de pistas correspondientes a los rodamientos sobre los cuales gira la flecha.

La flecha está manufacturada en acero 4140 templada y rectificada, la sección del mecanizado consta de varias secciones debido a los diferentes elementos que se ensamblan a ésta. La primera es una sección roscada que sirve para acoplar un *chuck*, el sistema roscado es izquierdo con el objetivo de que el giro del sistema sea en dirección contraria evitando con esto que se afloje y garantizar su posicionamiento; se tienen dos secciones rectificadas donde se montan los rodamientos, estos elementos son de diferente diámetro por lo que existe un escalón que sirve de tope para el de menor diámetro, en esta misma sección se encuentra otra rosca la cual tiene la función apretar y fijar el rodamiento mencionado. Finalmente se tiene una sección con una cuña para acoplar la catarina. Es importante mencionar que los baleros utilizados son cónicos, este tipo de elementos facilita el posicionamiento de la flecha, así como su desensamble para mantenimiento. (Figura 3.4)

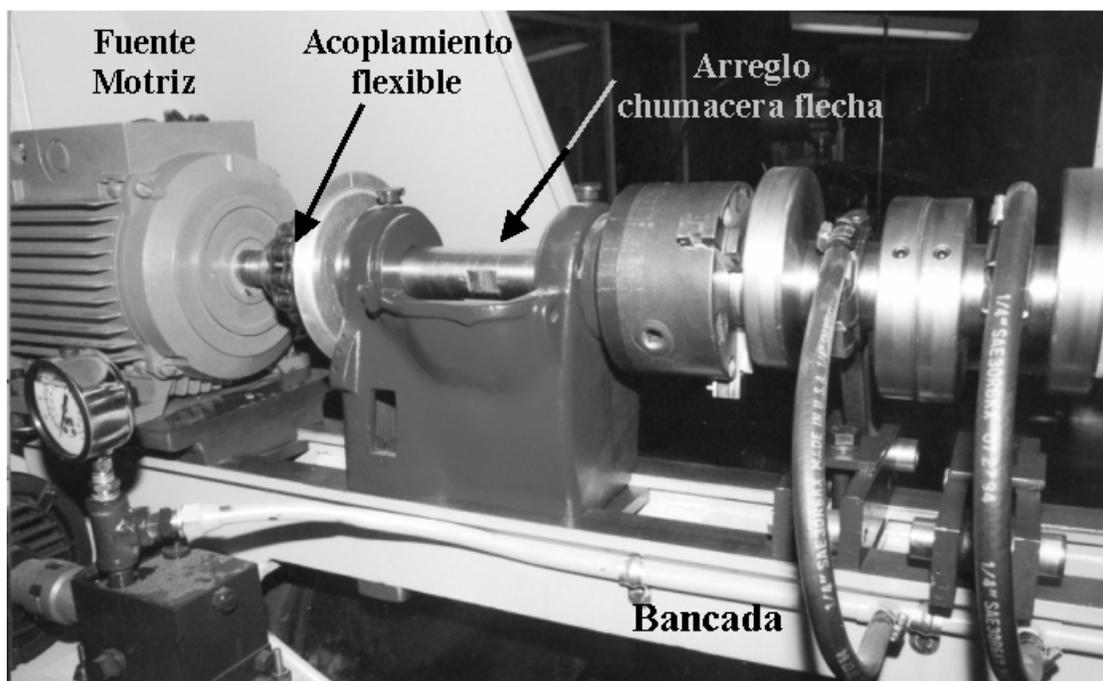


Figura 3.4 Disposición física del banco de pruebas

Como se mencionó se cuenta con un *chuck*, el objetivo de este componente es hacer la función de empotramiento del sistema de carga mediante la sujeción de ésta a través de las mordazas, haciendo que ésta simule una condición de viga en cantiliver.

El siguiente arreglo corresponde al sistema de carga que funciona bajo el principio de fuerzas centrífugas por la acción de masas excéntricas. El dispositivo consta de una flecha de acero carburizada que simula el cigüeñal de un automóvil, a lo largo de ésta se encuentran dispuestos los contrapesos, dos en el centro de la flecha y los restantes se colocan dejando un claro y desfasados 180° respecto a los primeros. En el extremo opuesto a lado donde se encuentra el chuck se coloca un punto embalado donde se apoya la flecha, éste se encarga de mantener el posicionamiento del eje. (Figura 3.5)



Figura 3.5 Disposición del apoyo del sistema de carga

En las secciones rectificadas de la flecha se colocan los cojinetes a ensayar, para garantizar su correcta posición y simular por completo el funcionamiento de un motor de combustión interna se cuenta con un par de bielas dispuestas a 90° una respecto a la otra [13], similar a como estarían en un motor en V, además de permitir dar el apriete adecuado al cojinete. Para restringir el movimiento de las bielas estas se fijan a la bancada, de tal manera que al girar el sistema de carga los cojinetes simulen apoyos fijos. El objetivo del sistema que al girar éste la fuerza centrífuga ejercida por las masas ocasione la flexión de la flecha y simulando una condición de carga. También se cuenta con un par de termopares encargados de sensar la temperatura en el respaldo del cojinete durante todo el período de ensayo, para esto las bielas cuentan con un barreno y un prisionero que fija al termopar. (Figura 3.6)

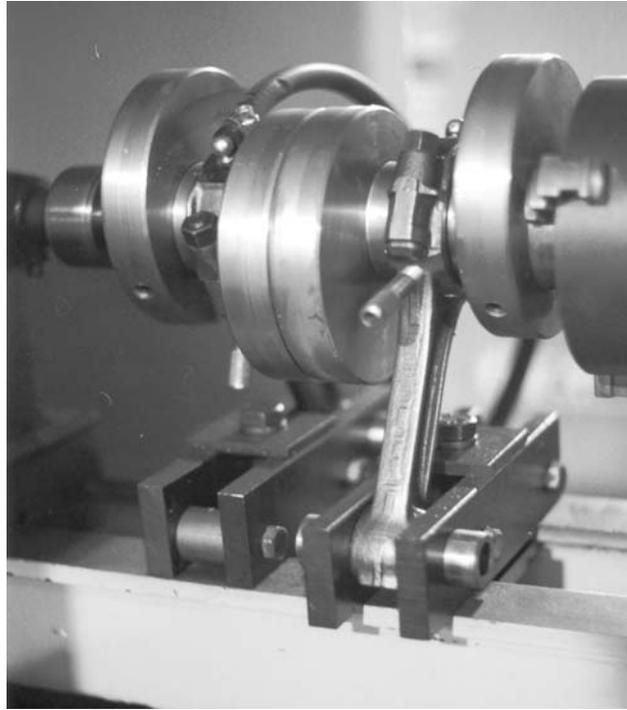


Figura 3.6 Sistema de carga

Para la adecuada lubricación del sistema éste cuenta con un dispositivo de alimentación del aceite, se inyecta de forma presurizada a través de un conducto hasta donde están alojados los cojinetes (parte superior de la biela), este arreglo permite la lubricación constante del sistema y que se pueda formar la cuña de aceite que soporta la carga. Debido a que el flujo de aceite es mayor al demandado por el sistema se cuenta con una válvula de escape que lo envía al depósito inferior donde se recircula.

Finalmente el banco de ensayos cuenta con un dispositivo electrónico que controla y sensa las funciones que desempeña la máquina, se encarga de la secuencia de arranque del motor y bomba, registra el número de ciclos durante el ensayo, tiempo del mismo y monitorea la temperatura en el respaldo de cada uno de los cojinetes. Además, el control determina si existe alguna condición de falla o si se ha cumplido el tiempo de ensayo.

3.3. PROTOCOLO DE OPERACIÓN

Para garantizar resultados confiables y que se mantengan las mismas condiciones de operación, la máquina de fatiga cuenta con un protocolo general de ensayo [12], este engloba la preparación del equipo así como la secuencia de operación (Figura 3.7).

A continuación se describe dicho procedimiento.

1. El aceite de la máquina de ensayos deberá ser cambiado al inicio de cada prueba, limpiando adecuadamente depósito, conductos y filtros, con la finalidad de evitar que

rebabas desprendidas de ciclos anteriores circulen en el aceite y alteren los resultados del ensayo.

2. Se debe revisar el eje para verificar que sus dimensiones se mantengan dentro de tolerancias de ± 0.02 mm, asimismo deberá verificarse que la rugosidad esté por debajo de (0.05 mm), en caso contrario o si el sistema a perdido precisión se debe reponer la flecha por otra en mismas dimensiones, o en su defecto deberá ser rectificada.

3. Los cojinetes serán seleccionados al azar con respecto al lote de producción que se pretende evaluar. Debiendo ser identificados mediante tinta o cualquier otro medio que no afecte su comportamiento.

4. Los cojinetes serán montados en las bielas del sistema, teniendo precaución de eliminar residuos sólidos como rebabas que ocasionen un inadecuado asentamiento de los mismos.

5. Se define el apriete de la biela el cual se realizará con el auxilio de un torquímetro, ajustando éste al valor determinado por el fabricante del motor para el conjunto en particular.

6. Se ajustan los contrapesos en función de las cargas de prueba previamente determinadas.

7. En general estos ensayos representan de 2 a 3 millones de ciclos, sin embargo en ocasiones se llegan a realizar sin lubricación con la finalidad de disminuir el tiempo de prueba a periodos menores a una hora. Esta última opción solo se usará como una primera etapa de evaluación.

8. Realización del ensayo. Este consta de la siguiente secuencia de eventos:

- Encendido del control y registro de la temperatura inicial del cojinete, los demás parámetros deben marcar cero.
- Posteriormente se enciende la bomba para alimentación de lubricante antes de iniciar los ciclos de prueba, la finalidad es circular y presurizar el claro que existe entre muñón y cojinete.
- Después de transcurridos 30 segundos del paso anterior se enciende el motor que arrastra el sistema.
- Se inicia el conteo de ciclos, el registro de tiempo y de temperatura.
- El tiempo de ensayo es de 30 Hrs. Si durante el tiempo de la prueba no hay falla de los cojinetes el sistema debe apagarse automáticamente al cumplir el periodo citado, manteniendo los datos de la última lectura. Permanece activa la bomba durante los siguientes 2 minutos.

- En el caso de que la temperatura sensada, por cualquiera de los termopares colocados en el respaldo de los cojinete, sea superior a los 200°C , el sistema apaga el motor principal inmediatamente, permaneciendo activo durante los siguientes 2 minutos el motor de la bomba, esto último con el fin de evitar que el cojinete se pegue al eje, y disipe el calor.

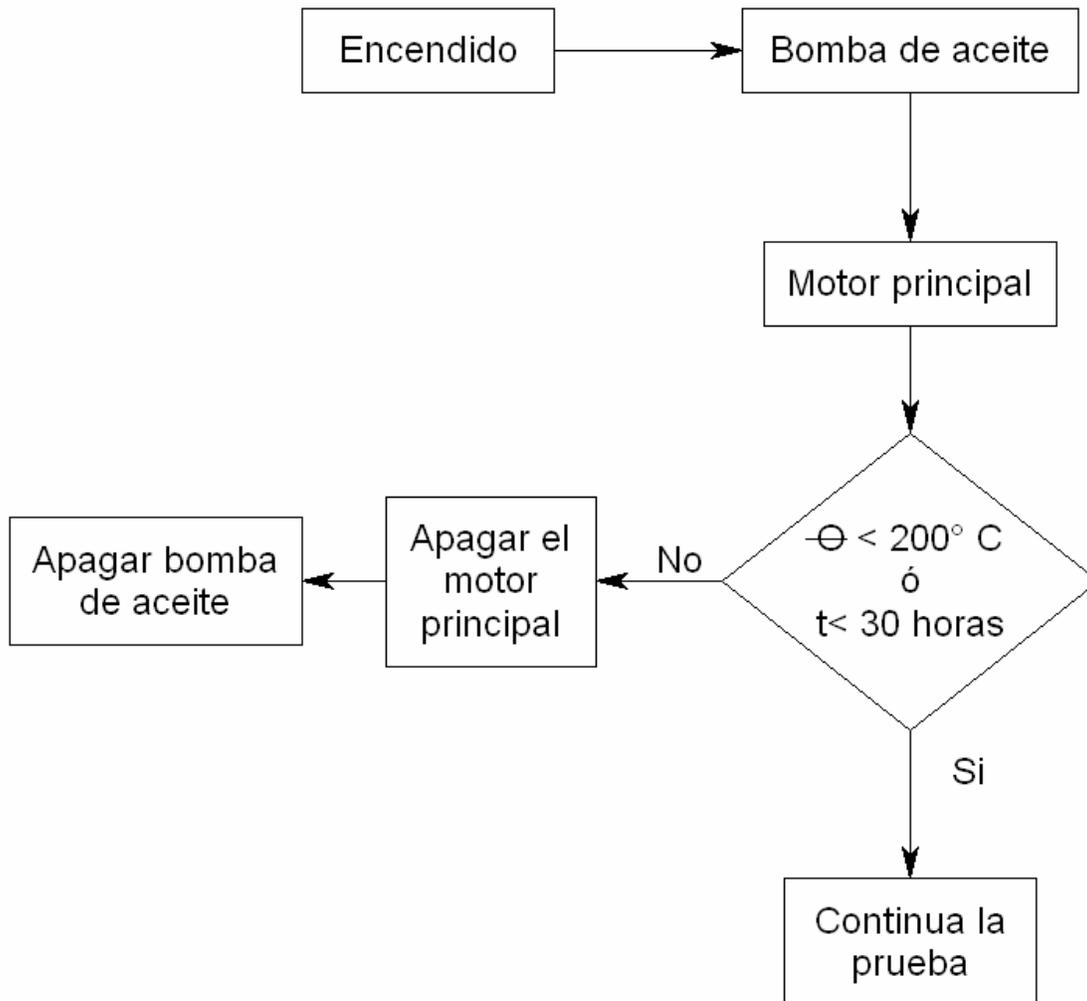


Figura 3.7 Descripción esquemática del sistema de operación de la máquina de ensayos para cojinetes de deslizamiento

9. Una vez aplicado el número de ciclos preestablecido o alcanzada la falla en los cojinetes se considera concluida la prueba procediéndose a desmontar estos de las bielas para su inspección.

3.4. MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

Para mantener el equipo dentro de parámetros de funcionamiento óptimo, la máquina de ensayos tiene un programa de mantenimiento que consta de los siguientes puntos.

- Se desmonta el sistema de carga para su limpieza y se verifican dimensiones.
- Se desmontan las bielas para eliminar material sólido en la zona donde se asientan los cojinetes.
- Se desmota la flecha y baleros de la chumacera para engrasarlos, verificar su estado y de ser necesario sustituirlos.
- Se drena el aceite contenido en el depósito de almacenamiento y se limpia esté.
- Se hace circular petróleo por la bomba y conductos con el fin de eliminar cualquier residuo de aceite y material sólido.
- Se inspecciona el punto embalado para detectar daño y si es el caso sustituirlo.
- Debido a las deformaciones repetidas a las que se somete el sistema es posible que se presenten problemas por fatiga que podrían terminar con la presentación de una grieta o fractura del material después de un cierto número de fluctuaciones. Por esta razón es necesario hacer una inspección detallada de todos los elementos que constituyen el equipo para prevenir y detectar la aparición de fallas.

3.5. HISTORIA DE SERVICIO DEL ELEMENTO

El periodo de operación del sistema sin que presentara un inconveniente mayor fue de cinco años. Los resultados de los ensayos permitieron caracterizar el daño que sufre el cojinete bajo la condición de un ensayo *UNDERWOOD* [7]. El único problema observado durante esta etapa fue en los puntos giratorios, el efecto de las masas desbalanceadas ocasionó al girar que la flecha tendiera a perder el centro, aun cuando la función del par de bielas era recibir toda la carga dicho elemento no estaba exento de sufrir también esta carga. Este efecto se observó después de cinco pruebas, por lo que fue preciso contar con repuestos para garantizar las condiciones de operación similares en todos los ensayos.

Después del periodo citado la operación del equipo comenzó a presentar diferentes inconvenientes en su funcionamiento debido a las constantes deformaciones y vibración al que estaba sujeto, se detectaron desajustes y desgaste en componentes. Los rodamientos de las chumaceras se sobrecalentaron, lo que hizo necesario cambiarlos en periodos más cortos a los que se tenía programado. Por otra parte las mordazas del chuck utilizado para arrastrar

el sistema de carga presentaron un efecto de desgaste, ocasionando un desajuste en el centro del sistema de carga.

La problemática se trató de solucionar a través de una modificación en el sistema, se construyó ex profeso un sistema de chumacera para sustituir el punto embalado, este funcionó similar al que transmitía el par. El objetivo de este elemento fue hacer que la flecha con las masas desbalanceadas se flexionara y los cojinetes recibieran el efecto de la carga.

El sistema funcionó con éxito durante un periodo de seis meses aproximadamente, sin embargo, el efecto de carga también lo sufrieron los rodamientos de ambas chumaceras, en consecuencia la vida útil de dichos elementos se vio drásticamente disminuida, además los problemas inherente al funcionamiento continuaron dando como resultado la aparición de grietas primero en la bancada y posteriormente en la chumacera de transmisión de carga.

Las condiciones antes mencionadas originaron el paro del sistema por considerarlo no seguro, en este punto es donde se propone realizar su rediseño.

3.6. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DAÑADOS

Para el análisis de falla de una estructura o pieza metálica se requiere en primer lugar identificar la presencia de la falla, la cual se puede presentar debido a diferentes mecanismos, en el caso específico del sistema a analizar, el daño se presenta en diferentes piezas. A continuación se describen y analizan las condiciones de falla, para en base a esto determinar las correcciones que al caso convengan.

Chumacera y bancada

La chumacera es una pieza de hierro fundido la cual se sometió a constantes ciclos de carga (fatiga). El inicio de la grieta se presentó en la pared donde la sección transversal es mas delgada y se encuentra la línea de partición de la fundición, la grieta tiene el inicio en la parte central y corre hacia ambos extremos formando una media luna, asimismo, en el interior de la pieza se observa un escalón que proviene del corazón usado para fundir la pieza. (Figura 3.8)



Figura 3.8 Zona de falla en la chumacera, en el detalle se observa que la grieta que inicia en la zona media y corre hacia ambos extremos de la pieza

Aunado a lo anterior, el sistema de anclaje de la chumacera consta de un espárrago que se rosca en la pieza fundida, la fijación consiste de hacer una especie de brida, mediante el uso de una placa que se apoya en la bancada. En sección de la pieza se presentó un agrietamiento de considerable magnitud (Figura 3.9). En forma independiente a los daños perceptibles a simple vista se aplicó la técnica de líquidos penetrantes para determinar si existía algún otro tipo de daño en la pieza, revelando solo los dos anteriores especificados (Figura 3.10).

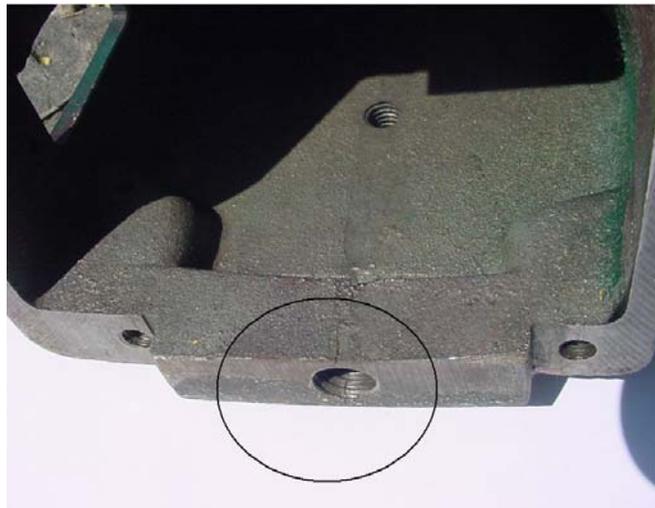


Figura 3.9 Parte inferior de la chumacera, barreno roscado para la fijación del espárrago, se observa dos grietas que corren en la sección roscada.

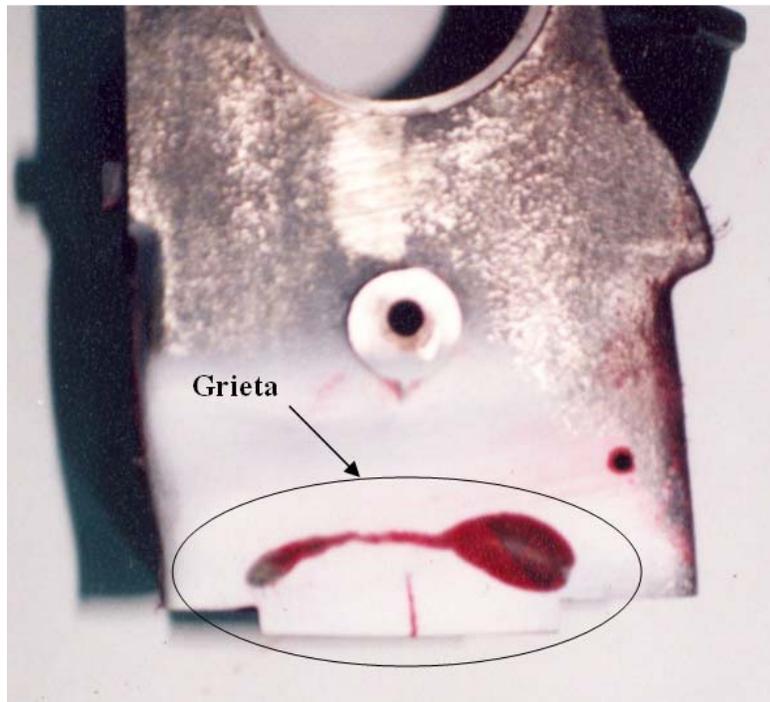


Figura 3.10 Detección de falla mediante líquidos penetrantes

Por su parte la bancada es fundida de una sola pieza, es la "espina dorsal" del sistema, sobre su parte superior están las guías que para este caso son planas con salientes similar a una geometría en T donde se soporta las bielas y el punto giratorio (Figura 3.11). Los componentes de la máquina se posicionan y se fijan usando geometría de las cejas salientes. El sistema de anclaje de la biela es similar al usado para la chumacera, consta de un par de placas unidas a través de un tornillo, la placa inferior se apoya en la ceja de la bancada haciendo la función de una especie de brida, de esta manera se evita cualquier desplazamiento. (Figura 3.12).

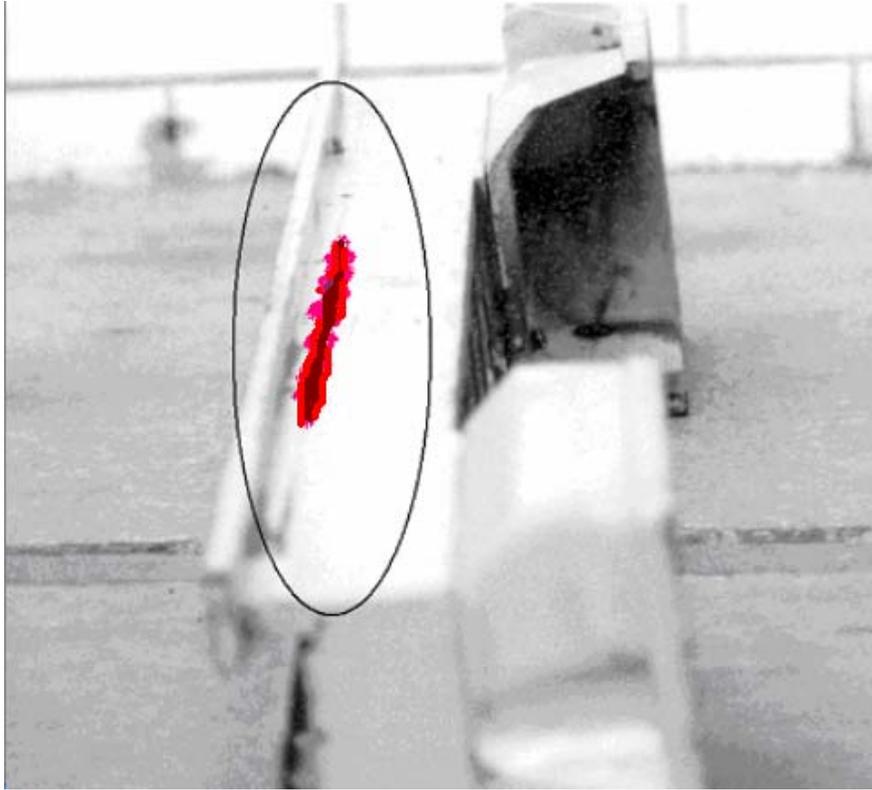


Figura 3.11 Zona de la bancada donde se presenta la fractura, en este caso la parte agrietada corresponde a donde se encontraban ancladas las bielas del sistema. Nuevamente la grieta corre de la parte central hacia ambos lados (Líquidos penetrantes)

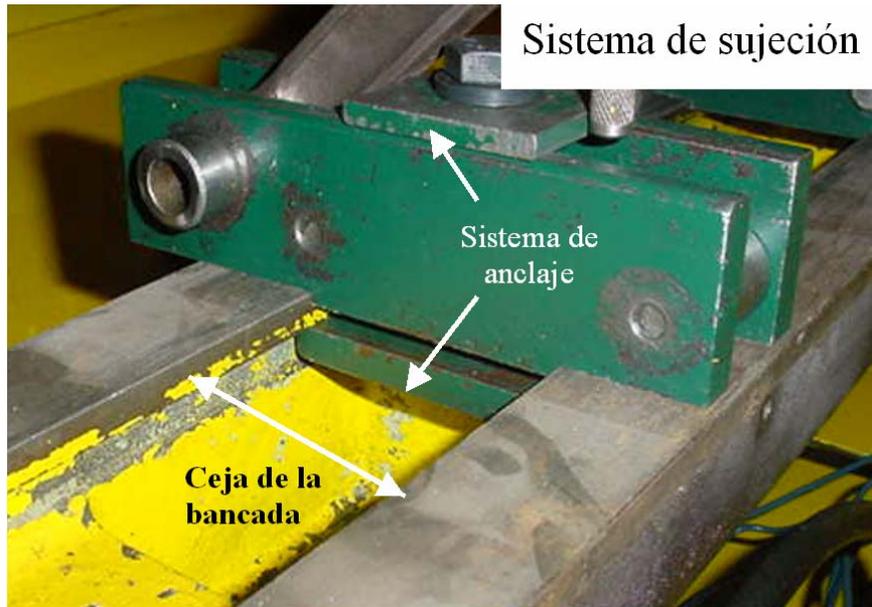


Figura 3.12 Anclaje de la biela, se puede apreciar la ceja de la bancada donde se apoya la placa que hace la función de brida.

Cuando el sistema de carga gira, ocasiona que las bielas tengan un funcionamiento similar al desempeñado en un motor de combustión interna, en este caso el perno donde estaría el pistón se encuentra fijo por lo que el efecto de la carga cíclica que reciben los cojinetes se transmite a través de la biela a este punto. La disposición del anclaje provoca que la ceja de la bancada esté sometida a deformación.

La razón de la falla presentada en los casos anteriores es relativamente fácil de explicar, es evidente que en el diseño original de ambas piezas nunca se consideró que estas se sometieran a condiciones de fatiga, en este caso se tiene una fundición de hierro gris donde la propia microestructura favorece la propagación de grietas.

Durante la inspección con líquidos penetrantes se consideró analizar todos los sistemas o componentes de la máquina, este análisis arrojó que la flecha de transmisión encargada de sujetar al chuck presentó un agrietamiento en la sección roscada, este efecto solo pudo ser observado mediante esta técnica.

Los efectos de la cuerda es un claro ejemplo de un concentrador de esfuerzos, normalmente se relaciona un concentrador de esfuerzos con una muesca, el efecto de un miembro cargado implica que el esfuerzo se vea incrementado abruptamente en la raíz de el concentrador, para el caso del la flecha es la raíz de la cuerda. Bajo condiciones elásticas, la concertación de esfuerzos en la raíz toma valores mucho mayores al promedio cuando el radio de la raíz se aproxima a cero (Figura 3.13).

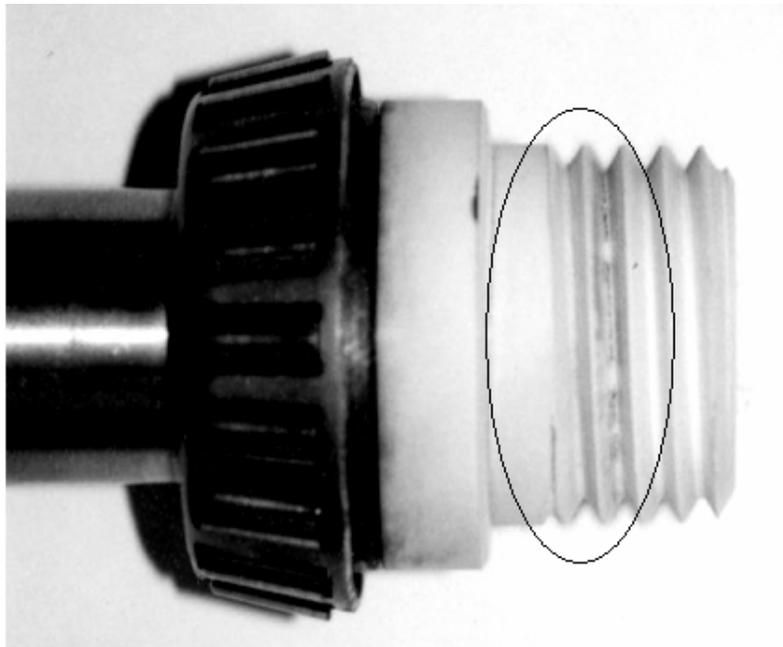


Figura 3.13 Se puede observar claramente la presencia de varias grietas en la raíz de la cuerda, estas funcionan como concentradores de esfuerzo

El resto de los componentes analizados con líquidos penetrantes no presentaron daño como el descrito anteriormente, por lo que se concluyó este análisis.

Por otra parte, otro componente que sufrió daño fue el chuck, éste elemento encargado de transmitir movimiento al sistema de carga y permitir la condición de viga en cantiliver perdió precisión por desgaste en las mordazas. Este daño se ocasionó por el efecto de las cargas desbalanceadas, al girar el sistema se ocasiona que el eje tienda a perder el centro por lo que las mordazas reciben toda la carga y por lo tanto se deforman. Como las mordazas autocentran el eje, la deformación no permite el correcto posicionamiento y alineamiento.

Como consecuencia al efecto descrito, se dedujo que el sobrecalentamiento en los rodamientos se debe a las modificaciones y desajustes en la operación del sistema, dado que la distribución de carga que debería llevarse los cojinetes se transmiten a rodamientos y chumaceras. (Figura 3.14)



Figura 3.14. Daño sufrido en el rodamiento

Consideraciones para el rediseño de la máquina

Con lo anterior se concluye que el principio de funcionamiento es el adecuado para caracterizar el desgaste en los cojinetes de deslizamiento, por lo que se deben preservar las condiciones de ensayo modificando únicamente los sistemas problemáticos, sobre todo si está demostrado que de esta manera se obtuvieron resultados que caracterizaron adecuadamente el comportamiento de los cojinetes.

En este sentido, los principales componentes a rediseñar son, la bancada, el sistema de chumacera y el sistema de arrastre de la flecha de carga. Se considera conveniente mantener el sistema que genera la carga pero evitando el efecto negativo en los rodamientos.

Capítulo 4

DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se aborda el rediseño del sistema a través de la generación de modelos de decisión. Un modelo puede ser definido como una representación o abstracción simplificada de la realidad, que establece las variables para su entendimiento, manejo del fenómeno en estudio e interrelación entre estas, de tal forma que hace posible la toma de decisiones a través de ponderar las resultantes de alterar y comparar una o varias de estas variables. Asimismo, la efectividad de estos modelos de decisión tiene como requisito clave su validez. Razón por la cual, es necesario comprobar que el modelo y sus premisas representan con fidelidad la estructura del sistema real, en otras palabras, que el modelo corresponda con la realidad, en un grado aceptable.

Con este fin, el diseño conceptual toma el diagnóstico desarrollado en el capítulo anterior para convertir la información en mejoras deseables y aplicables, mediante el proceso de decisión. En un sentido amplio, hay que considerar que la decisión sólo puede formularse cuando se plantean actos distintos y excluyentes (alternativas), de los que no conoce con exactitud cuáles serán sus consecuencias. Su verificación resulta al comparar sus efectos mediante la asignación de valores que pueden estar representados, según el

caso, por un modelo matemático, estadístico, gráfico, de simulación, de un razonamiento humano, etc. [19,20,21], o bien por la combinación de más de uno de ellos. Según las circunstancias específicas de cada decisión, es conveniente utilizar uno u otro, dependiendo de su efectividad, del tiempo de que se disponga para decidir y de otros factores puntuales.

Con lo anterior puede definirse a la **toma de decisiones** como la elección racional entre diferentes alternativas para lograr la consecución de un objetivo o meta. Al igual que en capítulos anteriores se plantea seguir la metodología IDEF0, en este caso el esquema es se representa en la figura 4.1.

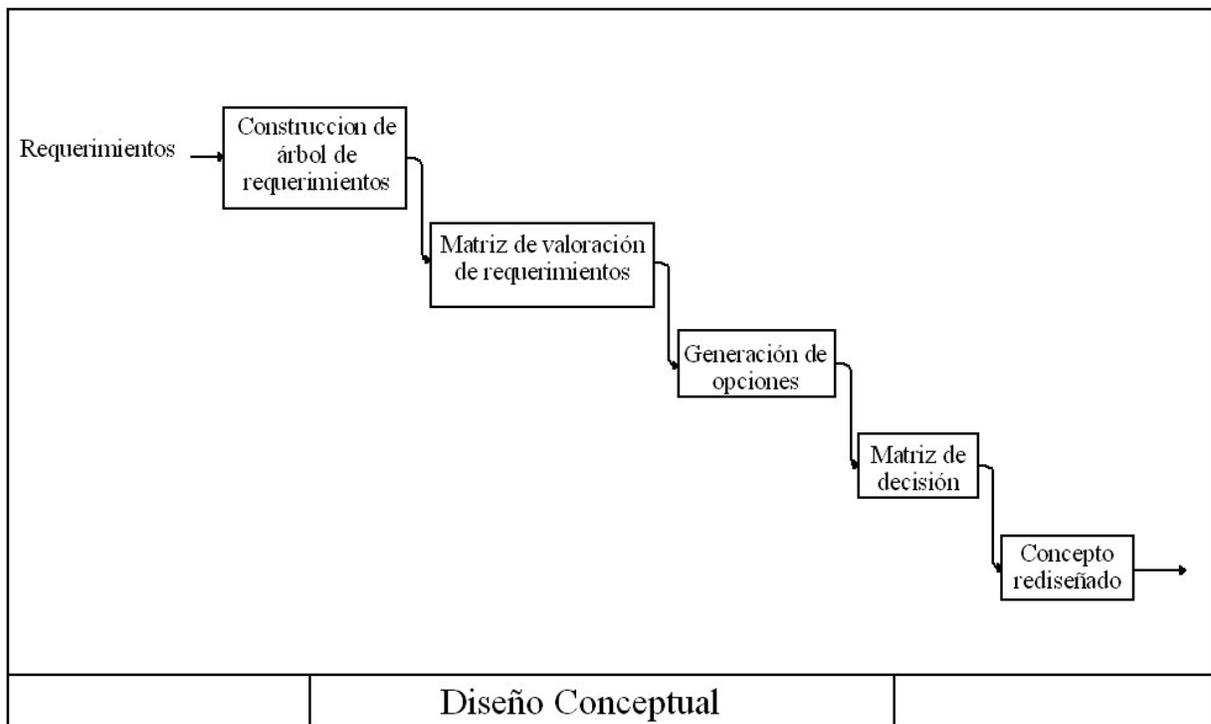


Figura 4.1 Diagrama IDEF0 para la etapa de diseño conceptual

4.1. CRITERIO DE DECISIÓN

Para poder adoptar decisiones de la mejor calidad posible y hacer una adecuada evaluación, es necesario basarse en hechos y no dejarse guiar solamente por el sentido común, la experiencia o la audacia. De ahí la importancia de establecer condiciones reales y objetivos, además implica la necesidad de apoyarse en herramientas adecuadas y de fácil comprensión, para la solución del problema.

En este contexto la teoría de decisión es una disciplina que cuenta solo con unas décadas de vida, y ya pueden identificarse en ella una corriente clásica para el diseño [19]. Inicialmente esta teoría se plantea como una concepción algorítmica, su cuerpo central consiste en utilizar la matriz de decisión, para resolver problemas ante distintos grados de

conocimiento (certeza, riesgo e incertidumbre). Es una herramienta útil para identificar y gráficamente desplegar conexiones (vistas como intersecciones en el diagrama) entre responsabilidades, tareas, funciones, etc. Hay diferentes tipos de diagramas de matriz. El formato para el más común de éstos es la matriz con forma de L.

Para la elaboración de este modelo, la metodología de matriz de decisión se puede apoyar en otras herramientas o métodos analíticos, como diagramas de afinidad, análisis de sensibilidad, diagramas de causa-efecto, control estadístico de proceso, diagramas de árbol de decisión y de Pareto, diseño de experimentos, entre otros.

4.2. PASOS PARA CONSTRUIR LA MATRIZ DE DECISIÓN

REQUERIMIENTOS

Tomados en su conjunto, los requerimientos definen la calidad de un producto y son las expresiones que se utilizan para describir éstos y sus características deseables (que's). Los requerimientos se indican en la dimensión vertical de la matriz, suelen ser numerosos y se agrupan en varios niveles dependiendo del grado de abstracción que representen, por lo que es necesario categorizarlos de acuerdo a su importancia. Para esta tarea se recurre al método de generación de un árbol de requerimientos.

El método clasifica a los requerimientos en obligatorios y deseables. Un requerimiento es obligatorio cuando su ausencia implica que el sistema no funcione; en tanto un requerimiento deseable es el resultado de alguna característica atractiva o complementaria y se puede ordenar según el grado de importancia asignando un puntaje de acuerdo a la satisfacción que ofrezca al sistema. Por lo anterior, el árbol de requerimientos da un orden permitiendo asignar prioridades y expandir las necesidades en subsecuentes requerimientos, en otras palabras, el árbol de requerimientos sugiere obtener un curso apropiado para examinar el producto y las necesidades que debe cubrir.

PRIORIDADES

En virtud de que no todos los requerimientos son igualmente importantes, ya sea por razones técnicas, económicas o de otro tipo, no todas las prioridades podrían satisfacerse, resulta muy importante establecer una métrica que evalúe las características a desarrollar dando el peso específico adecuado a cada una. Éste factor que contribuyen, como se verá más adelante, al cálculo de la ponderación total.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Las características técnicas o “como’s”, también pueden constituir un árbol jerárquico, aunque en ocasiones exhiben solo un nivel. Para el caso en particular se realizó una tormenta de ideas a fin de encontrar métricas significativas y profundizar su interpretación buscando satisfacer las necesidades planteadas. Las características pueden afectar a un solo requerimiento o a varios, esto dependerá de su propia configuración o la relación entre los diferentes requerimientos

Durante la confección de la matriz de decisión debe verificarse que para cada característica técnica exista siempre por lo menos un cruce con un requerimiento, de lo contrario no habría razón para incluirse en la matriz. Análogamente, cada requerimiento debe estar correlacionado con una o varias características. Debe evitarse la redundancia de métricas cuando éstas no agreguen nueva información.

GRADO DE CORRELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS Y REQUERIMIENTOS

El panel rectangular conformado por las intersecciones entre las filas de los requerimientos y las columnas de las características indica la correlación entre estas. Para rellenar la matriz se compara cada criterio fila con todos los criterios columna escritos, consignándose en las casillas de la fila el resultado de la comparación, de acuerdo con una escala numérica preestablecida que expresa cuán bien cada necesidad es considerada por una característica determinada.

PONDERACIÓN TOTAL DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La ponderación de cada celda dentro del panel requiere evaluarse por una parte con la prioridad que otorga a cada requerimiento y, por otra, la correlación entre requerimiento y característica considerada, esto se establece en la última fila de la matriz la cual muestra la ponderación total correspondiente y se calcula multiplicando la prioridad dada por la ponderación obtenida correspondiente a cada uno de la columna de la Característica de Interés y sumando el resultado de todas las multiplicaciones realizadas sobre esa columna.

De modo análogo se calculan las restantes ponderaciones totales de la última fila. Esta información orienta de inmediato al equipo de diseño en las características que deben ser consideradas con prioridad. Un valor de ponderación total alto sugiere la necesidad de dirigir las actividades de diseño o desarrollo tecnológico en un sentido compatible con la alta ponderación.

4.3. CONSTRUCCION DE MODELO A TRAVÉS DE LA MATRIZ

Retomando las conclusiones del análisis realizado en el capítulo anterior, el objetivo que se persigue es rediseñar los componentes que causaron problemas. Es conveniente resaltar que las modificaciones pueden hacer variar algunos otros elementos de la máquina de ensayos, sin embargo, el principio de funcionamiento con el que trabaja el sistema debe ser el mismo, dado que los resultados obtenidos en cuanto a la caracterización del desgaste en los cojinetes corresponden con lo deseado, como lo demuestran los resultados obtenidos.

Los problemas identificados en el análisis se les define como requerimientos, identificándose los siguientes subsistemas:

- Sistema estructural (bancada): este sistema es la parte medular de la máquina de ensayos, puesto que esta sobre el van dispuestos el resto de los componentes.
- Sistema de transmisión de movimiento (chumacera - flecha)
- Sistema de arrastre del sistema de carga (chuck), que funciona como punto de empotramiento
- Es conveniente retomar el efecto que se desea aplicar a los cojinetes, lo que origina también a solucionar como mantener centrada la flecha en el lado opuesto al chuck.
- Finalmente se tienen el sobrecalentamiento que sufrían los rodamientos, éste efecto se atañe a algunos de los problemas descritos, por lo que se estudiará eliminar este efecto al solucionar los inconvenientes que originaron los efectos negativos.

A menudo, la definición de los criterios se realiza intuitivamente. Un enfoque de este tipo implica el riesgo de no tomar la mejor decisión y por lo tanto reduce las probabilidades de éxito del proyecto. Por esto, resulta importante la construcción del árbol de requerimientos o los denominados que's. Éste lo constituye un árbol jerárquico de niveles. El nivel 1 presenta el mayor nivel de abstracción de los requerimientos. De modo análogo, el nivel 2 expande o detalla el significado de las proposiciones del nivel 1. Finalmente, en el nivel 3, se refleja literalmente lo que se manifiesta como necesidad. Esta actividad es crucial para iniciar la creación de la lista de opciones de mejoramiento. Durante el desarrollo de la metodología se trabajará solo con el último nivel, dado que los niveles superiores corresponden a los conceptos más generales del problema. De esta manera se construye el árbol de requerimientos Tabla 4.1.

Una vez establecidos todos los criterios, corresponde evaluarlos en función de los mismos, la selección se realiza mediante una matriz de correlación, en la cual se colocan los productos a evaluar en los renglones y así como en las columnas. Para completar la matriz se compara cada criterio con los demás evaluándolo de acuerdo a una escala de

valoración. Al final se totalizan los resultados para cada producto (renglón-columna) lo que permite ordenar/priorizando los requerimientos. Mediante esta matriz permite ver cual es el impacto de cada uno de los criterios citados. (Tabla 4.2)

En el caso específico del sistema a rediseñar se estableció la siguiente escala de valoración:

- 1 Si el elemento fila es igual de importante que el elemento columna.*
- 2 Si el elemento fila es algo más importante que el elemento columna.*
- 4 Si el elemento fila es claramente más importante que el elemento columna.*
- 6 Si el elemento fila es bastante más importante que el elemento columna.*
- 8 Si el elemento fila es mucho más importante que el elemento columna.*
- 1/2 Si el elemento fila es algo menos importante que el elemento columna.*
- 1/4 Si el elemento fila es menos importante que el elemento columna.*
- 1/6 Si el elemento fila es bastante menos importante que el elemento columna.*
- 1/8 Si el elemento fila es mucho menos importante que el elemento columna.*

Tabla 4.1. Desarrollo del árbol de requerimientos de tres niveles

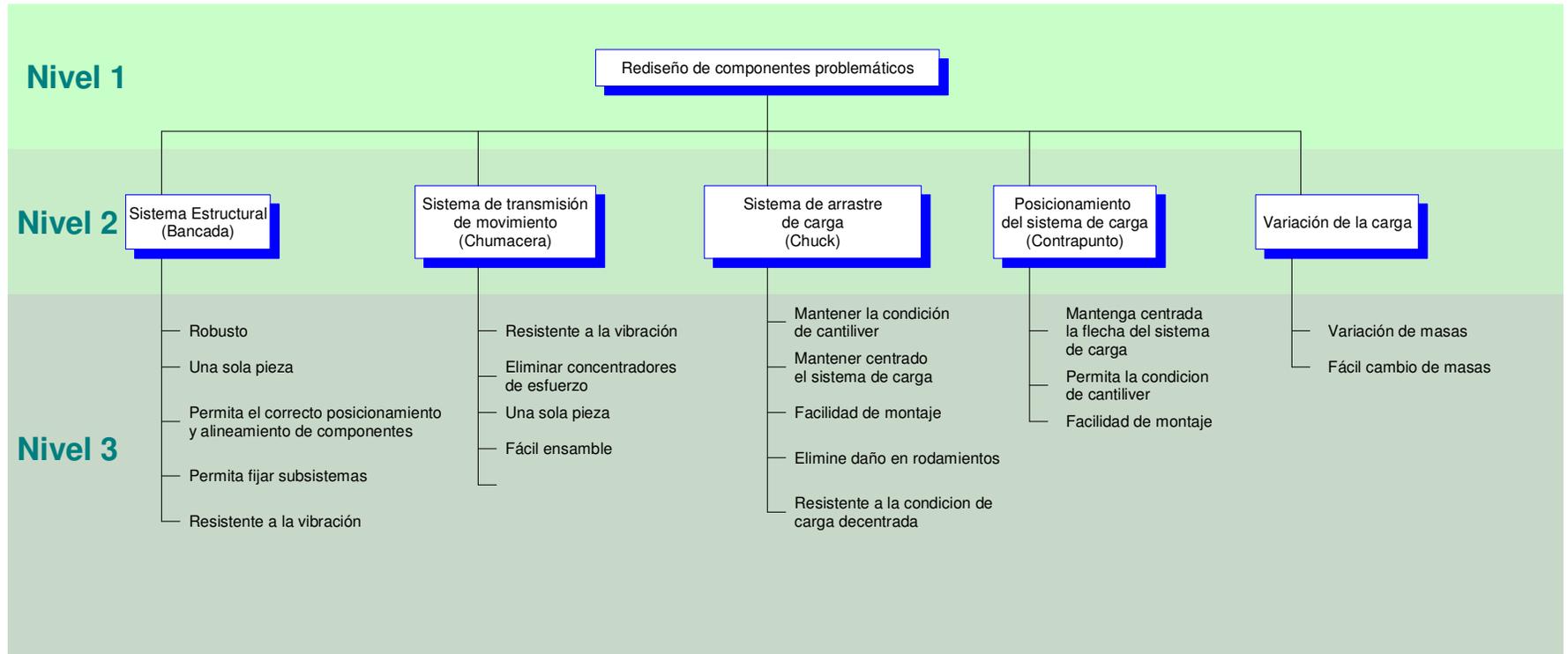


Tabla 4.2. Matriz de valoración para los requerimientos

Matriz de Valoración de requerimientos

	Robusto	Una sola pieza	Correcto alineamiento de elementos	Fijar subsistemas	Resistente a la vibración	Eliminar concentradores de esfuerzo	Reducción de elementos	Fácil ensamble	Mantener condición de cantiliever	Mantener centrado el sistema de carga	Fácil montaje	Eliminar daño a rodamientos	Resistente a carga descentrada	Variación de carga	Totales columna			Nivel de importancia
REQUERIMIENTOS																		
Robusto		8.00	1.00	1.00	0.17	1.00	8.00								19	0.076	8	
Una sola pieza	0.13		0.13	0.13	0.13	0.13	1.00								2	0.006	12	
Correcto alineamiento de elementos	1.00	8.00		2.00	0.13	0.17	8.00								19	0.077	7	
Fijar subsistemas	1.00	8.00	0.50		0.13	0.13	8.00								18	0.071	9	
Resistente a la vibración	6.00	8.00	8.00	8.00		1.00	8.00								39	0.156	1	
Eliminar concentradores de esfuerzo	1.00	8.00	6.00	8.00	1.00		8.00								32	0.128	2	
Reducción de elementos	0.13	1.00	0.13	0.13	0.13	0.13									2	0.006	12	
Fácil ensamble									0.13	0.13	1.00	0.13	0.13	0.13	2	0.006	12	
Mantener condición de cantiliever								8.00		1.00	8.00	6.00	1.00	6.00	30	0.120	3	
Mantener centrado el sistema de carga								8.00	1.00		8.00	4.00	1.00	6.00	28	0.112	4	
Fácil montaje								1.00	0.13	0.13		0.13	0.13	1.00	3	0.010	11	
Eliminar daño a rodamientos								8.00	0.25	0.25	8.00		1.00	6.00	24	0.094	6	
Resistente a carga descentrada								8.00	1.00	1.00	8.00	1.00		6.00	25	0.100	5	
Variación de carga								8.00	0.17	0.17	1.00	0.17	0.17		10	0.039	10	
Totales columna	9.3	41.0	15.8	19.3	1.7	2.5	41.0	41.0	2.7	2.7	34.0	11.4	3.4	25.1	251	1.0		

Como conclusiones de la valoración a los requerimientos se establece que las prioridades establecidas son:

1. Que sea resistente a la vibración
2. Eliminar concentradores de esfuerzo
3. Mantener la condición de una barra simplemente apoyada
4. Mantener centrado el sistema de carga
5. Que mantenga la carga descentrada
6. Eliminar daño a rodamientos
7. Correcto alineamiento de elementos
8. Robusto
9. Que permita fijar subsistemas
10. Que permita la variación de carga
11. Que sea fácil de montar

Corresponde ahora a establecer como dar solución a dichos requerimientos. Las características técnicas o como's, también pueden constituir un árbol jerárquico, aunque en ocasiones exhiben un solo un nivel. Para el caso en particular se realizó una tormenta de ideas a fin de encontrar métricas significativas y profundizar su interpretación buscando cumplir con la totalidad de los requisitos especificados en un principio, se generaron, de manera paralela diversas configuraciones, mediante la combinación de todos los conceptos anteriormente mencionados, las cuales combinan las mejores características funcionales.

Para simplificar el manejo de información y dada la objetividad del presente trabajo se generaron, de manera paralela diversas configuraciones, mediante la combinación de todos los conceptos anteriormente mencionados y combinando las mejores características funcionales. Estableciéndose la siguiente secuencia de acuerdo al grado de importancia.

4.3.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

Resistente a la vibración: Dado el principio de funcionamiento del sistema, la vibración es inherente al mismo, para esto se analiza el sistema como una caja negra, donde lo que se requiere es un sistema estructural que soporte dicho efecto. Se considera necesario hacer la selección de un nuevo material así como la configuración de una nueva geometría debido a varios aspectos identificados como problemáticos, entre los que se destacan, reducir los concentradores de esfuerzo, solucionar el correcto alineamiento de elementos y la fijación adecuada de los mismos. La solución es necesaria establecerla en función de la

ponderación de los requerimientos. Para tal efecto se tomaron dos opciones para el principal requerimiento.

Opción 1 Fabricar el sistema estructural fundido.

Opción 2 Sistema similar pero en placa de acero.

La eliminación de concentradores de esfuerzo corresponde a la modificación de la geometría y el acabado de la misma, en este caso la solución es:

Opción 1. Evitar los cambios bruscos de sección

Opción 2. Eliminar ángulos rectos

Opción 3. Eliminar cuerdas innecesarias

Opción 4. Eliminar inadecuada localización de barrenos

El sistema estructural además, debe cumplir con mantener en su posición y alineados los sistemas de potencia, transmisión de movimiento y arrastre, carga y bielas que alojan los cojinetes, contrapunto, etc. Para tal objetivo se requiere que este mismo sistema cubra tal expectativa. Figura 4.2.

Opción 1. Guías a lo largo de la mesa en disposición de ranura en V invertida.

Opción 2. Guías paralelas maquinadas a lo largo de la mesa.

Opción 3. Guías en forma de escalón a lo largo de la mesa.

Opción 4. Guías en forma de T invertida

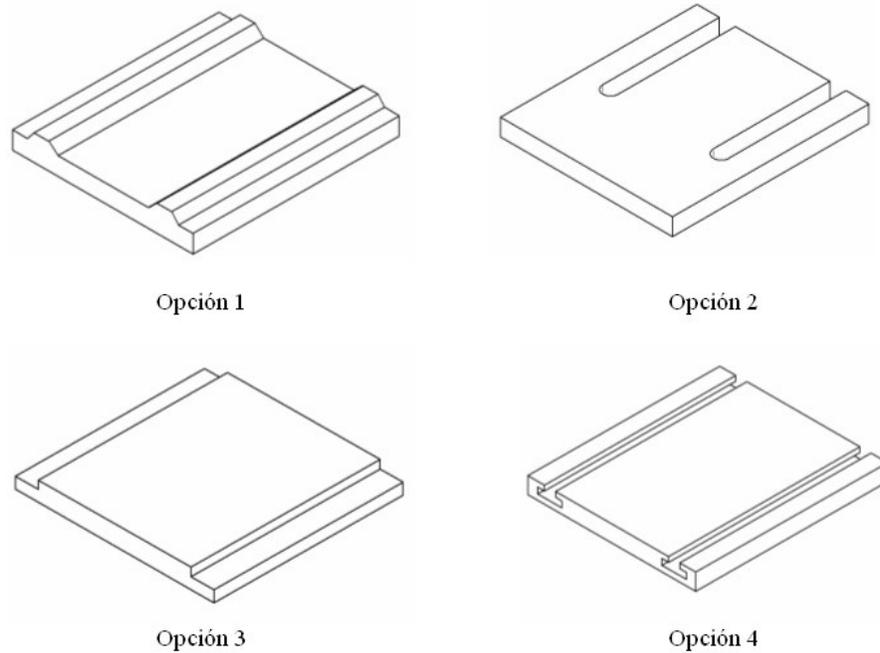


Figura 4.2. Posibles configuraciones para el sistema estructural

Las condiciones de servicio a las que se someten los subsistemas requiere que éstos se fijen adecuadamente, en este caso las opciones que se desarrollaron con el fin de cumplir con este requerimiento son las siguientes:

Opción 1. Cuerdas roscadas en el sistema estructural que fijen mediante tornillos

Opción 2. Bridas metálicas con dos puntos de soporte

Opción 3. Tornillos acoplados a las guías.

Con ésta característica se completa el sistema estructural.

4.3.2 SISTEMA DE ARRASTRE Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

El sistema de arrastre tiene el principal inconveniente en la forma en como se mantiene la característica de cantiliver del sistema de carga, además de mantenerlo centrado. Ambos puntos se desarrollan en paralelo ya que se considera que el funcionamiento de uno afecta directamente al otro. En este caso las soluciones planteadas son las siguientes: (Figura 4.3)

Opción 1. Arrastre mediante cadena y catarina.

Opción 2. Arrastre mediante crucetas.

Opción 3. Cople flexible.

Opción 4. Sistema de estriado.

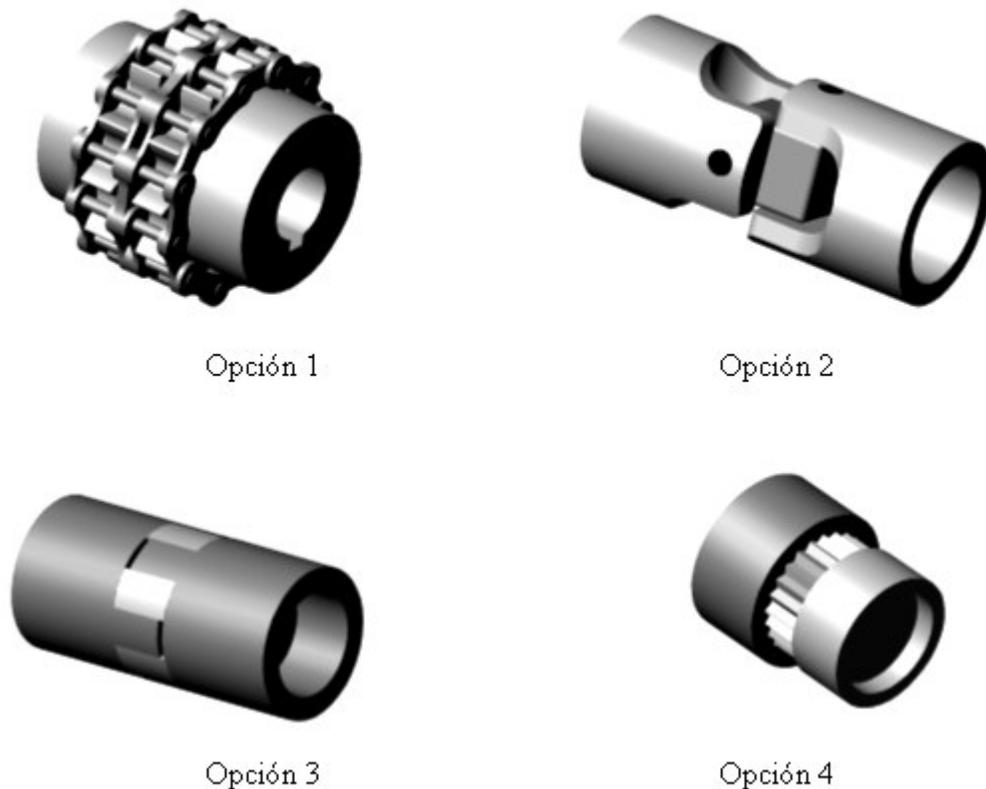


Figura 4.3. Configuraciones arrastre de carga

Este mismo sistema se colocaría en el extremo apuesto al arrastre, con la finalidad de mantener centrado el sistema de carga y respetando la condición de contacto con los cojinetes en prueba.

Este tipo de modificación implica también reestructurar el acoplamiento del motor al sistema de arrastre que se identificó como chumacera-flecha, en este caso el inconveniente implica selección del material adecuado y cambio de geometría.

Las opciones de solución se plantean a continuación:

Opción 1. Chumacera fundida con cavidades para rodamientos

Opción 2. Chumacera de placa de acero soldada con cavidades para rodamientos

Opción 3. Acoplar directo al motor y eliminar sistema de chumacera.

La correspondiente flecha cambia en función del sistema de arrastre, pero se considera eliminar cualquier tipo de unión roscada. Sin embargo los rodamientos se conservan para su adecuado funcionamiento.

El daño a los rodamientos establecido como un punto importante en los criterios de decisión, se verá menos afectado si el sistema de arrastre y soporte reducen las características de demanda al permitir la condición de soporte de la carga en los cojinetes.

Para la variación de la carga en el sistema, la única opción posible es variar el peso de las masas, haciendo estas intercambiables dependiendo de las condiciones del ensayo a realizar.

Finalmente los parámetros restantes a evaluar obtenidos del árbol de requerimientos obtuvieron las ponderaciones más bajas, por lo que su adecuación dependerá en gran medida de la co-dependencia de los sistemas principales a modificar.

4.4. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE CONFIGURACIONES FACTIBLES

Una vez establecidos todos los requerimientos y características técnicas se procede a confrontarlas mediante la Matriz de Selección; en la cual se colocan los productos evaluados en los renglones y los criterios de evaluación en las columnas. El panel rectangular conformado por las intersecciones entre filas y columnas indica el grado de correlación. La ponderación de cada celda dentro del panel requiere evaluarse por una parte con la prioridad que otorga a cada requerimiento y, por otra, la correlación entre requerimiento y característica considerada. (Tabla 4.3.)

Tabla 4.3. Grado de correlación y valores asignados usados en la matriz de decisión

Grado de correlación entre requerimientos y características técnicas	Valor numérico asignado
Muy correlacionadas	3
Correlacionadas	2
Poco correlacionadas	1
Sin correlación	0

Cuando se habla de las prioridades otorgadas a cada requerimiento estas se establecieron en una escala de importancia de acuerdo a lo establecido en la metodología, asignándose valores de acuerdo a la siguiente escala: (Tabla 4.4.)

Tabla 4.4. Escala de prioridades

5	Muy importante para el sistema
4	Importante para el sistema
3	Mediana relación de importancia
2	Poca relación de importancia.
1	Valor de relevancia muy reducido

La última fila de la matriz muestra la ponderación total correspondiente a las características técnicas; cada celda evaluada dentro del panel se relaciona con el valor asignado de importancia al multiplicarse, la sumatoria de estos valores se registra en los totales absolutos. La ponderación total de cada característica se obtiene al dividir los totales absolutos para cada columna entre el valor de la sumatoria de los mismos. El análisis de la totalidad de los resultados para cada característica (columna) permite seleccionar el producto con la mejor calificación. (Tabla 4.5)

Tabla 4.5. Matriz de decisión de requerimientos y características técnicas

Tabla 4.5. Matriz de decisión de requerimientos y características técnicas

Matriz de decisión

	Nivel de importancia	Valor asignado por nivel de importancia	Sistema estructural fundido	Sistema estructural de acero	Guías a lo largo en disposición de ranura en V invertida	Guías paralelas maquinadas a lo largo de la mesa	Guías en forma de escalón a lo largo de la mesa	Guías en forma de T invertida	Cuerdas roscadas en el sistema estructural	Bridas metálicas con dos puntos de soporte	Tornillos acoplados a las guías	Arrastre mediante cadena y catarina	Arrastre mediante sistema de crucetas	Cople flexible	Sistema de estriado	Chumacera fundida con cavidades para rodamientos	Chumacera de acero soldada con cavidades para rodamientos	Acoplar directo al motor y eliminar sistema de chumacera	Masas intercambiables	Totales columna
REQUERIMIENTOS																				
Robusto	8	2	3	2								2	2	1	2	3	3			20
Correcto alineamiento de elementos	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					3	3	3		39
Fijar subsistemas	9	2	2	2				1	2	2	2									13
Eliminar concentradores de esfuerzo	2	5	3	3	2	2	1	2	1	3	2	2	1	2	1	3	1			34
Mantener condición de cantilever	3	5										3	2	2	2					14
Mantener centrado el sistema de carga	4	4			1	1	1		2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		30
Fácil montaje	11	1	3	2	3	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	3	3	1		31
Eliminar daño a rodamientos	6	3										2	2	2		3	3			15
Resistente a carga descentrada	5	4			2				1	2	2	2	1	2	1	3	2	1		23
Variación de carga	10	1																	3	4
Resistente a la vibración	1	5	3	2					1	2	2	2	2	2	1	3	1	1		27
Totales columna			17	14	11	8	7	8	11	16	14	16	13	15	10	24	19	9	3	384
Totales absolutos			52	44	34	25	20	23	36	56	50	62	48	56	37	81	57	31	3	715
Ponderación total de cada característica			0.073	0.062	0.048	0.035	0.028	0.032	0.05	0.078	0.07	0.087	0.067	0.078	0.052	0.113	0.08	0.043	0.004	1

Con base en una valoración técnica de estas configuraciones y los mecanismos mostrados, el análisis de factibilidad de aplicación de las alternativas permitieron preseleccionar aquellos arreglos que presentan, bajo ciertos criterios, menores dificultades para una posible aplicación práctica de acuerdo a las ventajas y beneficios asociados. La selección consistió en conservar todas aquellas propuestas de configuración que pudieran ser de mayor utilidad y que cumplieran de una mejor manera los requerimientos previamente especificados. Además se tomaron características como funcionalidad, facilidad de operación, factibilidad de construcción e instrumentación que el banco requiere para su funcionamiento.

Para cumplir con la resistencia a la vibración a la vez de garantizar el correcto alineamiento de subsistemas y por tanto eliminar concentradores de esfuerzo, sobresale el sistema estructural fundido. El cual proporciona la ventaja de ser de una sola pieza y por tanto poseer mayor rigidez, la condición de alineamiento se cumple al generar guías sobre su superficie. Aunque implica una pieza de geometría compleja que puede representar un costo significativo, comparado con el empleo del sistema de placa de acero, sin embargo, cumple con mayor precisión el requisito establecido.

Respecto al arrastre del sistema de carga (masas desbalanceadas), y el correspondiente sistema de transmisión de giro, resalta la utilización del sistema de catarina-cadena acoplado a una flecha de transmisión. Este acoplamiento es flexible y permite generar que la carga se aplique uniforme sobre la superficie de los cojinetes, además de proporcionar un control sencillo y facilidad para el arrastre. Este tipo de arreglo representa menores costos relativos de construcción, siendo de simple operación y mantenimiento, comparados con mecanismos que involucran otros tipos de accionamiento, como crucetas, cople flexible y sistema de estriado. Por otra parte, la condición de alineamiento y soporte en el extremo opuesto al sistema de carga, puede ser satisfactoriamente cumplida con el mismo arreglo mencionado, la única condición es que este gire libremente.

Considerando las condiciones establecidas y las probables soluciones con los que debe contar el diseño, ésta tendrá un aspecto semejante al mostrado en la Figura 4.4.

Capítulo 5

DISEÑO DE DETALLE

En este capítulo se presenta la propuesta del banco de pruebas, basado en los componentes anteriormente discutidos, incluyendo las características generales de los sistemas principales. También se detalla la compatibilidad funcional de esos componentes y los aspectos móviles de la operación. Así mismo, se presentan los esquemas generales de cada uno de los conjuntos, sus principales elementos y los materiales sugeridos a primera instancia, con algunos ejemplos simples de cálculo de esfuerzos. Complementariamente se indican algunas recomendaciones para llevar a cabo una posible instrumentación y otras aplicaciones posibles para el banco.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Operativamente, el banco propuesto se organiza en 3 conjuntos o sistemas básicos rediseñados. El primer sistema comprende los elementos que proporcionan el soporte estructural; el segundo lo constituyen los elementos necesarios para transmitir el movimiento de la fuente motriz y arrastre del sistema de carga que permita mantener la condición de contacto en los cojinetes al aplicar el giro (carga desbalanceada), mientras que

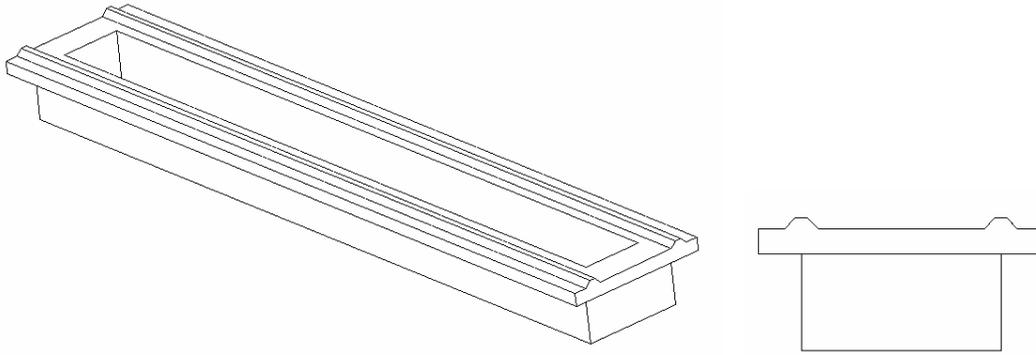


Figura 5.2. Configuración de la estructura de soporte

Consta de una superficie de trabajo donde se colocan los sistemas que complementan el arreglo. Las guías de alineamiento están dispuestas paralelas sobre la citada superficie, tienen una geometría en V invertida y se forma directamente en el proceso de fundición. Están dispuesta para cumplir dos objetivos: que los sistemas se posicionen fácilmente y además se auto-alineen, ya que las contrapartes a montar poseen la geometría opuesta.

Para el apoyo al piso, se considera hacer una estructura de perfil estructural tipo “I” que favorece la rigidez del conjunto, esta estructura a su vez se pretende fijar a través de tornillos anclados al piso (cimentación), con una capa de neopreno entre placas y piso para aislar y disminuir la transmisión de vibraciones a través de la estructura. Adicionalmente, el apoyo de estos soportes se refuerza con elementos inclinados que se fijan a los soportes y al piso. Estos detalles se especifican en los planos de fabricación.

5.1.2 SISTEMA 2. TRANSMISIÓN Y ARRASTRE DE CARGA

El segundo sistema corresponde a la trasmisión de movimiento y arrastre del sistema de carga. Los componentes de este conjunto son elementos que permiten el giro del sistema de carga (masas desbalanceadas) y generan la condición de apoyo simple. Además, contrarrestan el desplazamiento lateral y mantienen co-lineal al eje de transmisión de potencia y carga. Estos elementos en conjunto se muestran en la Figura 5.3.

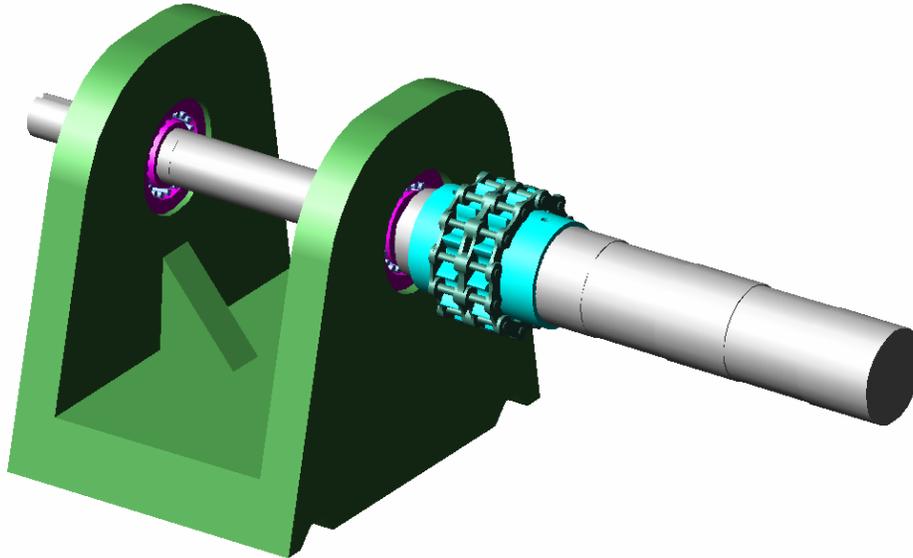


Figura 5.3. Conjunto del sistema de transmisión de movimiento y arrastre del sistema de carga

El primer elemento es la chumacera, de forma trapezoidal, este elemento debe ser suficiente robusto para absorber la vibración inherente que provoca el sistema al girar. Como se puede observar posee en la parte inferior las contra-guías mencionadas del sistema estructural para su correcto posicionamiento y alineamiento. Este mismo elemento tiene un par de cajas con escalón del mismo diámetro para alojar las pistas de un par de rodamientos cónicos que permiten la rotación del eje. (Figura 5.4)

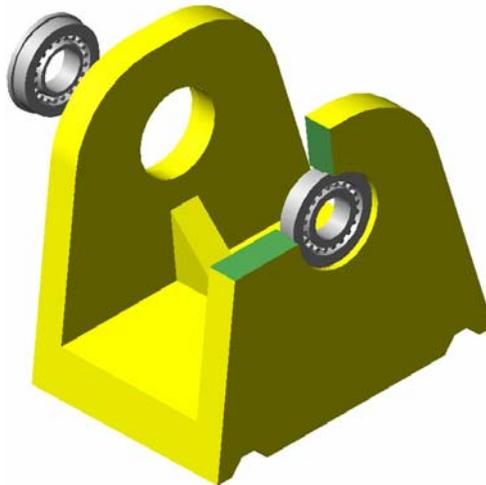


Figura 5.4. Configuración de la chumacera

La aplicación del par producido por el motor eléctrico se transmite al eje a través del acoplamiento que se observa en uno de sus extremos, en este caso la geometría del eje se simplifica al eliminar las diferentes medidas de rodamientos estandarizándolos. Como se puede observar los rodamientos son cónicos y están encontrados; el ensamble de eje y

rodamientos se facilita y restringe el desplazamiento lineal por la disposición de las pistas en el mismo. Existe en el eje una parte roscada, donde están dispuestas dos tuercas que refuerzan la posición. El acoplamiento de la fuente motriz y eje de transmisión se realiza mediante un arreglo cadena de dos cordones y catarinas. Los últimos elementos se acoplan a las respectivas salientes de flechas a acoplar, y se sujetan mediante un sistema de chaveta y prisioneros para mantener la posición y el arrastre. (Figura 5.5).

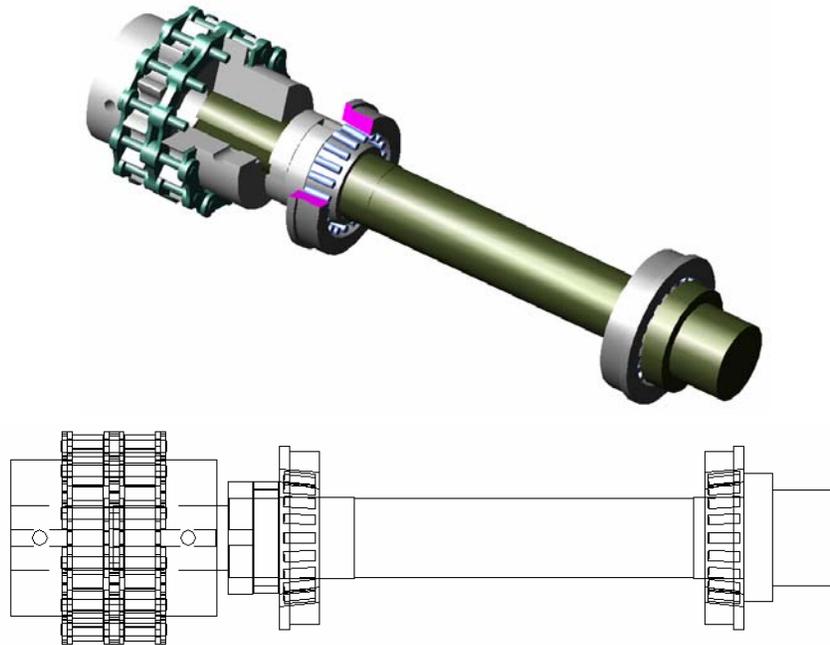


Figura 5.5. Configuración del sistema de transmisión de giro

La rotación del sistema anterior arrastra al sistema de carga por medio del acoplamiento cadena-atarina. La configuración de este sistema es similar al descrito en el párrafo anterior (fuente motriz eje de transmisión) consta de una primera sección de acoplamiento en el extremo libre de eje de transmisión, donde se confina una atarina en la sección de eje sobresaliente. Para garantizar el momento de torsión e impedir el movimiento axial relativo entre ambos componentes se recomienda el uso de una chaveta y un tronillo opresor.

Por otra parte, el eje del sistema de carga posee la misma configuración de acoplamiento antes descrito. En particular la atarina se inserta al muñón del eje de carga de manera ajustada manteniendo su posición. La rotación conjunta de los ejes (sistema de transmisión-eje de carga) se da gracias al acoplamiento entre atarinas mediante la cadena de dos cordones. (Figuras 5.6 y 5.7)

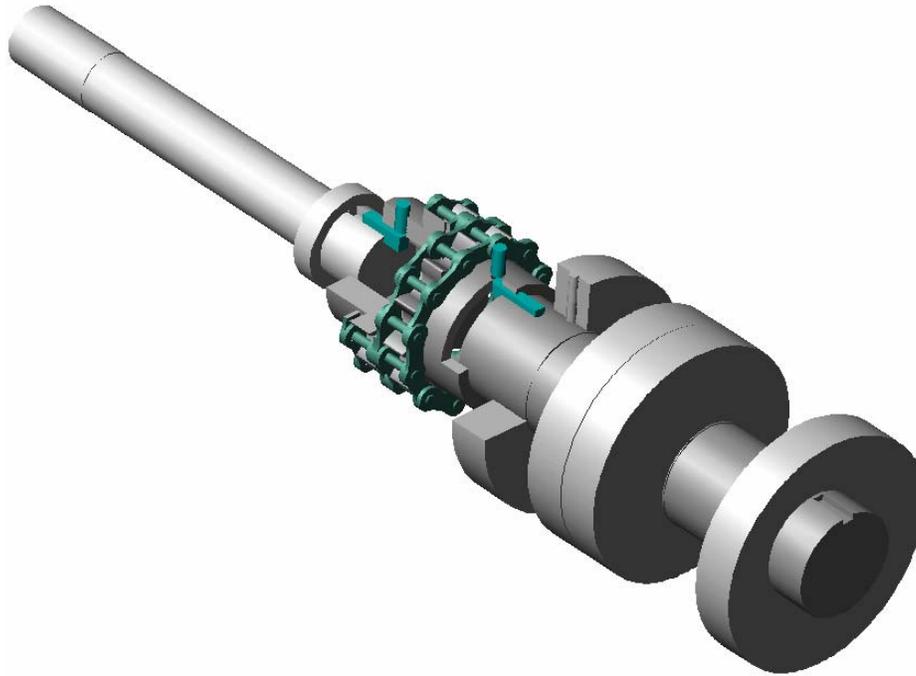


Figura 5.6. Configuración del sistema de arrastre

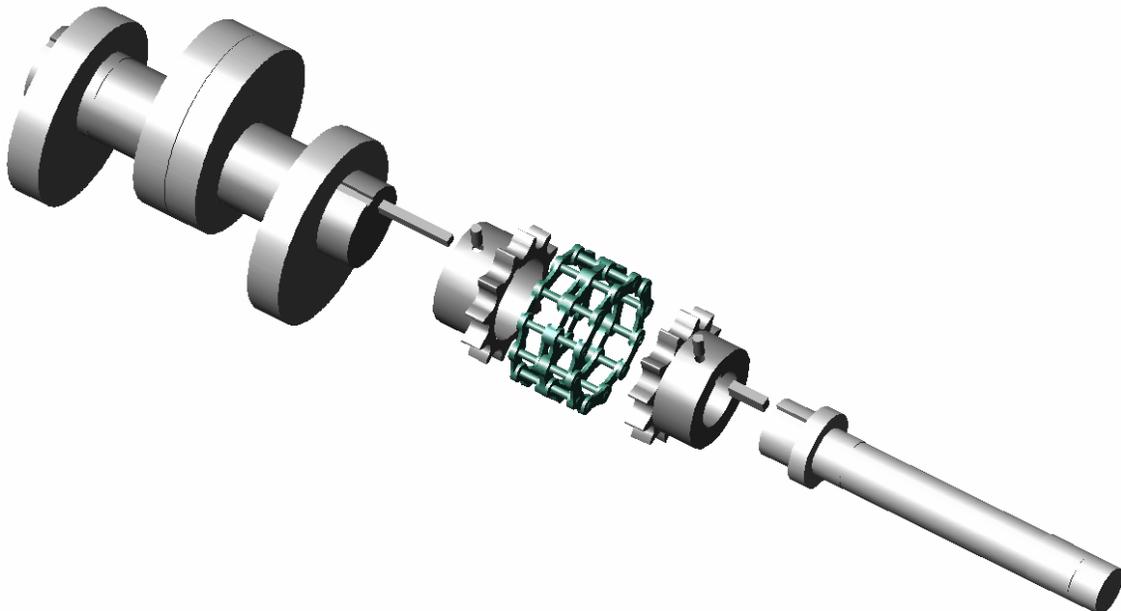


Figura 5.7. Configuración de los diferentes componentes del sistema de arrastre en explosivo (vista opuesta)

Tanto el movimiento, como el régimen de carga se cumplen con la disposición de los componentes en la configuración descrita. (Simplemente apoyado)

5.1.3. SISTEMA 3. SISTEMA DE APOYO Y ROTACIÓN

Brindar tanto el punto de apoyo, permitir la rotación del sistema de carga, y mantener éste en su posición, son parte de la función del tercer conjunto. Este sistema no es otra cosa que un acoplamiento flexible con la misma configuración al que arrastra la carga que, al girar, transmite el movimiento de rotación un sistema de eje apoyado en dos rodamientos. Los dos rodamientos se encuentran montados sobre una estructura que le brinda soporte y estabilidad, conformando una unidad, como se muestra en la Figura 5.8.

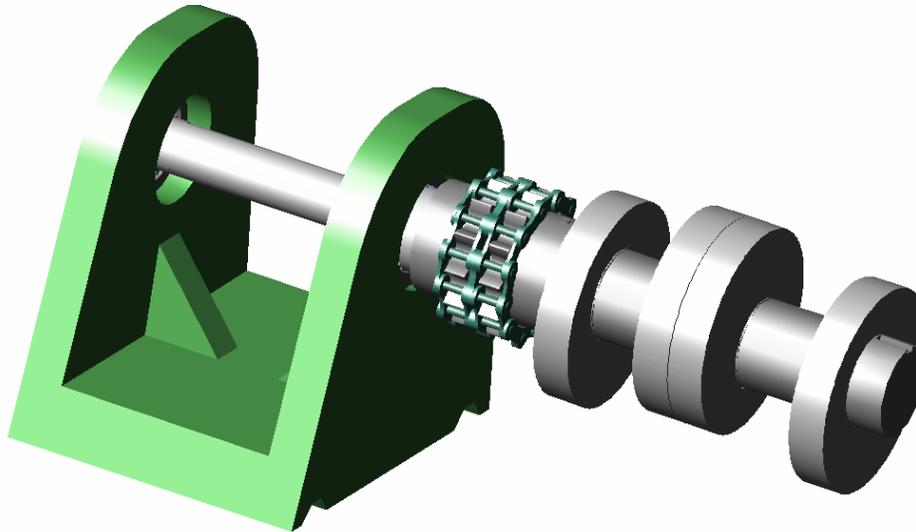


Figura 5.8. Sistema de apoyo y rotación.

La simplicidad del conjunto permite mantener los mismos parámetros de configuración de anteriores sistemas descritos, con solo leves modificaciones, manteniendo la restricción de desplazamiento axial del eje de carga, además de facilitar el montaje y posicionamiento. Una chumacera con dos cajas Con esto se logra mantener la carga apoyada sobre los cojinetes con independencia en cada uno de los lados que sirven de apoyo y compensar posibles diferencias en la alineación.

5.1.4 POSICIONAMIENTO Y FIJACIÓN DE SISTEMAS

Dadas las características físicas de los componentes, la estructura de soporte y las condiciones de carga del banco, es preciso el adecuado ensamble y fijación de cada uno de los sistemas antes analizados; tanto para soportarlo rígidamente como mantenerlo unido a la base estructural. Para este fin se forma una brida mediante tornillos entre la pieza a sujetar (chumaceras, placa del motor o bielas), el sistema estructural y la placa que sirve como junta. En la Figura 5.9 se esquematiza la forma de fijación elegida para ensamble.

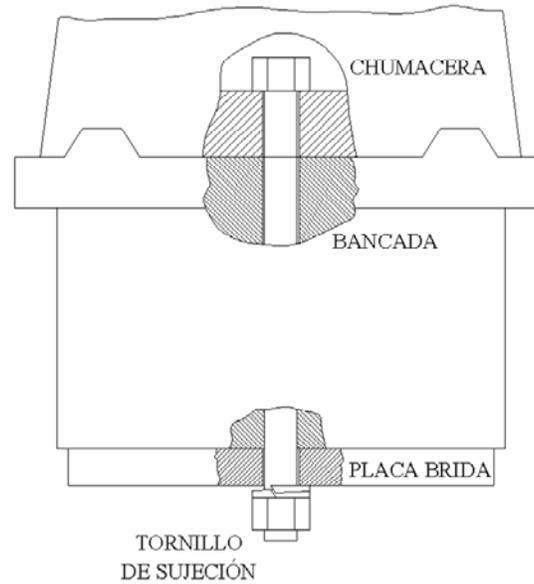


Figura 5.9. Esquema del sistema de sujeción.

En particular para el ensamble el conjunto dos y tres, correspondientes a las chumaceras, se soportan mediante el sistema descrito de bridas. La chumacera tiene cuatro barrenos en los que se insertan los tornillos de suficiente longitud para que lleguen hasta la parte inferior donde se colocan un par de placas brida con los correspondientes barrenos. Las tuercas permiten hacer el apriete además de contar con una rondana de presión para asegurar la posición. (Figura 5.10)

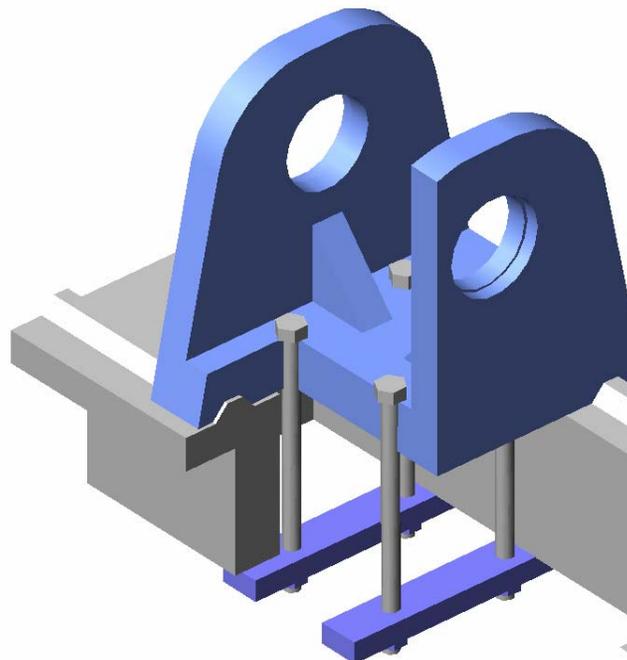


Figura 5.10. Sistema de apoyo y rotación.

Este arreglo permite versatilidad de admitir movimientos a diferentes distancias de los conjuntos sobre la mesa, además, elimina barrenos indeseables en la bancada.

La altura prefijada, según las dimensiones del sistema de prueba, se mantiene a través de todas las configuraciones que soportan todo el conjunto. El sistema de bielas dispuesto en la mesa debe de tener un comportamiento diferente, en este caso, la sujeción se hace mediante un bridado a través de un solo tornillo. Como se observa en la figura 5.11 la biela tiene libertad de moverse mediante un buje que se fija a través de dos placas unida entre si, pero restringe el movimiento lateral. Éste conjunto es el que se fija a la mesa una vez que se tiene la posición de los claros del sistema de carga.

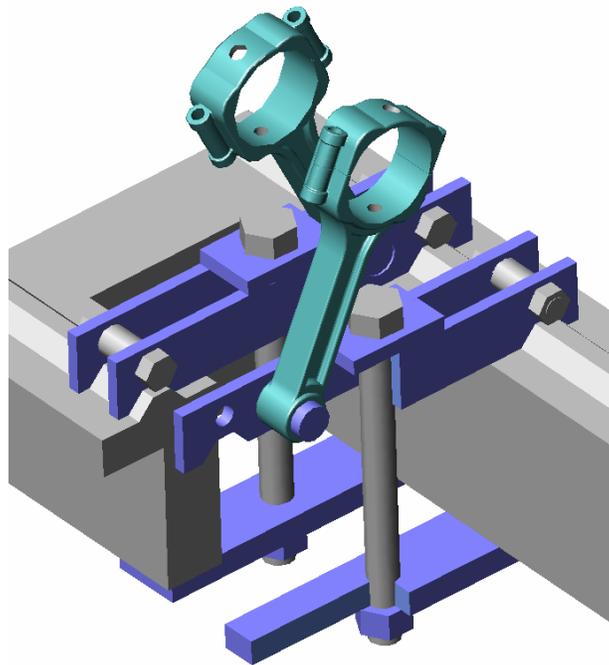


Figura 5.11. Sistema de apoyo y rotación.

Dadas las características físicas de los componentes, la estructura de soporte y de las condiciones de carga del banco, es preciso que para la ubicación de éste se disponga de un lugar apropiado con la infraestructura de soporte necesaria. Tanto para soportarlo rígidamente como para tener un aislamiento mecánico con el resto del entorno, es necesario contar con una base estructural. Dadas las características requeridas, estructura debe considerar las dimensiones acordes a las del banco. Este sistema se esquematiza en el anexo de planos.

5.2. MATERIALES

Dentro del proceso de diseño, la adecuada selección de materiales representa una etapa importante, ya que involucra relaciones combinadas entre la geometría, la función, la exposición, la operación y el tipo de material. Esta permite que exista una variedad de combinaciones entre las cuales se pueda ubicar la que proporcione las mayores ventajas para los aspectos considerados. Aunque especificaciones precisas se requerirían en diseños con alto grado de detalle, en el diseño conceptual se requiere de una selección preliminar de los posibles materiales con los cuales pudieran fabricarse los componentes principales. Esto permite contar con una base de referencia para mejoras posteriores, tanto de la geometría como de las características mecánicas deseadas, incluso de modificaciones funcionales del elemento específico.

De esta manera, se sugieren materiales que muestran factibilidad para la fabricación de los componentes principales del banco. Para la estructura de soporte (bancada) se propone el uso de hierro dúctil (nodular), éste material presenta características que combinan la resistencia mecánica del material con una distribución de esfuerzos debida a la forma, lo cual puede resultar mecánicamente ventajoso, aligerando el peso y disminuyendo el costo. Esta fundición combina las ventajas de la fundición gris con las del acero para ingeniería. Posee buena fluidez y moldeabilidad, excelente mecanizado y buena resistencia al desgaste. Además, la fundición dúctil tiene un número de propiedades semejantes a las del acero, tales como alta resistencia, tenacidad, ductilidad, conformabilidad, entre otras; las excepcionales propiedades están dadas por los nódulos esféricos del grafito, las regiones de matriz relativamente dúctil que permiten deformaciones sin que se presente fractura.

Otro aspecto importante de este tipo de elementos estructurales es su amplio uso comercial, facilidad de adquisición y costo moderado.

Para facilitar su fabricación y ensamble, se sugiere que las chumaceras se fabriquen de hierro dúctil, adoptando la forma de una estructura trapezoidal a manera de cajón, que permite aprovechar el volumen del material para las correspondientes zonas de maquinado (cajas para rodamientos, guías, barrenos), sin decremento significativo de la resistencia del elemento. Los espacios generados permiten la ubicación de los diversos sistemas de sujeción en la parte interna, los cuales se fijan a su estructura y a los elementos a los cuales proporcionarán movimiento.

En los soporte para las flechas (transmisión y libre), se sugiere la utilización de un acero con buena resistencia a la fatiga y al desgaste, como serían los AISI 4340, 9840, ya que, debido a su condición de movilidad, estos elementos estarán sujetos a cargas repetitivas, alternantes y de contacto. Aunado, permiten el tratamiento térmico para obtener las condiciones adecuadas de trabajo.

Para el sistema bridas, dada la necesidad de mantener el sistema sin desplazamiento lineal y aprovechando la configuración de los soportes, éstos puede ser fabricados con placas de acero de bajo carbono, como el 1018. La ubicación de estas no demanda una mejor resistencia a las cargas de trabajo.

Para el soporte del banco, la estructura constituye los anclajes del sistema al piso se sugiere la utilización de barras roscadas de acero unidas al armado de la cimentación, proporcionando así una mejor unión entre esta última y la estructura del conjunto. Mayores especificaciones de esos materiales, así como para elementos específicos, resultarán del análisis preciso de cada uno de los sistemas y sus elementos.

5.3. DIMENSIONES GENERALES

Uno de los aspectos importantes en el proceso de diseño, es la elaboración de esquemas y dibujos técnicos que permitan una mejor comprensión y visualización del proyecto. Dada la complejidad y el número de elementos que componen el banco, este apartado se detalla en el anexo correspondiente a los planos. Se muestran los detalles de mayor relevancia, esencialmente los referentes a los componentes principales que conforman el conjunto.

Para incrementar la certidumbre del funcionamiento del banco en su conjunto, se realizó una verificación general con el propósito de confirmar el cumplimiento de las características impuestas para su desempeño. Esta consistió en revisar que no existiese interferencia alguna entre las parte móviles (accionamiento) durante la operación del banco. Lo anterior implica que cada uno de los movimientos muestre independencia y pueda ser realizado de manera simultánea con el movimiento de otros miembros. Tal es el caso del sistema de arrastre, que debe ejecutar movimientos de rotación y permitir el contacto con los cojinetes

Estas representaciones se ejemplifican con una serie de componentes que, de acuerdo a su papel, forma y dimensiones, se consideran los más importantes en la estructura del banco. En este sentido, se muestran en el anexo los planos de los diferentes componentes en los cuales se aprecian las dimensiones.

Considerando los requisitos de operación y la funcionalidad del banco, cuyas capacidades en la aplicación no varían las magnitudes de desplazamiento y deformaciones máximas esperadas, se obtuvieron las dimensiones globales. De esta manera, se realizaron los esquemas y dibujos generales del banco de acuerdo a las dimensiones propuestas.

Posteriormente, se realizaron algunos cálculos para la verificación de la geometría con relación a las cargas y deformaciones supuestas.

5.4. CÁLCULO DE COMPONENTES

Como parte complementaria del diseño, es necesario verificar la resistencia mecánica de los componentes. Aunque el cálculo de tal resistencia para todos los elementos del banco no está dentro del alcance de este proyecto, con el propósito de esquematizar los de mayor trascendencia para su estimación. De acuerdo a sus funciones, se considera que estos elementos estarán sujetos a las mayores cargas dentro del conjunto, transmitiendo el movimiento y la carga los cojinetes de prueba. Por tanto, es importante estimar la magnitud y localización de las cargas y deformaciones que experimenta, criterios que pueden ser utilizados para posibles modificaciones en la geometría o el material propuestos.

Para el análisis se utilizó una herramienta computacional aplicando el método de elementos finitos (FEM), proporcionando información valiosa para la especificación de espesores y longitudes recomendables de una manera general. Los resultados permiten confirmar que las dimensiones y espesores propuestos fuesen adecuados para resistir las solicitaciones esperadas. Para el proceso de análisis, se hizo uso de un programa comercial de elementos finitos (ABAQUS®).

Como base para la modelación, se partió de la geometría mostrada en la Figura 5.12, obtenida a través de un programa de CAD. En la figura se muestra el volumen principal de la estructura de la carga y las bielas. La siguiente etapa en la modelación, consistió en la discretización de los volúmenes y en la generación de los elementos finitos tipo “tetraedro lineal de cuatro nodos”, resultando una malla como la mostrada en la Figura 5.13.

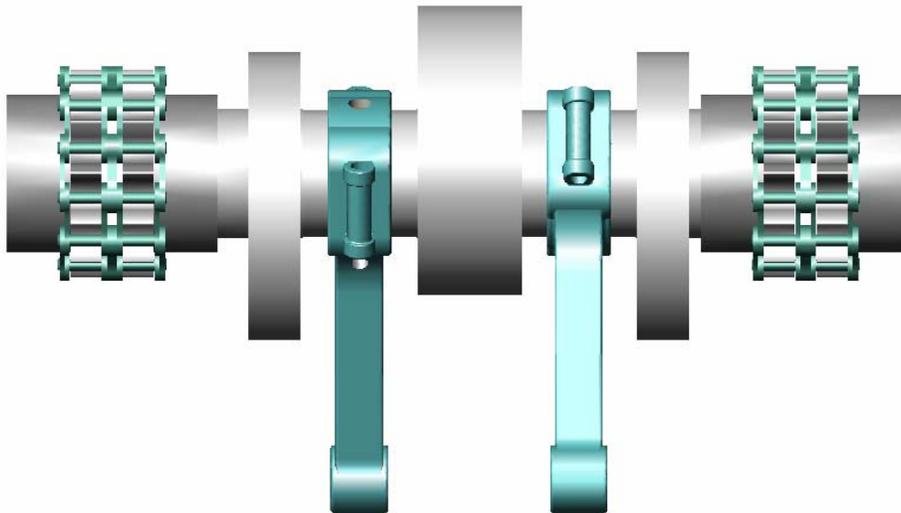


Figura 5.12. Sistema de cargas, apoyo y bielas.

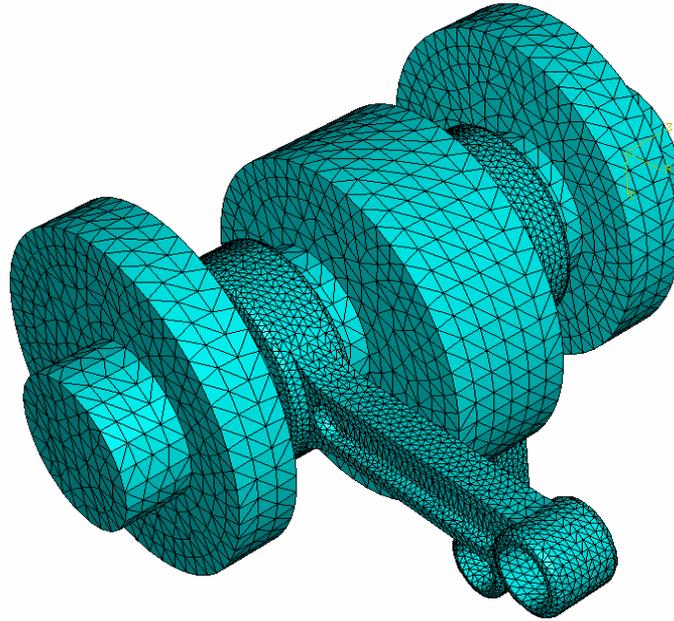


Figura 5.13 Sistema mallado

Una vez generada la malla de elementos sobre los volúmenes base del sistema de carga, se procedió a indicar las restricciones de movimiento y localización de aplicación de las cargas. Las restricciones consistieron en desplazamientos nulos de los nodos en la parte superior, zona donde se acopla con el pistón que aplica la carga vertical, mientras que las cargas se aplicaron en el eje de soporte, como se indica en la Figura 5.14.

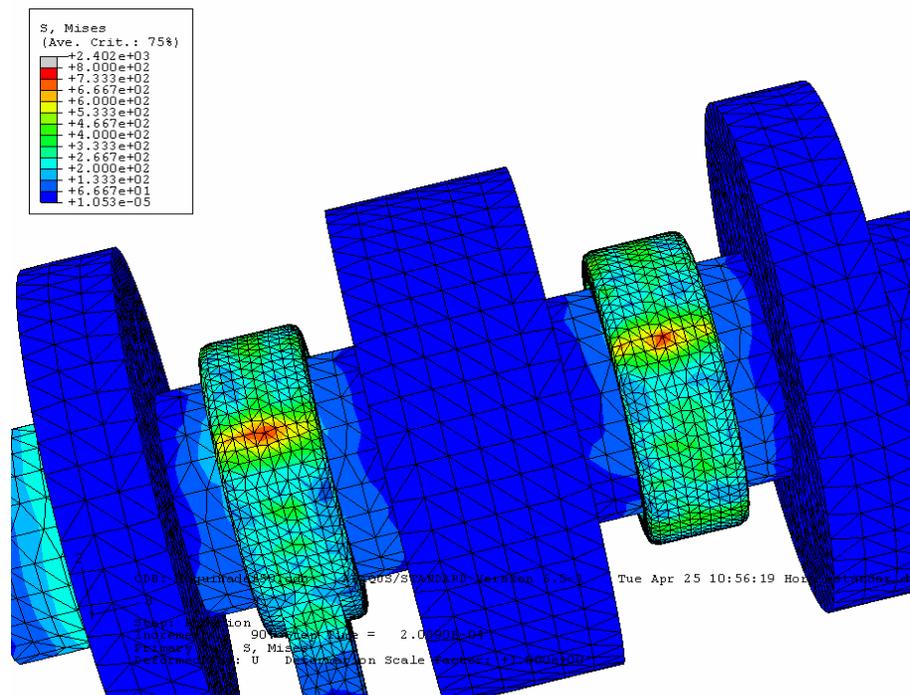


Figura 5.14 Sistema de cargas, apoyo y bielas.

Los valores de carga se estimaron en 4 kN, como requerimiento de diseño, y con una presión horizontal de 1000 N/mm², por efecto del empuje del cilindro. En concordancia con el material de apoyo, se utilizaron las propiedades mecánicas del acero, considerando un módulo de elasticidad de 200 GPa, y Poisson de 0,29.

5.5. GENERALIDADES DE LA INSTRUMENTACIÓN

Un sistema de control consta de diversos dispositivos, conocidos como transductores, encargados de convertir la energía o información de un tipo a otra. La finalidad, del dispositivo es detectar la variación del fenómeno de interés, registrarla y transformarla para poder presentar correspondientemente una salida aceptable de la señal, que pueda ser manejada posteriormente para su análisis.

El diseño del sistema de control consiste en la selección de los transductores necesarios y adecuados para la detección, transmisión e indicación de las variables a medir. Este proceso generalmente no es sencillo, por esta razón y debido al nivel de detalle del diseño aquí presentado, cuyo propósito principal es el diseño del banco, se presentan de manera general algunas propuestas de las posibles formas de instrumentación, que permitan medir y obtener los parámetros necesarios para la obtención de las propiedades mecánicas de los cojinetes.

Dentro de las alternativas de control e instrumentación se encuentran, el uso de manómetros para monitorear la presión del fluido que se inyecta en los cojinetes para establecer la condición hidrodinámica. De manera complementaria o redundante, dependiendo de la exactitud de los instrumentos de medición disponibles, se pueden elaborar transductores específicos con base en la técnica de extensometría, tomando de base los propios elementos del banco, que constituyan por sí mismos un papel semejante a las celdas de carga. También pueden desarrollarse celdas de carga *ex profeso*, que se coloquen entre los elementos de las bielas y/o bajo la superficie de rodamiento del cojinete, en el área de contacto entre biela y cojinete.

Sin embargo, la tarea de instrumentación debe ser analizada a mayor detalle, lo cual no está en el alcance del presente trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los cojinetes de deslizamiento es uno de los componentes de mayor complejidad que participan en el comportamiento dinámico de los motores de combustión interna. Las propiedades mecánicas y físicas demandadas en estos elementos solo se pueden conocer a través de dispositivos experimentales diseñados ex profeso, éste es el caso de la máquina de desgaste desarrollada en la UDIATEM. Éste sistema permitió obtener resultados que caracterizan el daño en cojinetes de biela, sin embargo, su operación se interrumpió por daños estructurales y riesgo en su funcionamiento, por lo que se requirió de rediseñar el sistema.

Es importante destacar que la selección de una metodología adecuada para el rediseño del sistema implicó en gran medida el éxito de los resultados. En este rubro se eligió trabajar bajo un sistema IDEF0, estructura que planificó el proceso de rediseño partiendo de un primer nivel abstracto de la problemática y posteriormente se generaron niveles graduales en los cuales se fueron estableciendo objetivos particulares y los pasos para lograr llegar a estos. El seguimiento ésta metodología permitió el rediseño de la máquina de desgaste al generar un mejor control en las actividades a desarrollar y una secuencia lógica en la resolución del problema. Esta metodología puede servir como base para futuras investigaciones en temas afines.

Asimismo, resultó importante conocer el funcionamiento de la máquina original y su entorno, permitió establecer los requerimientos operacionales y del usuario relevantes para el estudio, asimismo, identificar la problemática presente.

Por otro lado, el diagnostico realizado al sistema se complementó con un análisis de falla, ésta técnica permitió identificar prácticas incorrectas o ineficientes. En la selección de materiales influyo la propagación de grietas por fatiga que se adaptaron piezas de un torno el cual nunca esta sometido a tales sollicitaciones. Éste mismo comportamiento se relacionó con el daño presentado en la chumacera.

Por otra parte se identificó que el sistema que debía transmitir carga a los cojinetes, si bien cumplía con tal función, no era el más óptimo para tal efecto. El sistema tenía el inconveniente de ser una viga en cantiliver, por lo que parte de la carga la absorbía el empotramiento, que representaban las mordazas del *chuck* encargado de transmitir el giro y en consecuencia se registró el daño en los rodamientos.

La evaluación del sistema y sus inconvenientes dieron pauta a generar las opciones de rediseño, ponderando estas de acuerdo al grado de importancia en una matriz de decisión, resultando en la propuesta de rediseño.

La parte medular del rediseño fue la correcta aplicación de la carga en los cojinetes, se optó por una configuración de una barra simplemente apoyada. Éste arreglo permite hacer una mejor evaluación en el desempeño del cojinete dado que la carga se aplica en la cara del mismo, y se restringe el desplazamiento radial que generan las masas excéntricas al girar. Los acoplamientos flexibles hacen la función de apoyos simples en los extremos del sistema de carga y en la transmisión del movimiento relativo de la fuente motriz.

A partir de este arreglo se agruparon los diferentes dispositivos en conjuntos para dar lugar a las características funcionales y de diseño aplicadas sobre el sistema de prueba. Los mecanismos planteados para solucionar cada requerimiento se diseñaron tomando en cuenta su sencillez de ensamble, manufactura, espacio requerido y funcionalidad, sin sacrificar la esencia en la configuración y el desempeño mecánico requerido por la máquina. Sin embargo, el diseño propuesto es susceptible de posibles mejoras, tanto de índole mecánica como de funcionamiento y operación.

Por otra parte, la vibración inherente al sistema de carga no es posible eliminarla, sin embargo, la adecuada selección de los materiales usados permitirá que estos no sufran daño al considerar que soportan esta condición mucho mejor que los del sistema anterior, asimismo, eliminar concentradores de esfuerzo es otro de los factores que permitirá que estos no se dañen.

En cuanto al análisis de elemento finito muestra que los mayores esfuerzos se localizan en los cojinetes, éstos a su vez transmiten la carga las bielas que los contienen y que se encuentran empotradas en la bancada, por lo que se deberá poner especial atención durante el proceso de fabricación de esta pieza, para evitar que existan discontinuidades en dicha área.

Del desarrollo del proyecto se estima que la construcción de un banco de este tipo representar un costo alto, sin embargo, los resultados que se pueden obtener al caracterizar nuevos materiales desarrollados para cojinetes lo hacen factible. En este sentido es importante recalcar la intención de rehusar partes del sistema anterior, como el motor que arrastra el sistema de carga, el sistema de arranque, la bomba de aceite, los sensores de temperatura y las correspondientes bielas. Que en su conjunto representan un ahorro considerable al costo final.

El objetivo primordial de esta investigación se cumplió, proponer el rediseño conceptual de un banco de pruebas, ideado para simular condiciones de operación de cojinetes de deslizamiento y representar la alternativa más viable para su fabricación, específicamente al hacer un análisis de requerimientos y necesidades, y cubrir cada parámetro en función de su importancia sin perder de vista la funcionalidad del sistema.

Recomendaciones y trabajos futuros

A partir de las características del rediseño conceptual presentado, se puede construir el sistema y añadir aspectos físicos para su mejor funcionamiento. Este último punto corresponde al proceso de instrumentación, ya que en este trabajo se incluye de manera somera la instrumentación. Resulta ser un punto de interés para asegurar un control preciso de los parámetros de prueba durante su operación. Esto se puede combinar con los sistemas de adquisición de datos, que presentan la posibilidad de tener un pronto manejo de las señales y representaciones en tiempo real, pudiendo ser utilizados para el correcto desarrollo de las pruebas.

El rediseño presentado servirá además, para dar continuidad al desarrollo de nuevas aleaciones para cojinetes donde se involucra su caracterización y en la propuesta de mejoras en la microestructura de los materiales y por consecuencia en modificaciones a los procesos de fabricación.

REFERENCIAS

- [1] Wright, I. C. *Design Methods in Engineering And Product Design*, McGraw Hill, 1998
- [2] Ayala, A., Armenta, M. S., Borja, V. *Ingeniería Inversa Orientado a Objeto de Ingeniería Mecánica*, IV Congreso Anual de la SOMIM, México, 1998
- [3] Shigley, J. E. *Diseño en Ingeniería Mecánica*, McGraw Hill, 1985
- [4] Yacuzzi, E., Martín, F. *Aplicación Del Método De Kano En El Diseño De Un Producto Farmacéutico*, CEMA Working Papers, Universidad del CEMA, 2003
- [5] Draft Federal Information, Processing Standards, *Integration Definition For Function Modeling (IDEFO)*, Publication 183, 1993
- [6] Assurance Quality Assessors, Consultado 10 de Noviembre 2005, www.aqa.es/descargas/Metodología IDEFO Resumen.pdf
- [7] Ramos, T. E. *Análisis de falla en cojinetes de deslizamiento fabricados en aleaciones cobre-Plomo*, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, 2000
- [8] Shigley, J. E. *Bearing and lubrication*, McGraw Hill, 1986
- [9] Pratt G. C. *New developments in bearing materials*, Society of automotive Engineers, 1969
- [10] Pratt G. C. *Materials for Plain Bearings*, International Metallurgical Reviews, 1973
- [11] Cerrud, S., Jacobo, V. H., Ortiz, A., Schouwenaars, R. *Análisis de Falla*, Facultad de Ingeniería UNAM, 2002
- [12] Unidad de investigación y asistencia Técnica en Materiales, *Protocolo de ensayos para máquina de desgaste*, Facultad de Ingeniería UNAM, 2000
- [13] Quiroz, H., Rodríguez, M. A. *Diseño de cojinetes de deslizamiento para uso automotriz*, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, 2001
- [14] Neale, M. J. *Bearing: Tribology Handbook*, Butterworth Heinemann, 1983
- [15] Rabinowiz, L., Wiley, J. *Friction and Wear of Materials*, New York, 1995
- [16] Tecnun, *Elementos de máquinas Cojinetes hidrodinámicos*, Universidad de Navarra, 1996

- [17] William, A. Y. *Influence of Lubrication System Variables on Sleeve Bearing Performance*, Society of Automotive Engineers, 1977
- [18] Weibull, W. *Fatigue Testing: and Analysis of Results*. Oxford : Pergamon Press, 1961
- [19] Yacuzzi, E., Martín, F. *QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos*, CEMA Working Papers 234, Universidad del CEMA, 2003.
- [20] Yacuzzi, E., Martín, F. *Aplicación Del Método De Kano En El Diseño De Un Producto Farmacéutico* CEMA Working Papers, Universidad del CEMA, 2003.
- [21] Demirbileka, O. Demirkanb, H. *Universal product design involving elderly users: a participatory design model*. Applied Ergonomics 35, 2004
- [22] Faires, V. *Diseño de Elementos de Máquinas*, Noriega Editores, 2004
- [23] Stevenson, R. W. *Metals Handbook*, Vol. 7 ASM, 1984
- [24] Auria, J. M., Ibáñez, P. *Dibujo industrial conjuntos y despieces*, Thompson Editores, 2000.

Anexo 1

Planos de fabricación

Relación de planos

No. pieza	No de plano	Descripción
Ensamble	RBP – ENSAM	Ensamble general
Explosivo	RBP – EXPLO	Explosivo general

Sistema estructural (Conjunto bancada)

No. pieza	No de plano	Descripción
1	RBP – CB – 1.01	Bancada
2	RBP – CB – 1.02	Base motor
Ensamble1	RBP – CB – 1.03	Ensamble sistema estructural
Explosivo1	RBP – CB – 1.04	Explosivo sistema estructural

Sistema de carga (Conjunto masas)

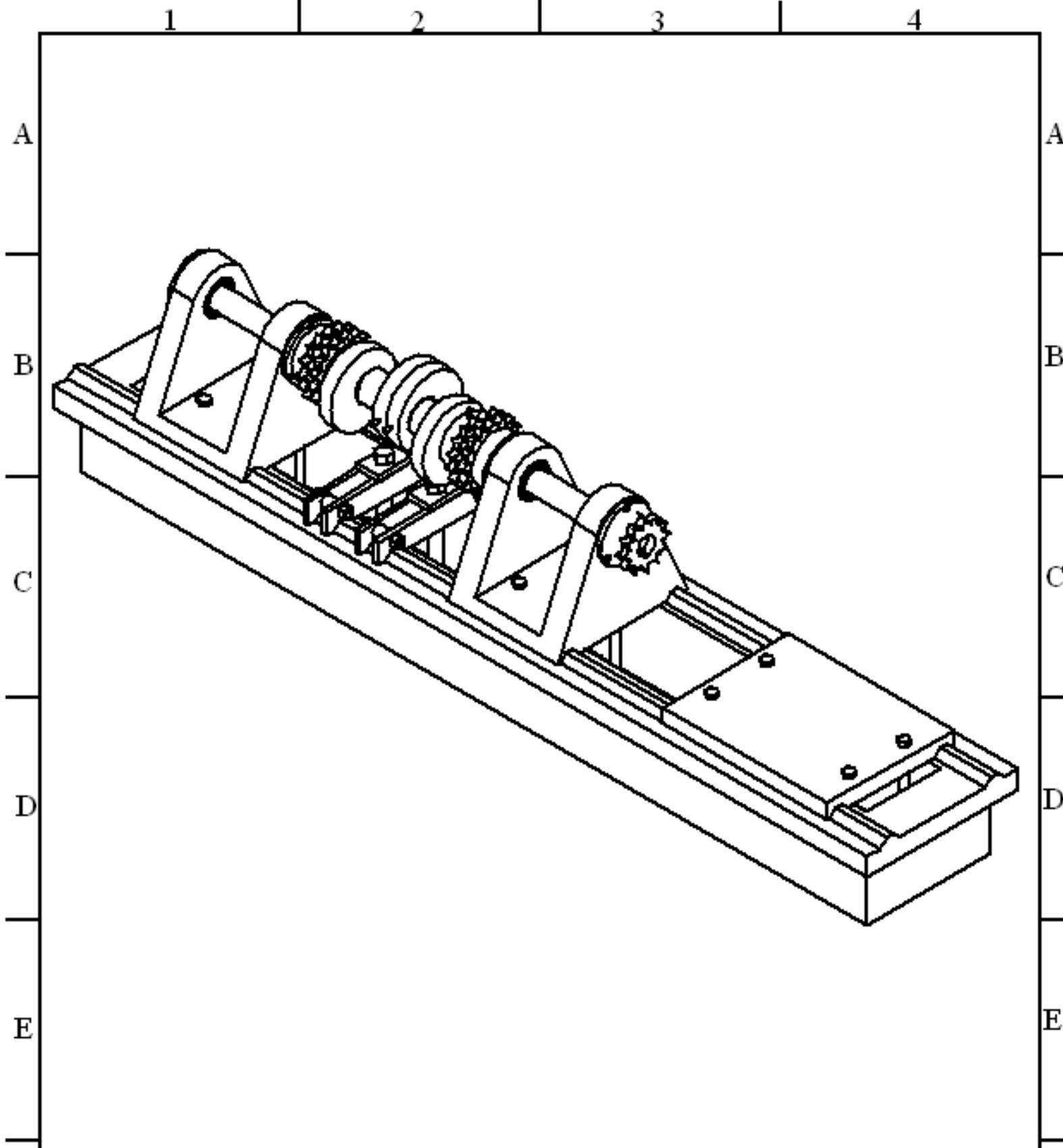
No. pieza	No de plano	Descripción
3	RBP – CM – 1.01	Eje sistema de carga
4	RBP – CM – 1.02	Masas
5	RBP – CM – 1.03	Catarina sistema de carga (Sproket Parte comercial)
Ensamble2	RBP – CM – 1.04	Ensamble sistema de carga
Explosivo2	RBP – CM – 1.05	Explosivo sistema de carga

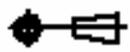
Sistema de transmisión y arrastre (Conjunto transmisión/arrastre)

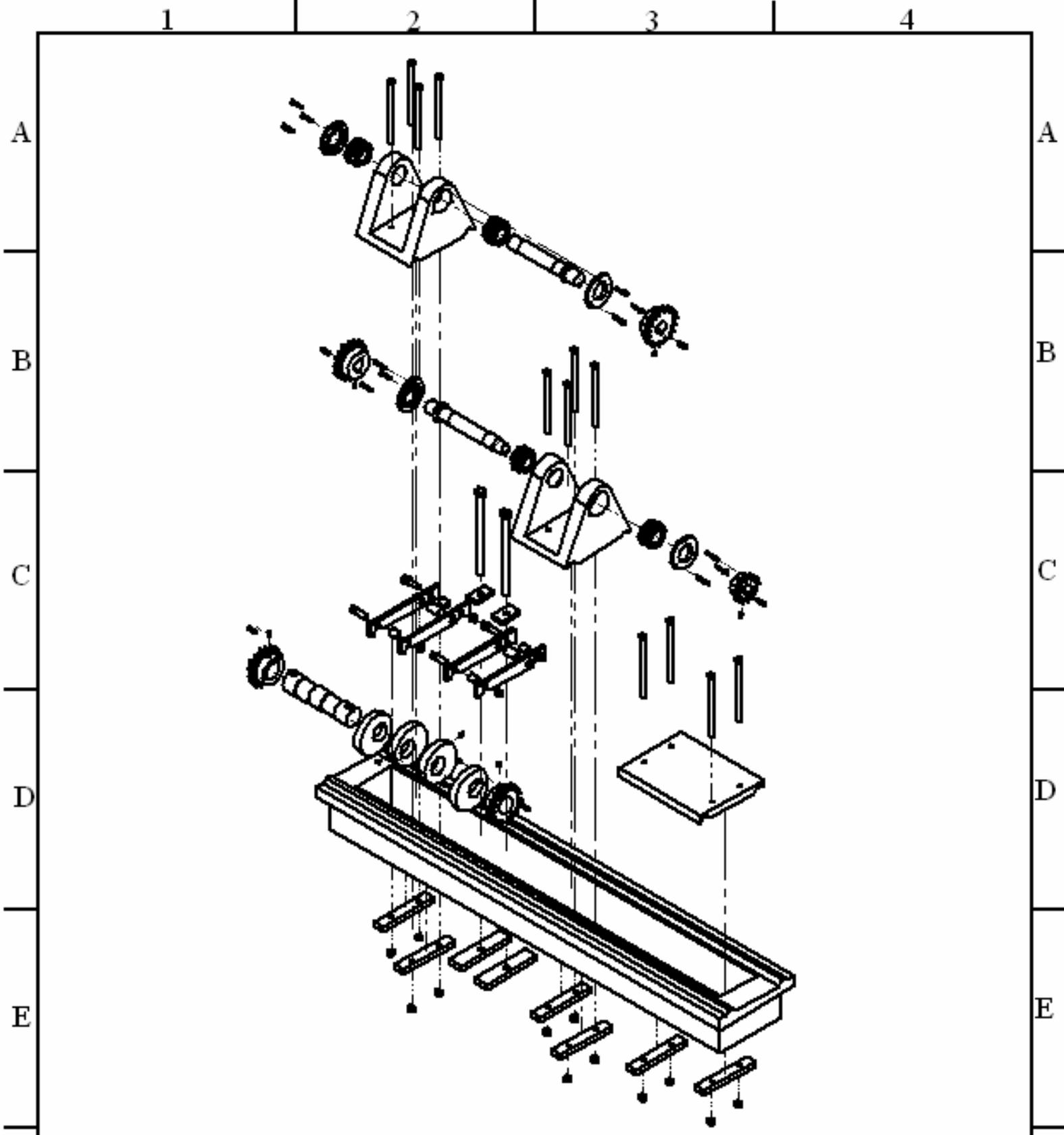
No. pieza	No de plano	Descripción
6	RBP – CT/A – 1.01	Chumaceras
7	RBP – CT – 1.02	Flecha de transmisión
8	RBP – CT/A – 1.03	Catarina sistema carga flecha (Sproket parte comercial)
9	RBP – CT – 1.04	Catarina motor flecha transmisión (Sproket parte comercial)
10	RBP – CT/A – 1.05	Tapa Chumaceras
11	RBP – CA – 1.06	Flecha de arrastre
Ensamble3	RBP – CA – 1.07	Ensamble sistema de arrastre
Explosivo3	RBP – CA – 1.08	Explosivo sistema de arrastre
Ensamble4	RBP – CT – 1.09	Ensamble sistema de transmisión
Explosivo4	RBP – CT – 1.10	Explosivo sistema de transmisión
Ensamble5	RBP – CT/A – 1.11	Ensamble chumacera
Explosivo5	RBP – CT/A – 1.12	Explosivo chumacera
Ensamble6	RBP – CA – 1.13	Ensamble chumacera sistema de arrastre
Explosivo6	RBP – CA – 1.14	Explosivo chumacera sistema de arrastre
Ensamble7	RBP – CT – 1.09	Ensamble chumacera sistema de transmisión
Explosivo7	RBP – CT – 1.10	Explosivo chumacera sistema de transmisión

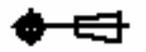
Piezas comunes a diferentes ensambles

No. pieza	No de plano	Descripción
12	RBP – PC – 1.01	Anclas [Chumaceras/base motor]
13	RBP – PC – 1.02	Bases [Bielas]
14	RBP – PC – 1.03	Anclas bielas
15	RBP – PC – 1.04	Contra anclas
16	RBP – PC – 1.05	Separador bielas
Ensamble8	RBP – CT – 1.06	Ensamble base para bielas
Explosivo8	RBP – CT – 1.07	Explosivo base para bielas



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		Solid Edge V16		PARTE: Ensamble máquina de desgaste	
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DESUJO:	MATERIA:	DUREZA:
		Solid Edge V16	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DESENÑO:	ESCALA:	Acot:
Ejes $X \pm .1$ Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.		
XX $\pm .01$		FECHA:	ARCEIVO:	PLANO No.	
XXX $\pm .001$		10 / 03 / 2006	Ensam todo.dft	RBP - ENSAM	



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Explosivo máquina de desgaste			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DESOJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Solid Edge V16	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DESÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	S / E	
XX $\pm .01$		FECHA:	ARCHEVO:	PLANO No.	
XXX $\pm .001$		10 / 03 / 2006	Exp lotodo.d ft	RBP - EXPLO	

1

2

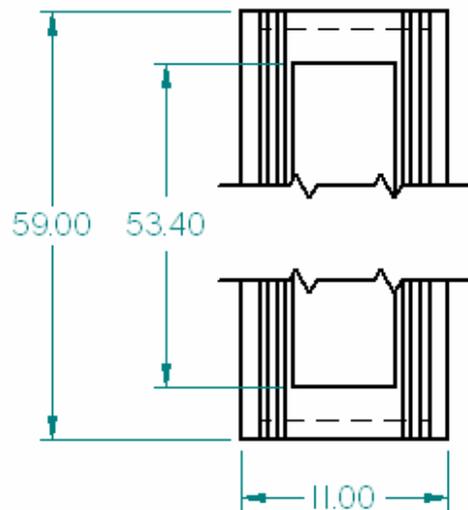
3

4

5

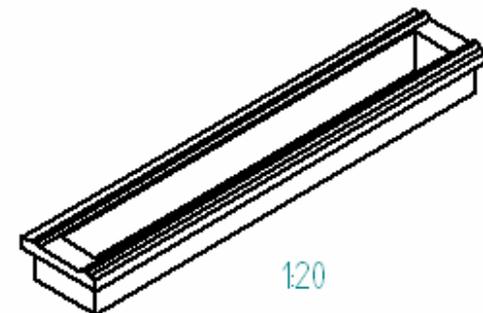
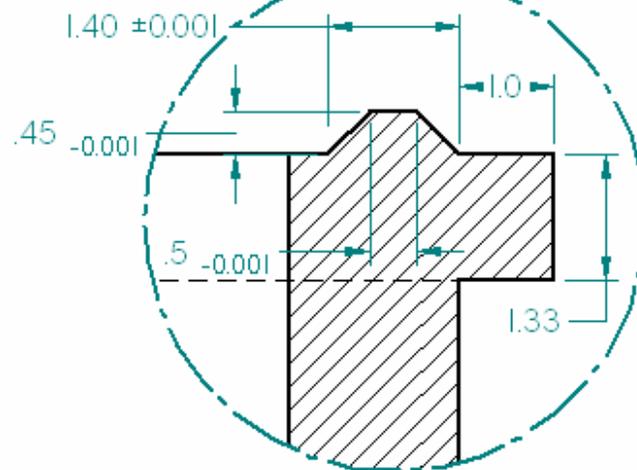
6

A



DETALLE B

1:2

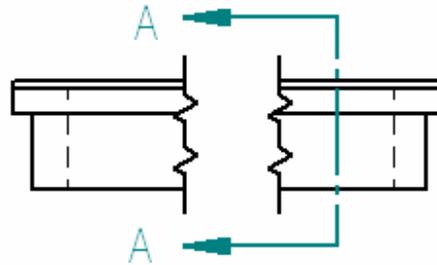
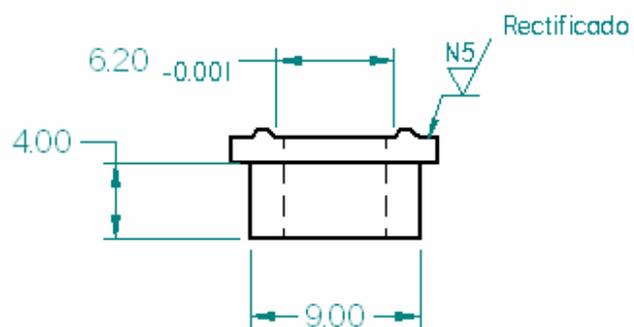


A

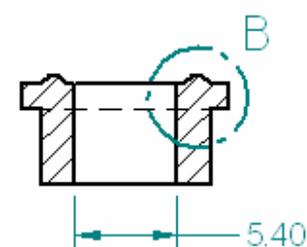
B

B

C

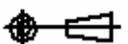


SECCION A-A



C

D

PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16			PARTE: Bancada		
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
1	1	Sistema estructural	E.R.T.	Fundición	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot: inch
Lineales X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	1 : 10	
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Bancada.par	RBP - CB - 1.01	

1

2

3

4

5

6

D

1 2 3 4 5 6

A

B

C

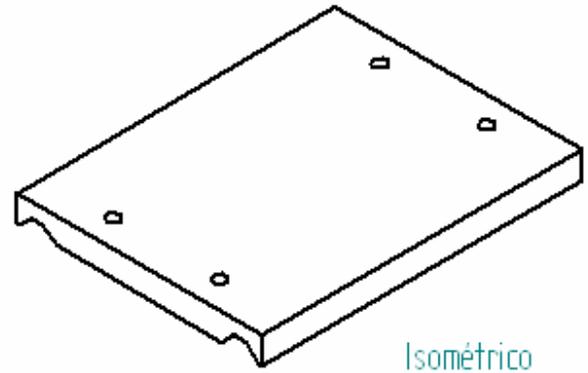
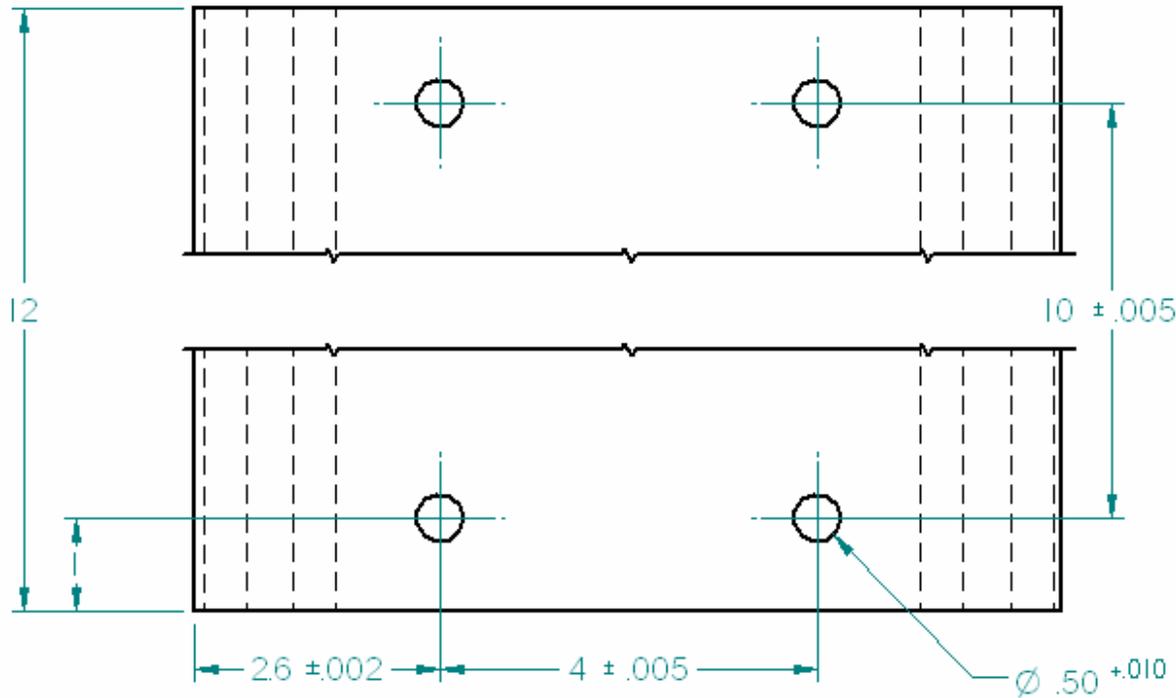
D

A

B

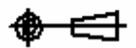
C

D

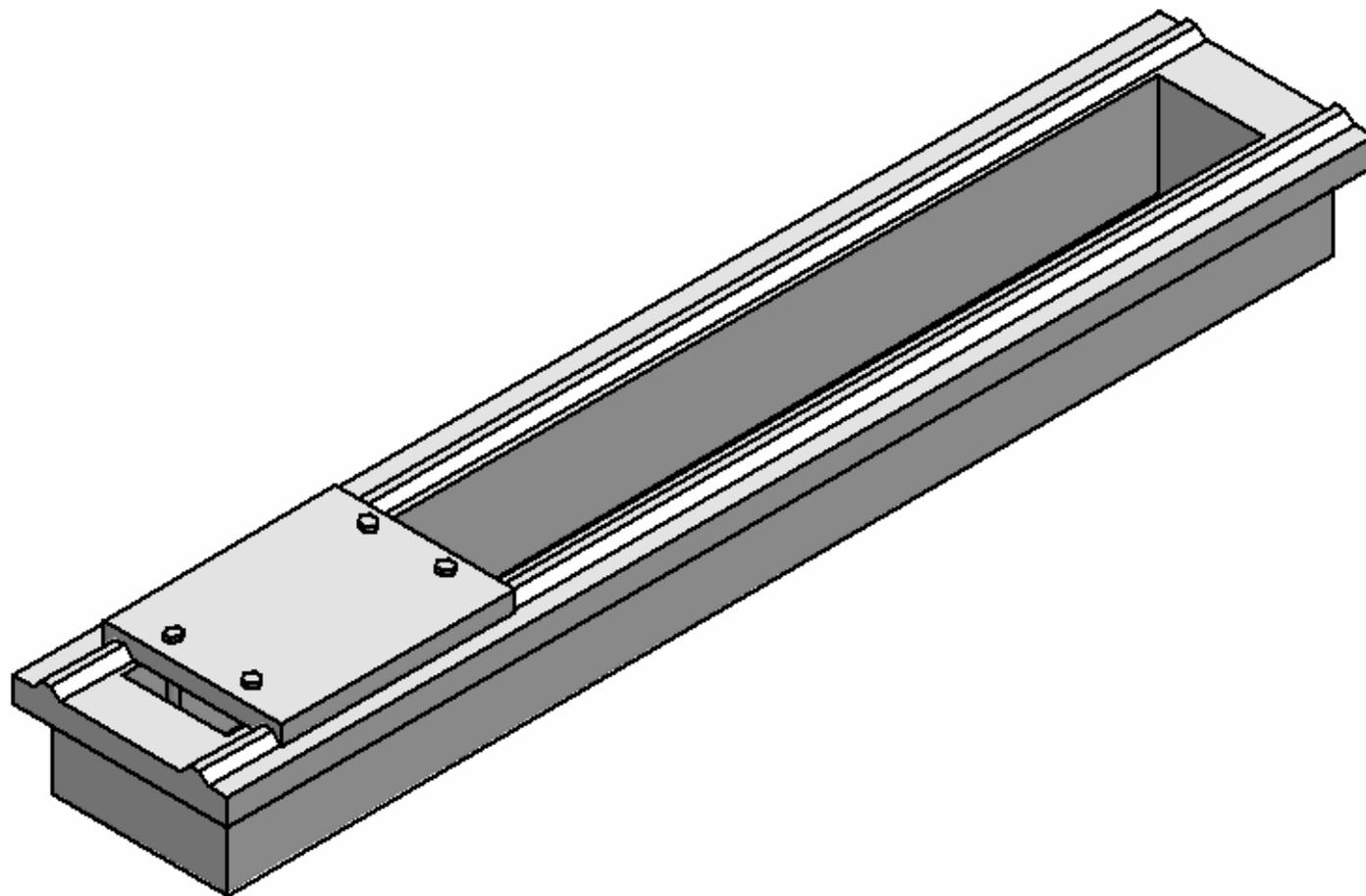


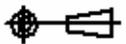
Isométrico
15



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16			PARTE: Base de motor		
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
2	1	Solid Edge V16	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Base motor.par	RBP - CB - 1.02	

1 2 3 4 5 6



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PART: Ensamble sistema estructural			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	s / e	
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Ensamble1.dft	RBP - CB - 1.03	

1

2

3

4

5

6

A

A

B

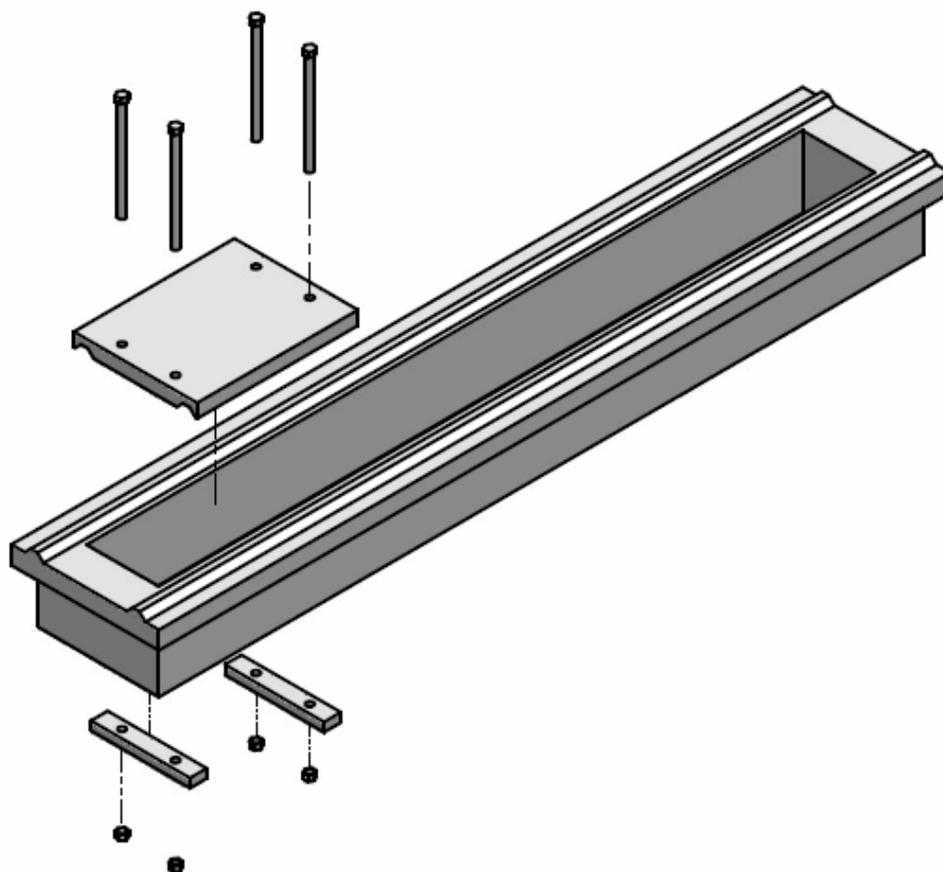
B

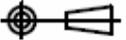
C

C

D

D



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Explosivo sistema estructural			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	s / e	
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Explosivo1.par	RBP - CB - 1.04	

1

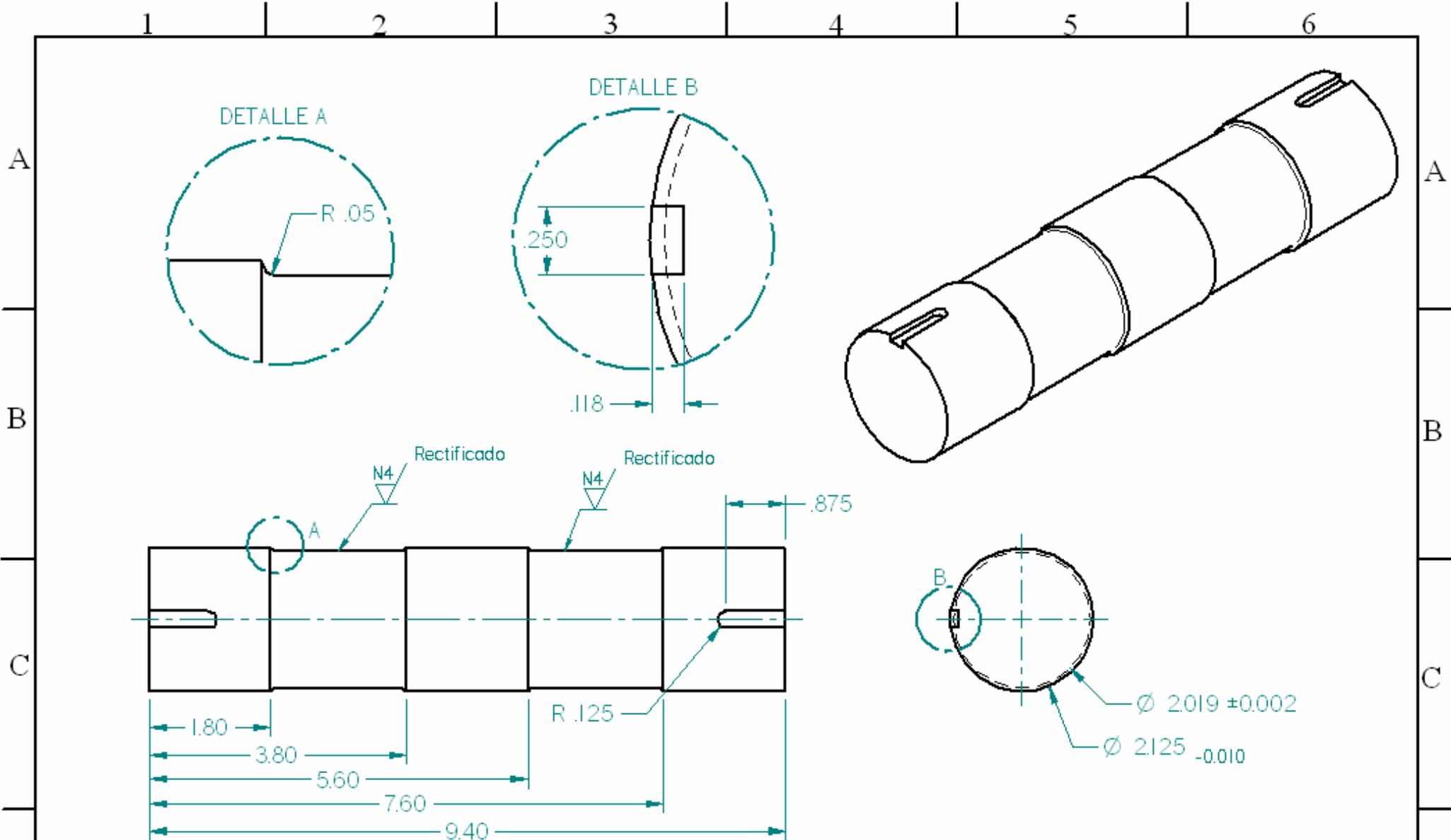
2

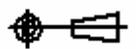
3

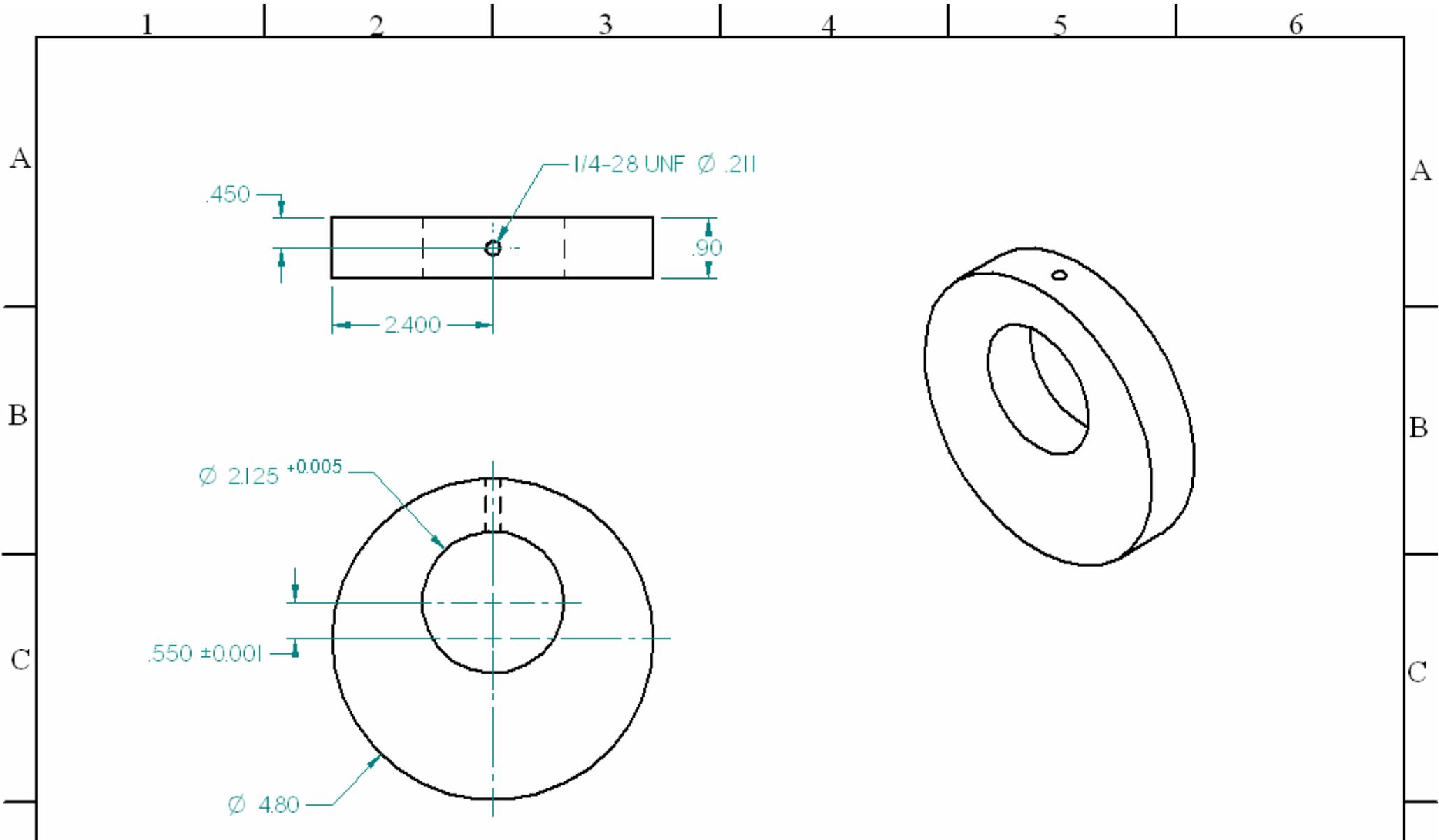
4

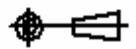
5

6



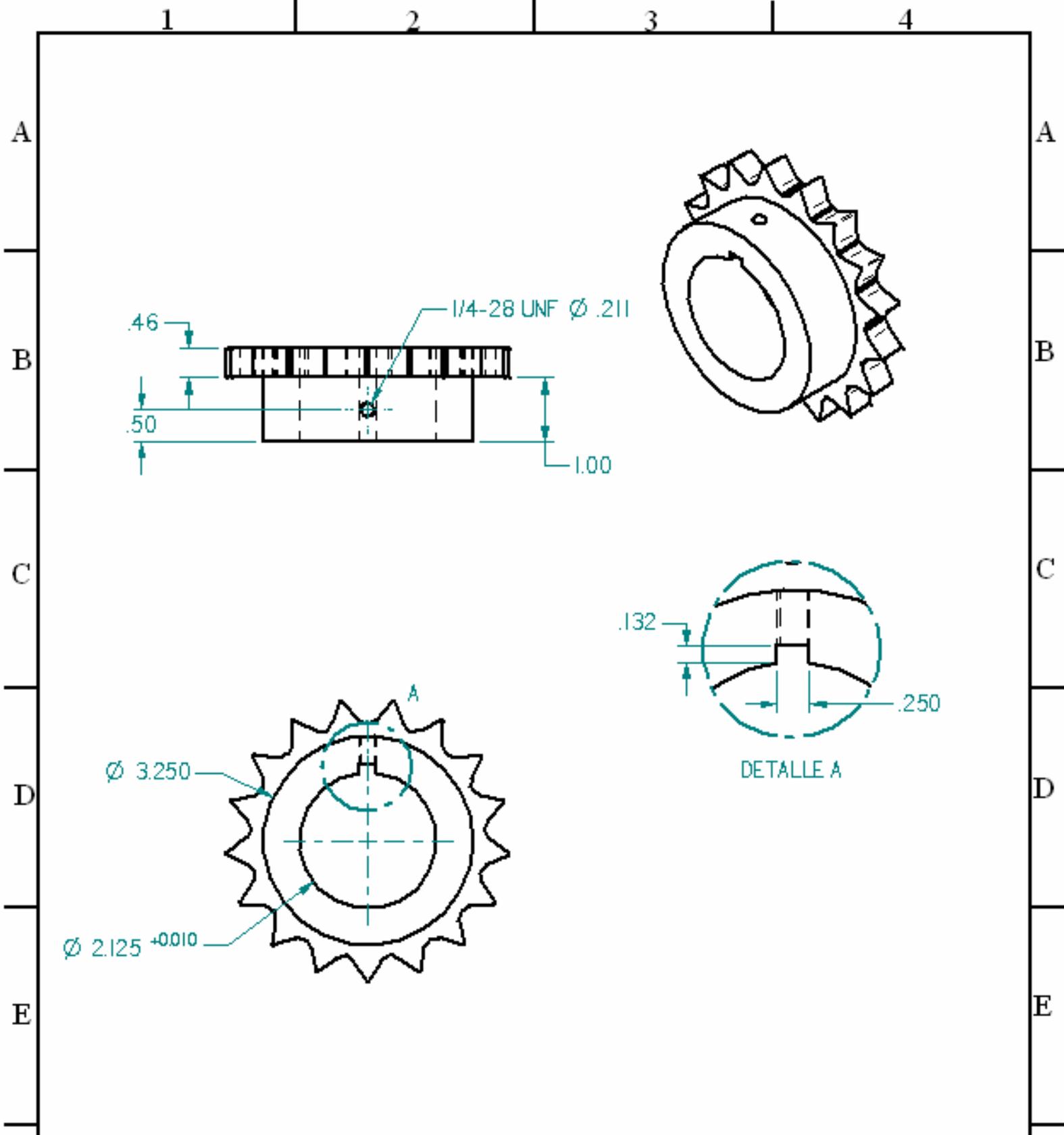
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Eje de sistema de carga			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
3	1	Contacto con cojinetes	E.R.T.	ACERO 4140	50 HRc
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
		10 / 03 / 2006	EJEMASAS.par	RBP - CM -1.01	

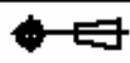


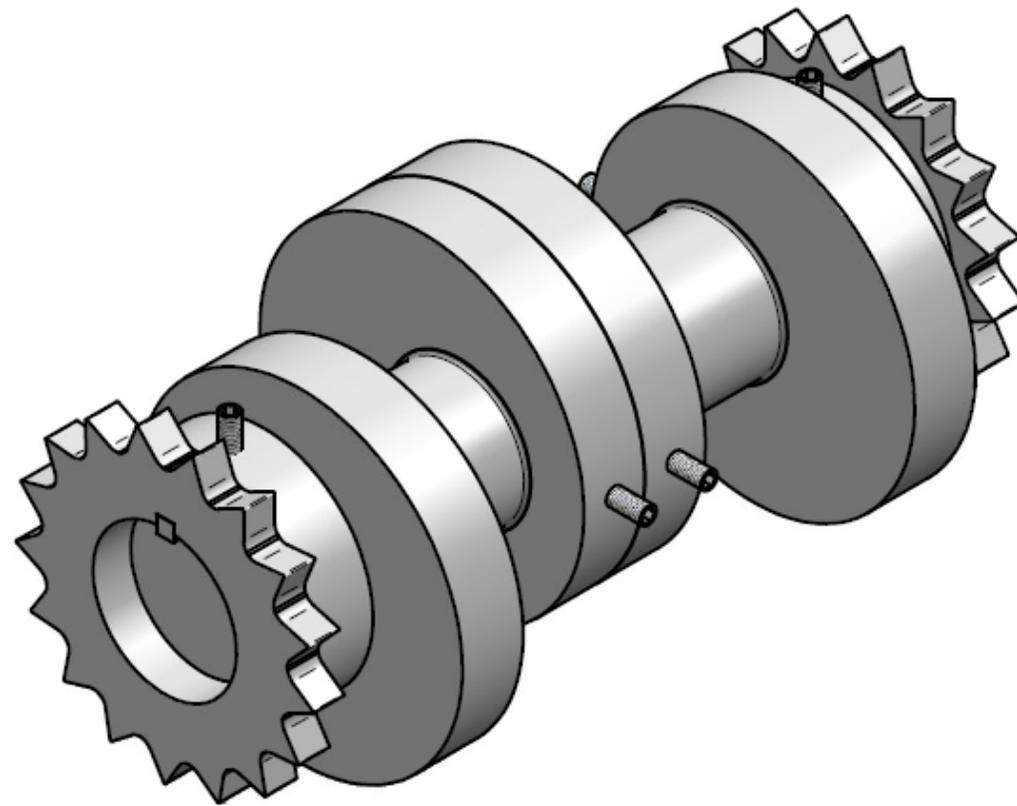
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		Solid Edge V16 ^{PARTE:} MASAS			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
6	4	Solid Edge V16	E.R.T.	ACERO 4140	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X \pm .1 Angulares \pm 0.5 .XX \pm .01 .XXX \pm .001			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:
			A.O.P.	E.R.T.	1 : 1
			FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.
			10 / 03 / 2006	MASAS.prt	RBP - CM -2.02

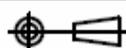
D

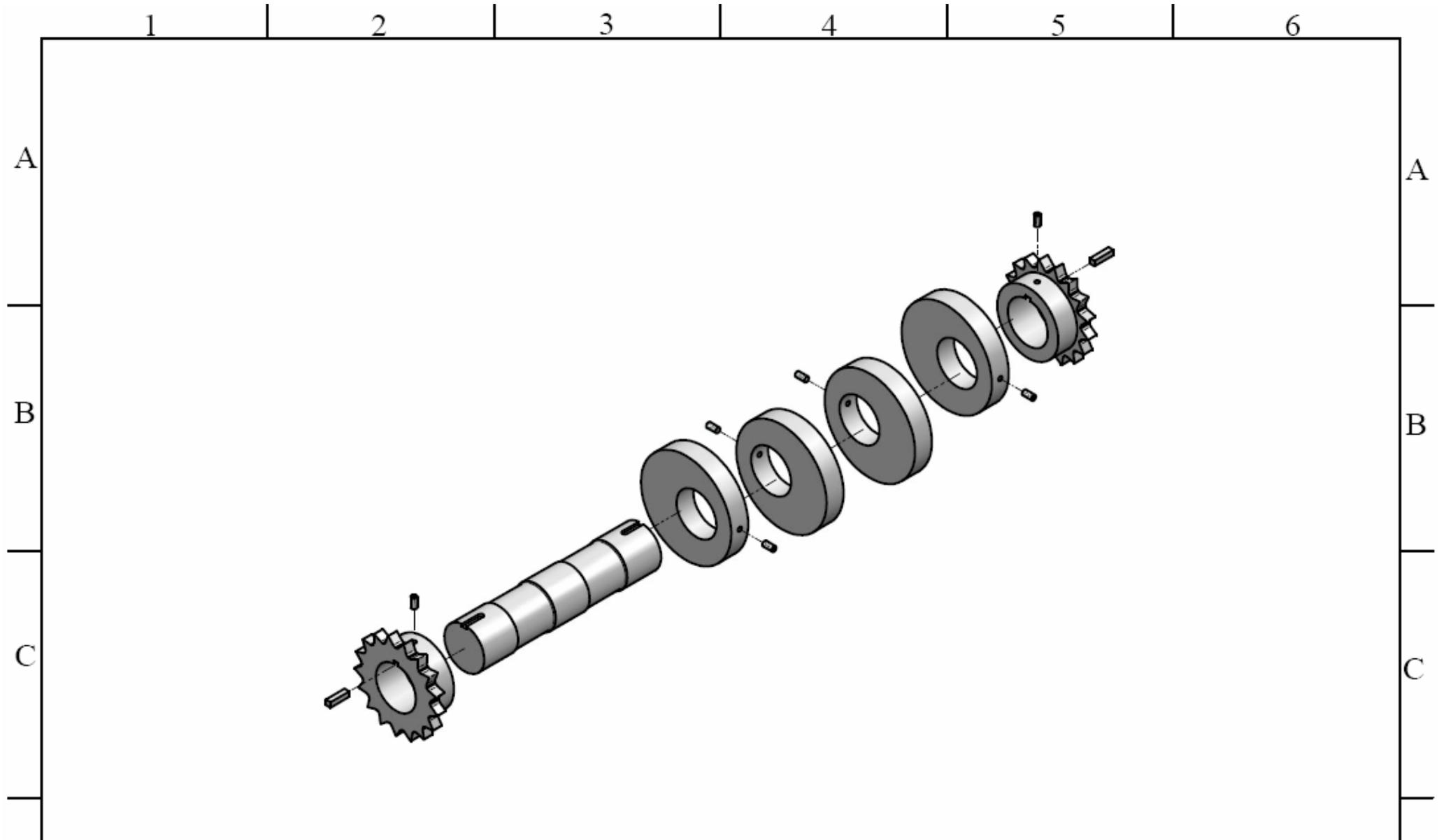
D

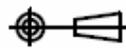


PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Sproket sistema de carga			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DEBIDO:	MATERIAL:	DUREZA:
5	2	Sproket No.60 60B17	E.R.T.	ACERO	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DESEÑO:	ESCALA:	Anot:
Lineales X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
XX ± .01 XXX ± .001		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
		10 / 03 / 2006	SPROKETMASA\$par	RBP - CM -1.03	

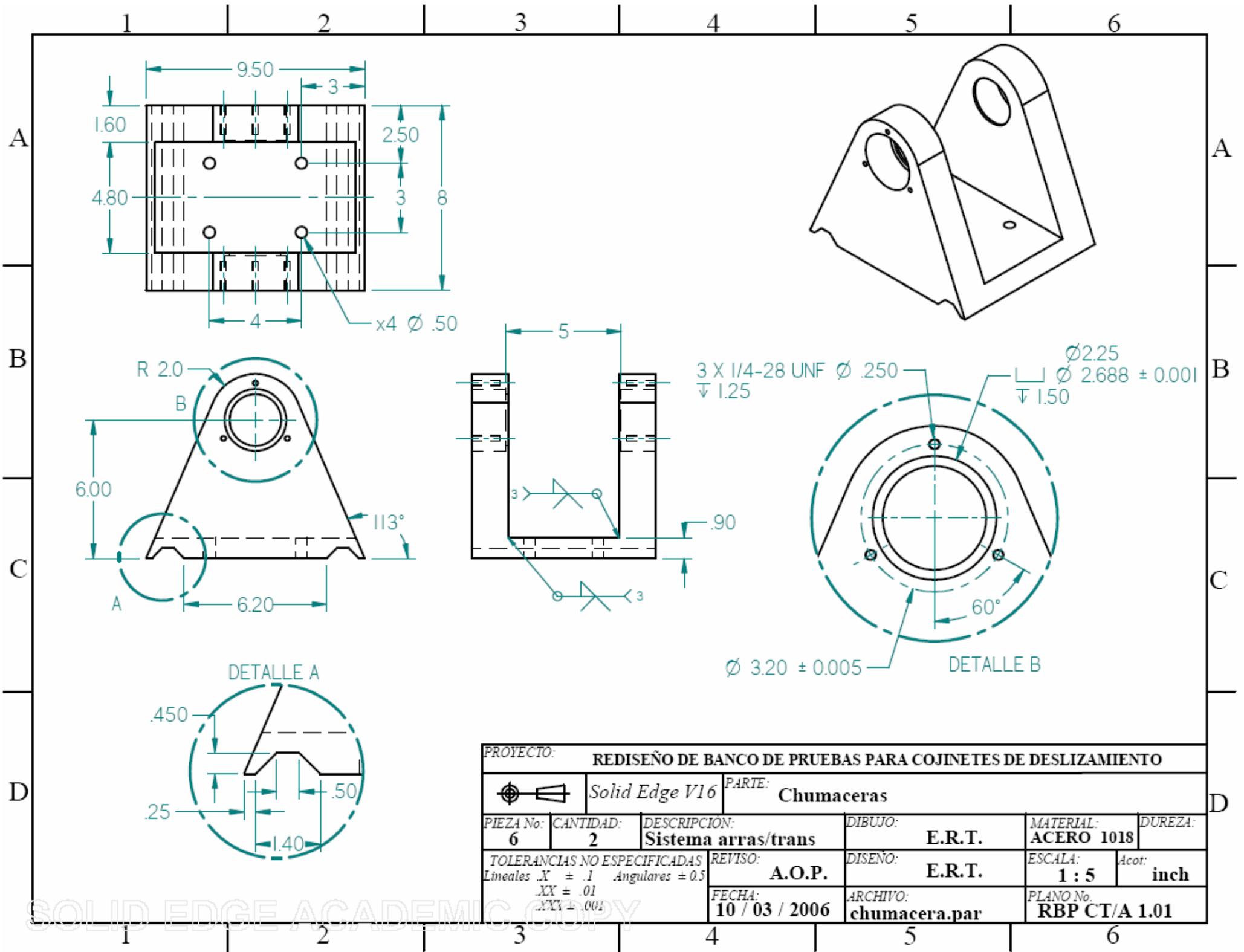


PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Ensamble sistema de carga			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acor:
Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	s / e	
.XX $\pm .01$		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX $\pm .001$		10 / 03 / 2006	Ensamble2.asm	RBP - CM - 1.04	



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Explosivo sistema de carga			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA: s / e	Acot:
FECHA: 10 / 03 / 2006			ARCHIVO: Explosivo2.dft	PLANO No. RBP - CM - 1.05	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
Solid Edge V16		PARTE: Chumaceras			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
6	2	Sistema arras/trans	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISENO:	ESCALA:	Acot:
Lineales X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	1 : 5	inch
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXY ± .001		10 / 03 / 2006	chumacera.par	RBP CT/A 1.01	

1 2 3 4 5 6

A

B

C

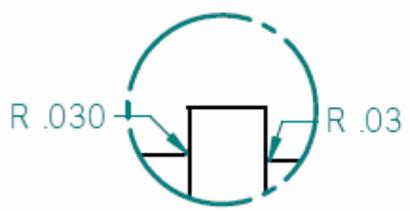
D

A

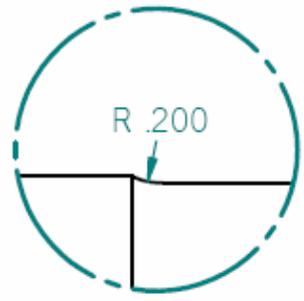
B

C

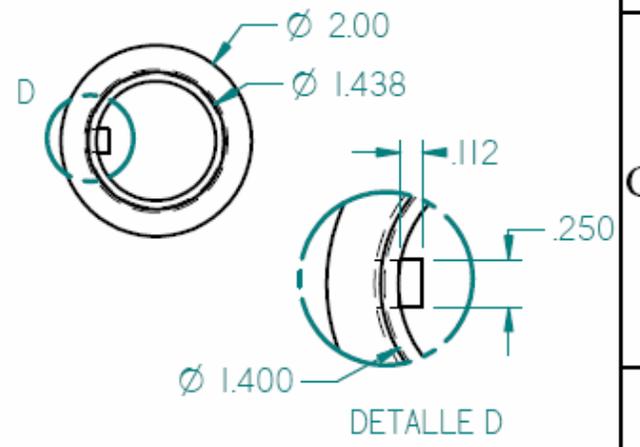
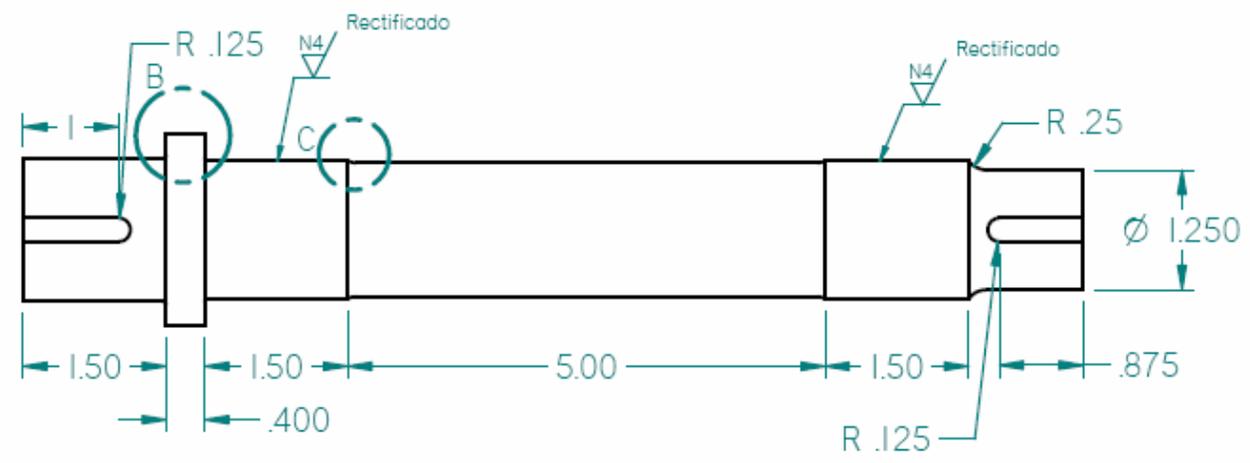
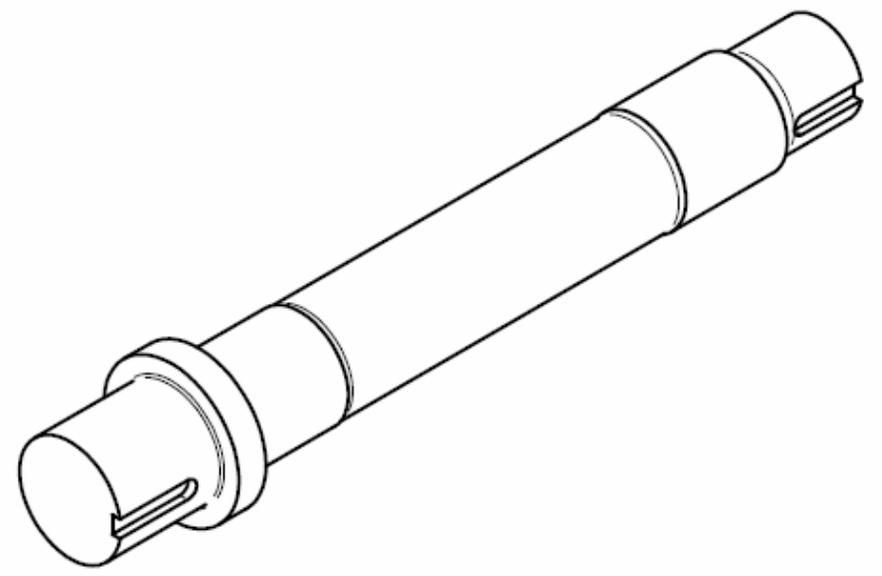
D



DETALLE B



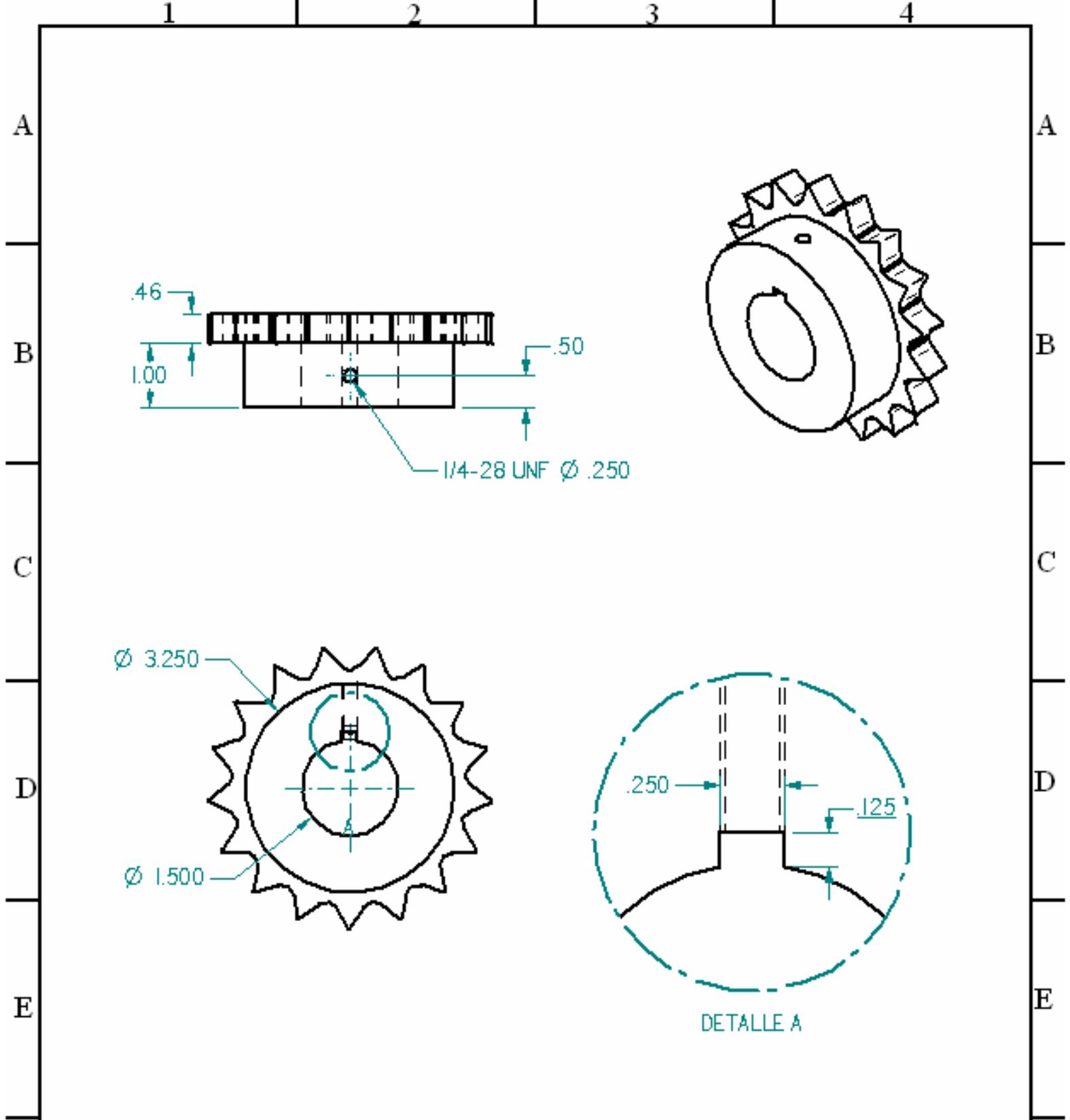
DETALLE C



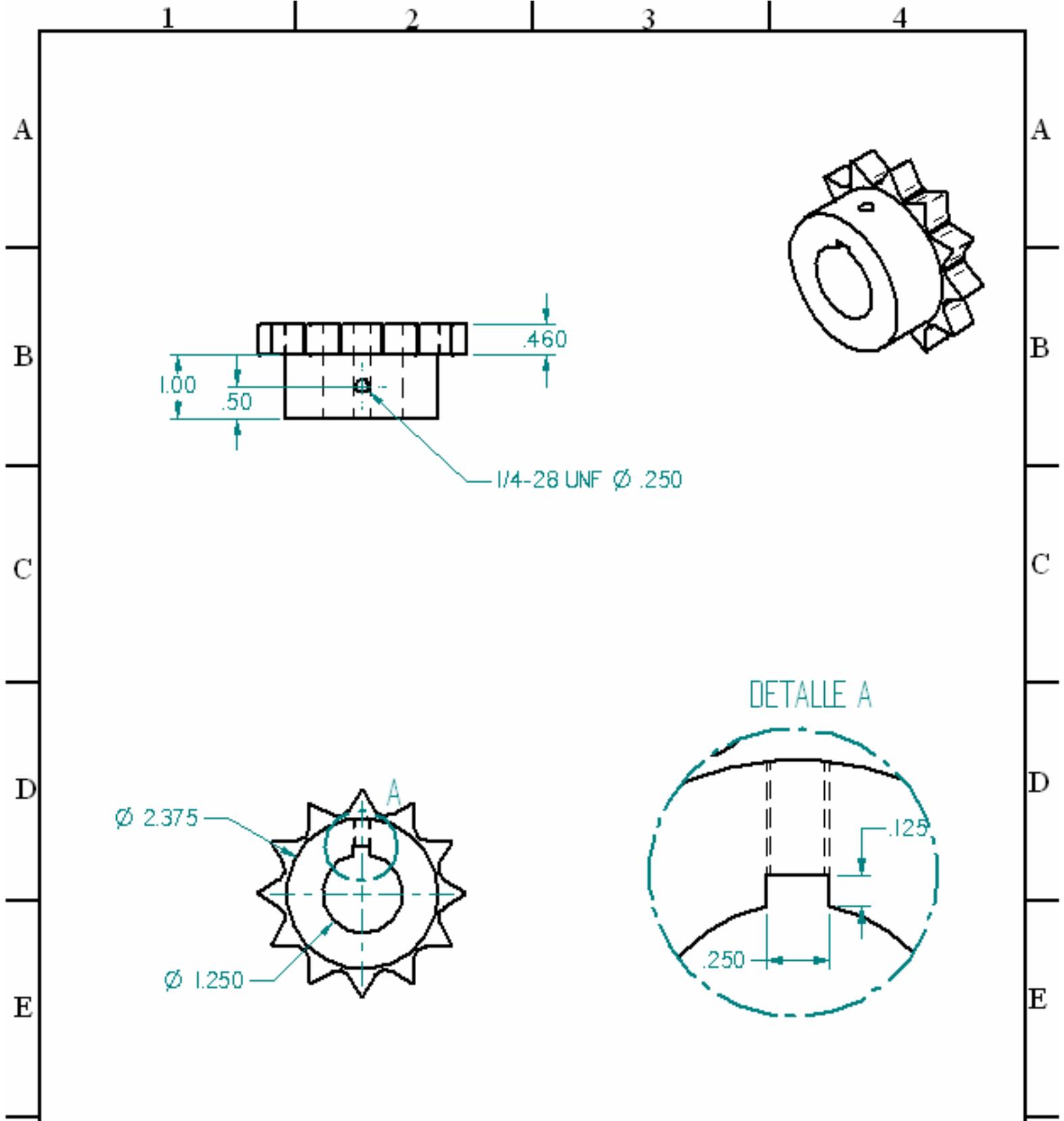
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
Solid Edge V16			PARTE: Flecha de transmisión		
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
4	1	Sistema de arrastre	E.R.T.	ACERO 4140	50Rhc
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISENO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	ftransmision.par	RBP CF 1.03	

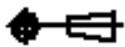
SOLID EDGE CAD/EMULC

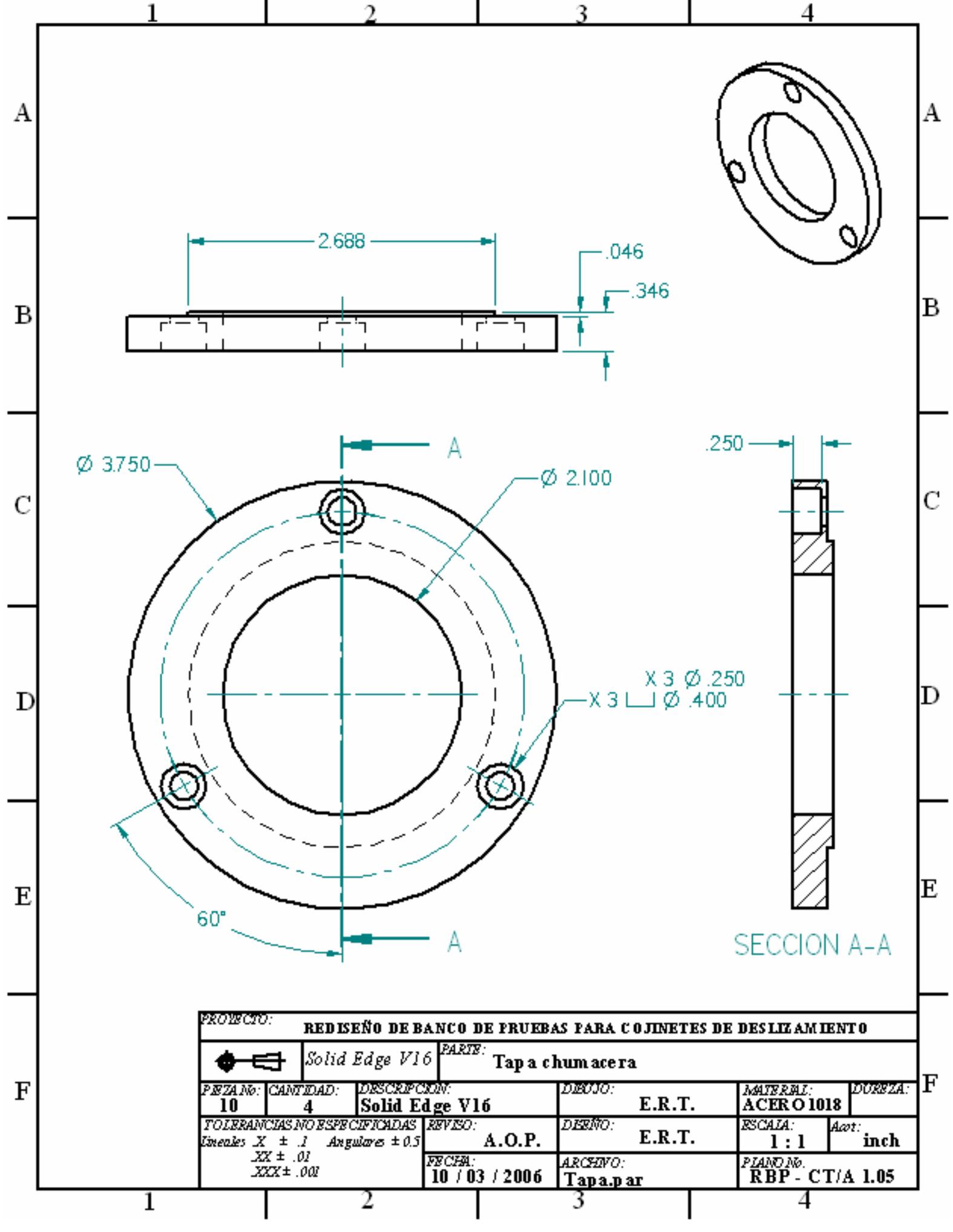
1 2 3 4 5 6

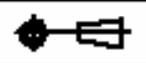


PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
Solid Edge V16		PARTE: Sproket Flecha de transmisión / Carga			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DESUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
8	2	Sproket No.60 60B17	E.R.T.	ACERO	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales X ± .1 XX ± .01 XXX ± .001		REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA: 1 : 2	Acot: inch
FECHA: 10 / 03 / 2006			ARCHIVO: Sprojeicar.par	PLANO No. RBP - CT/A - 1.03	



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Sproket Motor / Flecha de transmisión			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DISEÑO:	MATERIAL:	DUREZA:
9	2	Sproket No.60 60B12	E.R.T.	ACERO	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales X ± .1		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Spromotor.p ar	RBP - CT - 1.04	



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16			PARTE: Tap a chumacera		
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DESUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
10	4	Solid Edge V16	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5 XX $\pm .01$ XXX $\pm .001$		REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA: 1 : 1	Acot: inch
FECHA: 10 / 03 / 2006			ARCHIVO: Tap.a.par	PLANO No. RBP - CT/A 1.05	

1 2 3 4 5 6

A

A

B

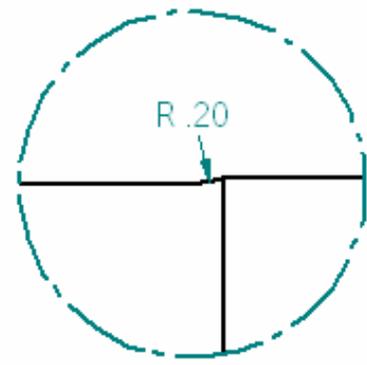
B

C

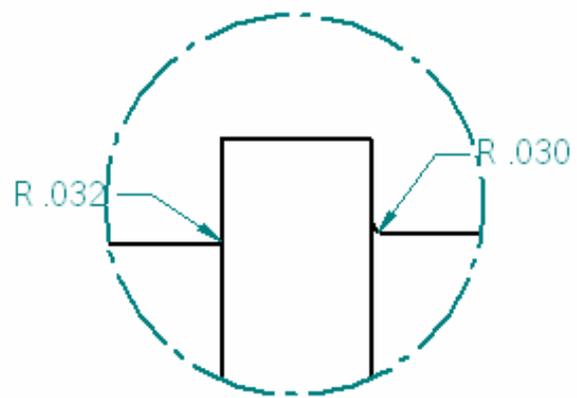
C

D

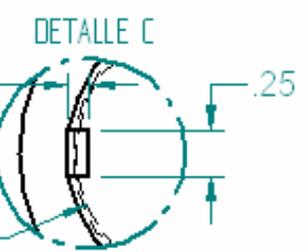
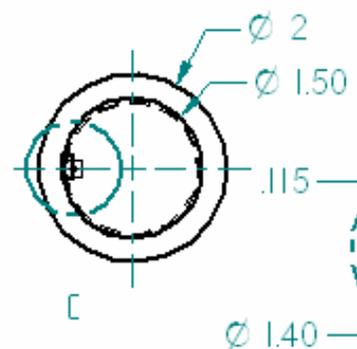
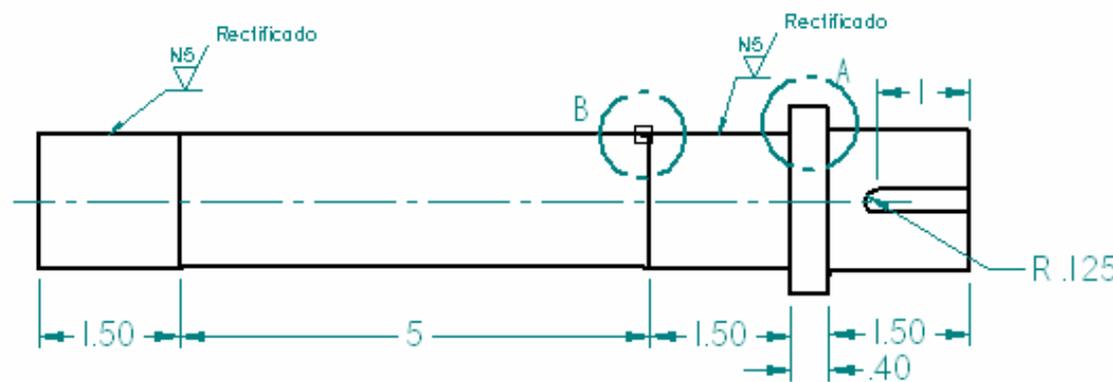
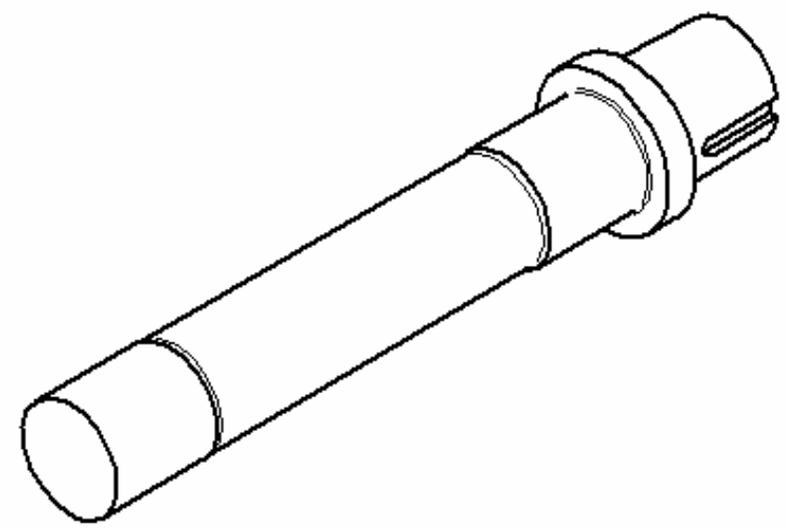
D



DETALLE B



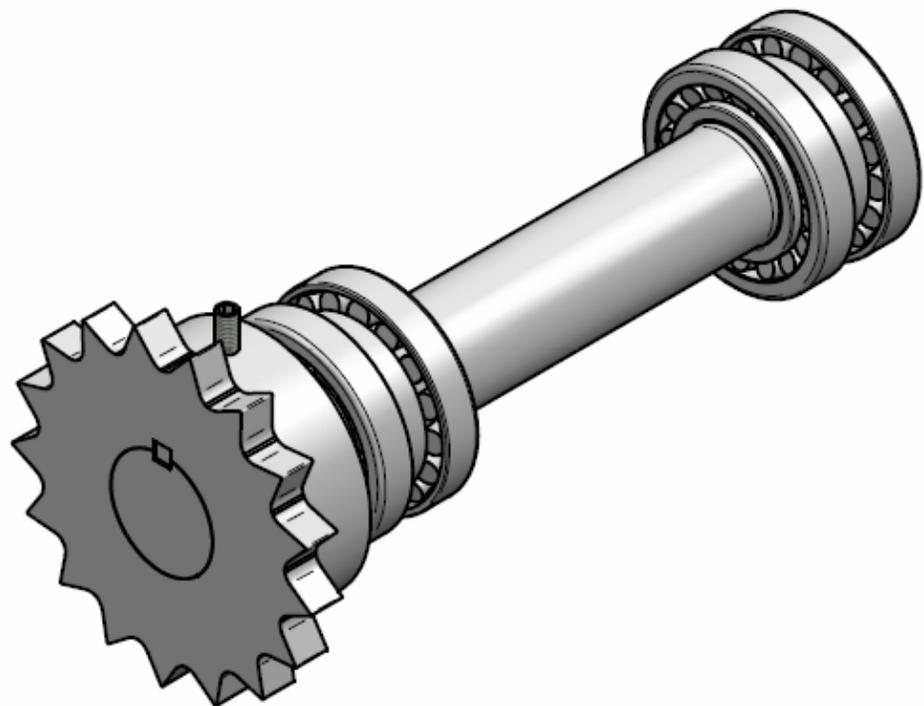
DETALLE A

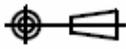


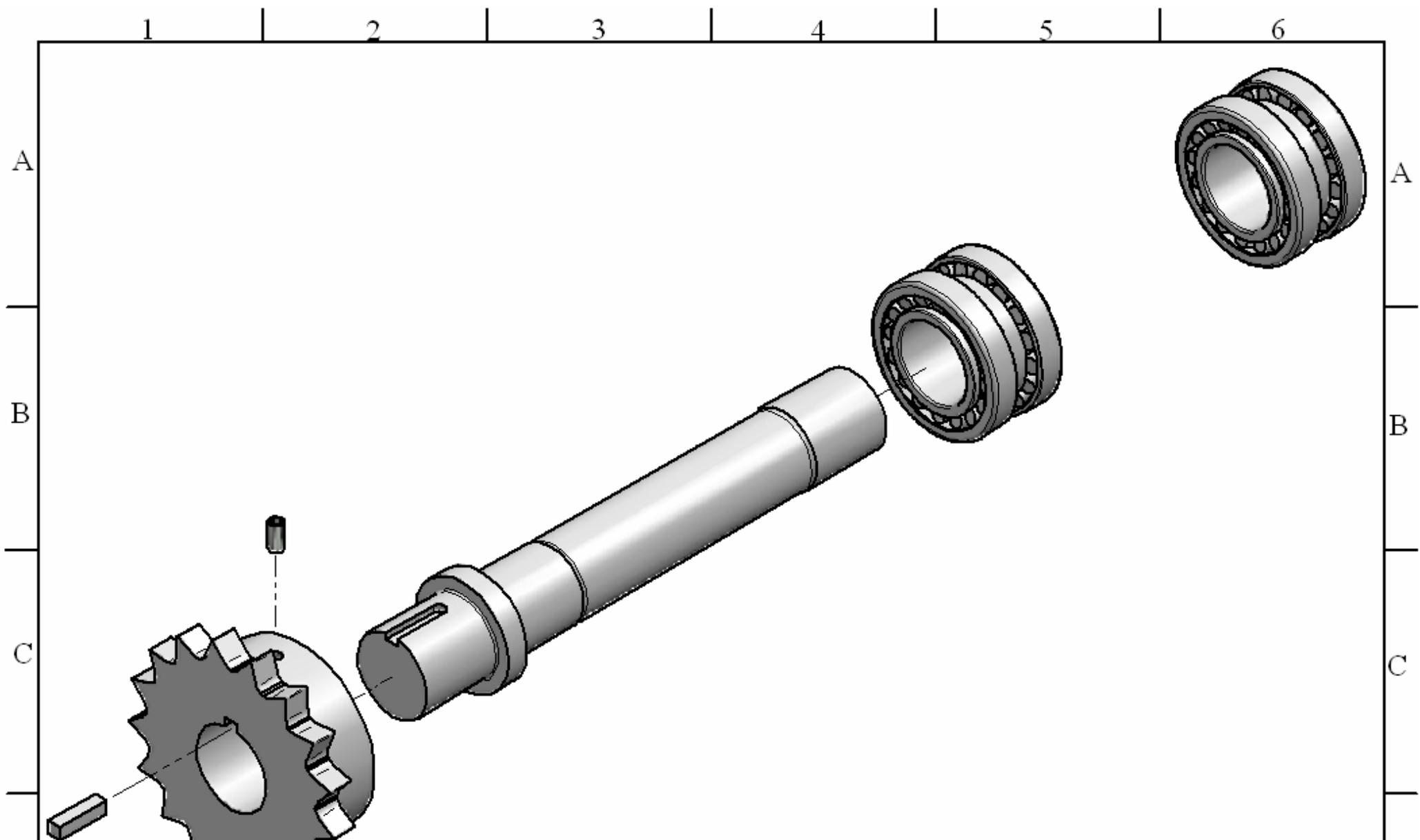
DETALLE C

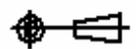
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
Solid Edge V16		PARTE: Flecha de arrastre			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
11	1	Sistema de arrastre	E.R.T.	ACERO 4140	50Rhc
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DESEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Flecharrastre.par	RBP -CA- 1.06	

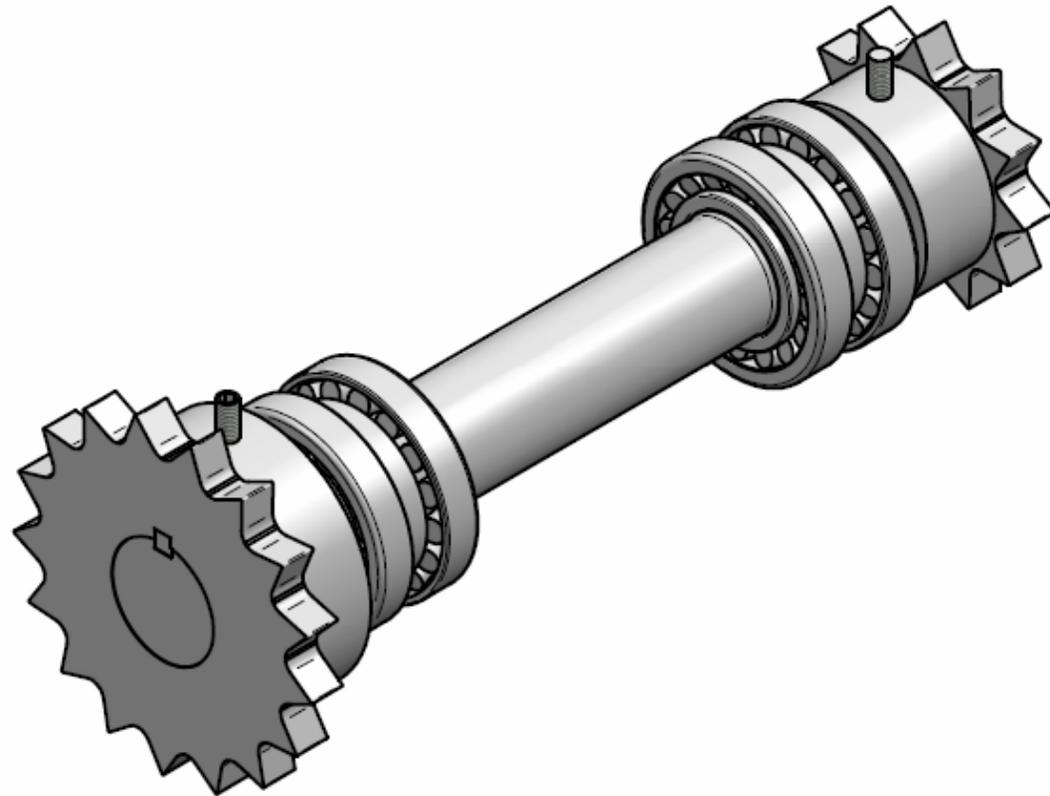
1 2 3 4 5 6

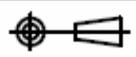


PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Ensamble sistema de arrastre			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5		A.O.P.	E.R.T.		
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	Ensamble3.dft	RBP - CA - 1.07	

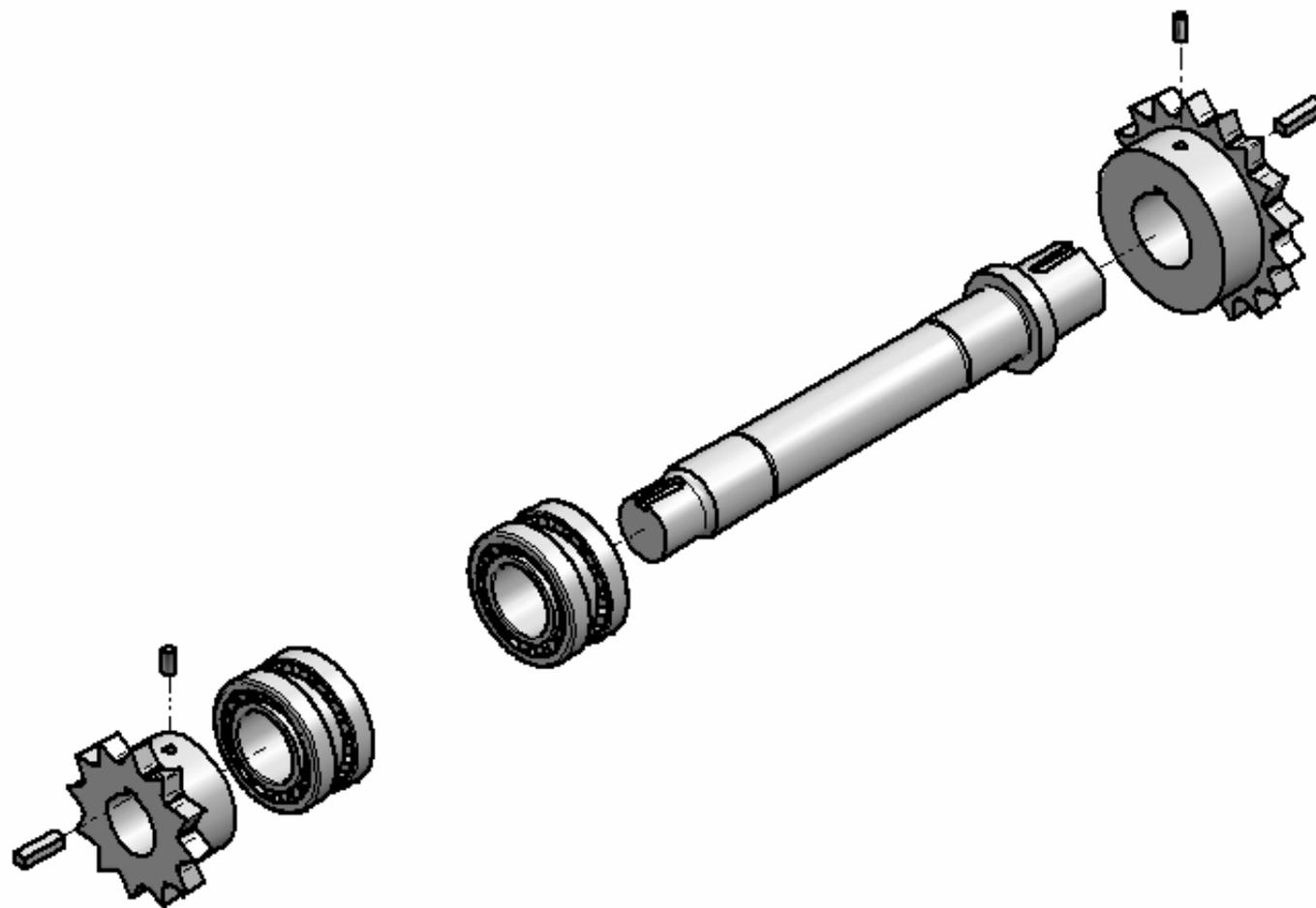


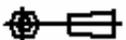
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Explosivo sistema de arrastre			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:		DIBUJO:	MATERIAL:
		Explosivo		E.R.T.	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5 $.XX \pm .01$ $.XXX \pm .001$			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:
			A.O.P.	E.R.T.	Acot:
			FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.
			10 / 03 / 2006	Explosivo3.dft	RBP - CA - 1.08

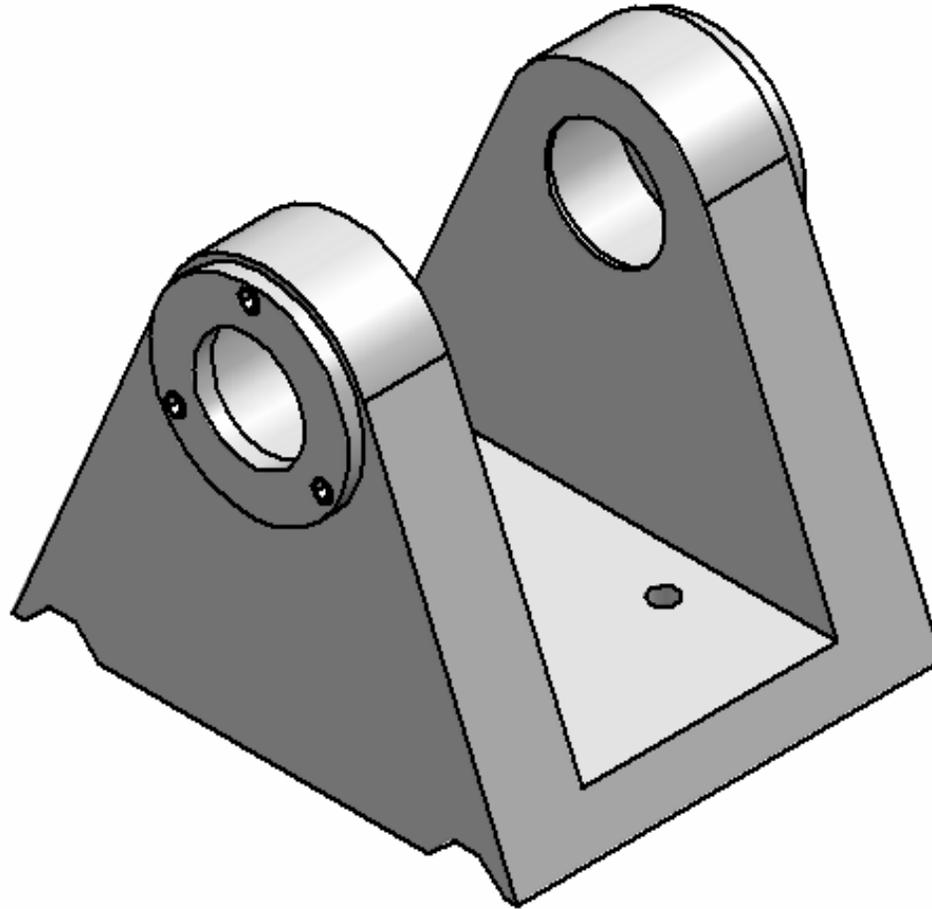


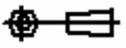
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Ensamble sistema de transmisión			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCION:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001			REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA: Acor:
			FECHA: 10 / 03 / 2006	ARCHIVO: Ensamble4.dft	PLANO No. RBP - CT - 1.09

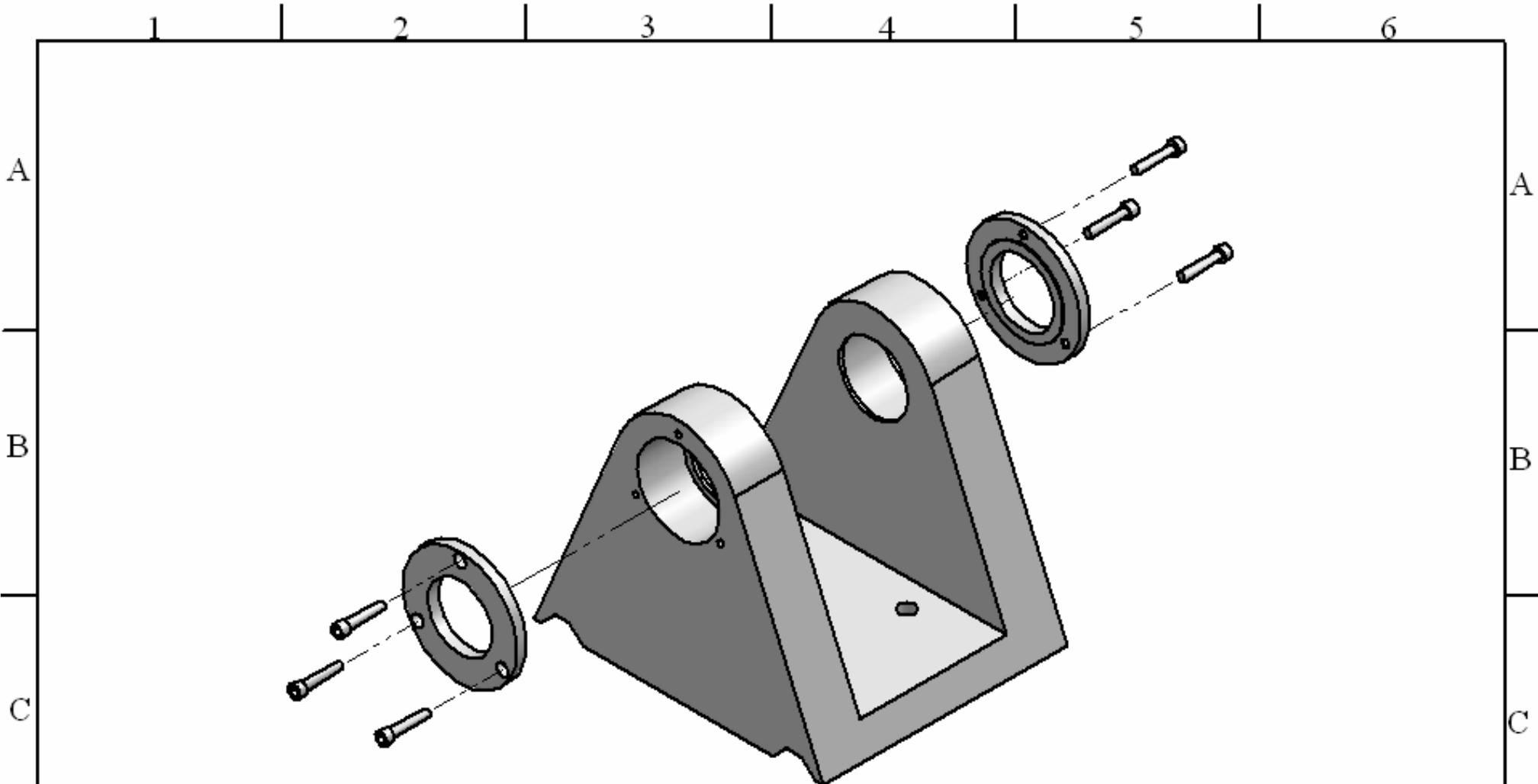
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

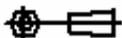


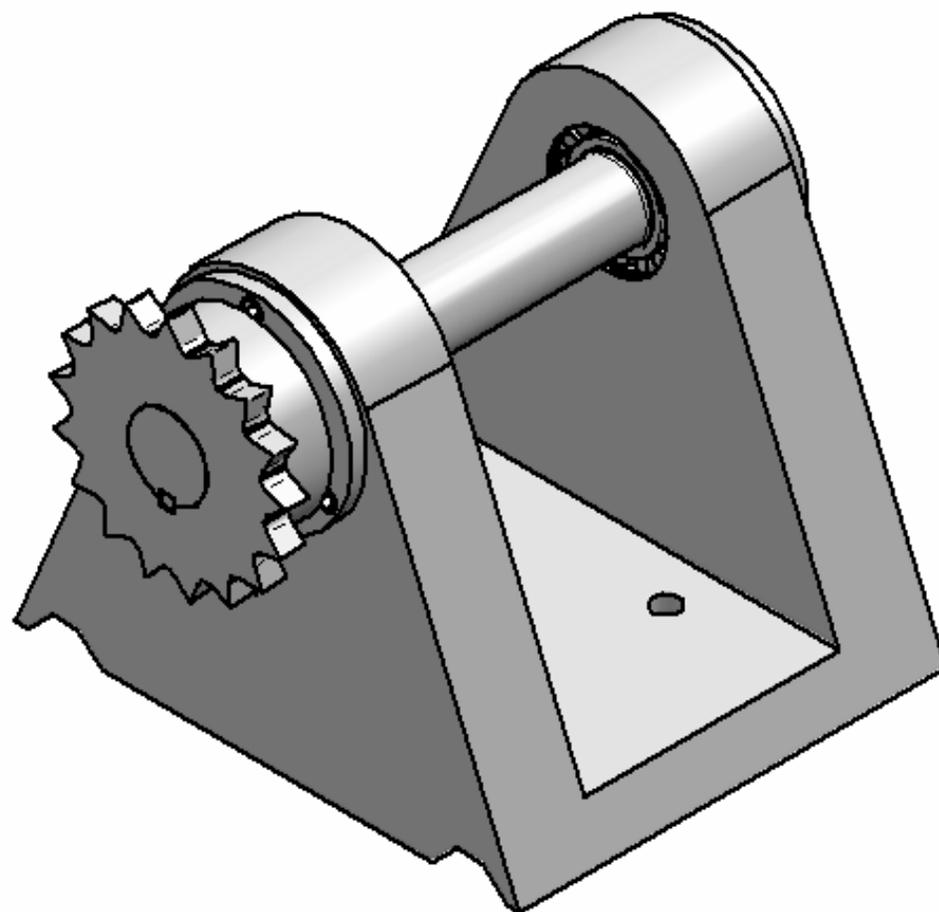
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16			PARTES: Explosivo sistema de transmisión		
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E. R. T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5		A.O.P.	E. R. T.		
.XX $\pm .01$		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX $\pm .001$		10 / 03 / 2006	Explosivo4.dft	RBP - CT - 1.10	

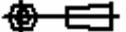


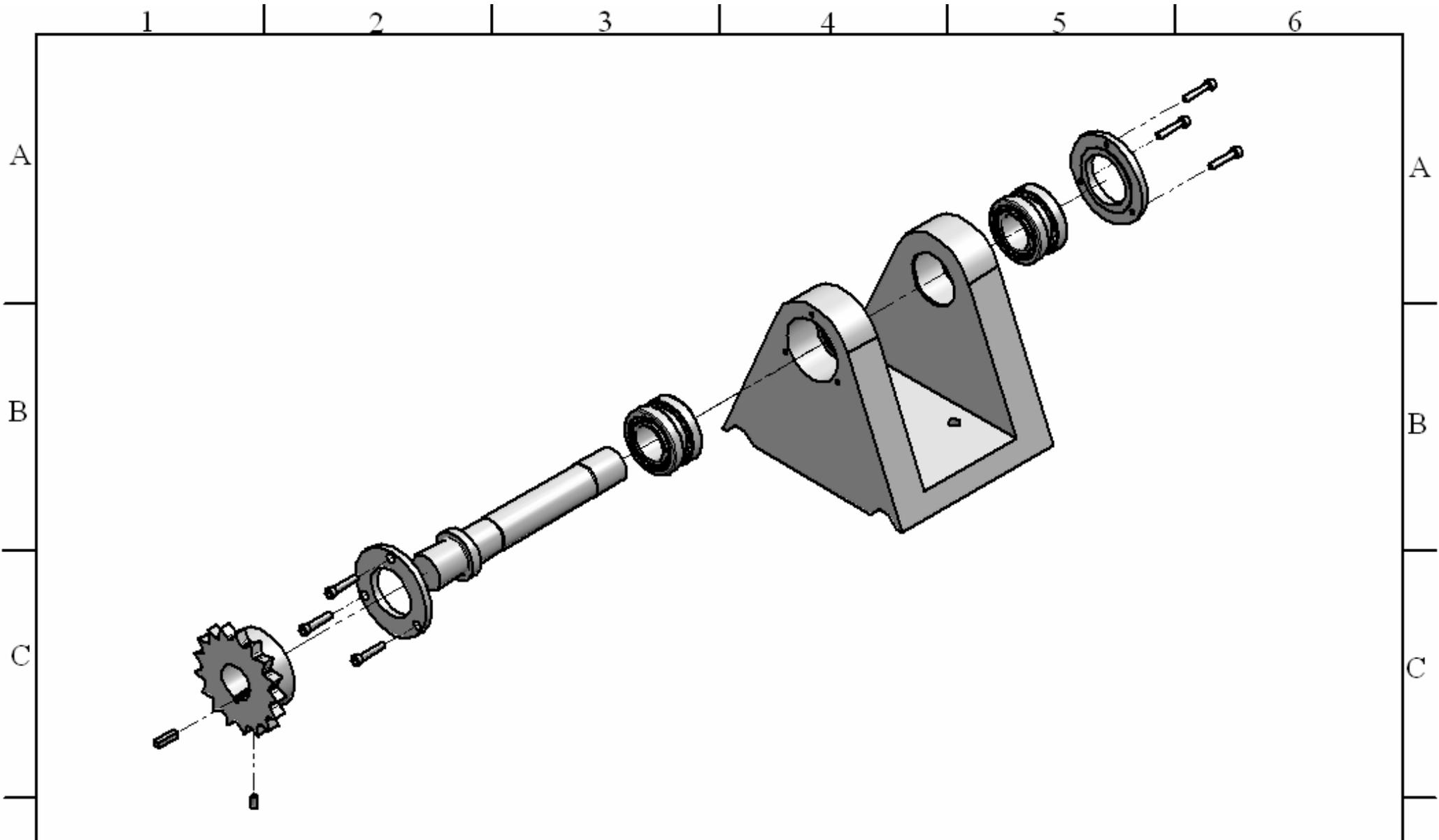
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DE SLIZAMIENTO					
		PARTES: Ensamble chumacera			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN: Ensamble chumacera	DIBUJO: E.R.T.	MATERIAL:	DUREZA:
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO: A.O.P.	DESÑO: E.R.T.	ESCALA:	Acot:
		FECHA: 10 / 03 / 2006	ARCHIVO: Ensamble5.dft	PLANO No. RBP - CT/A - 1.11	

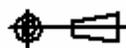


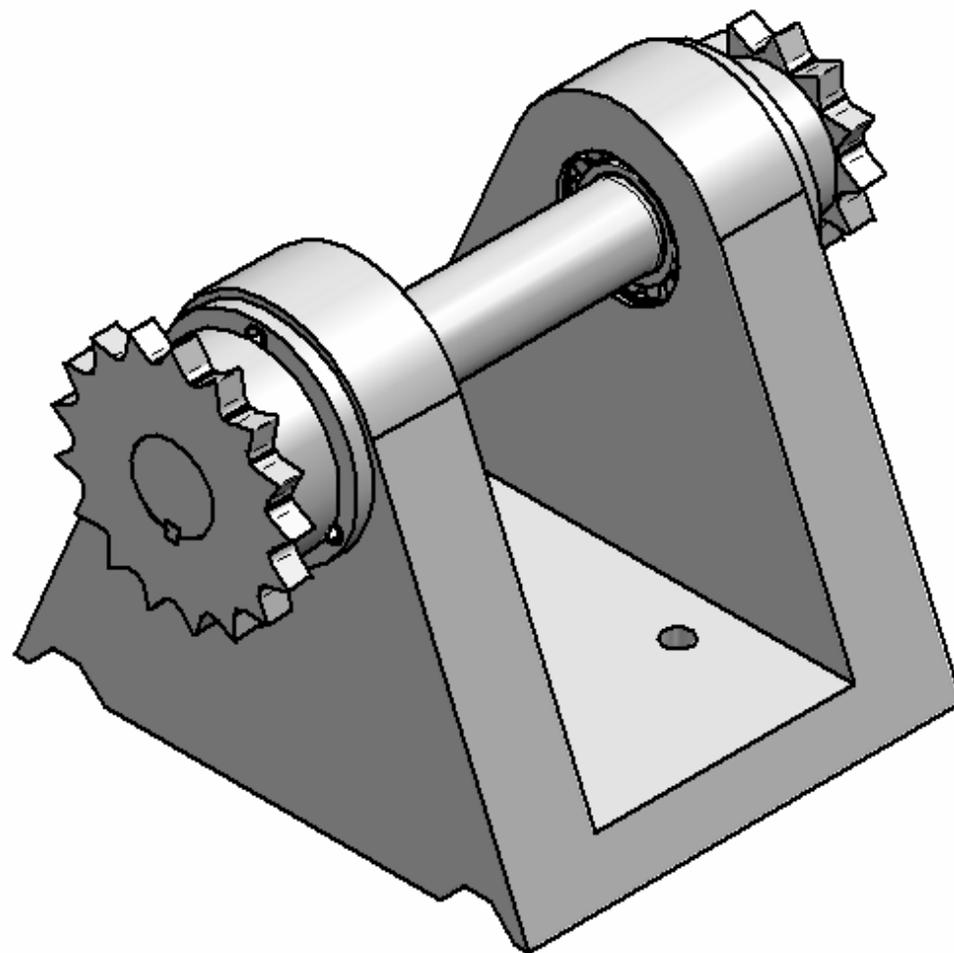
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DE SLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Explosivo chumacera			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E. R. T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales $.X \pm .1$ Angulares ± 0.5		A. O. P.	E. R. T.		
.XX $\pm .01$		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX $\pm .001$		10 / 03 / 2006	Explosivo5.dft	RBP - CT/A - 1.12	

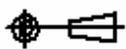


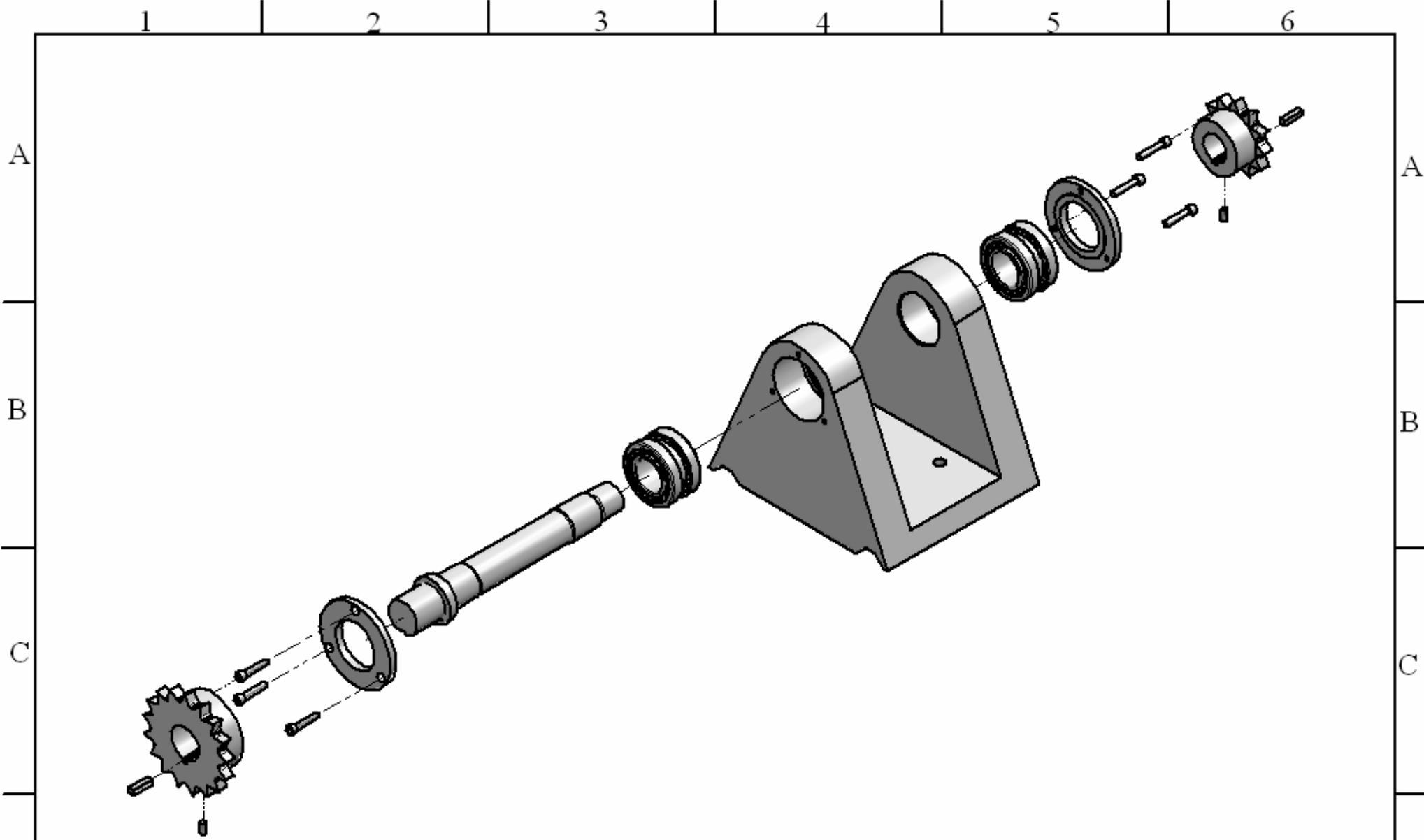
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		Solid Edge V16		PARTES: Ensamble chunacera sist. arrastre	
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA: Acor:	
FECHA: 10 / 03 / 2006			ARCHIVO: Ensamble6.dft	PLANO No. RBP - CA - 1.13	

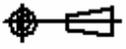


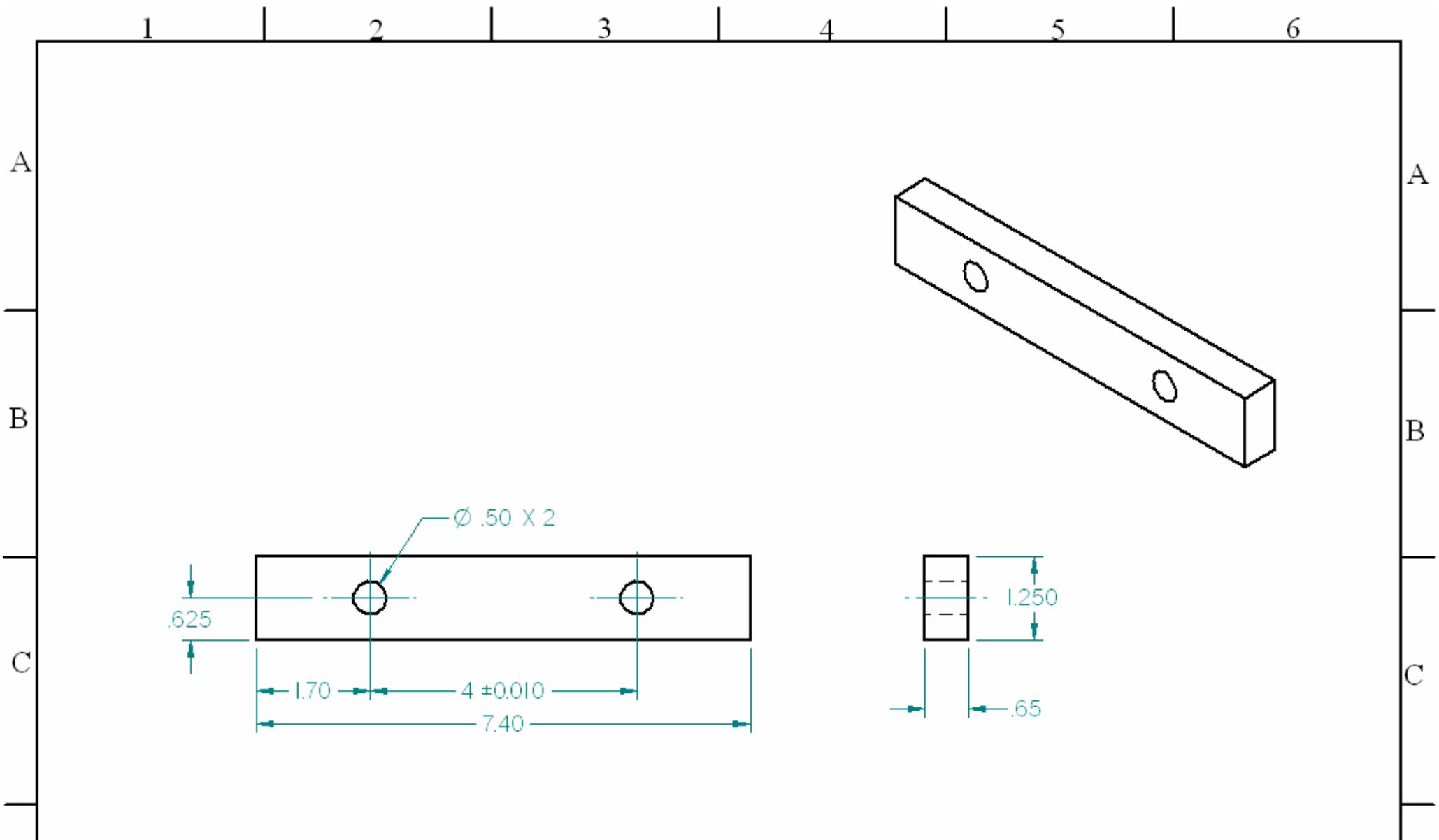
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTES: Explosivo chunnacera sist. arrastre			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN: Explosivo	DIBUJO: E.R.T.	MATERIAL:	DUREZA:
TOLERANCIAS NO ESPESIFICADAS Lineales $.X \pm .1$ Angulares ± 0.5 $.XX \pm .01$ $.XXX \pm .001$		REVISO: A.O.P.	DISEÑO: E.R.T.	ESCALA:	Acot:
FECHA: 10 / 03 / 2006			ARCHIVO: Explosivo6.dft	PLANO No. RBP - CA - 1.14	

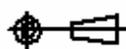


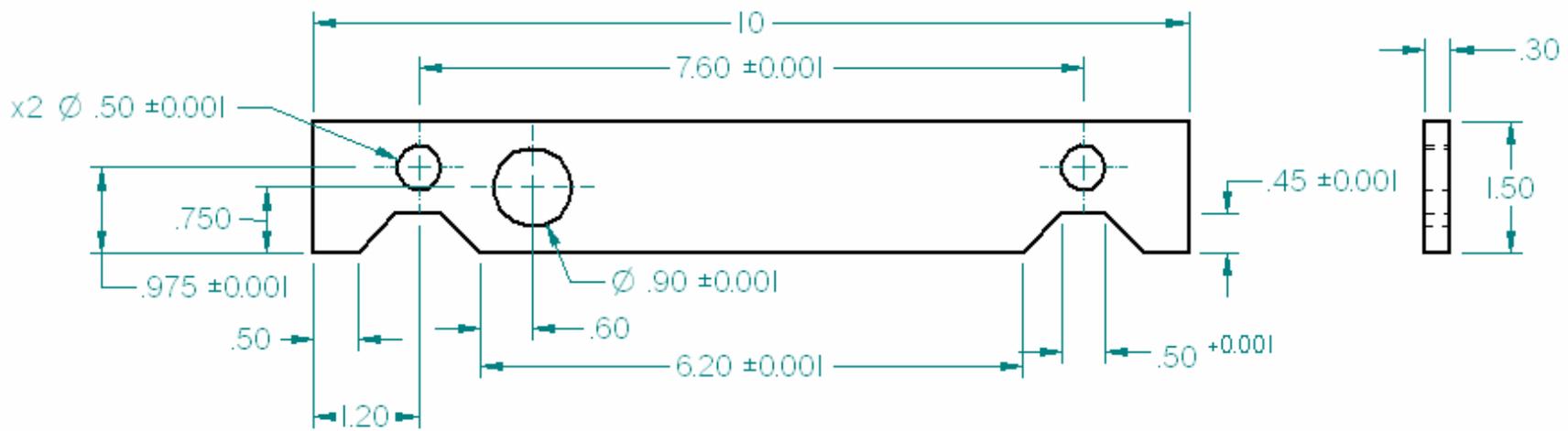
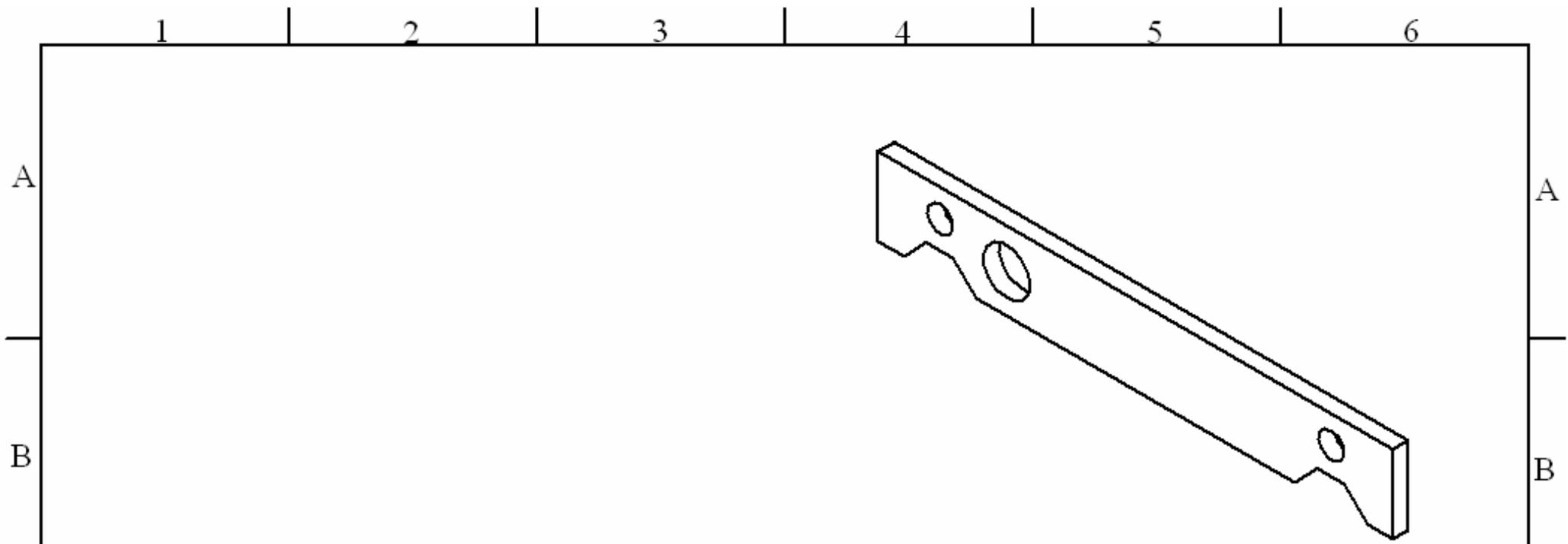
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Ensamble chumacera sist. transmisión			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Ensamble	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales $.X \pm .1$ Angulares ± 0.5 $.XX \pm .01$ $.XXX \pm .001$		REVISO:	DISÑO:	ESCALA:	Act:
		A.O.P.	E.R.T.		
		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
		10 / 03 / 2006	Ensamble7.dft	RBP - CA - 1.15	

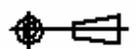


PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		Solid Edge V16 ^{PARTES:} Explosivo chumacera sist. transmisión			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E.R.T.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5 $.XX \pm .01$ $.XXX \pm .001$			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA: <i>Acot:</i>
			A.O.P.	E.R.T.	
			FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.
			10 / 03 / 2006	Explosivo7.dft	RBP - CA - 1.16



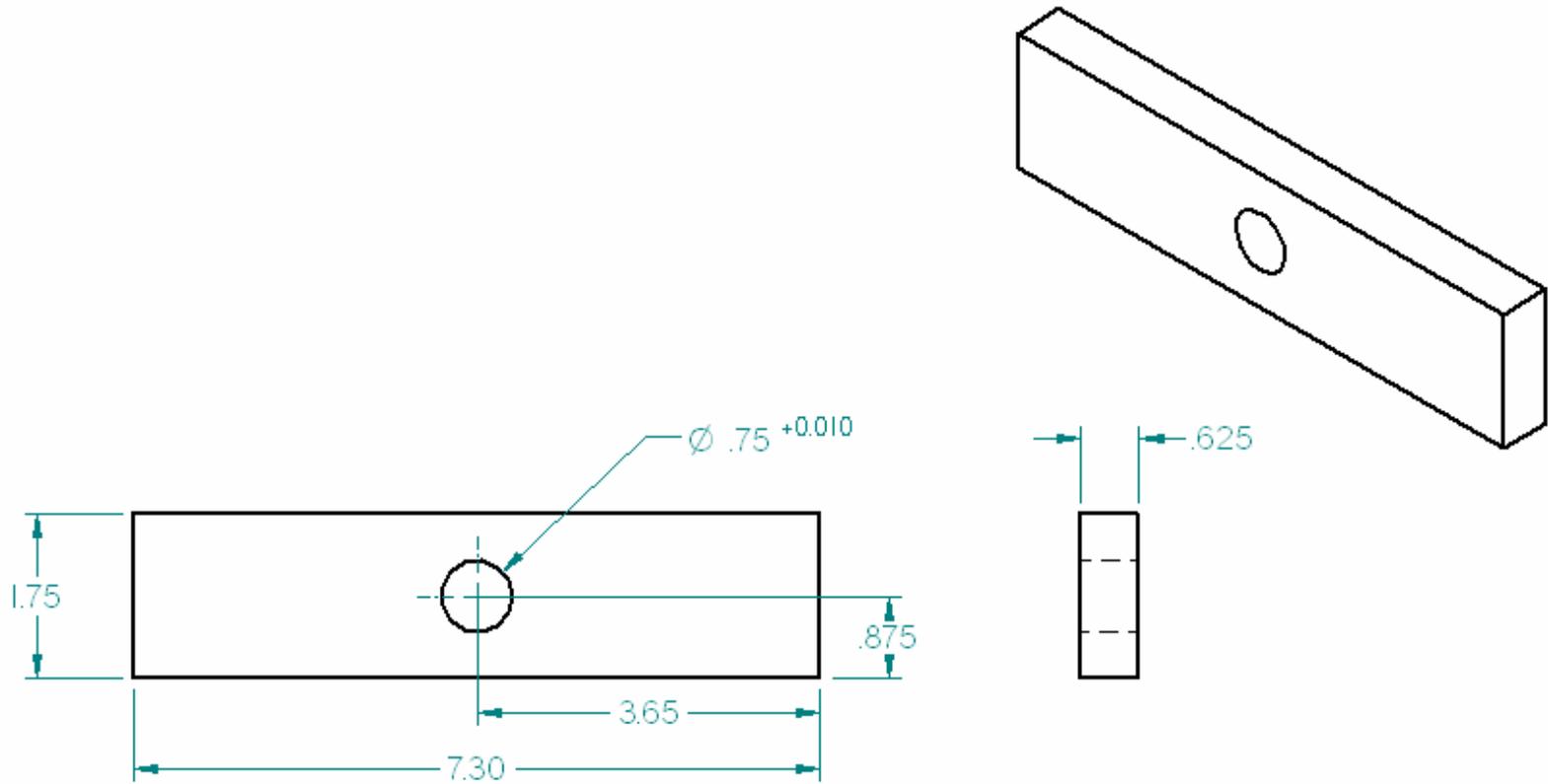
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Anclas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
12	6	Anclas (Chum/Base)	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
		A.O.P.	E.R.T.	1 : 2	inch
		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
		10 / 03 / 2006	ANCLAS.par	RBP - PC- 1.01	

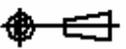


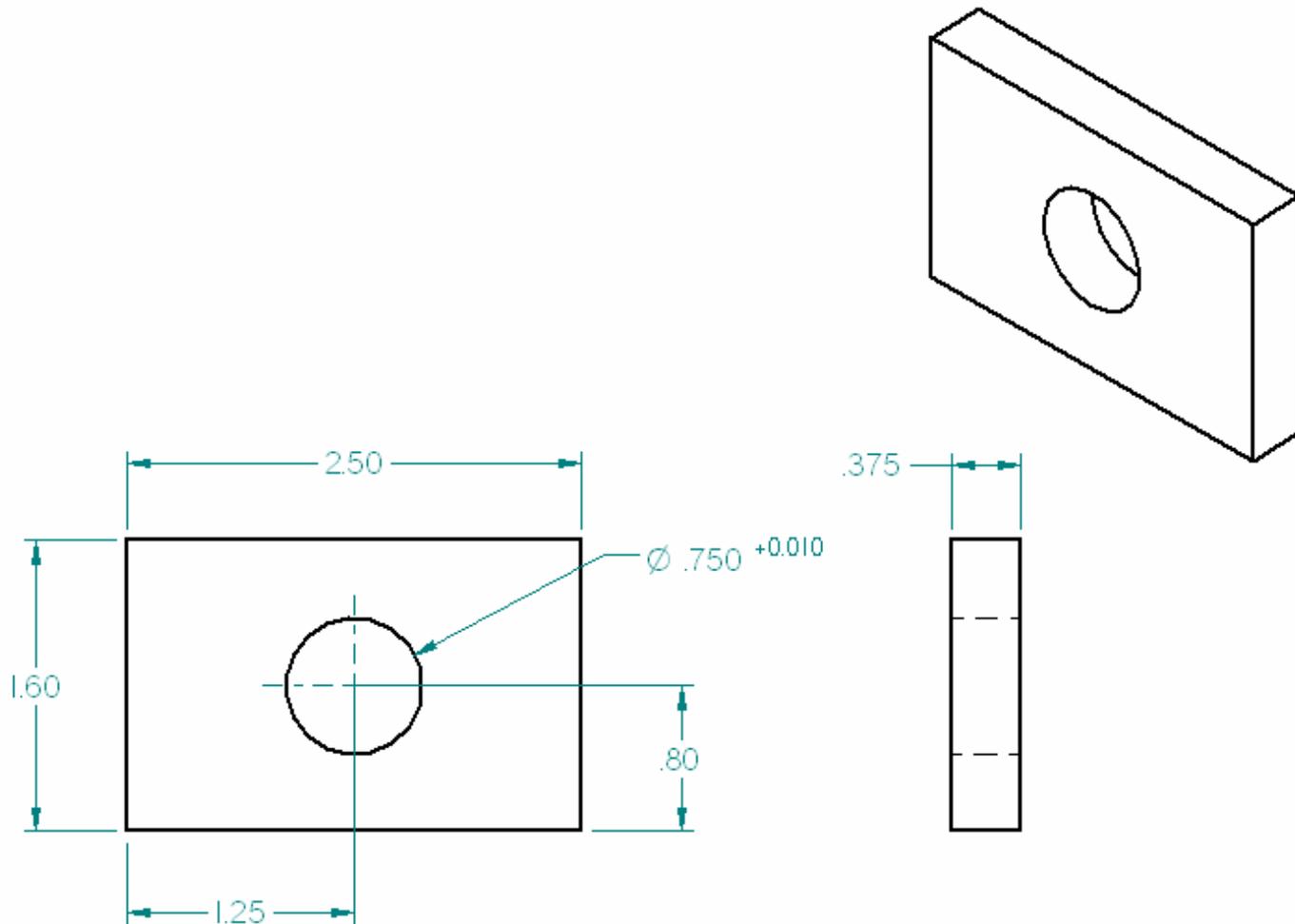
PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Bases para bielas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
13	4	Parte Bielas	E.R.T.	ACERO 4140	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:
			A.O.P.	E.R.T.	1 : 1
			FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.
			10 / 03 / 2006	MASAS	RBP - PC- 1.02

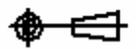
D

D



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Anclas bielas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:		DIBUJO:	MATERIAL:
14	2	sistema de sujeción		E.R.T.	ACERO 1018
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:
Lineales <i>X</i> ± .1 Angulares ± 0.5			A.O.P.	E.R.T.	1 : 2
.XX ± .01			FECHA:	ARCHIVO:	Acot: inch
.XXX ± .001			10 / 03 / 2006	Anclas bielas.par	PLANO No. RBP-PC-1.03



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Contra anclas bielas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
15	2	Sistema de sujeción	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales $X \pm .1$ Angulares ± 0.5 $.XX \pm .01$ $.XXX \pm .001$			REVISO:	DISEÑO:	ESCALA: 1 : 1 Acot: inch
			FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.
			10 / 03 / 2006	contraanclas.par	RBP - PC - 1.04

A

A

B

B

C

C

D

D

1

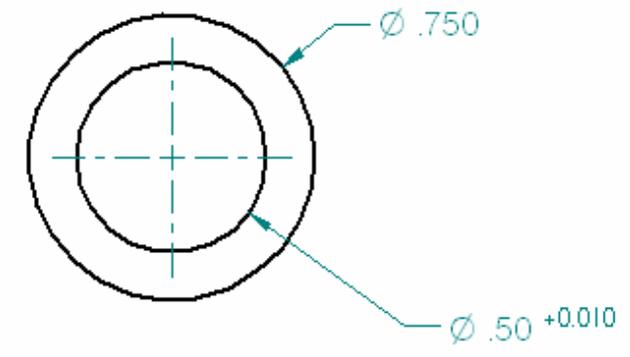
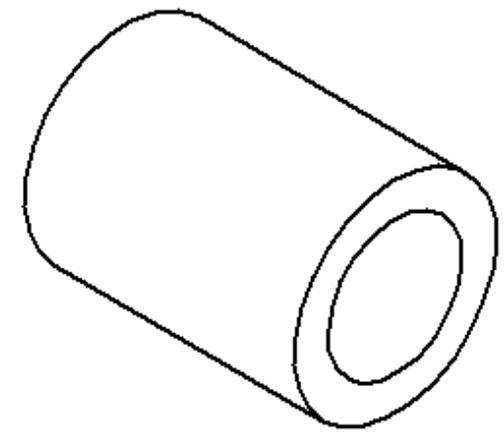
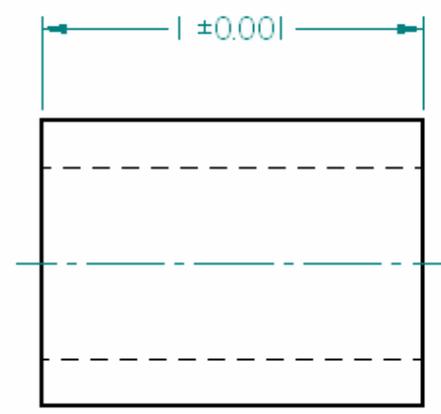
2

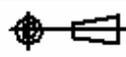
3

4

5

6



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
 Solid Edge V16		PARTE: Separador bielas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
16	2	Bielas	E.R.T.	ACERO 1018	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
Lineales .X ± .1		A.O.P.	E.R.T.	2 : 1	inch
.XX ± .01		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
.XXX ± .001		10 / 03 / 2006	separador.par	RBP - PC - 1.05	

1

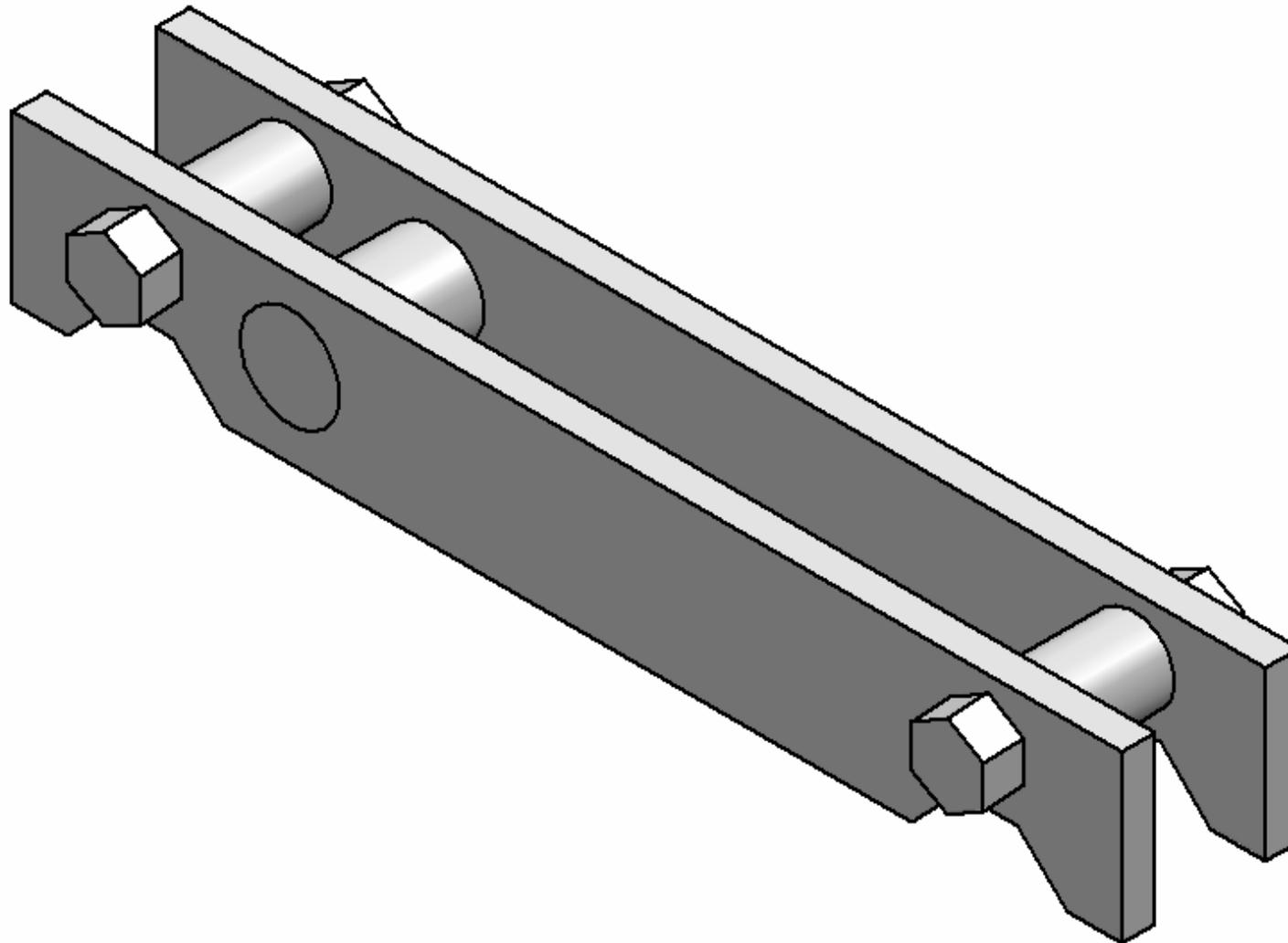
2

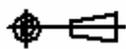
3

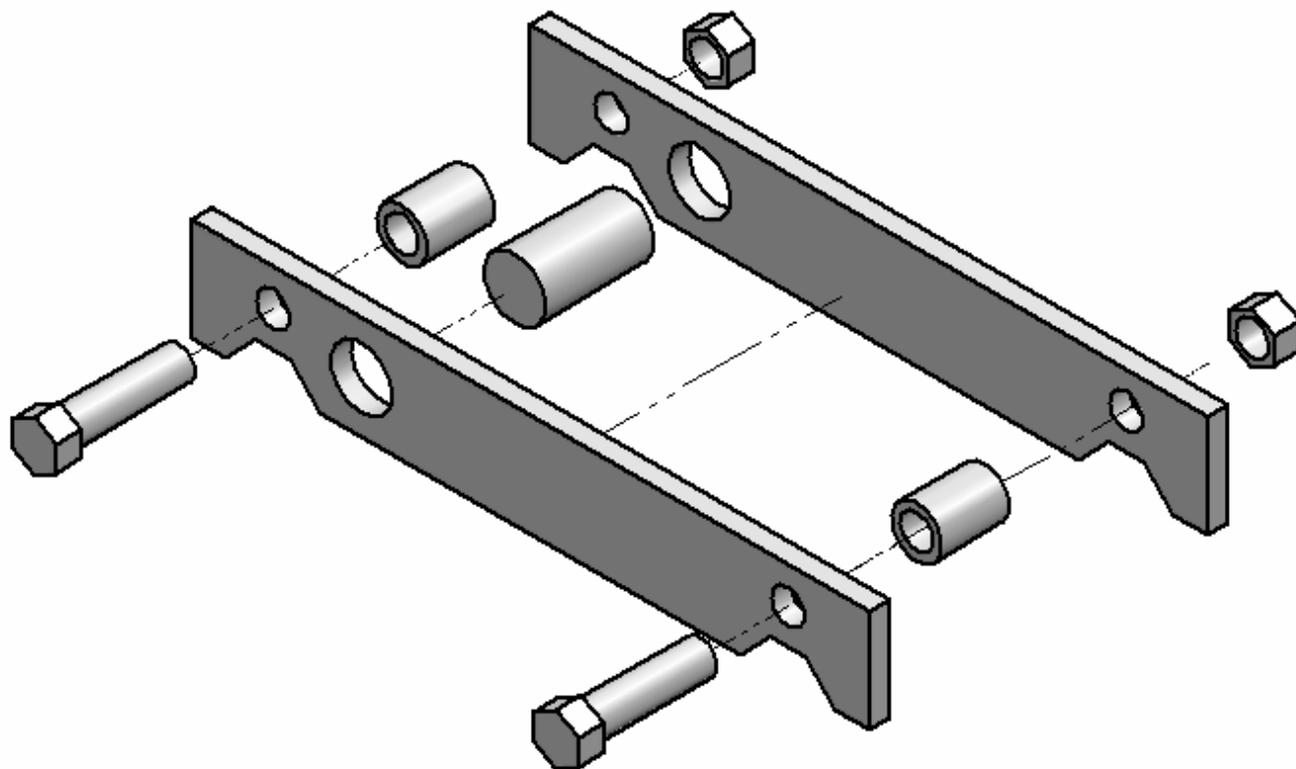
4

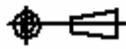
5

6



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		Solid Edge V16		PARTE: Ensamble bases para bielas	
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN: Ensamble		DIBUJO: E.R.T.	MATERIAL:
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO: A.O.P.		DISÑO: E.R.T.	ESCALA: s / e
		FECHA: 10 / 03 / 2006		ARCHIVO: Ensamble8.dft	PLANO No. RBP - PC - 1.06



PROYECTO: REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS PARA COJINETES DE DESLIZAMIENTO					
		PARTE: Explosivo bases para bielas			
PIEZA No:	CANTIDAD:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO:	MATERIAL:	DUREZA:
		Explosivo	E.R.T.		
TO LERANCLAS NO ESPESIFICADAS Lineales .X ± .1 Angulares ± 0.5 .XX ± .01 .XXX ± .001		REVISO:	DISEÑO:	ESCALA:	Acot:
		A.O.P.	E.R.T.	s / e	
		FECHA:	ARCHIVO:	PLANO No.	
		10 / 03 / 2006	Explosivo8.par	RBP - PC - 1.07	