

49



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDO POR COMPUTADORA; DISEÑO DE GRUA GIRATORIA CON CAPACIDAD DE 300 KG.

TRABAJO DE SEMINARIO QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA PRESENTA: SAUL IBARRA ZARATE

28/12/09

ASESOR: ING. ENRIQUE CORTES GONZALEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E



ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES.Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Diseño y manufactura asistido por computadora; diseño de arda
giratoria con capacidad de 300 Kg.

que presenta el pasante: Saúl Ibarra Zárate

con número de cuenta: 9134485-6 para obtener el título de :

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Junio de 2000.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>M.I. Felipa Diaz del Castillo Rodriguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Eusebio Reyes Carranza</u>	<u>[Firma]</u>

AGRADECIMIENTOS

“Los sueños se hacen realidad sólo si tu lo deseas de verdad.”

Hoy con la finalización de este trabajo de seminario se cumple uno de mis más grandes sueños, pero este gran sueño no hubiera sido posible sin la ayuda de diferentes personas, las cuales ocupan cada una, un lugar en mi vida.

QUISIERA AGRADECER A :

Mis Padres y Hermanos

Por todo su amor y gran apoyo ¡Lo logramos!

Mis tíos: Miguel Moctezuma y Genoveva Zárate

Mis primas: Paula y Patricia

Por su gran ayuda y apoyo con el equipo de computo

Mis tíos: Isaías Zárate y Miguel Zárate

Por la valiosa ayuda proporcionada

Mi asesor: Ing. Enrique Cortés González

Por la gran ayuda en la elaboración de este trabajo de seminario

QUISIERA TAMBIEN DAR UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

Mi tío: Gabriel Zárate Gallegos †

Por todos sus ánimos y su gran ayuda incondicional brindada

Mi novia: Lidia Trejo Olvera

Por todo su amor, apoyo y comprensión

CONTENIDO

PREFACIO

INTRODUCCION

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO
DE LA GRUA GIRATORIA 2

1 1 MATERIALES 7
1 2 ACEROS 11
1 3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES 17

CAPITULO 2

ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACION 20

CAPITULO 3

RODAMIENTOS 33

CAPITULO 4

DISEÑO DE GRUA GIRATORIA 57

CONCLUSIONES 69

BIBLIOGRAFIA 70

APENDICE 72

PREFACIO

La selección del diseño de la grúa giratoria fue resultado de una necesidad expresada por parte de la empresa "Separadores, Refacciones y Servicios S.A de C.V.", la cual se dedica a la venta de refacciones y servicios a compresores industriales.

Después de varios años de servicio, esta empresa reconoció la necesidad de un sistema o mecanismo de levante, que pudiese levantar un peso de aproximadamente 300 Kg. y, a su vez, girar 360° sobre su propio eje y así levantar una tapa de un tanque contenedor de aceite con un separador aire-aceite sujeto a ella.

El diseño fue hecho sobre las medidas del tanque y la tapa del mismo.

Para realizar este diseño se utilizó el S.I. de unidades, aunque algunos datos y consultas fueron encontradas en otro sistema de unidades diferente, estos fueron convertidos al S.I.

Nota En algunos dibujos no corresponderán las dimensiones de estos con las acotaciones mostradas, esto es debido a que se tuvo que hacer la modificación al tamaño del diámetro del brazo giratorio para que éste no apareciera muy pequeño y desproporcionado.

INTRODUCCION

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana

En Ingeniería, el término diseño puede tener diferentes significados para distintas personas. Algunos consideran al diseñador como el técnico que dibuja en todos sus detalles un engrane, un embrague u otros elementos de máquina. Otros creen que el diseño es la creación de un sistema complejo, como una red de telecomunicaciones.

Pero no importa que palabras se usen para describir la función de diseñar; en ingeniería es también el proceso en el que se utilizan principios científicos y métodos técnicos (matemáticas, computacionales, métodos gráficos o lenguaje común) para llevar a cabo un plan que satisfará cierta necesidad o demanda.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructura, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, ciencia de los materiales, termodinámica, mecánica entre otras.

CAPITULO 1

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE GRUA GIRATORIA

FASES DEL PROCESO DE DISEÑO

A menudo el proceso del diseño es como se muestra en la siguiente figura:

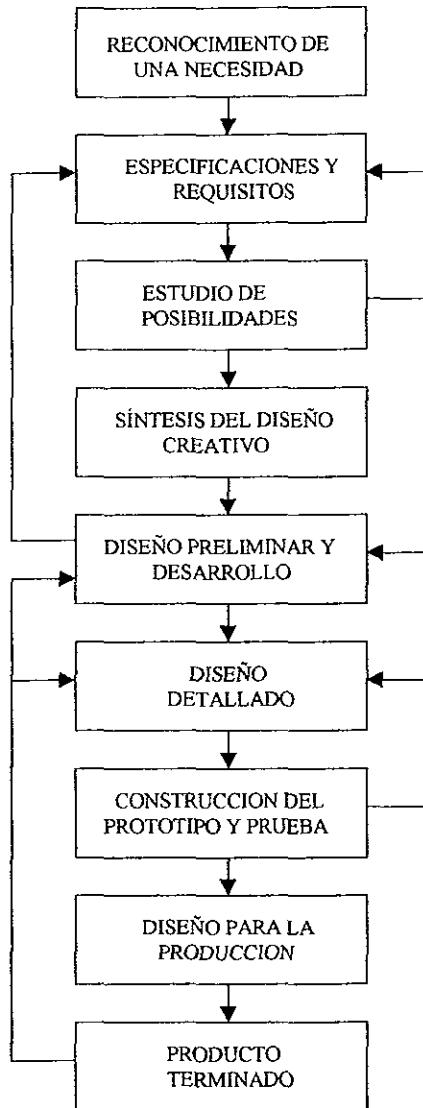


FIG 1 | FASES DEL PROCESO DE DISEÑO

A continuación describiremos cada una de las etapas del proceso de diseño.

RECONOCIMIENTO DE UNA NECESIDAD

A veces, pero no siempre, el diseño comienza cuando un ingeniero se da cuenta de una necesidad y decide hacer algo al respecto. Identificar la necesidad y expresarla es una actividad bastante creativa.

ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS

Habiéndose definido la necesidad, sus requisitos deberán estudiarse con mucho cuidado. Se deberán presentar especificaciones gubernamentales, comerciales e industriales escritas con mucho detalle.

Con mucha frecuencia, las especificaciones son elaboradas para satisfacer la producción, competencia y capacidad de la persona o la compañía motriz.

ESTUDIO DE POSIBILIDADES

Después de que las especificaciones han sido preparadas y sometidas a consideraciones, el siguiente paso es hacer un estudio de posibilidades. La finalidad de este estudio es verificar el posible éxito o falla de una propuesta, tanto del punto de vista técnico como económico.

SINTESIS DEL DISEÑO CREATIVO

Después de haber analizado las facilidades del diseño, el siguiente paso es la síntesis del diseño creativo. Esta parte constituye un reto siendo una parte muy importante del diseño. A menos que haya restricciones, el diseñador podrá actuar como ingeniero, inventor y artista, todo a la vez, a esto se le llama crear.

La creatividad puede definirse como la síntesis de varias ideas nuevas y/o antiguas y de conceptos que de tal manera que con ellos se produzca una idea completamente nueva (al menos para su creador).

DISEÑO PRELIMINAR Y DESARROLLO

Después de que se ha completado el proceso de síntesis de diseño creativo, habrá uno o varios diseños que satisfagan al conjunto dado de especificaciones y requisitos. Es necesario decidir cual de las "soluciones" se usará para el diseño preliminar y desarrollo, esto constituye el siguiente paso en el diagrama del proceso de diseño. Se deben de hacer dibujos y determinar su configuración total y así establecer relaciones funcionales entre las diferentes partes de la maquina o sistema.

DISEÑO DETALLADO

El diseño detallado se refiere al aparejo actual y dimensionamiento de todos los componentes individuales, tanto de los fabricados como de los comprados, que constituyen el producto total, dispositivo o sistema.

CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS

Después de haber completado todos los detalles, se deben de enviar todos estos datos al taller, además del material y la lista de partes para la fabricación del modelo o prototipo.

En esta etapa se fabrican las partes, se compran las piezas y después de ensamblarse está lista para su evaluación y pruebas. Al final de las pruebas se podrán conocer o no los datos que requieran cambios o modificaciones en el diseño preliminar o de una área específica del diseño.

Después de haber realizado los cambios y/o modificaciones necesarias, se incorporan los nuevos componentes en el ensamble del prototipo para continuar con las pruebas y evaluaciones.

Este procedimiento se repetirá tantas veces como sea necesario hasta que el ingeniero de diseño quede satisfecho.

DISEÑO PARA LA PRODUCCION

En esta fase se analizaran los cambios sugeridos en el diseño, con el fin de tener los mejores métodos de producción con lo especificado por el ingeniero de diseño. Al final de esta fase se tendrá un producto terminado que cumplirá con las características y especificaciones necesarias establecidas al inicio del proceso de diseño.

PRODUCTO TERMINADO

Esta fase de diseño es la culminación del proceso de diseño y es aquí donde el consumidor o cliente decidirá si el producto cumple con todos los requisitos para lo que fue diseñado el producto y cualquier mal funcionamiento será *regresado al departamento de diseño, desarrollo preliminar o al de diseño detallado* para su modificación, hasta que el consumidor o cliente tenga una plena satisfacción.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LA GRUA GIRATORIA

El objetivo final del diseño mecánico es, producir un dispositivo de utilidad, que sea seguro, eficiente y práctico.

Cuando se utiliza la expresión "Consideración de diseño" se esta refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento o quizá, en todo el sistema

Se tienen que tomar en cuenta varios factores en este caso de diseño, como lo son:

- Resistencia
- Confiabilidad
- Corrosión
- Desgaste
- Fricción (rozamiento)
- Procesamiento
- Utilidad
- Costo
- Seguridad
- Peso
- Duración
- Ruido
- Estilización
- Forma
- Tamaño
- Flexibilidad
- Control
- Rigidez
- Acabado de superficie
- Lubricación
- Mantenimiento
- Responsabilidad

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o proceso de fabricación, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

1.1 MATERIALES

La selección de los materiales y los procesos usados en la fabricación son partes que integran el diseño de cualquier pieza de las maquinas. La resistencia y rigidez son factores clave que siempre se consideran en la selección de un material.

Igualmente importantes es la confiabilidad relativa y la durabilidad de la pieza cuando se consideran alternativas posibles con respecto al material. Se deberá de seleccionar cuidadosamente el material si se sabe que la pieza estará sometida a temperaturas extremas. Ultimamente, la selección del material ha estado determinada cada vez más por la facilidad de reciclaje, energía necesaria y restricciones para evitar la contaminación ambiental. El costo y la disponibilidad también son muy importantes. El que se considera es el costo total de la parte fabricada, incluyendo mano de obra y sobrecostos administrativos, así como el material. En resumen, el mejor material para un uso particular es el que proporciona el mayor valor, definido como la razón entre el rendimiento global y el costo total.

TIPOS DE MATERIALES

La mayoría de los materiales para ingeniería están divididos en tres clases principales:

- Metales
- Polímeros
- Cerámicos

A continuación distinguiremos los más importantes, mencionando sus propiedades físicas, eléctricas y mecánicas.

Además de estas tres clases de materiales y debido a su gran importancia en ingeniería consideraremos 2 tipos más de materiales; los compuestos y los electrónicos.

METALES

Estos materiales son sustancias inorgánicas las cuales están compuestas de uno o más elementos metálicos y que además pueden contener algunos elementos no metálicos.

Ejemplos de elementos metálicos son el hierro, cobre, aluminio, níquel, titanio, etc. Elementos no metálicos como el carbono, nitrógeno y oxígeno pueden estar contenidos con materiales metálicos. Los metales tienen una estructura cristalina, en la cual los átomos están arreglados en una manera ordenada.

Los metales en general son buenos conductores térmicos y eléctricos. Muchos metales son relativamente resistentes y dúctiles a una temperatura ambiente, y muchos mantienen una buena resistencia aún a altas temperaturas.

Los metales están comúnmente divididos en dos clases:

- Metales Ferrosos
- Metales No Ferrosos

Metales Ferrosos

Los metales y aleaciones ferrosas se basan en el metal denominado hierro, el cual constituye su componente principal. Se encuentra en forma de aleación o asociado con el carbono metálico. Esta asociación modifica grandemente la conducta del hierro y lo hace más duro, más fuerte, y más útil para los trabajos de ingeniería. Ligeras variaciones en la cantidad de carbono suponen grandes diferencias en las propiedades del metal.

Los metales ferrosos se subdividen a su vez en hierro forjado, aceros e hierros fundidos.

Metales No Ferrosos

Son todos los metales conocidos distintos de hierro. Los metales no ferrosos que más se utilizan son: aluminio, cobre, cromo, zinc, cobalto, manganeso, molibdeno, oro, plata y níquel

POLIMEROS

La mayoría de los materiales poliméricos consisten en largas cadenas moleculares orgánicas (conteniendo carbono). Estructuralmente, la mayoría de estos materiales son no cristalinos, pero algunos consisten en mezclas de regiones cristalinas y no cristalinas.

La resistencia y ductilidad de estos materiales es muy variable. Debido a la naturaleza de su estructura interna, estos materiales son poco conductores de electricidad. Algunos de estos materiales son buenos aislantes y son utilizados para aislamiento eléctrico. En general los polímeros tienen baja densidad, son *relativamente blandos y se descomponen a altas temperaturas.*

CERAMICOS

Los materiales cerámicos son materiales inorgánicos, los cuales consisten de elementos metálicos y no metálico químicamente unidos. Los materiales cerámicos pueden ser cristalinos, no cristalinos, o una mezcla de ambos. La mayoría de estos materiales tienen alta dureza y resistencia a altas temperaturas, pero tienden a tener fragilidad mecánica. Ultimamente, nuevos materiales cerámicos se han desarrollado para aplicaciones de ingeniería. Las ventajas de los materiales cerámicos para las aplicaciones de ingeniería son poco peso, alta resistencia y dureza, buena resistencia al calor y a la abrasión, producen muy poca fricción además de tener propiedades de aislamiento.

La propiedad de aislamiento junto con la resistencia al calor y a la abrasión de muchos materiales cerámicos los hacen muy utilizados en paredes de hornos y para la fundición de metales como el acero.

MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son una mezcla de dos o más materiales. La mayoría de los materiales compuestos están hechos de un material reforzado y una resina o a fin de que se obtengan características y propiedades deseadas.

Usualmente, los componentes no se disuelven uno en el otro y pueden ser físicamente identificados por una interfase en los componentes. Los materiales compuestos pueden ser de muchos tipos en los que predominan los fibrosos (compuestos de fibras como una matriz). Hay muchas combinaciones de refuerzos y matrices utilizados para producir materiales compuestos. Dos tipos muy conocidos de estos materiales usados para ingeniería son la fibra de vidrio reforzada con una matriz de poliéster o epóxica y fibras de carbono en una matriz epóxica.

MATERIALES ELECTRONICOS

Los materiales electrónicos no son muy grandes en volumen pero son extraordinariamente importantes para el avance tecnológico. El material electrónico más importante es el silicón puro, el cual es modificado en varias formas para cambiar sus características eléctricas. Una multitud de circuitos complejos pueden ser miniaturizados a un chip de silicón el cual mide aproximadamente $\frac{1}{4}$ ". Dispositivos microelectrónicos han hecho posibles muchos nuevos productos tales como satélites de comunicación, computadoras, etc.

Hoy en día lo que antes no ocurría es realidad, hay competencia entre materiales, existencia de nuevos mercados y reemplazos de materiales por otros.

La disponibilidad de materias primas, el costo de manufactura, el desarrollo de materiales nuevos y procesos para los productos son factores, los cuales han propiciado cambios en el uso de materiales

1.2 ACEROS

El acero es una aleación cristalizada de hierro, carbono y otros varios elementos, que endurece cuando se le enfría bruscamente después de estar arriba de su temperatura crítica. No contiene escoria y se puede moldear, laminar o forjar.

Los aceros se encuentran dentro de los metales ferrosos, los cuales tienen tres constituyentes principales:

- 1) Ferrita: Solución muy débil de carbono en hierro (0.006%). Se considera como hierro puro, es suave y dúctil.
- 2) Cementita: Es un compuesto de hierro carbono. También conocido como carburo de hierro (Fe_3C) es muy duro y quebradizo (0.85%)
- 3) Perlita: Estructura cristalina formada por capas alternas de ferrita y cementita.

ACEROS SIMPLES AL CARBONO

Los aceros simples al carbono se definen como aleaciones de hierro y carbono, en las cuales el carbono y el hierro se combinan químicamente en todo momento.

Sólo los metales ferrosos cuyo contenido de carbono se encuentra entre 0.1 y 1.7% cumplen esta definición.

Además de carbono todos los aceros simples al carbono contienen los siguientes elementos:

Manganeso: Hasta 1.0 %

Sílice: Hasta 0.3 %

Azufre: Hasta 0.05 %

Fósforo: Hasta 0.005 %

ACERO DULCE

El contenido de carbono se mantiene bajo (0.1 – 0.15 %) de manera que el acero tenga una ductilidad elevada.

Características

Elevada ductilidad

Normalmente no se somete a maquinado debido a lo blando del material que ocasiona roturas y mal acabado.

Aplicaciones:

Lamina para realizado de formas (carrocerías de automóviles)

Alambre delgado

Varilla

Tubos estirados

ACEROS SUAVES

Es un acero relativamente blando y dúctil se forja y se estira en caliente o en frío, se maquina fácilmente empleando herramientas de altas velocidad para el acero. El contenido de carbono es de 0.15 a 0.30%.

Características:

Fácil de trabajar en caliente y maleable

Fácil de trabajar en frío y dúctil

Fácil de maquinar con buen acabado

Aplicaciones:

Secciones estructurales (vigas, varillas y mallas)

Forjados

Laminas

Barras y varillas estiradas

Tubos estirados sólidos

Componentes en general, maquinados en taller

Tubos con unión soldada

ACERO AL MEDIO CARBONO

Es un acero más duro, más rígido y menos dúctil que el acero suave. Su contenido de carbono va de 0.3 al 0.5 % y de 0.5 a 0.8%.

Aplicaciones:

0.3% - 0.5%

Bloques de matriz para forjados a golpe

Muelles laminados

Desarmadores, sierras para maderas, cortafrios, llaves, cabezas de martillos

0.5% - 0.8%

Tubos con alta fuerza de tensión

Barras laminadas en caliente y estiradas en frío

Cigüeñales, engranes y componentes sometidos a esfuerzos

ACERO AL ALTO CARBONO

Es más duro, ligeramente menos dúctil que el anterior. Se recomienda no trabajar en frío. Se forja y se trabaja bien en caliente en un intervalo de temperaturas de 700 a 900 °C.

Disponible sólo en forma de barras y laminados en caliente. Se utiliza principalmente después de un tratamiento térmico de dureza y resistencia al desgaste las cuales son sus propiedades principales.

Su contenido de carbono es de 0.8 a 1.4% y se divide en tres grupos:

A) Bajo contenido de carbono (0.8 - 1.0%)

B) Contenido medio de carbono (1.0 - 1.2%)

C) Alto contenido de carbono (1.2 - 1.4%)

A) BAJO CONTENIDO DE CARBONO

Características:

Rigidez y Dureza

Aplicaciones:

Hojas de corte
Herramientas de mano
Cinceles especiales
Alambre de alta resistencia a la tensión
Resortes en espiral
Cabezas de hachas, cuchillos, etc.

B) CONTENIDO MEDIO DE CARBONO

Características:

Dureza

Aplicaciones:

Brocas
Herramientas para corte de metales
Machuelos
Dados de roscar

C) ALTO CONTENIDO DE CARBONO

Características:

Elevada dureza

Aplicaciones:

Cojinetes en general
Limas y herramientas para torneado de metales
Componentes resistentes al desgaste

ACEROS ALEADOS

Los aceros aleados son aceros simples al carbono a los cuales se les adiciona otros metales conocidos como elementos de aleación, los cuales altera las propiedades del acero.

Los elementos de aleación más comunes son:

- Níquel: Refina el grano y endurece el acero
- Cromo: Mejora la respuesta del acero al tratamiento térmico y su respuesta a la corrosión
- Molibdeno: Reduce la fragilidad al templar y permite al acero operar continuamente a elevada temperatura sin hacerse quebradizo.
- Manganeso: Mejora la resistencia al desgaste
- Tungsteno y Cobalto: Mejora la capacidad del acero para mantener su dureza a altas temperaturas. Se emplea principalmente en aceros aleados para la fabricación de herramientas de corte.

CLASIFICACION DE LOS ACEROS

Los aceros se clasifican en dos grupos, aceros simples al carbono y aceros aleados.

Sistemas de clasificación SAE – AISI

SAE – SOCIETY AUTOMOTIVE ENGINEERS

AISI – AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE

Los sistemas creados por la SAE y AISI son similares en muchos aspectos, en ambos se utiliza una serie de 4 o de 5 dígitos para designar el tipo de acero. El sistema AISI también indica el proceso de producción con una letra antes del número.

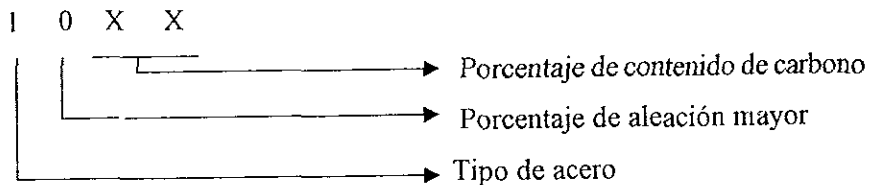
Sistema de Clasificación SAE

- El primer dígito del número indica el elemento predominante de aleación.
- El segundo dígito indica el porcentaje aproximado por peso del elemento de aleación.
- Los dos últimos dígitos indican el contenido promedio de carbono en puntos (centésimas de 1%).

Tipos de Acero:

- 1 - Acero simple al carbono
- 2 - Acero al níquel
- 3 - Acero al níquel - cromo
- 4 - Acero al molibdeno
- 5 - Acero al cromo
- 6 - Acero al cromo - vanadio
- 7 - Acero de triple aleación
- 8 - Acero al silicio - manganeso

A continuación se ilustra como se designa a un acero:



Para el sistema de clasificación AISI se tienen los siguientes prefijos:

- A - Acero básico de hogar abierto
- B - Acero básico Bessemer al carbono
- C - Acero básico al carbono de hogar abierto
- D - Acero ácido al carbono de hogar abierto
- E - Acero de horno eléctrico

1.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En la selección de un material para un miembro de un sistema estructural son muy importantes las características físicas del comportamiento del material sometido a esfuerzos. Estas características se conocen como propiedades mecánicas del material. Además de las propiedades mecánicas, los materiales poseen propiedades químicas, eléctricas, térmicas, ópticas y otras. Aunque estas otras propiedades son de interés entre los requisitos de diseño especializado, las propiedades mecánicas son las que más interesan al ingeniero.

Las propiedades mecánicas, tales como la rigidez, ductilidad, fragilidad y maquinabilidad, para nombrar algunas, describen el comportamiento del material cuando se somete a cargas. Estas propiedades afectan las características de funcionamiento de los miembros del sistema.

A continuación daremos una breve explicación de estas propiedades y así entender los factores que conducen a la selección de un material particular para una función particular.

PROPIEDADES MECANICAS

La primera propiedad mecánica que se considerara es la *resistencia*. La resistencia de un material indica su capacidad de resistir carga y generalmente se toma como sinónimo del esfuerzo. Más específicamente, se considera que es el esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de que ocurra una falla. Un miembro se considera que ha fallado si cesa de realizar la función para la cual se diseñó. Esto puede deberse a llegar al esfuerzo último en los materiales frágiles que no se deforman grandemente antes de la fractura, o puede ser debido a haber alcanzado el esfuerzo de fluencia en los materiales dúctiles que se deforman plásticamente una gran cantidad, antes de que se alcance el esfuerzo último.

Otra propiedad de interés, particularmente con respecto a las consideraciones de flexibilidad, es la rigidez. Se dice que una parte estructural es rígida si soporta un gran esfuerzo con una deformación relativamente pequeña. El módulo de elasticidad de un material es una medida de su rigidez.

Propiedades adicionales de gran importancia en la selección de los miembros que soportan carga son la *ductilidad*, *maleabilidad*, y *fragilidad*. Un material es dúctil y maleable si puede soportar grandes deformaciones inelásticas (plásticas) antes de la fractura. La ductilidad esta asociada con los esfuerzos de tensión (por ejemplo, un material puede ser estirado en alambres); la maleabilidad esta asociada con los esfuerzos de compresión (por ejemplo, un material puede ser laminado en hojas delgadas). La mayoría de los materiales que son dúctiles también son maleables. La fragilidad es la propiedad opuesta a la ductilidad; un material frágil se fracturará a deformaciones unitarias relativamente bajas. Una línea divisoria usual que separa los materiales dúctiles de los frágiles es una *deformación unitaria* de 5%; es decir, si un material se fractura a una deformación unitaria de 5% o menos, se considera como quebradizo.

Los materiales usados en miembros que están sujetos al impacto de cargas dinámicas deben de ser capaces de absorber energía y el choque de las cargas.

La *resilencia* y la *tenacidad* son las propiedades que describen la capacidad de un material para absorber energía.

La *resilencia* de un material es la capacidad de absorber energía en el intervalo elástico de esfuerzos, mientras que la *tenacidad* es la capacidad de absorber energía en el intervalo inelástico de esfuerzos.

Otra propiedad de interés en consideraciones de diseño es la *dureza*, que es una medida de capacidad del material para resistir rayaduras. La dureza de un material puede modificarse grandemente mediante varios procesos de manufactura, tales como tratamientos térmicos, trabajo en frío, templado y revenido

La *maquinabilidad* es una medida de la facilidad con que un material puede maquinarse mediante operaciones tales como el barrenado, fresado, roscado, etc. La maquinabilidad de un material puede cambiarse considerablemente aleando el material con otros elementos y mediante operaciones tales como los tratamientos térmicos y el estirado en frío.

CAPITULO 2

CAPITULO 2

ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACION

EQUILIBRIO DE SISTEMAS DE FUERZAS NO CONCURRENTES

Un cuerpo, sometido a la acción de un sistema de fuerzas no concurrentes (es decir, cuando las líneas de acción de todas las fuerzas no se intersecan en un punto común) está en equilibrio si la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es igual a cero. Es decir, el sistema de fuerzas que actúan sobre el cuerpo es igual a cero. Es decir, el sistema de fuerzas que actúa sobre el cuerpo no tiene resultante ni en forma de fuerza ni en forma de par. Bajo estas condiciones, las ecuaciones de equilibrio del cuerpo son:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

El método general de solución para problemas de equilibrio con fuerzas no concurrentes consiste en los siguientes pasos:

1. Se traza un diagrama de cuerpo libre.
2. Se descomponen las fuerzas en componentes rectangulares, si es necesario.
3. Se aplican las tres ecuaciones de equilibrio arriba escritas.
4. Se resuelven las ecuaciones de equilibrio para las cantidades desconocidas.

Como solamente hay tres ecuaciones de equilibrio, no pueden determinarse más de tres incógnitas a partir de cualquier diagrama de cuerpo libre. Una técnica eficaz no sigue un patrón determinado, sino que debe ajustarse a los requisitos del problema. Sin embargo, el paso más importante en la solución es la construcción de un diagrama de cuerpo libre completo y correcto.

DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE

Al resolver problemas, es muy importante representar correctamente las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. Si existen fuerzas que no se indican, o si se indican fuerzas que no existen, el problema nunca podrá resolverse correctamente. La técnica de presentar correctamente las fuerzas sobre un esquema del cuerpo en cuestión (diagrama de cuerpo libre) es vital para un entendimiento de la mecánica y diseño en ingeniería.

Los pasos en la construcción de un diagrama de cuerpo libre son:

1. Se aísla el cuerpo en cuestión. Es decir, se traza la forma general del cuerpo sin las fuerzas aplicadas ni las reacciones.
2. Se muestran todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Estas fuerzas son, tanto las fuerzas aplicadas como las fuerzas producidas por las reacciones.

MOMENTO DE UNA FUERZA

Un concepto importante en la solución de problemas sobre sistemas de fuerzas no concurrentes es el del momento de una fuerza. El momento de una fuerza se define como la tendencia de la fuerza a girar alrededor de algún eje. La magnitud del efecto de giro de la fuerza alrededor de un eje se llama intensidad del momento y se define como:

$$M = Fd$$

donde

M = Intensidad del momento en $N \cdot m$

F = Magnitud de la fuerza considerada en N

d = distancia perpend. del eje de rotación a la línea de acción de fuerza en m

ESFUERZO

Una fuerza externa aplicada a un cuerpo, hace que este se deforme o cambie ligeramente de forma. También produce fuerzas internas (esfuerzos) que actúan dentro del cuerpo.

El esfuerzo es una función de las fuerzas internas en un cuerpo que se producen por la aplicación de las cargas exteriores. Para entender la composición y distribución de las fuerzas internas, consideremos una barra simple sujeta a una fuerza axial P en cada extremo, como se indica en la figura 2.1(a). Supóngase que esta barra está formada de un gran número de fibras alineadas paralelamente. Si se hace una sección de la barra, se obtiene un diagrama de cuerpo libre similar al indicado en la figura 2.1(b).

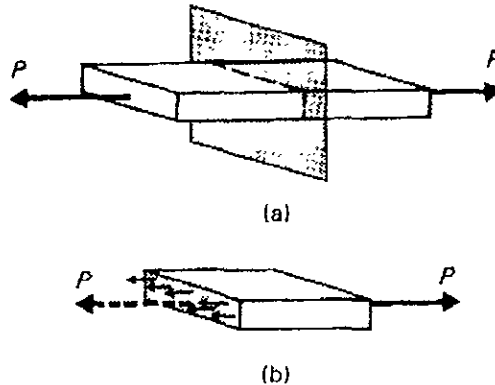


FIG 2.1

Como ya se dijo, una regla básica de estática es que si una estructura está en equilibrio, cualquier porción de la estructura debe estar en equilibrio. En el diagrama de cuerpo libre de la figura anterior, la fuerza externa aplicada está a la derecha. Como el cuerpo está en equilibrio, debe también haber fuerzas que actúan hacia la izquierda. Estas fuerzas que resisten la carga aplicada, son transmitidas por las fibras de la barra. Cada fibra de la barra transmite una porción de la carga. La suma de las cargas soportadas por cada fibra es igual a la carga aplicada.

La fuerza interior total en la barra es la resultante de todas las fuerzas en las fibras, y es igual a P. Sin embargo, no es común hablar de la fuerza total en la barra, sino más bien la intensidad de la fuerza en las fibras. Esta intensidad de la fuerza se llama el esfuerzo, o esfuerzo unitario. El esfuerzo unitario se define como la fuerza por unidad de área. En términos algebraicos,

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

donde

σ = Esfuerzo unitario en N/m^2

P = Carga aplicada en N

A = Area sobre la cual actua la carga, en m^2

En unidades del SI el esfuerzo se mide en newton por metro cuadrado (N/m^2) Esto se denomina un pascal (Pa).

La definición $\sigma = P/A$ de esfuerzo es una fórmula muy importante y útil.

Deben de notarse dos cosas. La primera es que ésta fórmula se aplica a partes que estén cargadas ya sea a tensión o a compresión. La segunda y más importante, es que las cargas deben de aplicarse a través del centroide de la sección transversal y deben coincidir con el eje. Si una carga axial no pasa por el centroide de la sección transversal del miembro, la fórmula $\sigma = P/A$ no se aplica directamente.

DEFORMACION

Considérese una barra sujeta a una carga axial de tensión P, como se muestra en la figura 2.2. Cuando se aplica la carga, se desarrolla un esfuerzo unitario en la barra que es igual a $\sigma = P/A$. Además, la barra se alarga ligeramente debido a la aplicación de la carga.

En resistencia de materiales, estos cambios de longitud (también se conocen como elongaciones o contracciones) se conocen como deformaciones. Una deformación es, por consiguiente, el cambio de longitud de una parte.

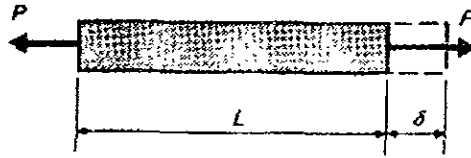


FIG 2 2

Las definiciones de deformación total y deformación unitaria se necesitan en la solución de muchos problemas. La deformación total es el cambio total de longitud del miembro. Es la dimensión δ indicada en la figura 2.2. Un método para calcular la deformación total se dará mas adelante. La deformación unitaria se define como el cambio en longitud por unidad de longitud. Expresada algebraicamente, la deformación unitaria es:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

donde

ε = Deformacion unitaria en m/m

δ = Deformacion total en m

L = Longitud original en m

ELASTICIDAD

El concepto de elasticidad es importante. Elasticidad es la propiedad que hace que un cuerpo que ha sido deformado regrese a su forma original después de que se han removido las fuerzas deformadoras. Por ejemplo, consideremos la barra de la figura 2.3. Supóngase que esta barra que era de 1 m de longitud antes de cargarla se ha estirado una cantidad δ debido a la aplicación de una carga P. Si la barra regresa a su longitud original de 1 m después de quitar la carga como en la figura 2.3 (c), se dice que el material es perfectamente elástico (con esta carga).

Sin embargo, si la barra no recobra su longitud original después de cesar la acción de la carga, como en la figura 2.3 (d), se dice que el material es parcialmente elástico. La deformación δ' se llama deformación permanente, permanece después de que se ha quitado la carga.

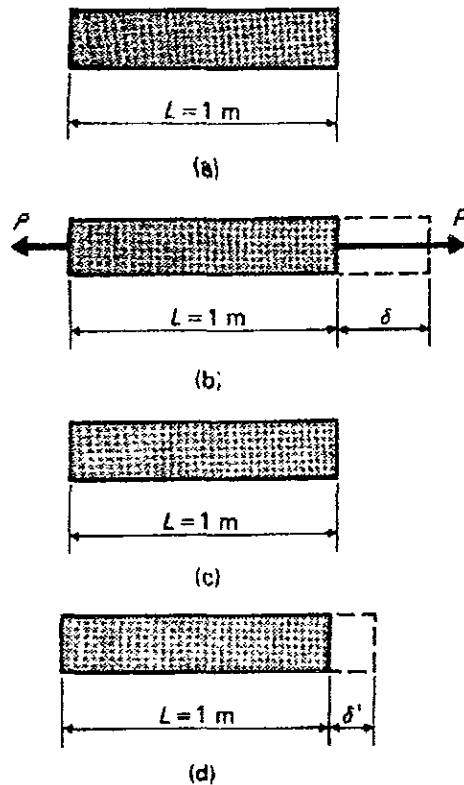


FIG 2.3

Según esta definición, casi todos los materiales de ingeniería tales como el acero, aluminio, vidrio, concreto, madera, etc. pueden considerarse como elásticos. A los esfuerzos normales a los que usan los materiales, generalmente se consideran como perfectamente elásticos. Sin embargo, si los esfuerzos en un cuerpo llegan a ser demasiado grandes, el cuerpo nunca regresará a sus dimensiones originales.

RELACION ENTRE ESFUERZO Y DEFORMACION

La relación entre los términos de esfuerzo y deformación es muy importante.

En el siglo diecisiete (1658), Robert Hooke publicó un artículo en el que estableció que el esfuerzo era directamente proporcional a la deformación unitaria. Este hecho se conoce como Ley de Hooke. Matemáticamente puede expresarse como $\sigma \propto \epsilon$. Esta proporción puede convertirse en una ecuación introduciendo una constante de proporcionalidad. Esta constante de proporcionalidad fue calculada a principios del siglo diecinueve (1802) por Thomas Young, un científico inglés. Se conoce como el módulo de elasticidad, o módulo de Young. El módulo de elasticidad (al que va dado como símbolo E) se ha determinado para los diversos materiales de ingeniería.

Al incluir el módulo de elasticidad, la Ley de Hooke, $\sigma \propto \epsilon$ se convierte en una ecuación importante y útil, que se expresa como:

$$\sigma = E\epsilon$$

donde

σ = Esfuerzo unitario en Pa

ϵ = Deformación unitaria en m/m

E = módulo de elasticidad en Pa

CALCULO DE LA DEFORMACION

Si un miembro se somete a una fuerza exterior axial P, como se muestra en la figura 2 4, la barra se deforma (se alarga, en este caso). Puede demostrarse experimentalmente que la deformación δ es directamente proporcional a la carga P y a la longitud L, e inversamente proporcional al área de la sección transversal A. Expresado matemáticamente, $\delta \propto PL/A$.

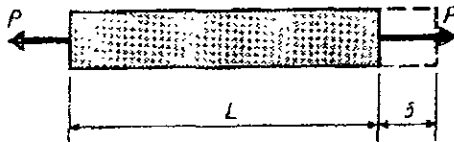


FIG 2 4

Esto es razonable, ya que a mayor carga, mayor deformación (Ley de Hooke), y a mayor longitud de varilla, más moléculas se presentan en cada fibra, Por consiguiente, el alargamiento acumulado de cada fibra será mayor. La deformación es inversamente proporcional al área ya que a medida de que aumenta el área, se presentan mas fibras para soportar la carga, y cada fibra soportara una menor parte de esa carga. Para convertir esta proporción en una ecuación, debe de incluirse la constante de proporcionalidad. Esta constante es el inverso del módulo de elasticidad de Young. La ecuación para la deformación total de una barra cargada axialmente puede escribirse como:

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

donde

δ = Deformacion total en m

P = Carga aplicada en N

L = Longitud en m

A = area de la seccion transversal en m²

E = Modulo de elasticidad en Pa

DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION UNITARIA

Cuando se elige un material se deben de conocer sus propiedades, así como su capacidad para soportar esfuerzos. Las diversas propiedades mecánicas de un material se determinan mediante una serie de pruebas de laboratorio.

A continuación se muestra el diagrama de esfuerzo deformación que se obtiene después de ensayar a tensión un material. Los valores del esfuerzo unitario (P/A) son las ordenadas y los valores correspondientes de las deformaciones unitarias (δ/L) como las abscisas.

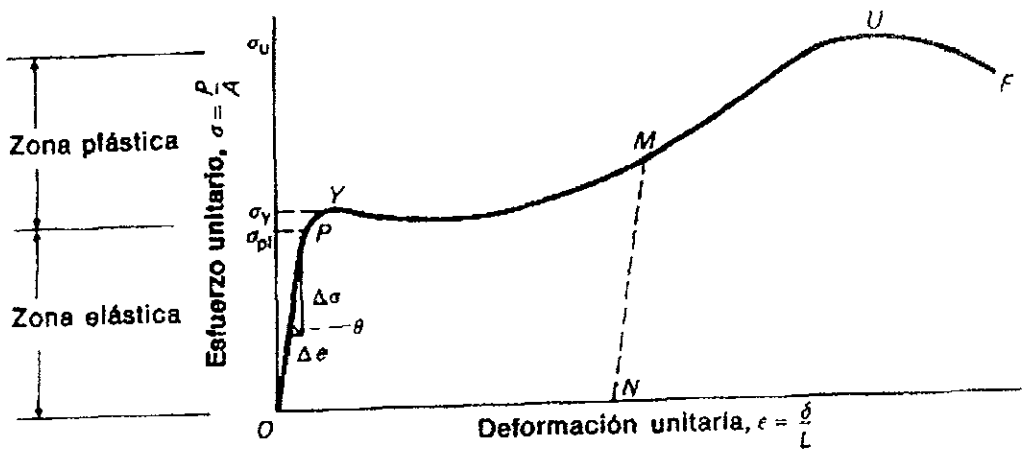


FIG 2.5

La curva comienza en el origen y continúa como una línea recta hasta que llega a P. Más adelante se encuentra el punto Y donde la curva disminuye su pendiente, se hace más horizontal e incluso puede bajar ligeramente. Después de continuar aproximadamente horizontalmente una cierta distancia, la curva tiende otra vez a subir hasta U, y luego decrece hasta alcanzar el punto F, donde ocurre la fractura.

Cada una de esos puntos, o segmentos de la curva, recibe un nombre. El punto P es el límite de proporcionalidad del material. Para un esfuerzo mayor que, el esfuerzo en el límite de proporcionalidad (σ_{pl}), ya no se cumple la Ley de Hooke.

En diseño, el esfuerzo en el material se limita a valores menores que el límite de proporcionalidad. Si los esfuerzos exceden este valor, el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria, y las fórmulas ya no son válidas. Justamente después del límite de proporcionalidad, (en Y), la curva disminuye su pendiente y el material se deforma con muy poco o ningún aumento de carga. El material fluye o se deforma plásticamente en este punto. El esfuerzo para el cual comienza esta fluencia, se llama el esfuerzo del punto de fluencia σ_y .

Posteriormente, la curva incrementa su pendiente y alcanza un valor máximo en U.

El esfuerzo correspondiente a este punto (σ_u) se llama el esfuerzo último del material, que es el máximo esfuerzo que el material es capaz de soportar.

Después la curva desciende hasta el punto F, donde ocurre la fractura.

Cada día se hace más común analizar los esfuerzos en el intervalo elástico o en el intervalo plástico con respecto a las diferentes teorías de diseño. El intervalo elástico de un material es el intervalo de esfuerzos, dentro del cual el material permanece elástico; es decir, regresa a su forma original después de descargarlo. En el intervalo elástico, los esfuerzos son menores que el punto de fluencia. Cuando los esfuerzos exceden el punto de fluencia, tiene lugar un flujo plástico, y el material nunca vuelve a recuperar su forma original. Este intervalo de esfuerzos se llama intervalo plástico.

ESFUERZOS CORTANTES

Los esfuerzos cortantes se producen en un cuerpo cuando las fuerzas aplicadas tienden a hacer que una parte del cuerpo se corte o se deslice con respecto a la otra. En este caso, la porción superior del bloque tiende a cortarse o deslizarse con respecto a la porción inferior. Las fuerzas cortantes que resisten la carga aplicada P actúan sobre el área $abcd$ mostrada en la figura 2.6 (b). Estas fuerzas actúan en un plano paralelo a la carga aplicada, y no en un plano perpendicular a la carga como en el caso de los esfuerzos normales.

El esfuerzo cortante es igual a la fuerza cortante dividida entre el área sobre la cual actúa. O sea

$$\tau = \frac{P}{A}$$

donde

τ = Esfuerzo cortante en Pa

P = Fuerza cortante en N

A = Área sobre la cual actúa la fuerza cortante en m^2

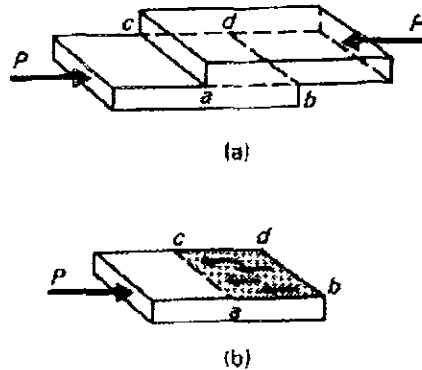


FIG 2 6

Definiciones:

Antes de que un material pueda cargarse hasta el esfuerzo último, ocurren deformaciones bastante grandes. Por consiguiente, la máxima capacidad de un miembro para soportar carga se alcanza generalmente antes del esfuerzo último.

El punto de fluencia o la resistencia en el punto de fluencia, se considera generalmente como el máximo esfuerzo que puede tolerarse. Por esta razón, los factores de seguridad, se refieren generalmente al esfuerzo de fluencia mas bien que al esfuerzo último del material.

El termino "falla" frecuentemente se entiende como un sinónimo de "fractura". Se dice que ocurre una falla cuando un miembro cesa de realizar satisfactoriamente la función para la cual estaba destinado.

Por lo tanto, no es deseable diseñar un miembro para usarlo a su máxima capacidad. Se aplica un factor de seguridad al máximo esfuerzo utilizable (generalmente el del punto de fluencia) para obtener un esfuerzo de diseño admisible o de trabajo. Un esfuerzo admisible es aquel esfuerzo que no debería de ser excedido en el diseño de un miembro. Algebraicamente, el esfuerzo admisible se determina como:

$$\sigma_{\text{admissible}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\text{factor de seguridad}}$$

CAPITULO 3

En los cojinetes de rodamiento, el eje esta separado del elemento exterior por bolas o rodillos, sustituyéndose la fricción de deslizamiento por la fricción de rodamiento. Como las áreas de contacto son pequeñas y los esfuerzos altos, las partes de los rodamientos sobre las que actúan normalmente las fuerzas se hacen de materiales duros de alta resistencia, superiores a los materiales del eje y del elemento exterior. Estas partes incluyen anillos interior y exterior (también llamados pistas), y las bolas o rodillos. Una parte adicional del cojinete, por lo común, es un retén o separador, que mantienen la separación de las bolas o rodillos. A continuación se muestra la estructura y nomenclatura de un rodamiento típico radial de bolas.

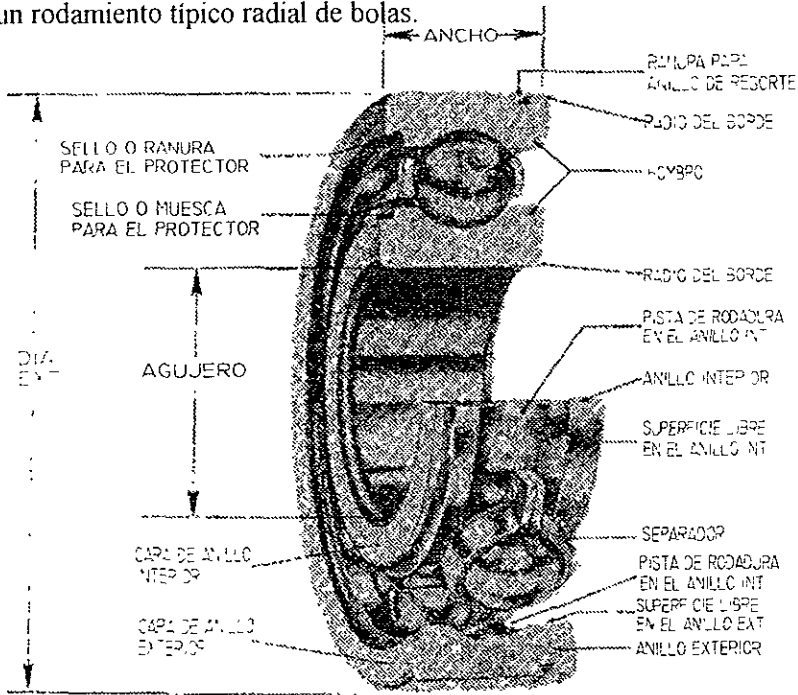


FIG 3 1 RODAMIENTO RADIAL DE BOLAS (TIPO CONRAD O DE RANURA POFUNDA)

TIPOS DE RODAMIENTOS

Los cojinetes de elementos de rodamientos se clasifican como cojinetes de bolas o de rodillos; los cojinetes de rodillos se subdividen en cojinetes radiales y de empuje, dependiendo de si la carga esta principalmente perpendicular o paralela al eje del cojinete. Los cojinetes de bolas se subdividen en radiales, de empuje y de contacto angular; con las definiciones de cojinetes de bolas radiales y de empuje idénticas a las que se utilizan para los cojinetes de rodillos; a su vez los cojinetes de bolas de contacto angular tienen rectificadas sus anillos interior y exterior, de tal modo que permiten soportar una combinación de cargas radiales y de empuje sin daño para el cojinete.

Cojinetes de rodillos cilíndricos

Por convención, un cojinete de rodillos cilíndricos se define como uno construido según se ilustra en la figura 3.2. La superficie de los anillos exterior e interior que pone en contacto los rodillos se denomina anillo de rodadura. La estructura que separa los rodillos se llama separador; jaula o retenedor; aunque protege a los rodillos de entrar en contacto, su propósito principal es evitar que los rodillos se salgan de la porción que soporta la carga de cada anillo.

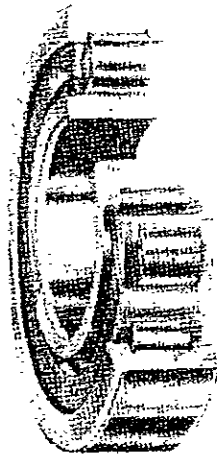


FIG 3 2 COJINETE DE RODILLOS CILINDRICOS

Cojinetes de rodillos cónicos

La inclinación del eje de rodamiento permite que un cojinete de rodillos sostenga cargas tanto axiales como radiales a velocidades moderadas. Para asegurar un rodamiento, los rodillos son ahusados. Estos cojinetes tienen una terminología ligeramente diferente: el anillo interno se denomina cono y el anillo externo, copa. Existen rodamientos de una, dos y cuatro hileras.

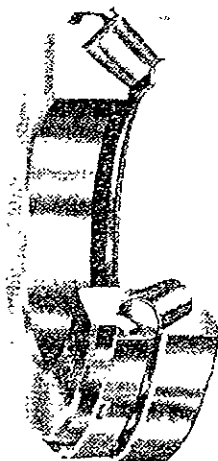


FIG 3 3 COJINETE DE RODILLOS CONICOS

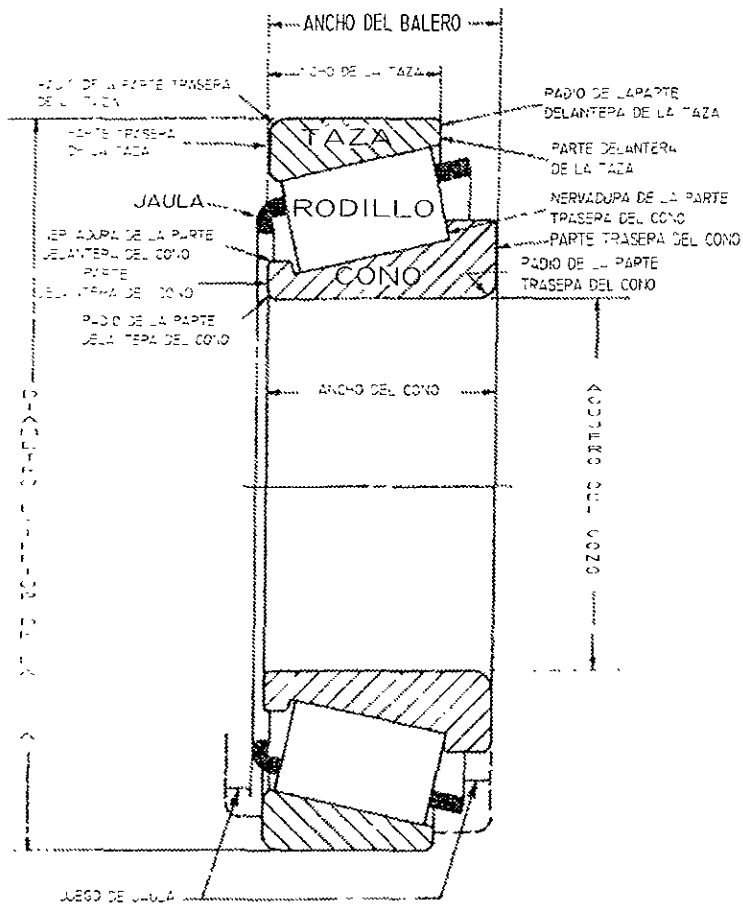


FIG 3 4 PARTES DE UN COJINETE DE RODILLOS CONICOS

Cojinetes de rodillos radiales esféricos

Son también conocidos como cojinetes de rodillos a rótula

En este caso el anillo de rodadura externo esta rectificadado como una porción de esfera para acomodar un desalineamiento angular entre los ejes de los anillos interiores y exteriores. Los rodillos están rectificadados en forma de ojiva, la cual se produce por rotación de un sector de un gran círculo alrededor de su cuerda.

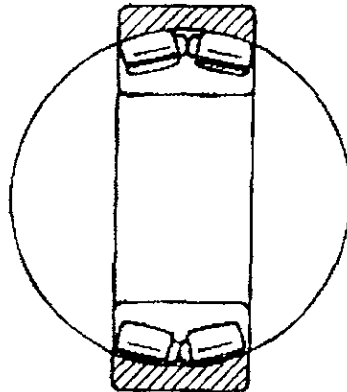


FIG 3 5 SUPEFICIE ESFERICA DE ANILLO DE RODADURA EXTERNO

Cojinetes de bolas radiales de Conrad, o de ranura profunda

Por lo general, los cojinetes de bolas operan con cargas menores y a mayores velocidades que los cojinetes de rodillos. Dependiendo del diseño de los anillos interiores y exteriores, los cojinetes de bolas se pueden clasificar como cojinetes de bolas radiales o de bolas de empuje.

Los cojinetes de bolas radiales Conrad, o de ranura profunda, tienen menos bolas que el tipo de capacidad máxima o que el tipo de relleno de ranura.



FIG 3.6 COJINETE DE BOLAS RADIALES DE RANURA PROFUNDA O CONRAD.

Cojinetes de bolas radiales de capacidad máxima (ranura para llenado)

Estos cojinetes tienen una ranura en un anillo a través de la cual se colocan las esferas entre los anillos interior y exterior. Un número aumentado de esferas les da una capacidad de carga radial mayor que los del tipo de ranura profunda. Debido a la ranura para llenado, éste cojinete soporta cargas axiales solamente en una dirección.

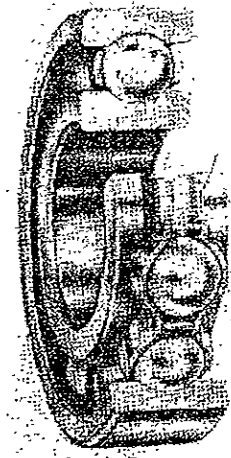


FIG 3 7 COJINETE RADIAL DE BOLAS DE CAPACIDAD MAXIMA (RANURA PARA LLENADO)

Cojinetes de bolas radiales de contacto angular

Los cojinetes de bolas radiales de contacto angular tienen anillos interior y exterior diseñados específicamente para soportar cargas de empuje moderadas en una dirección, combinadas con cargas radiales moderadas.

Con frecuencia están montados en tandem para tener mayor capacidad de carga, y espalda con espalda o cara a cara para obtener capacidad bidireccional de carga axial y mayor o menor rigidez axial, respectivamente.

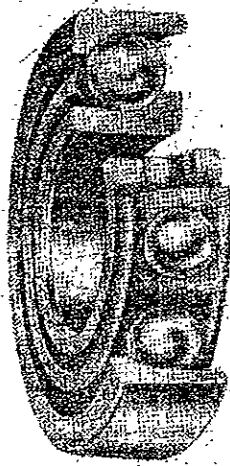


FIG. 38 COJINETE DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR

Cojinetes de bolas radiales de autoalineamiento

Son cojinetes de bolas en doble hilera con anillos de rodadura circunferenciales sobre el anillo interior, y un anillo de rodadura de base esférica sobre el anillo exterior. Son para cargas radiales moderadas y altas velocidades, donde se espera un desalineamiento o una deflexión de la flecha.

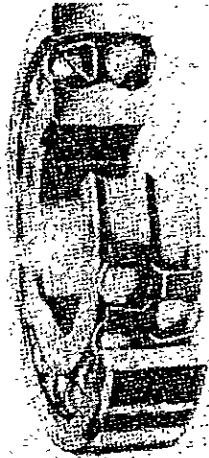


FIG 3 9 COJINETE DE BOLAS RADIALES DE AUTOALINEAMIENTO

Cojinetes de bolas de empuje

Los cojinetes de bolas de empuje se producen con arandelas de empuje y anillos de rodadura diseñados solo para empuje, o para empuje y baja fuerza radial combinados.



FIG 3 10 COJINETES DE BOLAS DE EMPUJE Y DE BOLAS DE EMPUJE DE CONTACTO ANGULAR

Cojinetes de aguja

Estos cojinetes se caracterizan por rodillos cilíndricos largos, que tiene una relación longitud / diámetro del orden de cuatro o mayor, y se diseñan para aplicaciones que requieran espacio libre radial pequeño.

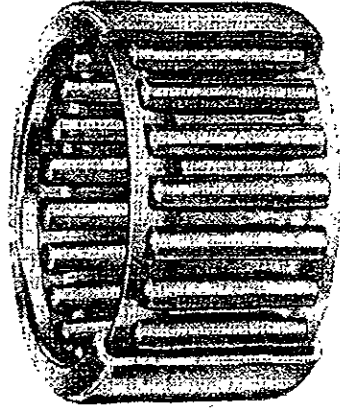


FIG 3 11 COJINETE DE RODILLOS DE AGUJAS DE COPA ALARGADA

SELECCION DEL TIPO DE RODAMIENTO

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

En muchos casos, sin embargo, cuando se selecciona el tipo de rodamiento tienen que considerarse diversos factores y contrastarlos entre sí, razón por la cual no es posible dar unas reglas generales de selección.

La tabla 2 que se muestra en el apéndice ofrece un esbozo general de los tipos de rodamientos, sus características de diseño y su adecuación a las exigencias de su aplicación.

A continuación trataremos importantes criterios que deberán de tomarse en cuenta a la hora de diseñar una disposición de rodamientos.

Espacio disponible

Hay muchos casos en el que al menos una de las dimensiones principales del rodamiento, generalmente el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la máquina a la que va destinado.

Para los ejes de pequeño diámetro, se puede utilizar cualquier tipo de rodamiento de bolas, siendo los rodamientos rígidos de bolas los más comúnmente utilizados, los rodamientos de agujas son también adecuados.

Para ejes de grandes diámetros, se pueden considerar los rodamientos de rodillos cilíndricos, los de rodillos a rótula y los de rodillos cónicos, así como los rodamientos rígidos de bolas.

Cuando el espacio radial disponible es limitado, deberán de seleccionarse rodamientos de pequeña sección, particularmente los de baja altura de sección.

Cuando la limitación de espacio es en sentido axial, para cargas radiales y combinadas, pueden utilizarse algunas series de rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos y de rodamientos rígidos de bolas, y para cargas estrictamente axiales pueden usarse coronas axiales de agujas, rodamientos axiales de agujas y algunas series de rodamientos axiales de bolas y rodamientos axiales de rodillos cónicos cilíndricos.

Cargas

Magnitud de la carga

Este es normalmente el factor más importante para determinar el tamaño de rodamiento a utilizar. En general, para unas mismas dimensiones principales, los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas que los rodamientos de bolas. Los rodamientos de bolas son los más comúnmente utilizados cuando las cargas son pequeñas o moderadas; los rodamientos de rodillos son la elección más adecuada para cargas pesadas y ejes de grandes diámetros.

Dirección de la carga

Carga radial

Con las excepciones de los rodamientos de rodillos cilíndricos sin pestaña en algunos de sus aros y de los rodamientos radiales de agujas que solo son adecuados para cargas estrictamente radiales, todos los demás rodamientos radiales pueden soportar tanto cargas radiales como cargas axiales (cargas combinadas)

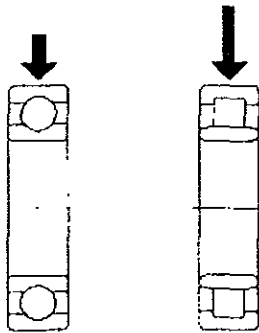


FIG 3 12

Carga axial

Los rodamientos axiales de bolas y los rodamientos de bolas de cuatro puntos de contacto son los tipos más adecuados para cargas axiales puras pequeñas y moderadas. Los rodamientos axiales de bolas de simple efecto sólo pueden soportar cargas axiales en un sentido; para cargas axiales en ambos sentidos se necesitan rodamientos de doble efecto.

Los rodamientos axiales de bolas con contacto angular pueden soportar cargas axiales moderadas a altas velocidades; los rodamientos de rodillos simple efecto pueden soportar también cargas radiales actuando simultáneamente; mientras que los rodamientos de doble efecto normalmente sólo se usan para cargas axiales puras. Para cargas axiales moderadas y pesadas actuando en un solo sentido, los rodamientos más adecuados son los rodamientos axiales de agujas, los rodamientos axiales de rodillos cilíndricos y los de rodillos cónicos de simple efecto, así como los rodamientos axiales de rodillos a rótulas, que también son capaces de soportar cargas radiales. Para cargas axiales pesadas alternas, se pueden montar dos rodamientos axiales de rodillos cilíndricos o de rodillos a rótula adyacentes entre sí.

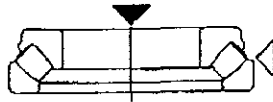


FIG. 3 13

Carga combinada

Una carga combinada consta de una carga radial y una carga axial que actúan simultáneamente.

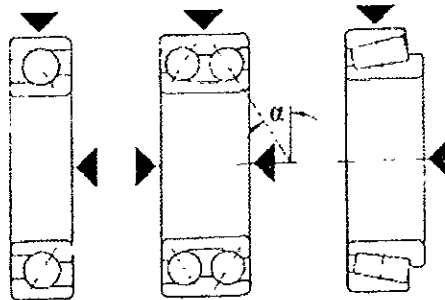


FIG 3 14

La capacidad que tienen un rodamiento de soportar una carga axial está determinada por su ángulo de contacto α , cuando mayor sea este ángulo, tanto más adecuado es el rodamiento para soportar carga axial. El factor de cálculo "Y" que disminuye al aumentar el ángulo de contacto, proporciona una indicación de esta capacidad para soportar cargas axiales. La capacidad de la carga axial de los rodamientos rígidos de bolas depende del juego interno del rodamiento.

Para soportar cargas combinadas se usan principalmente los rodamientos de bolas de contacto angular de una o dos hileras y los rodamientos de rodillos cónicos de una hilera.

Los rodamientos de bolas de cuatro puntos de contacto, los axiales de rodillos a rótula y los de rodillos cónicos son adecuados cuando predominan cargas axiales.

Los rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular, los de rodillos cónicos pueden soportar cargas en un sólo sentido. Para cargas de sentido variable, estos rodamientos deberán de combinarse con un segundo rodamiento.

Cuando la componente axial representa una gran proporción de la carga combinada, ésta puede ser soportada independientemente de la carga radial por medio de un segundo rodamiento.

Momentos

Cuando la carga actúa excéntricamente sobre el rodamiento puede dar lugar a momentos flectores. Los rodamientos de dos hileras, tanto los rodamientos rígidos de bolas como los de contacto angular, pueden soportar momentos flectores, pero son más adecuadas las parejas de una hilera de bolas con contacto angular o de rodillos cónicos, sobre todo en disposición espalda con espalda, así como los rodamientos de rodillos cilíndricos cruzados o de rodillo cónicos cruzados.

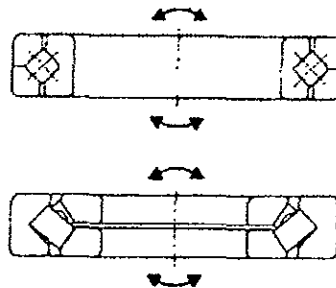


FIG 3 15

Desalineación

Las desalineaciones angulares entre el eje y el soporte pueden ser originadas, por ejemplo, por flexión de eje bajo la carga de funcionamiento, cuando los asientos del rodamiento en el soporte no han sido mecanizados en una sola operación o cuando los ejes están soportados por rodamientos montados en soportes separados y a gran distancia entre sí.

Los llamados rodamientos rígidos no pueden compensar desalineación alguna, o su capacidad para absorber desalineaciones, sin que aparezcan sobrecargas, es muy pequeña. Por otra parte los rodamientos autoalineables, como los de bolas a rótula, los de rodillos a rótula y los axiales de rodillos a rótula son adecuados para absorber desalineaciones originadas bajo cargas de funcionamiento y también los errores de alineación resultantes del mecanizado o el montaje

Velocidad

La velocidad a la cual un rodamiento puede funcionar viene limitada por la temperatura máxima permisible de funcionamiento. Los tipos de bajo rozamiento dan lugar a una generación interna de calor escasa en el propio rodamiento y, por consiguiente, son los más adecuados para funcionar a altas velocidades

Las máximas velocidades pueden obtenerse con los rodamientos rígidos de bolas cuando las cargas son radiales puras, y con los rodamientos de bolas con contacto angular para cargas combinadas.

Debido a su diseño, los rodamientos axiales no permiten la obtención de velocidades tan altas como las radiales.

Funcionamiento silencioso

En ciertas aplicaciones, por ejemplo, pequeños motores eléctricos de electrodomésticos y equipos de oficina, el ruido producido por el motor al funcionar constituye un factor importante y puede influir en la elección del rodamiento. Hay rodamientos rígidos de bolas especialmente fabricados para estas aplicaciones.

Rigidez

La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de la deformación elástica del rodamiento cargado. En la mayoría de los casos, esta deformación es muy pequeña y puede despreciarse. En muy pocos casos, por ejemplo, en husillos de máquinas – herramientas, o en transmisiones de engranes cónicos, la rigidez es un factor importante.

Debido a las condiciones de contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, los rodamientos de rodillos cilíndricos o los de rodillos cónicos, son más rígidos que los rodamientos de bolas.

Desplazamiento axial

Un eje u otro elemento de máquina va normalmente soportado sobre un rodamiento fijo y un rodamiento libre.

Los rodamientos fijos proporcionan enclavamiento axial en ambos sentidos al elemento de máquina. Los rodamientos más adecuados para este fin son los que absorben cargas combinadas, o los que pueden proporcionar fijación axial en combinación con un segundo rodamiento.

Los rodamientos libres deberán de permitir los desplazamientos axiales para que los rodamientos no sufran esfuerzos adicionales como resultado, por ejemplo, de la dilatación del eje. Entre los rodamientos mas adecuados figuran los rodamientos de agujas y los de rodillos cilíndricos. Estos rodamientos permiten el desplazamiento axial de los rodillos con respecto a uno de los caminos de rodadura por lo que tanto los aros interiores como los exteriores pueden montarse con ajustes de interferencia.

Montaje y desmontaje

Los rodamientos con agujero cilíndrico son más fáciles de montar cuando son de diseño desarmable. Se prefieren también cuando se precisan un frecuente montaje y desmontaje del rodamiento. Los aros interiores de estos rodamientos, por ejemplo los rodamientos de rodillos cilíndricos, los de rodillos cónicos y los de agujas, se pueden montar independientemente de los aros exteriores. Entre los rodamientos no desarmables figuran los rodamientos rígidos de bolas, los de bolas a rótula y los de bolas de contacto angular, así como los rodamientos de rodillos a rótula.

SELECCION DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO UTILIZANDO LA CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA

El tamaño del rodamiento se deberá de seleccionar en base a su capacidad de carga estática C_0 y no en base a su duración en cada uno de los siguientes casos:

- Cuando se trata de un rodamiento estacionario sometido a cargas continuas o intermitentes (choques).
- Cuando el rodamiento efectúa lentos movimientos de oscilación o de alineación bajo carga.
- Cuando el rodamiento gira bajo carga a velocidades muy bajas y sólo se necesita alcanzar una vida corta.
- Cuando el rodamiento gira y tiene que soportar elevadas cargas de choque durante una fracción de revolución, además de las cargas de trabajo normales.

En todos los casos, la capacidad de carga del rodamiento no viene determinada por la fatiga del material, sino por la deformación permanente originada en los puntos de contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. Las cargas que actúan sobre un rodamiento estacionario, o sobre un rodamiento que efectúa lentos movimientos de oscilación, así como las cargas de choque que sólo actúan durante una fracción de revolución sobre un rodamiento giratorio, dan lugar a superficies aplanadas sobre los elementos rodantes y a la formación de huellas sobre los caminos de rodadura. Estas huellas pueden estar distribuidas irregularmente sobre los caminos de rodadura o uniformemente en posiciones correspondientes a la distancia que separa los elementos rodantes. Si la carga actúa durante varias revoluciones del rodamiento, la deformación se distribuirá por igual por todo el camino de rodadura. Las deformaciones permanentes originadas en un rodamiento pueden dar lugar a vibraciones en dicho rodamiento, así como un funcionamiento ruidoso y un aumento del rozamiento. Estas deformaciones también pueden dar lugar a un aumento del juego interno o provocar cambios en el tipo de ajuste.

Estos cambios serán más o menos perjudiciales para las prestaciones del rodamiento de acuerdo con las características que se exijan de los rodamientos en cada aplicación particular. Por consiguiente es necesario asegurar que no se produzcan deformaciones permanentes o que estas sean muy pequeñas y para conseguirlo se deberá seleccionar un rodamiento que tenga una capacidad de carga estática lo suficientemente elevada cuando la aplicación exija que el rodamiento cumpla alguno de los siguientes requisitos:

- Funcionamiento silencioso.
- Funcionamiento sin vibraciones.
- Un par de rozamiento constante.
- Un bajo rozamiento en el arranque bajo carga

Cuando el tamaño del rodamiento requerido se determina en base a la capacidad de carga estática, se emplea un factor de seguridad S_0 que representa la relación entre la capacidad de carga estática nominal C_0 y la carga estática equivalente P_0 , para calcular la capacidad de carga estática nominal requerida (ver tabla 3 en apéndice).

Carga estática equivalente

Las cargas que tienen componente radial y axial deben de ser convertidas en una carga estática equivalente. Esta se define como la carga (radial para los rodamientos radiales y axial para rodamientos axiales) que si se aplicase produciría la misma deformación permanente en el rodamiento que las cargas reales. Se obtienen por medio de la ecuación general:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

donde

P_0 = Carga estática equivalente en N

F_r = Carga radial real en N

F_a = Carga axial real en N

X_0 = Factor de carga del rodamiento

Y_0 = Factor de carga axial de rodamiento

Para calcular P_0 se deberá de usar la máxima carga a la cual pueda estar sometido el rodamiento e introducir sus componentes radial y axial en la ecuación anterior. Si una carga estática actúa sobre el rodamiento en diferentes direcciones, la magnitud de estos componentes será variable y por tanto, en estos casos, se deberán usar las componentes de la carga que den el valor máximo de la carga estática equivalente. La información y todos los datos necesarios para calcular la carga estática equivalente se encuentran en las tablas 3 y 4 del apéndice.

Capacidad de carga estática necesaria

La capacidad de carga estática necesaria C_0 se puede determinar mediante la ecuación:

$$C_0 = S_0 P_0$$

donde

C_0 = Capacidad de carga estática en N

P_0 = Carga estática equivalente en N

S_0 = Factor de seguridad estático

En la tabla 3 localizada en el apéndice se dan los valores del factor de seguridad estático S_0 basados en la experiencia sobre los rodamientos de bolas y de rodillos para varias clases de funcionamiento y exigencias de rotación suave. A temperaturas elevadas, la capacidad de carga estática del rodamiento disminuye.

RODAMIENTOS DE RODILLOS CONICOS

Los rodamientos de rodillos cónicos tienen los rodillos dispuestos en caminos de rodadura cónicos con aros interior y exterior. Las superficies cónicas de ambos caminos, al proyectarse convergen sobre un mismo punto del eje de del rodamiento. El diseño de este tipo de rodamiento es adecuado para soportar cargas combinadas (radial y axial). Su capacidad de carga axial esta en gran medida determinada por el ángulo de contacto α . Cuanto mayor sea este ángulo mayor es la capacidad de carga axial del rodamiento.

Los rodamientos de rodillos cónicos normalmente son de diseño desarmable, es decir, el cono forma una unidad que puede montarse aparte de la copa del rodamiento

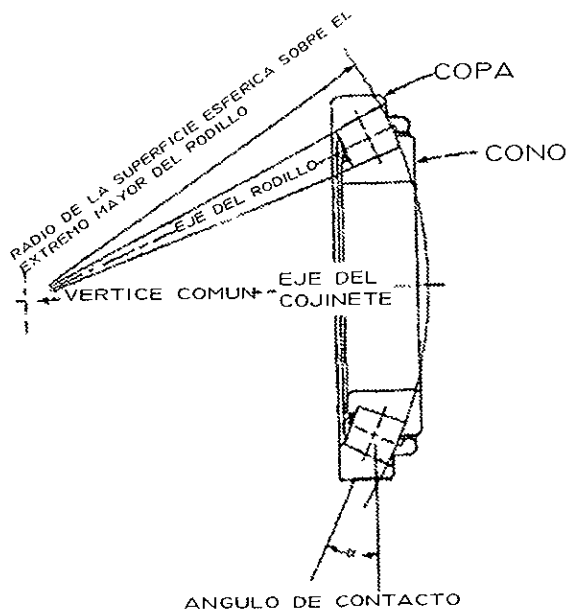


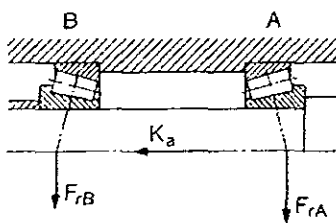
FIG 3 16 COJINETE DE RODILLOS CONICOS Y SU TERMINOLOGIA

Los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos sólo pueden soportar cargas axiales actuando en un sentido. Bajo cargas radiales, se produce una fuerza axial en el rodamiento que debe de ser contrarrestada. Por consiguiente, cuando se usan rodamientos de una hilera de rodillos cónicos se acostumbra ajustar el rodamiento contra un segundo rodamiento de rodillos cónicos.

CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE

A continuación se indica la fórmula necesaria según las disposiciones de carga sugeridas en el párrafo anterior. Esta es válida solamente si los rodamientos se ajustan uno contra otro para obtener un funcionamiento de juego cero. En la disposición mostrada el rodamiento A está siempre sometido a la carga radial F_{rA} , y el B a la F_{rB} . Las cargas F_{rA} y F_{rB} se consideran siempre positivas, incluso si ambas actúan en sentido opuesto al representado en la figura. Las cargas radiales actúan en el centro de presión de los rodamientos. Adicionalmente, sobre el eje actúa una fuerza axial externa K_a .

Montaje en O (espalda con espalda)



$$2a) \quad \frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B} \quad F_{aA} = F_{aB} + K_a \quad F_{aB} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0$$

$$2b) \quad \frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B} \quad F_{aA} = F_{aB} + K_a \quad F_{aB} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0,5 \left(\frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B} \right)$$

FIG 3.17

Carga estática equivalente

Para rodamientos de una hilera de rodillos cónicos

$$P_0 = 0,5 F_r + Y_0 F_a$$

Si $P_0 < F_r$, se toma $P_0 = F_r$. Los valores del factor Y_0 para cada rodamiento específico pueden ser hallados en las tablas de rodamientos.

Diseño de las disposiciones de rodamientos

Cuando se diseñan *disposiciones que incorporan* rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, se hace necesario considerar las características especiales de estos rodamientos. Debido al diseño interno de los mismos, no se pueden usar de manera individual, sino que requieren del empleo de un segundo rodamiento.

Cuando la disposición se compone de dos rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, estos deben de ajustarse uno contra el otro hasta obtener el funcionamiento de juego deseado o la precarga requerida.

Una dimensión adecuada del juego o precarga en funcionamiento es esencial para el correcto rendimiento de estos rodamientos y también para la fiabilidad de funcionamiento de la disposición. Así por ejemplo, un juego de funcionamiento demasiado grande no permitirá aprovechar al máximo toda la capacidad de carga del rodamiento, mientras que si la precarga es demasiado grande, las pérdidas por rozamiento serán mayores, la temperatura de funcionamiento aumentará y se reducirá la duración del rodamiento.

CAPITULO 4

CAPITULO 4

DISEÑO DE GRUA GIRATORIA

Este capítulo esta formado de cada uno de los capítulos anteriores, los cuales utilizaremos para obtener un producto final, el diseño de la grúa giratoria.

Comenzaremos con el capítulo 1 “Consideraciones para el diseño de la grúa giratoria”.

FASES EN EL PROCESO DE DISEÑO DE LA GRUA.

Reconocimiento de una necesidad

La necesidad de crear un dispositivo que pudiera levantar un objeto pesado; en este caso la aplicación particular de una tapa de acero de un compresor industrial, fue identificada después de que en cada servicio de mantenimiento que se le hacia al compresor se tenían que invertir varias horas de trabajo y fuerza - hombre de por lo menos dos personas.

Se pretende con el diseño de esta grúa disminuir las horas de trabajo y eliminar la fuerza - hombre a su mínimo.

Especificaciones y requisitos

La grúa deberá de contar con las siguientes especificaciones y requisitos:

Girar sobre su propio eje 360°.

Tener una capacidad de carga de 300 Kg.

Deberá de ser de un material resistente.

Deberá de ser operada, montada y desmontada por una sola persona.

Deberá de llevar rodamientos para eliminar a su mínimo la fricción entre sus partes y facilitar su operación.

Estudio de posibilidades

La posible creación de esta grúa es muy factible debido a que su uso será muy frecuente, su fabricación no es tan complicada (no es tratada en ésta tesina) y su costo mayor será solamente el de los rodamientos.

Síntesis del diseño creativo

Se presentará en la figura 4.1 un dibujo preliminar de la grúa giratoria; que es el resultado de varios esbozos y posibles creaciones.

Diseño preliminar y desarrollo

El diseño preliminar es el mismo que se obtuvo en el párrafo anterior y a continuación tenemos el desarrollo de este diseño.

Para poder llevar a cabo el diseño de ésta máquina se tomaron en cuenta varios factores de diseño como lo son:

Resistencia: La resistencia es muy importante para el diseño, esto depende en gran medida del material que se utilice, y el diseño de la estructura de la grúa.

Confiabilidad: La confiabilidad será el resultado de un buen diseño y una buena selección del material a utilizar.

Corrosión: Por lo general esta máquina no trabajará en lugares con ambientes corrosivos; por lo tanto puede ser de un material metálico no inoxidable.

Desgaste: El desgaste de esta grúa será solamente reflejado en los rodamientos que son los que resistirán principalmente las cargas

Fricción: La utilización de rodamientos nos eliminará en gran parte la fricción que se pueda tener entre metales.

Procesamiento: Lamentablemente en esta tesina no será visto el procesamiento de la grúa.

Utilidad: La utilidad que tendrá esta grúa será mucha, al grado de que una sola persona podrá realizar el trabajo para el que fue diseñada.

Costo: El costo mayor de esta grúa está en los rodamientos que se van a utilizar, los costos de los demás materiales son menores en comparación.

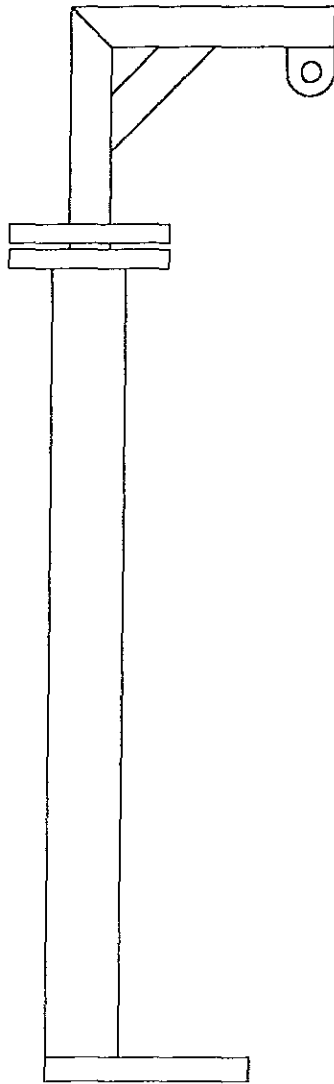


FIG. 4.1 DISEÑO PRELIMINAR GRUA GIRATORIA

Seguridad: El diseño de seguridad de esta grúa contempla un F.S. igual a 2 para posibles fallas en los materiales. En cuanto a la seguridad de utilización de esta máquina es muy alta siempre y cuando sea montada y operada como debe de ser.

Peso: El peso será determinado por el de los componentes y materiales en el diseño que deberán de ser los mínimos para que como ya se dijo pueda ser montada por una sola persona.

Duración: La duración de la grúa puede ser de muchos años, siempre y cuando sea operada correctamente y cargada con el peso para la cual fue diseñada.

Ruido: El ruido no es factor importante para este caso de diseño, pero debido a la utilización de rodamientos esta máquina será silenciosa.

Estilización y forma: La estilización y forma dependen de la aplicación para la cual sé esta utilizando la grúa, que en este caso tiene que adaptarse a la forma del tanque en donde será montada y tener un brazo del largo necesario con el cual sostendrá la carga de 300 Kg.

Flexibilidad: La flexibilidad de esta grúa será nula debido a que está diseñada solamente para una sola aplicación especial.

Control: El control deberá de darse sólo por una persona, ésta máquina constara de un dispositivo de fijación de 4 puntos y así evitar que ésta pueda girar cuando no es necesario.

Rigidez: La rigidez será determinada por la estructura y el material de diseño.

Acabado de superficie: El acabado no es tan importante en ésta grúa debido a que es de un uso industrial, pero con una superficie lisa en toda su estructura será suficiente.

Lubricación: La lubricación es muy importante para todo tipo de máquinas y ésta no es la excepción. La lubricación será únicamente en los rodamientos.

Mantenimiento: El mantenimiento constará de lubricación en los rodamientos periódicamente, limpieza en todas las partes que conforman a la grúa, además de una inspección periódica en la estructura.

Responsabilidad: La responsabilidad será tanto del diseñador como el constructor, sin olvidar a la persona que operará la grúa

MATERIAL

Continuaremos con la selección del tipo de material que se utilizará para conformar esta grúa basándonos en el contenido del capítulo 2, que nos dice que aunque existen tres clases de materiales, se deberá de utilizar metales y principalmente aceros para el diseño de estructuras.

Si vamos a la tabla 1 del apéndice veremos los diferentes tipos de aceros que existen, los cuales están clasificados de acuerdo a la norma AISI-SAE. También encontraremos las propiedades y características de cada uno de los aceros y al final para que son utilizados generalmente.

Seleccionaremos un acero utilizado para aplicaciones generales.

Acero 1030

Es un acero suave al simple carbono con un contenido de carbono de 0.30%.

Continuaremos entonces con la sección del capítulo 2 “Análisis de esfuerzos y deformación”.

ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACION

Presentaremos en la figura 4.2 el diseño preliminar con dimensiones de la grúa para efecto de cálculos.

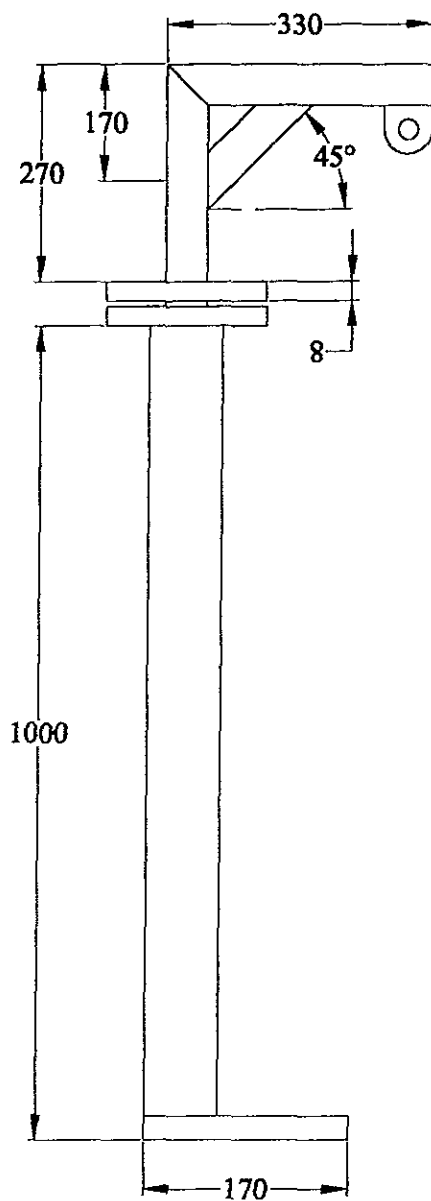
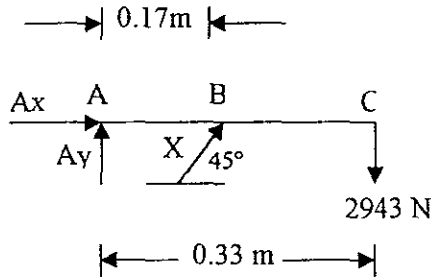


FIG. 4.2 GRUA GIRATORIA
ACOT: mm.

A continuación haremos los diagramas de cuerpo libre correspondientes a cada sección, además de hacer los cálculos de las reacciones.

Tomando la sección de la barra A-C tenemos:



Aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum M_A = 0$$

$$x(\text{sen } 45^\circ)(0.17\text{m}) - (2943\text{N})(0.33) = 0$$

$$x = \frac{(2943\text{N})(0.33\text{m})}{(\text{sen } 45^\circ)(0.17\text{m})} = \frac{971.19\text{Nm}}{0.1201\text{m}}$$

$$x = 8079.78\text{N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x + x(\cos 45^\circ) = 0$$

$$A_x = -x(\cos 45^\circ) = -8079.78\text{N}(\cos 45^\circ)$$

$$A_x = -5713.26\text{N}$$

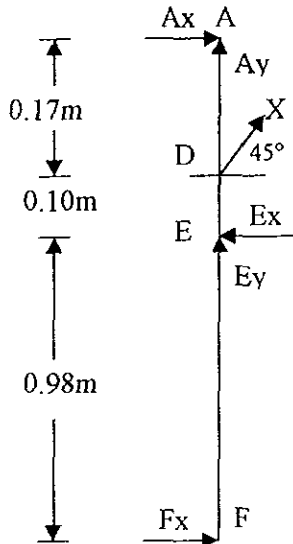
$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + x(\text{sen } 45^\circ) - 2943\text{N} = 0$$

$$A_y = 2943\text{N} - 8079.78(\text{sen } 45^\circ) =$$

$$A_y = -2770.26\text{N}$$

Ahora tomando la sección A-F tenemos:



$$\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$F_x(1.25m) - E_x(0.27m) + 8079N(\cos 45^\circ)(0.17m) = 0$$

$$F_x(1.25m) - E_x(0.27m) + 971.25Nm = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$A_x - x \cos 45^\circ - E_x + F_x = 0$$

$$5713.26N + 8079.78N(\cos 45^\circ) - E_x + F_x = 0$$

$$-E_x + F_x + 11426.52N = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Tenemos 2 ecuaciones con dos incógnitas y que después de resolverlas tenemos que:

$$F_x = 2157.05N$$

$$E_x = 13583.50N$$

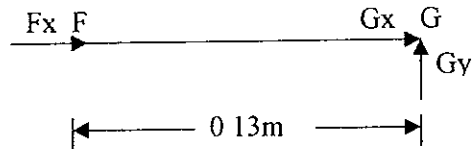
$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$2770.26N + 8079.7N(\text{sen } 45^\circ) + E_y = 0$$

$$E_y = -2770.26N - 8079.78N(\text{sen } 45^\circ)$$

$$E_y = -8483.52N$$

Ahora tomaremos la barra D - E:



$$\circlearrowleft \sum M_F = 0$$

$$G_y(0.13m) = 0$$

$$G_y = 0$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$G_x - F_x = 0$$

$$G_x = -F_x$$

$$G_x = -2157.05N$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$E_y = 0$$

Ahora calcularemos el esfuerzo para la barra A-C:

σ , fluencia para el acero 1030

Acero 1030

$$\sigma_s = 3586 \frac{Kg}{cm^2} = 351568627.5 Pa = 351.56 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_{Fluencia}}{F.S.}$$

$$F.S. = 2$$

$$\sigma_s = \frac{351568627.5 \frac{N}{m^2}}{2}$$

$$\sigma_s = 175784313.80 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_s = \frac{F}{A}$$

Despejando

$$A = \frac{F}{\sigma_s}$$

Tenemos :

$$A = \frac{5713.26 N}{175784313.80 \frac{N}{m^2}} = 0.000032501 m^2$$

$$A = 0.3250 cm^2$$

$$A = \pi r^2$$

Despejando

$$r = \frac{\sqrt{0.3250 cm^2}}{\pi}$$

$$r = 0.3116 cm$$

Por lo tanto :

$$D = 0.6432 cm$$

El diámetro obtenido es mínimo que debe de tener la barra A-C para poder soportar las cargas calculadas.

Ahora calcularemos el esfuerzo para la barra D-B

$$\sigma_1 = 175784313.80 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_1} = \frac{8079.78 \text{ N}}{175784313.80 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A = 0.4596 \text{ cm}^2$$

Barra rectangular

Para la barra A-F

$$\sigma_1 = 175784313.80 \text{ Pa}$$

$$F = 13583.50 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Despejando

$$A = \frac{F}{\tau}$$

$$A = \frac{13583.50 \text{ N}}{175784313.80 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} =$$

$$A = 0.000077273 \text{ m}^2$$

$$A = 0.7727 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2$$

Despejando

$$r = \sqrt{\frac{0.7725 \text{ cm}^2}{\pi}} =$$

$$r = 0.50$$

Por lo tanto

$$D = 1 \text{ cm}$$

Este diámetro es el mínimo que debe de tener la barra A-F

RODAMIENTOS

Continuaremos entonces con la selección del rodamiento basándonos en las características de cada uno de los tipos de rodamientos mencionados en el capítulo 3.

Debido al tipo de carga que tendrán que soportar los rodamientos que son una fuerte carga axial y una carga radial moderada. Serán movimientos de oscilación a una velocidad muy baja. Por lo tanto seleccionaremos los rodamientos de rodillos cónicos.

Seleccionaremos también el tamaño de rodamiento utilizando la capacidad de carga estática.

Los rodamientos de rodillos cónicos sólo pueden soportar cargas axiales actuando en un sólo sentido y por lo tanto se acostumbra ajustar el rodamiento contra un segundo rodamiento de rodillos cónicos.

Utilizando lo descrito en el capítulo 3, a continuación procederemos a calcular los rodamientos utilizando las fórmulas dadas para un montaje en "O" (espalda con espalda).

$$F_{ra} = F_{rb} + K_s$$
$$F_{rb} = \frac{0.5 F_{ra}}{Y_s}$$

De acuerdo a lo calculado en los análisis de esfuerzos de deformación tenemos que,

$$F_{ra} = 13583.50 \text{ N}$$

$$F_{rb} = 2157.050 \text{ N}$$

$$K_s = 8483.520 \text{ N}$$

Tomando el diámetro de 17 mm por comodidad y tomando un promedio para Y_o

$$Y_n = \frac{0.9 \cdot 1.1 \cdot 1.1}{3} = 1.03$$

Ahora utilizando las fórmulas:

$$F_{ra} = \frac{(0.5)(2157.05N)}{1.03}$$

$$F_{ra} = 1047.11N$$

$$F_{ra} = 1047.11N + 8483.52N$$

$$F_{ra} = 9530.63N$$

Para el rodamiento A

$$P_0 = 0.5F_{ra} + Y_0F_{aA}$$

$$P_0 = 0.5(13583.50N) + (1.03)(9530.63N)$$

$$P_0 = 6791.75N + 9816.548N$$

$$P_0 = 16608.298N$$

Ahora si utilizamos la fórmula siguiente y la tabla 3 tenemos:

$$C_0 = S_0 P_0$$

S_0 para los rodamientos estacionarios y un tipo de funcionamiento normal

$$S_0 = 1$$

$$C_0 = 16608.298 N$$

Para el rodamiento B

$$P_0 = 0.5F_{raB} + Y_0F_{aB}$$

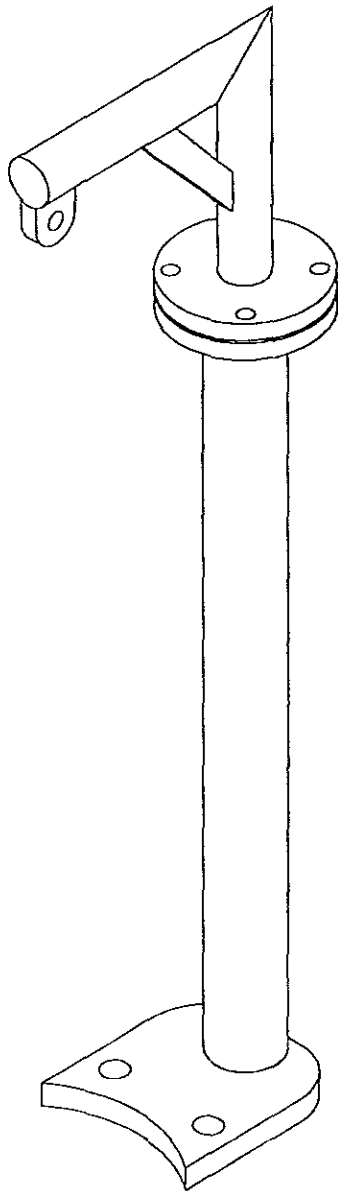
$$P_0 = 0.5(2157.05N) + (1.03)(1042.11N)$$

$$P_0 = 1078.525N + 1078.52N$$

$$P_0 = 2157.04N$$

Por lo tanto utilizaremos 2 rodamientos de rodillos cónicos de una sola hilera cada uno con un diámetro interior de 17 mm y un diámetro exterior de 40mm, con designación 30203 en la tabla 4.

TAMAÑO NORMALIZADO A127 1:10 MM

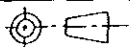


Escala: 1/6

ISOMETRICO DE GRUA

HOJA 1/1

Mat ACERO



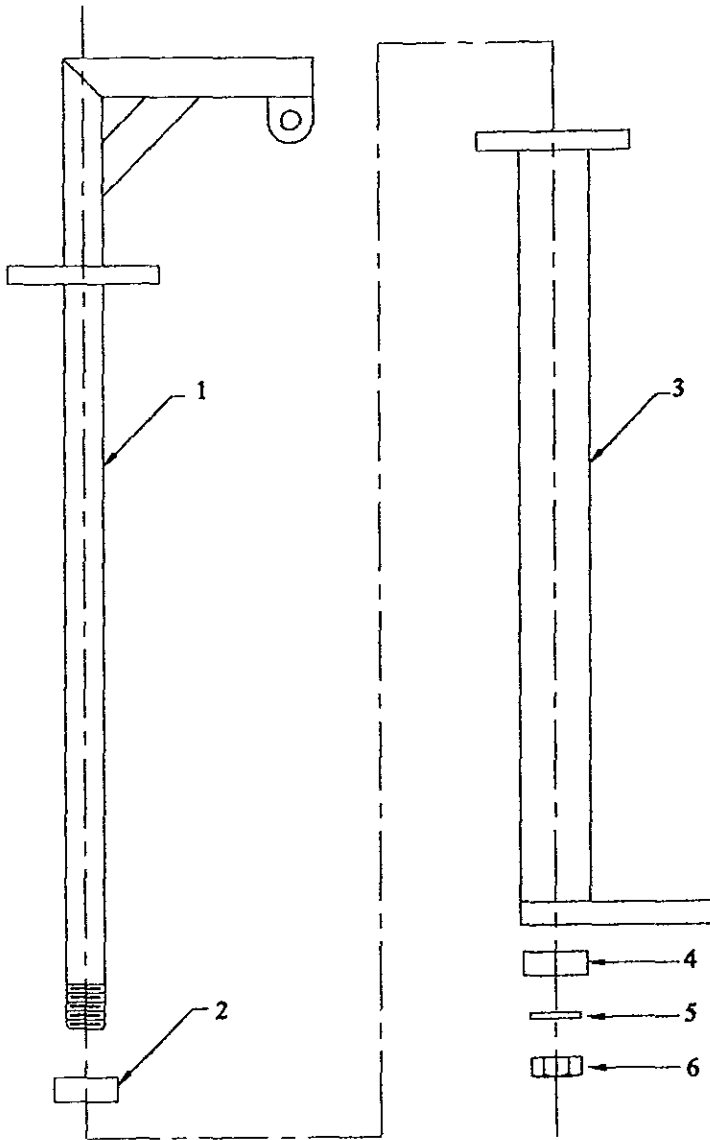
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
SEMINARIO DE TITULACION I.M.E

Diseño de Grúa Giratoria
Ibarra Zárate Saúl

Acot.: mm

Rev:

TAMAÑO NORMALIZADO APT 25, 110 MM

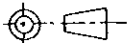


Escala: 1.6

MONTAJE ORTOGONAL

HOJA 1/1

Mat. ACERO



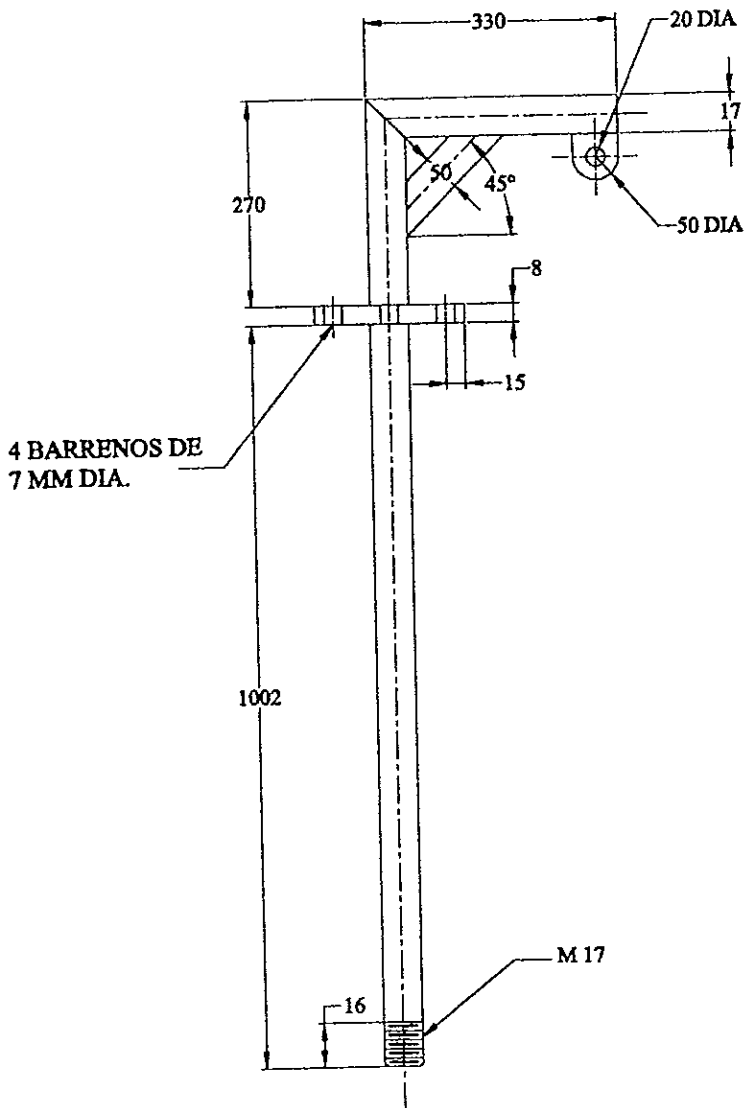
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
SEMINARIO DE TITULACION I.M.E.

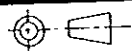
Acot.: mm

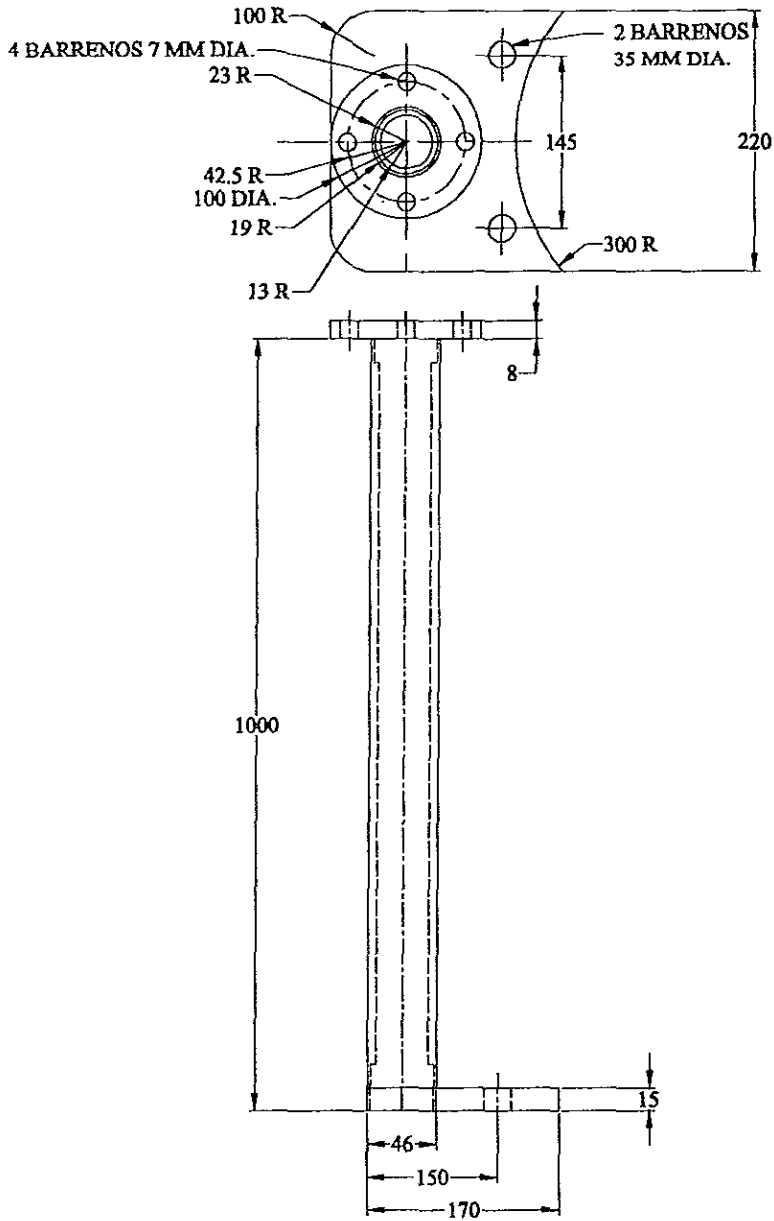
Diseño de Grúa Giratoria
Ibarra Zárate Saúl

Rev:

TAMAÑO NORMALIZADO AL 7/10 MM



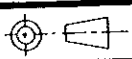
Escola: 1:6	PIEZA 1	HOJA 1/1	Mat ACERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN SEMINARIO DE TITULACION I.M.E Diseño de Grúa Giratoria Ibarra Zárate Saúl		Acot.: mm
			Rev:



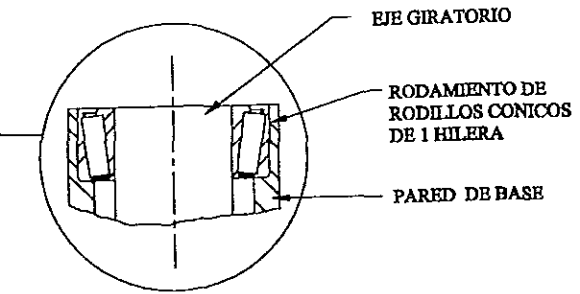
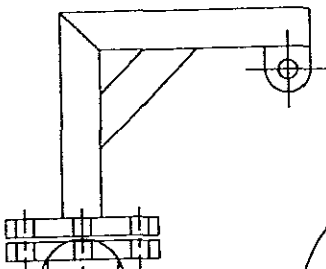
Escala: <u>1/6</u>	PIEZA 3	HOJA 1/1	Mat ACERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN SEMINARIO DE TITULACION I.M.E Diseño de Grúa Giratoria Ibarra Zárate Saúl		Acof.: mm
			Rev:

TABLA DE DATOS

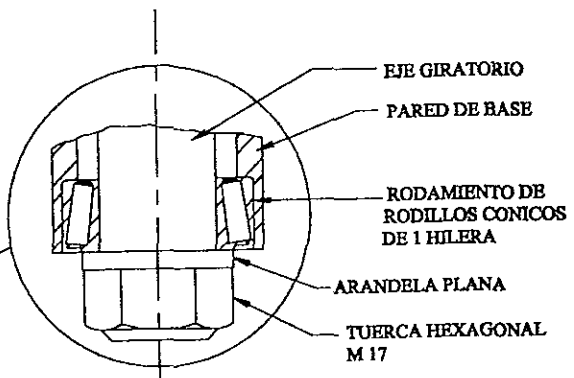
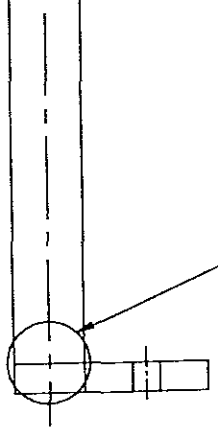
Nº PZA.	NOMBRE	MATERIAL	CANT.	OBSERVACIONES
1	BRAZO GIRATORIO	ACERO 1030	1	
2	RODAMIENTO RODILLOS CONICOS	ACERO	1	SKF N° DESIG. 30203 EN CAT.
3	BASE	ACERO 1030	1	
4	RODAMIENTO RODILLOS CONICOS	ACERO	1	SKF N° DESIG. 30203 EN CAT.
5	ARANDELA PLANA	HIERRO	1	18 MM DIA. INTERIOR
6	TUERCA HEXAGONAL	HIERRO	1	CUERDA M 17

Escala: 1:6	TABLA DE DATOS	HOJA 1/1	Mat ACERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN SEMINARIO DE TITULACION I M E Diseño de Grúa Giratoria Ibarra Zárate Saúl		Acot.: mm
			Rev:

TAMANO NORMALIZADO 44
20 x 25 x 20 mm



DETALLE DE RODAMIENTO 1



DETALLE DE RODAMIENTO 2

Escala. <u>1/6</u>	DETALLE DE RODAMIENTOS	HOJA 1/1	Mat ACERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN SEMINARIO DE TITULACION I M E Diseño de Grúa Giratoria Ibarra Zárate Saúl		Acot. .mm
			Rev.

CONCLUSIONES

Esta grúa sólo resistirá el peso de 300 Kg y girará 360° sobre su propio eje, la acción de levante lo hará en sí un malacate que será colocado en la punta del brazo giratorio.

Este diseño es de una aplicación especial, es decir sólo podrá ser utilizado en tipo de compresores para los que fue diseñado.

Esta grúa, aunque su uso sea único, será de gran utilidad a la empresa "Separadores, Refacciones y Servicios, S.A. de C.V.", con la cual se ahorrara mucho tiempo, dinero y esfuerzo; y así la empresa podrá seguir brindando sus servicios con mayor eficacia.

Por sus dimensiones esta grúa puede ser transportada en cualquier automóvil y por su peso fácilmente operada por una sola persona.

El proceso de diseño de esta grúa no incluye (por razones de brevedad de la obra) el proceso de fabricación de la misma.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA

Joseph Edward Shigley

5ª. Edición (cuarta en español)

Edit. MacGraw – Hill

PRINCIPLES OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

William F. Smith

2ª Edición

Edit. MacGraw – Hill

FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERIA MECANICA

Robert C. Juvinall

Edit. Limusa 1993

PROCESOS DE MANUFACTURA VERSION SI

B.H. Amstead

Ph. F. Ostwald

11ª Edición

Edit C E.C.S.A. 1996

MECANICA DE MATERIALES

Robert W. Fitzgerald

Edición Revisada

Edit Alfaomega 1990

DISEÑO DL MAQUINAS TEORIA Y PRACTICA

Aaron D. Deutschman

Walter J. Michels

Edit. C.E.C.S.A. 1995

DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

Robert L. Mott

2ª Edición

Edit. Prentice Hall Hispanoamericana 1992.

BIBLIOGRAFIA (Continuación)

DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

Virgil Moring Faires

Edit. UTEHA 1992

CATALOGO GENERAL SKF

Editorial SKF 1989

DISEÑO DE COMPONENTES DE MAQUINAS

William C. Orthwein

1ª Edición

Edit. C.E.C.S.A. 1996

DIBUJO Y DISEÑO DE INGENIERIA

C.H. Jensen

Edit. MacGraw – Hill 1993

DIBUJO DE INGENIERIA

Thomas E. French

Charles J. Vierck

3ª Edición en español

Edit. MacGraw – Hill

APENDICE

TABLA 1 DIFERENTES TIPOS DE HIERROS Y ACEROS

MATERIAL N.º AISI	ESTADO (c)	MÁXIMA RESISTENCIA				RESISTENCIA DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARGA- MIENTO % EN 5,08 cm (2 pulg)	REDUC- CIÓN ÁREA %	NDB (BHN)
		s_u		$s_u(d)$		s_v				
		kg/cm²	ksi	kg/cm²	ksi	kg/cm²	ksi			
Hierro dulce Acero forjado	Laminado simple	3 374(a)48(a)		2 531	36	1 757(a)25(a)		35		
C1010(k)	Estirado en frío	4 710	67	3 515	50	3 867	55	25	57	
C1015(k)	Estirado en frío	5 413	77	4 077	58	4 429	63	25	63	
C1020	Laminado simple	4 569	65	3 445	49	3 374	48	36	59	
C1020	Normalizado	4 499	64	3 797*	54*	3 515	50	39	69	
C1020	Recocido	4 007	57	3 023	43	2 952	42	36,5	66	
C1020(k)	Estirado en frío	5 483	78	4 077	58	4 640	66	20	59	
C1022	Laminado simple	5 062	72	3 797	54	3 656	52	35	67	
C1030	Laminado simple	5 624	80	4 218	60	3 586	51	32	56	
C1035	Laminado simple	5 976	85	4 499	64	3 867	55	29	58	
C1045	Laminado simple	6 749	96	5 062	72	4 148	59	22	45	
C1095	Normalizado	9 913	141	7 381	105	5 624	80	8	16	
B1113(k)	Acabado en frío	5 835	83	4 359	62	5 062	72	14	40	
B1113	Laminado simple	4 921	70			3 163	45	25	40	
C1118	Laminado simple	5 273	75	3 937	56	3 234	46	32	70	
C1118(k)	Estirado en frío	5 624	80	4 218	60	5 273	75	16	57	
C1144	OQT 1000 (538° C)	8 296	118	6 187	88	5 835	83	19	46	
1340	OQT 1200 (649° C)	7 945	113	5 905	84	6 468	92	21	61	
13B45	OQT 800 (427° C)	13 147	187	9 843	140	12 303	175	16	56	
2317(e)	OQT 1000 (538° C)	7 451	106	5 554	79	4 991	71	27	72	
2340(e)	OQT 1000 (538° C)	9 632	137	7 241	103	8 437	120	22	60	
3150	OQT 1000 (538° C)	10 616	151	7 945	113	9 140	130	16	54	
3250(e)	QT 1000 (538° C)	11 670	166	8 577	122	10 264	146	16	52	
4063	OQT 1000 (538° C)	12 655	180	9 491	135	11 249	160	14	43	
4130	WQT 1100 (593° C)	8 929	127	6 679	95	8 015	114	18	62	
4130(e)	Estirado en frío	8 577	122	6 398	91	7 381	105	16	45	
4340(e)	Estirado en frío	8 577	122	6 398	91	7 381	105	15	45	
4640(e)	OQT 1000 (538° C)	10 686	152	7 311	104	9 140	130	19	56	
5140(e)	OQT 1000 (538° C)	10 546	150	7 945	113	8 999	128	19	55	
5140(e)	Estirado en frío	7 381	105	5 554	79	6 187	88	18	52	
8630	Estirado en frío 10 %	8 085	115	6 046	86	7 030	100	22	53	
8640	OQT 1000 (538° C)	11 249	160	8 437	120	10 546	150	16	55	
8760	OQT 800 (427° C)	15 468	220	11 600	165	14 068	200	12	43	
9255	OQT 1000 (538° C)	12 655	180	9 491	135	11 249	160	15	32	
9440	OQT 1000 (538° C)	10 686	152	7 311	104	9 491	135	18	61	
9850	OQT 1100 (593° C)	12 655	180	9 491	135	11 108	158	15	48	

TABLA 1 (CONTINUACION)

ROCK.	IZOD		MAQUINABILIDAD (i)	ALGUNOS USOS TÍPICOS. OBSERVACIONES
	kgm	pie-lb		
B60			50(h)	ASTM A85-36; A41-36.
			50	Barras, tiras, chapa, placa. Perfiles estirados en frío.
	18,94(j)	137(j)	50	Barras, chapas. Tabla AT 8. Para cementación: tabla AT 11.
B79	8,84	64	64	Acero estructural; placa, chapa, tira, alambre.
B74	9,95	72		Calidad de cementación, tabla AT 11.
B66	11,06	80		Aplicaciones generales.
B83			62	Piezas diversas de máquinas, forjadas en frío; barras
B81	8,29	60	70(h)	Aplicaciones generales.
B88	7,60	55	60,	Piezas de maquinaria. Tabla AT 8.
B91	6,22	45	57	Piezas de máquinas. Pueden ser tratadas térmicamente. Tabla AT 9.
B96	4,14	30	51	Ejes grandes.
C25	0,41	3	39	Herramientas, muelles. Usualmente, tratadas térmicamente. Tabla AT 9.
B87			135	Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B76				Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B81	11,06	80	82	Mecanizado fácil; ordinariamente sin soldadura. Cementación, tabla AT 11.
	15,20(j)	110(j)	85	Tabla AT 8 para C1117.
C22	4,97	36	65(b)	Mecanizado fácil. Alto contenido de azufre. Tablas AT 8 y AT 9 para C1137.
C31	13,13	95	45(g)	(1,75 % Mn). Acero al manganeso.
C42				1345 con boro para mejorar la templabilidad.
B97	11,75	85	55(h)	(3 1/2 % Ni). Engranajes, forros (camisas) de bomba, etc.
C30	6,91	50	31	(3 1/2 % Ni). Engranajes, etc.
C32	6,36	46		(1,25 % Ni, 0,8 % Cr). Engranajes, pernos, ejes, etc.
C36,5	4,14	30	55(b)	(1,85 % Ni, 1,05 % Cr). Engranajes, etc.
C40	8,15	59		(0,25 % Mo). Ejes, barras, etc.
C25	11,75	85	65(b)	0,95 % Cr, 0,20 % Mo). Ejes, piezas forjadas, pasadores, tubos, para aviación.
			45(g)	(1,85 % Ni, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Aplicaciones generales. Figura AF 3.
C33	5,66	41	55(b)	(1,85 % Ni, 0,25 % Mo).
C32			60(b)	(0,80 % Cr). Engranajes, ejes, pasadores, etc.
			60(g)	(0,55 % Ni, 0,5 % Cr, 0,2 % Mo). Tabla AT 9.
C35	4,97	36	60(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,20 % Mo).
C46	2,62	19	50(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,25 % Mo). Herramientas, engranajes, pernos.
C36	0,96	7	45(b)	(2,00 % Si, 0,82 % Mn). Muelles, cinceles, herramientas.
C33	10,09	73	60(b)	(0,45 % Ni, 0,4 % Cr, 0,11 % Mo).
C37	6,91	50	50(b)	(1 % Ni, 0,8 % Mn, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Servicio pesado; aplicaciones generales.

TABLA 2 TIPOS DE RODAMIENTOS

Este cuadro solamente puede facilitar una orientación aproximada, por lo que en cada caso particular es necesario hacer una selección más cualificada siguiendo la información dada en las páginas anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas. Si varios diseños de un tipo de rodamiento se muestran juntos, la información que corresponde a cada tipo está indicada por la misma letra usada para identificar cada diseño particular.

- Símbolos**
- +++ excelente
 - ++ bueno
 - + aceptable
 - mediocre
 - inadecuado
 - simple efecto
 - ↔ doble efecto

Tipos de rodamientos - diseño y características

Tipo de rodamiento	Diseño				
	agujero cónico	protecciones u obturaciones	autoalineable	no desarmable	desarmable
Rodamientos rígidos de bolas					
Rodamientos de bolas a rótula					
Rodamientos de bolas con contacto angular (espalda con espalda)		a			
Rodamientos de bolas de cuatro puntos de contacto					
Rodamientos de rodillos cilíndricos					
Rodamientos completamente llenos de rodillos cilíndricos		a		a	b
Rodamientos de agujas					
Rodamientos de rodillos a rótula					
Rodamientos de rodillos cónicos (frente a frente)					
Rodamientos axiales de bolas					
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos					
Rodamientos axiales de agujas					
Rodamientos axiales de rodillos a rótula					

TABLA 2 (CONTINUACION)

Características
Rodamiento adecuado para

característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica	característica
carga radial pura	carga axial pura	carga combinada	momentos	alta velocidad	alta exactitud de giro	alta rigidez	funcionamiento silencioso	bajo rozamiento	compensación de desalineación en funcionamiento	compensación de errores de alineación (fractal)	disposiciones de rodamiento fijo	disposiciones de rodamiento libre	desplazamiento axial posible en el rodamiento
-	+	+	-	+++	+++	+	+++	+++	-	-	++	+	--
+	+	+	+	+	+	+	-	++	--	--	+	+	--
+	-	-	-	++	++	-	++	++	+++	++	+	+	--
+	-	++	-	++	+++	+	++	++	-	-	++	--	--
++	+	++	+	+	++	++	+	+	--	--	++	+	--
	+	+	+	++	+	+	+	+	--	--	++	-	--
++	-	-	-	+++	++	++	++	++	-	-	--	+++	+++
++	a b	+	-	+++	++	++	+	++	-	-	+	+	+
+++	-	-	+	+++	+++	+++	++	++	--	--	--	+++	+++
+++	+	-	--	-	+	+++	-	-	-	-	+	+	+
+++	a b	a,b	+	-	+	+++	-	-	--	--	a	b,c	b,c
++	-	-	--	+	+	++	+	+	--	--	--	+++	+++
+++	+	+++	--	+	+	++	+	+	+++	++	++	+	--
++	+	+++	--	+	++	++	+	+	-	-	++	--	+-
+++	+	+++	-	+	+	+++	+	+	-	-	+++	+	--
-	a b	--	--	+	++	+	-	+	--	--	+	--	--
-	a b	--	--	+	+	+	-	+	-	+++	+	--	--
-	+	--	--	-	++	++	-	-	--	--	+	--	+-
-	+	--	--	-	+	+	-	-	--	-	+	--	--
-	+	-	-	-	+	+	-	+	+++	++	+	-	--

TABLA 3

Valores orientativos para el factor de seguridad estático s_0

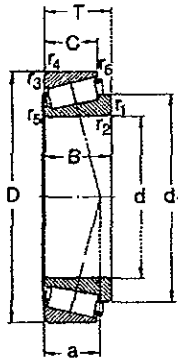
Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios Requerimientos relativos al funcionamiento					Rodamientos estacionarios		
	no importante		normal	silencioso		alto		
	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables ¹⁾	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar $s_0 \geq 4$

¹⁾ Cuando no se conoce la magnitud de la carga, deben usarse valores de s_0 por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de las cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar a s_0 valores menores

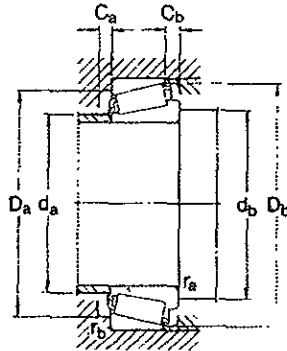
TABLA 4

Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos
d 15-35 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga	Velocidad nominal	Masa	Designación	Serie de Dimensiones ISO 355	
d	D	T	Cnám.	estát. C ₀	P _v	Lubricación con grasa aceite	kg	-	-	
mm			N		N	r/min				
15	42	14,25	22 400	20 000	2 120	9 000	13 000	0,095	30302	2FB
17	40	13,25	19 000	18 600	1 860	9 000	13 000	0,075	30203	2DB
	47	15,25	28 100	25 000	2 750	8 500	12 000	0,13	30303	2FB
	47	20,25	34 700	33 500	3 650	8 000	11 000	0,17	32303	2FD
20	42	15	24 200	27 000	2 700	8 500	12 000	0,097	32004 X	3CC
	47	15,25	27 500	28 000	3 000	8 000	11 000	0,12	30204	2DB
	52	16,25	34 100	32 500	3 600	8 000	11 000	0,17	30304	2FB
	52	22,25	44 000	45 500	5 000	7 500	10 000	0,23	32304	2FD
22	44	15	25 100	29 000	2 900	8 000	11 000	0,10	320/22 X	3CC
	47	17	34 100	36 500	3 900	8 000	11 000	0,14	T2CC 022	2CC
25	47	15	27 000	32 500	3 350	8 000	11 000	0,11	32005 X	4CC
	52	16,25	30 800	33 500	3 550	7 500	10 000	0,15	30205	3CC
	52	19,25	35 800	44 000	4 750	7 000	9 500	0,19	32205 B	5CD
	52	22	47 300	56 000	6 000	6 700	9 000	0,23	33205	2DE
	62	18,25	44 600	43 000	4 800	6 700	9 000	0,26	30305	2FB
	62	19,25	38 000	40 000	4 400	5 600	7 500	0,26	31305	7FB
	62	25,25	60 500	63 000	7 100	6 000	8 000	0,36	32305	2FD
28	52	16	31 900	38 000	4 000	7 000	9 500	0,15	320/28 X	4CC
	58	20,25	41 800	50 000	5 500	6 300	8 500	0,25	322/28 B	5DD
30	55	17	35 800	44 000	4 650	6 700	9 000	0,17	32006 X	4CC
	62	17,25	40 200	44 000	4 800	6 300	8 500	0,23	30206	3DB
	62	21,25	50 100	57 000	6 500	6 300	8 500	0,28	32206	3DC
	62	21,25	49 500	58 500	6 500	6 000	8 000	0,30	32206 B	5DC
	62	25	64 400	78 500	8 500	5 600	7 500	0,37	33206	2DE
	72	20,75	56 100	56 000	6 400	5 600	7 500	0,39	30306	2FB
	72	20,75	47 300	50 000	5 850	5 000	6 700	0,39	31306	7FB
72	28,75	76 500	85 000	9 850	5 300	7 000	0,55	32306	2FD	
32	58	17	36 900	46 500	4 900	6 300	8 500	0,19	320/32 X	4CC
35	62	16	42 900	54 000	5 850	6 000	8 000	0,22	32007 X	4CC
	72	18,25	51 200	56 000	6 200	5 300	7 000	0,32	30207	3DB
	72	24,25	66 000	78 000	8 650	6 300	7 000	0,43	32207	3DC
	72	24,25	60 500	75 000	8 300	5 300	7 000	0,44	32207 B	5DC
	72	28	84 200	106 000	11 800	4 800	6 300	0,58	33207	2DE

TABLA 4 (CONTINUACION)



Otras dimensiones				Dimensiones de rosasites										Factores de cálculo					
d	d ₁	B	C	r _{1,2} min	r _{3,4} min	r ₅ min	a	d _a máx	d _b min	D _a min	D _a máx	D _b min	C _a min	C _b min	r _a máx	r _b máx	e	Y	Y ₀
mm																			
15	27,3	13	11	1	1	0,3	9	22	21	36	36	38	2	3	1	1	0,28	2,1	1,1
17	28	12	11	1	1	0,3	10	23	23	34	34	37	2	2	1	1	0,35	1,7	0,9
	30,4	14	12	1	1	0,3	10	25	23	40	41	42	2	3	1	1	0,28	2,1	1,1
	30,7	19	16	1	1	0,3	12	24	23	39	41	43	3	4	1	1	0,28	2,1	1,1
20	31,1	15	12	0,6	0,6	0,3	10	25	25	36	37	39	2	3	0,6	0,6	0,37	1,6	0,9
	33,2	14	12	1	1	0,3	11	27	26	40	41	43	2	3	1	1	0,35	1,7	0,9
	34,3	15	13	1,5	1,5	0,6	11	28	27	44	45	47	2	3	1	1	0,30	2	1,1
	34,5	21	18	1,5	1,5	0,6	14	27	27	43	45	47	3	4	1	1	0,30	2	1,1
22	33,4	15	11,5	0,6	0,6	0,3	11	27	27	38	39	41	3	3,5	0,6	0,6	0,40	1,5	0,8
	34	17,5	13,5	1	1	0,3	11	26	28	40	41	44	4	3,5	1	1	0,33	1,8	1
25	36,5	15	11,5	0,6	0,6	0,3	11	30	30	40	42	44	3	3,5	0,6	0,6	0,43	1,4	0,8
	37,4	15	13	1	1	0,3	12	31	31	44	46	48	2	3	1	1	0,37	1,6	0,9
	40,2	18	15	1	1	0,3	16	30	31	41	46	50	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6
	38,6	22	18	1	1	0,3	14	30	31	43	46	49	4	4	1	1	0,35	1,7	0,9
	41,5	17	15	1,5	1,5	0,6	13	34	32	54	55	57	2	3	1	1	0,30	2	1,1
	45,8	17	13	1,5	1,5	0,6	20	34	32	47	55	59	3	5	1	1	0,83	0,72	0,4
	41,7	24	20	1,5	1,5	0,6	15	33	32	52	55	57	3	5	1	1	0,30	2	1,1
28	40,3	16	12	1	1	0,3	12	34	34	45	46	49	3	4	1	1	0,43	1,4	0,8
	43,9	19	16	1	1	0,3	17	33	34	46	52	55	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6
30	43	17	13	1	1	0,3	13	35	36	48	49	52	3	4	1	1	0,43	1,4	0,8
	44,6	16	14	1	1	0,3	14	38	36	53	56	57	2	3	1	1	0,37	1,6	0,9
	45,2	20	17	1	1	0,3	15	37	36	52	56	58	3	4	1	1	0,37	1,6	0,9
	47,3	20	17	1	1	0,3	18	36	38	50	56	60	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6
	45,8	25	19,5	1	1	0,3	16	36	36	53	56	59	5	5,5	1	1	0,35	1,7	0,9
	48,4	19	16	1,5	1,5	0,6	15	41	37	62	65	66	3	4,5	1	1	0,31	1,9	1,1
	52,7	19	14	1,5	1,5	0,6	22	40	37	55	65	68	3	6,5	1	1	0,83	0,72	0,4
	48,7	27	23	1,5	1,5	0,6	18	39	37	59	65	66	3	5,5	1	1	0,31	1,9	1,1
32	45,6	17	13	1	1	0,3	14	38	38	50	52	55	3	4	1	1	0,46	1,3	0,7
35	49,2	18	14	1	1	0,3	15	41	41	54	56	59	4	4	1	1	0,46	1,3	0,7
	51,8	17	15	1,5	1,5	0,6	15	44	42	62	65	67	3	3	1	1	0,37	1,6	0,9
	52,4	23	19	1,5	1,5	0,6	17	43	42	61	65	67	3	5	1	1	0,37	1,6	0,9
	55,1	23	19	1,5	1,5	0,6	21	42	42	56	65	68	3	5	1	1	0,57	1,05	0,6
	53,4	28	22	1,5	1,5	0,6	18	42	42	61	65	68	5	6	1	1	0,35	1,7	0,9