



Universidad
Carlos III de Madrid

**Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica**

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**APLICACIÓN INFORMÁTICA SOBRE
ANDROIDE: BLAFA. APRENDIZAJE Y
CÁLCULO DE RODAMIENTOS**

Autor: **Emilio Álvarez Sanz**

Tutor: **Higinio Rubio Alonso**

Leganés, 2013





Título: **BLAFA: Bearing Learning App for Android**

Autor: **Emilio Álvarez Sanz**

Director: **Higinio Rubio Alonso**

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día de
de en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





Agradecimientos

La defensa de este Proyecto Fin de Carrera pone punto y final a la aventura que comencé hace ya unos años de ser el primer ingeniero mecánico de la familia. Atrás quedan todas esas noches interminables de estudio que todo futuro ingeniero quiere evitar pero que siempre padece.

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. Sobre todo quiero resaltar la ayuda de mis padres, que aunque nuestros caminos siempre pareciesen distintos nuestra meta era siempre la misma.

En estos agradecimientos no puede faltar mi hermano con el que he compartido muy buenos momentos desde la infancia y que me sin su ayuda de ingeniero informático no habría sido posible este proyecto.

A mis amigos, a esa gente que me rodea en mí día a día, porque a su manera han puesto su pequeño grano de arena.

Gracias a Higinio, mi tutor, no solo por su inestimable ayuda, sino por la confianza, los consejos y las historias.





Resumen

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de una aplicación para Smartphones con sistema operativo Android capaz de calcular parámetros de rodamientos con el fin de ahorrar tiempo al ingeniero en su diseño y estimar el mantenimiento oportuno.

Para ello se ha creado un modelo capaz de interpretar los datos y calcular ciertos parámetros determinados. Para ello se hará uso del “APPINVENTOR”, programa de diseño asistido ordenador para el desarrollo de aplicaciones Java.

Para comprobar el correcto funcionamiento y operatividad de la aplicación se ha realizado un conjunto de pruebas con resultado satisfactorio.

Para finalizar planteamos posibles mejoras y trabajos futuros para poder optimizar la aplicación en un futuro.





Abstract

This project involves the design and implementation of an application for smartphones with Android operating system capable of calculating bearing parameters in order to save time at engineer's design.

For this we have created a model to interpret the data and calculate certain parameters determined. This will be achieved using the "AppInventor" program computer aided design for the development of Java applications.

To check the proper working and operation of the application is a set of tests conducted with satisfactory results.

Finally we propose possible improvements and future work to optimize the application in the future.





Contenido

1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	19
1.1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACION PARA EL PROYECTO	20
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	23
1.3. FASES DEL PROYECTO	26
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	27
2. INTRODUCCIÓN A LOS RODAMIENTOS	30
2.1. COJINETES	31
2.1.1. COJINETES DE FRICCIÓN.....	31
2.1.2. COJINETES DE RODADURA. RODAMIENTOS	32
2.1.3. CARÁCTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS.	33
2.2. TEORIA DE RODAMIENTOS.....	33
2.2.1. DEFINICIÓN DE RODAMIENTO	33
2.2.2. PARTES DEL RODAMIENTO	34
2.2.3. MATERIALES DEL RODAMIENTO	35
2.2.4. RIGIDEZ: CARGA-DESPLAZAMIENTO	35
2.2.5. AREA DE CONTACTO	36
2.2.6. FUNCIÓN DE LOS RODAMIENTOS	38
2.2.7. TIPOS DE RODAMIENTOS.....	39
2.2.8. NORMALIZACIÓN DE RODAMIENTOS	48
2.2.9. CINEMÁTICA DE LOS RODAMIENTOS.....	50
2.2.10. DISTRIBUCIÓN DE CARGA.....	52
2.2.11. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN RODAMIENTO.....	53
2.2.12. LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS.	67
2.2.13. MONTAJE Y DESMONTAJE DE RODAMIENTOS.	82
2.2.14. DISPOSICIONES DEL RODAMIENTO.....	84
3. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE PARA PROGRAMACIÓN.	106
3.1. INTRODUCCIÓN	107



3.2. ANDROID	107
3.2.1. ANTECEDENTES	111
3.2.2. JAVA	111
3.3. ECLIPSE	113
3.4. APPINVENTOR	114
3.4.1. ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA	116
4. METODOLOGÍA	118
4.1. ETAPAS DE DISEÑO	119
4.2. ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO.....	120
4.2.1. PLATAFORMAS	122
4.2.2. REQUISITOS DE APP INVENTOR	124
4.3. DESARROLLO DEL PROYECTO	125
4.3.1. REFERENCIAS.....	125
4.3.2. DISEÑO DE BLAFA.....	129
5. ANALISIS DE RESULTADOS. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN.	134
6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	154
6.1. CONCLUSIONES	155
6.2. TRABAJOS FUTUROS.....	156
7. PRESUPUESTO.....	158
8. BIBLIOGRAFÍA.....	161
8.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
8.2. REFERENCIAS DE LA WEB	162
ANEXO I. MANUAL DE BLAFA	164
I. PANTALLA DE INICIO Y PRESENTACIÓN.....	166
II. INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	167
III. TEORÍA BÁSICA DE RODAMIENTOS.....	169
IV. CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS.....	177



• PROPIEDADES DE LOS RODAMIENTOS	178
V. CÁLCULOS	185
• SELECCIÓN DE RODAMIENTO	185
• CÁLCULO DE VIDA AJUSTADA	193
VI. CÁLCULO DE CICLO COMBINADO	194
VII. SOBRE BLAFA	196
<i>ANEXO II. APLICACIÓN DE PRUEBA: CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA</i>	
I. APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA.	198
II. JUEGO DE PRUEBA. CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DE UNA RUEDA....	204





Ilustración 1 - Gama Smartphones	23
Ilustración 2 - Fases del proyecto	26
Ilustración 3 - Cojinete de deslizamiento o fricción	32
Ilustración 4 - Explosionado de un Rodamiento de bolas	34
Ilustración 5 - Partes de un rodmaiento	35
Ilustración 6 - Área de contacto.....	38
Ilustración 7- Rodamiento de bolas.....	39
Ilustración 8 - Rodamiento de bolas a rótula	40
Ilustración 9 - Rodamiento de bolas de contacto angular.....	41
Ilustración 10 - Rodamiento de rodillos cilíndricos.	42
Ilustración 11 - Rodamientos de agujas.....	42
Ilustración 12 - Rodamiento de rodillos a rótula.....	43
Ilustración 13 - Rodamiento de rodillos cónicos	44
Ilustración 14 - Rodamientos axiales de bolas	45
Ilustración 15 - Rodamientos axiales de rodillos.....	46
Ilustración 16 - Rodamiento axial de agujas.....	46
Ilustración 17 - Normalización de Rodamientos.....	50
Ilustración 18 - Relacion Carga/Desplazamiento.....	51
Ilustración 19 - Área de contacto	52
Ilustración 20 - Distribución de Cargas.....	53
Ilustración 21 - Características de los rodamientos	54
Ilustración 22 - Vida requerida en maquinarias	59
Ilustración 23 - Parte del catálogo de SKF	64
Ilustración 24 - Relación de diámetro y viscosidad	66
Ilustración 25 - Gráfica Lubricación	67
Ilustración 26 - Usos de distintas lubricaciones	69
Ilustración 27 - Temperatura y Aceite	70
Ilustración 28 - Tiempos de relubricación	75
Ilustración 29 - Periodos de engrase	77
Ilustración 30 - Propiedades térmicas de los anillos	83
Ilustración 31 - Tipos de ajuste	92



Ilustración 32 - Tolerancias dimensionales.....	93
Ilustración 33 - Velocidad máxima según tipo de rodamiento.....	101
Ilustración 34 - Chumacera	105
Ilustración 35 - Crecimiento de android cronológico	110
Ilustración 36 - Organigrama Appinventor	116
Ilustración 37 - Requisitos de diseño de la aplicación	119
Ilustración 38: Captura de pantalla del entorno Designer del Appinventor	122
Ilustración 39: Captura de pantalla del entorno Blocks del Appinventor	122
Ilustración 40 - Portada Campus SKF	126
Ilustración 41 - Tipos de rodamientos	126
Ilustración 42 - Base de datos.....	127
Ilustración 43 - Calculos en Campus	128
Ilustración 44 - Esquema Básico	129
Ilustración 45 - Diseño de la portada.....	130
Ilustración 46 – “Bloques” de la presentación	130
Ilustración 47 - Menú Principal.....	131
Ilustración 48 - Código de bloques de la Vida ajustada.....	132
Ilustración 49 - Emulador Appinventor	133
Ilustración 50 - Cálculo de “e”	138
Ilustración 51 - Calculo de P.....	140
Ilustración 52 - Calculo de vida nominal.....	141
Ilustración 53 - Datos de rodamiento en Campus.....	142
Ilustración 54 - Calculo de vida con Campus	142
Ilustración 55 - a1 en Blafa	143
Ilustración 56 - Gráfica de viscosidad requerida	144
Ilustración 57 - Viscosidad requerida	145
Ilustración 58 - Gráfica de viscosidad a temperatura operativa	146
Ilustración 59 - Viscosidad en BLAFA.....	147
Ilustración 60 - New Life en Campus	148
Ilustración 61 - Cálculo de factores K y a3.....	150
Ilustración 62 - Gráfica a-skf	151



Ilustración 63 - BLAFA a-skf	152
Ilustración 64 - Resultado de Vida ajustada en BLAFA	153
Ilustración 65 - Presentación BLAFA.....	166
Ilustración 66 - Menú principal.....	166
Ilustración 67 – Introducción	168
Ilustración 68 - Botones de pantallas	169
Ilustración 69 - Teoría básica	170
Ilustración 70 - Razones para el uso de rodamientos	171
Ilustración 71 - Razones para el uso de rodamientos 2.....	171
Ilustración 72 - Ventajas de rodamientos.....	172
Ilustración 73 - Rodamiento Radial	173
Ilustración 74 - Rodamiento Axial.....	173
Ilustración 75 - Tensión.....	174
Ilustración 76 - Fatiga	175
Ilustración 77 - Temperatura	176
Ilustración 78 - Características del rodamiento.....	177
Ilustración 79 – Ruido	178
Ilustración 80 – Dureza	179
Ilustración 81 - Desplazamiento axial	180
Ilustración 82 – Velocidad.....	181
Ilustración 83 – Precisión	182
Ilustración 84 - Desalineamientos	183
Ilustración 85 – Cargas.....	184
Ilustración 86 - Espacio disponible	185
Ilustración 87 - Elección de tipo de rodamiento	186
Ilustración 88 - Selección autoalineante	187
Ilustración 89 - Cálculo de Autoalineable	188
Ilustración 90 - Selección de Rodamiento de bolas.....	189
Ilustración 91 - Datos SKF de Juego en rodamiento de bolas rígido.	189
Ilustración 92 - Variación entre valor teórico y Potencial	190
Ilustración 93 - Calculo de Vida de Rodamiento de bolas	191



Ilustración 94 - Selección de rodamiento de contacto angular.....	192
Ilustración 95 - Vida de rodamiento angular	193
Ilustración 96 - Uso de gráficas.....	194
Ilustración 97 - Ciclo combinado	195
Ilustración 98 - Sobre BLAFA.....	196
Ilustración 99 - Inercia	199
Ilustración 100 - Portada de Inercia.....	200
Ilustración 101 - Cálculo de Inercia.....	201
Ilustración 102 - Calculo de Steiner	202
Ilustración 103 - Teoría de Inercia	203
Ilustración 104 - Ejemplo de INERCIA	204
Ilustración 105 - Rueda de competición	205
Ilustración 106 - Calculo de inercia de cilindro.....	206
Ilustración 107 - Calculo de inercia de disco	207
Ilustración 108 - Cálculo de inercia de esfera.....	208
Ilustración 109 - Cálculo de inercia de esfera con Steiner	209





1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO



1.1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACION PARA EL PROYECTO

El rodamiento tiene su nombre y su origen de los “cuerpos rodantes”, tales como el rodillo de madera que utilizaban los Egipcios en la época de los faraones.

Este procedimiento permitió aumentar la velocidad de desplazamiento, resolver el problema de fricción y disminuir el lado pesado de las tareas.

El actual rodamiento le debe mucho al rodillo de madera, también se inspiró mucho de la rueda. Es el principio de la rotación que los reúne, pues cada uno gira sobre un eje. Entonces, el problema a solucionar era el siguiente: luchar contra la fricción por la rotación, aumentando la velocidad.

Leonardo da Vinci fue el primero en dibujar una pieza capaz de resolver este problema. El precursor del rodamiento había nacido pero únicamente lo había hecho sobre papel.

El verdadero cambio histórico del rodamiento fue la Revolución Industrial. El rodamiento se adaptó a su entorno (de ahí los distintos tipos de rodamientos) y contribuyó en los progresos técnicos, en el desarrollo de la industria y, en consecuencia, en los modos de vida.

La idea de reemplazar la fricción de deslizamiento por la de la rodadura viene de las civilizaciones más antiguas.

Ciertos bajo-relieves egipcios representan el transporte de enormes bloques de piedra, destinados a la construcción de monumentos, que la gente hacía deslizar sobre troncos de árboles que servían de rodillos.

Los restos de una plataforma giratoria que proviene de un barco del emperador Caligula, encontrados en el fondo del lago de Nemi en los años 1930, son los testigos de que los rodamientos rudimentarios se utilizaban desde la Antigüedad.



Se puede considerar esta plataforma como uno de los primeros ejemplos de rodamiento de tope, es decir de un rodamiento dedicado a soportar cargas directas y en rotación sobre su eje.

En el siglo XV, Leonardo da Vinci descubrió el principio del rodamiento. Este último se dio cuenta de que la fricción sería menos importante si las bolas no se tocaran. Entonces, desarrolló separadores que permitían a las bolas evolucionar libremente.

Se inventó otra vez este mecanismo durante el siglo XVIII cuando se patentó, en Inglaterra, un eje para coches de caballos equipados con una corona de bolas en rotación en gargantas de sección semi-circular realizadas en el eje.

Por todo ello observamos que los rodamientos son elementos de una enorme utilidad e importancia, son elementos fabricados en acero generalmente y presentan un baja defectología. Aun presentando una baja defectología, un fallo durante servicio puede resultar catastrófico, llegando incluso a la pérdida de vidas humanas. De ahí la importancia de profundizar en el estudio de análisis estructural para evitar posibles fallos.

Por otro lado, la batalla tecnológica que se libra en la actualidad en torno a las telecomunicaciones ha producido una alta sofisticación del mundo de la telefonía móvil. Las múltiples y diferentes compañías están constantemente lanzando nuevos productos con slogans atractivos con el fin de atraer la atención del consumidor (“trabaja desde casa y comparte con tus compañeros”, “nueva cámara capaz de captar movimiento”, “ligereza y rendimiento ¿es posible?”,...).

Antiguamente el teléfono móvil era una herramienta con la que uno llamaba, mandaba mensajes y con suerte podía cambiar dos o tres melodías. Hoy, sin duda su hermano pequeño los Smartphone o teléfonos inteligentes han tomado el relevo, hablamos de terminales móviles capaces de desempeñar una infinidad de tareas desde conectarse a internet, abrir documentos de texto, sincronizarse con el resto de aparatos informáticos que uno desee, modificar fotografías...



La aparición de los Smartphones supuso el desarrollo de sistemas operativos parecidos al de los PC pero mucho más simples, entre los que encontramos Android, iOS, Blackberry, Symbian OS, Windows Phone, etc.

Según datos del tercer trimestre del 2012 en cuanto a uso de sistemas operativos móviles en teléfonos inteligentes en todo el mundo, estos fueron los resultados:

1. Android 72,4 %
2. iOS 13,9 %
3. BlackBerry OS 5,3 %
4. Symbian OS 2,6 %
5. Windows Phone 2,4 %
6. Bada 3,0 %
7. Otros 0,4 %

Junto a los Smartphones tenemos también las tabletas, dispositivos de mayor tamaño con un rendimiento superior y que al igual que los teléfonos inteligentes se están convirtiendo en equipos que se encuentran en cualquier casa o puesto de trabajo, debido a su mayor facilidad de uso con respecto a un ordenador de sobremesa o portátil. La gran evolución de estos dispositivos no solo no ha pasado desapercibida para el consumidor sino que ha atraído a un gran número de empresas desarrolladoras de software en busca de un negocio potencial, las aplicaciones.

Las aplicaciones son pequeños programas que se instalan en nuestros dispositivos con la finalidad de resolver una tarea. Podemos encontrar desde editores de texto, hojas de cálculo, libros... Pero lo que sin duda podemos apreciar la importancia de esta nueva forma de comunicación que ha llevado a la creación de una aplicación de programas como Matlab o AutoCad.

La finalidad de estas aplicaciones en el ámbito de la ingeniería es la de proporcionarnos una herramienta fácil y accesible en cualquier momento para poder realizar una primera aproximación a lo que queremos estudiar. Sin duda

alguna si queremos profundizar y apoyarnos en un cálculo más exacto emplearíamos las versiones más completas disponibles para ordenadores.



Ilustración 1 - Gama Smartphones

La motivación para este proyecto es, la realización de un proyecto real dentro del campo de la ingeniería mecánica e informática que se perfila de gran importancia en un futuro inminente. Este proyecto, se fundamenta en el diseño e implementación de una aplicación Android, fácil y accesible que cubra una aproximación al estudio de los ciclos de durabilidad de los rodamientos para saber si el rodamiento es el correcto.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente proyecto Fin de Carrera es el diseño e implementación de una aplicación para Smartphone, sobre soporte Android, para estudiar los ciclos de durabilidad de los rodamientos.

El desarrollo de aplicaciones para Smartphones y tabletas dentro del campo de la ingeniería es una propuesta ambiciosa y con una gran demanda actualmente, más aun cuando el sistema operativo escogido cubre más de la mitad de la cuota



de mercado en cuanto a uso de sistemas operativos, en teléfonos inteligentes se refiere.

La consecución del objetivo principal de este proyecto, lleva asociado la superación de una serie de objetivos secundarios importantes que se detallan a continuación:

- Recopilación de información de cómo desarrollar y crear aplicaciones Android.
- Búsqueda de software genérico en el que implementar la aplicación.
- Realizar un manual de uso del software BLAFA.
- Diseñar aplicaciones de prueba en el software Appinventor.
- Creación de un modelo capaz de interpretar y calcular cargas y vida en rodamientos.
- Implementación del modelo en el software Appinventor
- Realizar un juego de pruebas (para varios casos posibles) que verifique la correcta operatividad de la aplicación creada.

En cuanto a los medios empleados para la realización de este proyecto Fin de Carrera se emplearán el programa Appinventor, para el desarrollo de nuestra aplicación en Android. Appinventor es un entorno de desarrollo integrado vía web multiplataforma pudiéndose usar de distintas formas siempre que se tenga Java instalado.

Se consideran varios objetivos principales a este proyecto. Principalmente es dar la oportunidad que alguien con cualquier Smartphone pueda calcular vida nominal o ajustada ampliada de unos determinados tipo de rodamientos. Se observa la capacidad que se tiene de incorporar cálculos ingenieriles a un sistema operativo que, en principio es de menor capacidad que el habitual de nuestros ordenadores, principalmente porque Android está desarrollado para funcionar en móviles y tablets, los cuales no suelen tener un uso profesionalmente ingenieril ni de trabajo principal, sino como un elemento auxiliar de comunicación y entretenimiento. Con este tipo de aplicaciones se desarrolla una inventiva de poder hacer cualquier cosa con un objeto que siempre se lleva al alcance de la mano.



Se piensa, principalmente, en una empresa o trabajador que necesita unos rodamientos para su maquinaria, o necesita saber cuándo va a tener que hacer un mantenimiento de los rodamientos escogidos para su maquinaria, con unos pocos minutos invertidos en hacer los cálculos en el mismo móvil y en el mismo instante que esté viendo qué modelos y que características tienen sus rodamientos.

Otro objetivo con el que se ha hecho esta aplicación es complementar a una futura aplicación de equilibrado de ejes que tan necesario es en el mundo ingenieril de maquinaria, o cálculo de engranajes,....

Previo a este proyecto se ha desarrollado también para la misma plataforma, otra aplicación con la que podemos calcular momentos de inercia de todas las distintas geometrías comunes que existen pudiendo, además, aplicar el teorema de Steiner por si se tiene un eje que tenga objetos con influencia inercial a una determinada distancia del mismo.

Con estas bases aplicadas a la ingeniería se puede formar un grupo de aplicaciones básicas para el sector de la maquinaria y poder evitar el uso de ordenadores, disminuir el coste de dimensionado de maquinaria y el tamaño de las oficinas. Al fin y al cabo los smartphones de la actualidad son casi tan potentes como cualquier ordenador estándar de oficina.

Centrándose en el objetivo principal de la aplicación, que como hemos comentado, es el cálculo de vida de rodamientos, para ello, se ha realizado una aplicación que debe seguir las siguientes normas:

- Tener un entorno gráfico agradable y fácil de usar.
- Jerarquía entre sus pantallas y facilidad de uso.
- Uso de gráficas y obtención de valores de ellos.
- Teoría de rodamientos con ilustraciones y tablas.
- Un usuario inexperto debe ser capaz de hacer un cálculo de vida.

1.3. FASES DEL PROYECTO

En un proyecto de ingeniería genérico hay que definir unas fases de desarrollo para la consecución del objetivo perseguido. Los proyectos de innovación proporcionan una mayor libertad a la hora de llevarlos a cabo, ya que no establecen ninguna restricción previa para cumplir los objetivos del proyecto. La primera parte del mismo es de diseño y por tanto libre a la imaginación del que lo realiza, mientras que la segunda parte y principal se basa en datos e interpretaciones donde habrá que realizar comparaciones y sacar conclusiones.

Para la consecución del objetivo se abordaron las siguientes fases:



Ilustración 2 - Fases del proyecto

- Fase I: Estudios previos.

En esta fase se plantean los objetivos, motivaciones y necesidades que la aplicación debe cumplir. Se realiza un diseño conceptual y sobre él se hacen los estudios de viabilidad funcional.

- Fase II: Diseño y simulación.

En la segunda fase se modela el diseño de la aplicación para la simulación y obtención de datos. Después los datos serán analizados y se valorará si hay que realizar modificaciones sobre el modelo preliminar de la aplicación.



- Fase III: Implementación final.

Si los resultados del modelo son satisfactorios y cumple con los objetivos establecidos, se procederá a implementar el diseño final, el cual se someterá a las pruebas oportunas que determinen, que efectivamente, son válidos y funcionan correctamente.

1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Este documento se encuentra dividido en 8 capítulos, incluyendo la bibliografía. Seguidamente, se describe el contenido de cada uno de ellos.

- **Capítulo I** - Motivación y Objetivos del Proyecto.

En este primer capítulo, se exponen las motivaciones y los objetivos del Proyecto, se explicaran las distintas fases que se han llevado a cabo para la consecución del mismo y, por último, la estructura de la memoria con los temas desarrollados en cada capítulo.

- **Capítulo II** - Introducción a los rodamientos

Este capítulo será de desarrollo meramente teórico, en él se dará una definición a lo que es un rodamiento y los tipos de rodamientos que podemos encontrar. Se expondrá una lista detallada de los pasos a seguir por cualquier ingeniero para poder dimensionar un rodamiento y se analizara el estado tensional del mismo debido a los esfuerzos presentes.

- **Capítulo III** - Software de programación de Android

El tercer capítulo de la memoria tratara sobre la programación en android, dado que es un sistema operativo de código libre que se utiliza en todos los smartphones.

Utilizaremos también, appinventor ya que es una aplicación que facilita google a sus desarrolladores sin necesidad de saber mucho código de programación.



- **Capítulo IV** - Metodología

El capítulo de metodología mostrara las pautas a seguir para la creación de nuestra aplicación. Se describe el proceso de creación de la aplicación para el cálculo del rodamiento.

- **Capítulo V** - Análisis de Resultados. Prueba de funcionamiento de la aplicación

Se propondrá un ejercicio resuelto para comparar resultados y resaltar la funcionalidad de la herramienta que a su vez servirá a modo de manual de instrucciones. Mostrará los pasos a seguir para el cálculo de los rodamientos

- **Capítulo VI** - Conclusiones y Futuros Trabajos

En este capítulo se obtienen las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del Proyecto Fin de Carrera y se proponen trabajos futuros relacionados con la evolución de la aplicación.

- **Capítulo VII** - Presupuesto

Se ofrece una estimación del presupuesto destinado a la elaboración del proyecto.

- **Capítulo VIII** - Bibliografía

En el capítulo de bibliografía se exponen y enumeran los principales documentos bibliográficos y electrónicos consultados durante la realización del presente proyecto.

- **Anexo I** - Manual de BLAFA

En este capítulo se expondrá un manual de usuario con todas las pantallas disponibles de la aplicación y una guía a seguir para realizar los cálculos de vida nominal que se deseen. También se muestra para que sirven todos los botones



- **Anexo II** – Inercia: Aplicación para el cálculo de momentos.

Debido a que hemos de probar primero una aplicación para hacernos una guía del diseño a seguir y de las posibilidades de cálculo, vamos a exponerla en este punto.



2.INTRODUCCIÓN A LOS RODAMIENTOS



2.1. COJINETES

Cojinete es la pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira un árbol transmisor de momento giratorio de una máquina o un eje. Hay dos tipos de cojinetes dependiendo del tipo de contacto que exista entre las piezas de contacto, puede ser un cojinete de deslizamiento (casquillo antifricción) o cojinete de rodadura (rodamiento).

2.1.1. COJINETES DE FRICCIÓN.

Es el elemento mecánico capaz de soportar los ejes o árboles mecánicos giratorios con la capacidad de reducir al mínimo la fricción que se produce por el rozamiento entre los elementos móviles y fijos. El cojinete debe estar lubricado constantemente para que funcione correctamente evitando fricción y calentamientos entre las piezas. Las dos características que debe tener un cojinete son:

- Un reducido coeficiente de rozamiento
- Material más blando que el eje para evitar el deterioro de este en caso de una lubricación defectuosa.

La lubricación es imprescindible en cualquier cojinete, pero en los de deslizamiento toma una especial importancia las propiedades mecánicas del aceite, como su untuosidad y viscosidad. No se puede usar grasa como lubricante, ya que la lubricación en estos casos requiere una presión hidrodinámica para formar la película de sustentación del eje y evitar el contacto directo entre el eje y los cojinetes (lubricación forzada).



Ilustración 3 - Cojinete de deslizamiento o fricción

2.1.2. COJINETES DE RODADURA. RODAMIENTOS

Tipo de cojinete que reduce la fricción entre un eje o árbol y sus piezas conectadas por medio de rodadura, además de servirle de apoyo y facilitar su desplazamiento, también soporta cargas generadas por el movimiento del árbol o de alguno de sus elementos conectados. Existen varios tipos de rodamientos dependiendo de los requerimientos que exija el sistema en el que se vayan a acoplar estos rodamientos. También se pueden usar distintas combinaciones de rodamientos para distintos puntos de apoyo del árbol

El rodamiento es un conjunto de elementos rodantes que se encuentran unidos por un anillo interior y otro exterior. Los elementos rodantes ruedan casi sin deslizamiento por dentro de las pistas que forman el anillo exterior y el interior. A velocidad de giro constante, el rozamiento entre los elementos rodantes y las pistas es nulo, pero con las aceleraciones o deceleraciones que producen una fluctuación de velocidad giratoria en el eje se produce un deslizamiento relativo entre pistas y elementos rodantes, con lo cual, este pequeño rozamiento genera calor y por lo tanto necesita una lubricación que minimiza el rozamiento entre éstos. Los elementos rodantes, en su trayectoria circular, están sometidas a cargas y descargas, lo que produce pequeñas deformaciones que provocan un calor de histéresis que hay que minimizar, por lo tanto, dependiendo de varios de estos factores se deberá elegir el lubricante más adecuado, ya sea grasa o aceite.



2.1.3. CARÁCTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS.

Presenta características similares al cojinete de fricción con ciertas ventajas:

- El coeficiente de rozamiento es inferior y, además, prácticamente independiente de la carga y de la velocidad.
- Admite carga axial.
- Algunos tipos son autoalineables

Pero también presenta algunas desventajas:

- Precio más elevado
- Montaje más complejo

2.1.3.1. CASQUILLOS DE RODADURA. PRINCIPALES FABRICANTES.

Hay muchos fabricantes de rodamientos, entre los cuales los más grandes son INA, FAC, SNR o SKF siendo éste último en el que está basada la aplicación BLAFA. Desde el catálogo de rodamientos SKF han sido seleccionados varios de distintos tipos para el cálculo de los esfuerzos y la vida ajustada que debe aguantar para distintos tipos de servicio pudiendo determinar que rodamiento es más adecuado para el servicio demandado.

2.2. TEORIA DE RODAMIENTOS

2.2.1. DEFINICIÓN DE RODAMIENTO

El rodamiento o cojinete de rodadura es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma

que un componente puede girar respecto al otro evitando la mayor parte de rozamiento por fricción.

2.2.2. PARTES DEL RODAMIENTO

En general, se componen de las siguientes partes:

- Anillo exterior y anillo interior. Sirven de guía para los elementos rodantes interiores. En la mayoría de los casos uno de ellos es fijo y el otro gira. Los rodamientos de jaulas carecen de ellos.
- Elementos rodantes. Rodillos o bolas que se sitúan entre los dos anillos (o discos) y que permiten el movimiento relativo entre éstos minimizando el rozamiento.
- Jaula. De un material más blando que las pistas y los elementos rodantes, sirven para mantener una distancia entre los elementos rodantes, protegerlos y a la vez mantener una lubricación uniforme entre ellos.

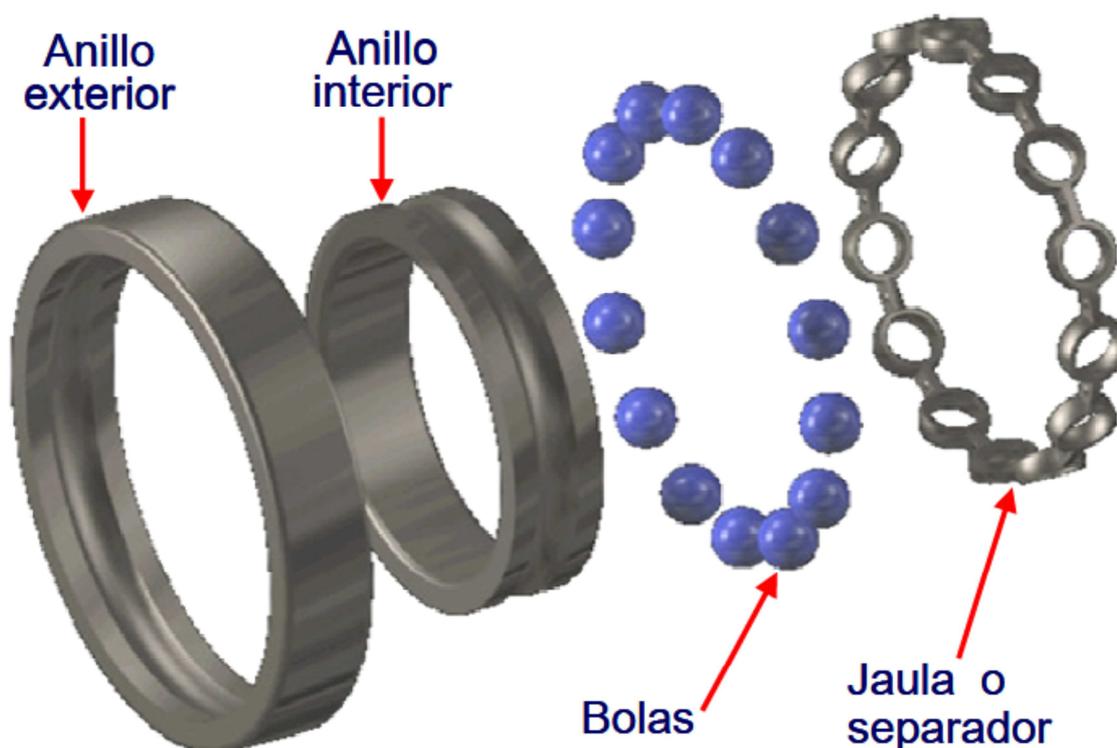


Ilustración 4 - Explosionado de un Rodamiento de bolas

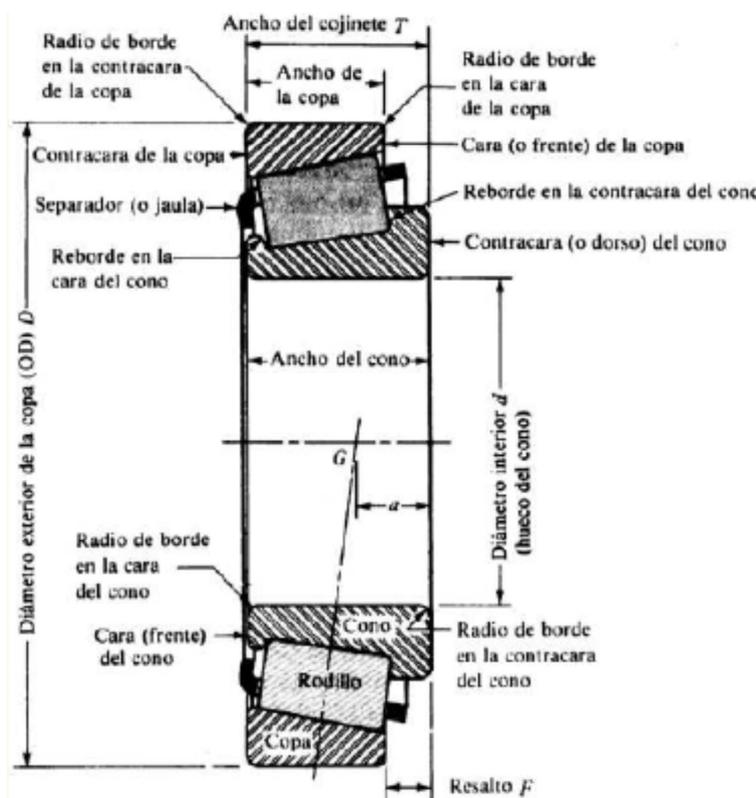


Ilustración 5 - Partes de un rodamiento

2.2.3. MATERIALES DEL RODAMIENTO

Los elementos rodantes (bolas o rodillos) y los elementos de soporte (anillos o discos) se fabrican en aceros duros, con alta resistencia a la fatiga y al desgaste, con una dureza del orden de 500 – 700^o Brinell. Además, deben recibir un tratamiento superficial especial, variando su dureza respecto a la de los soportes.

Las jaulas se realizan en aceros más blandos, poliamida, resina fenólica, latón o bronce. Se fabrican por prensado, mecanizado o forjado.

2.2.4. RIGIDEZ: CARGA-DESPLAZAMIENTO

El tipo constructivo, el tamaño y el juego de funcionamiento determinan la rigidez. Ésta aumenta con el número de elementos rodantes que soportan la carga.



Los rodamientos con contacto lineal son más rígidos que aquellos con contacto puntual.

Los rodamientos se caracterizan por un factor de elasticidad progresivo.

De esta manera, a igual carga e igual diámetro de los elementos rodantes, los rodamientos de rodillos presentan más superficie de contacto y se deforman menos que los de bolas, luego: pueden soportar más carga en dirección radial de los elementos rodantes.

La rigidez axial depende de la deformación del rodamiento bajo carga y se puede expresar como la relación entre la carga y la resiliencia del rodamiento. Sin embargo, puesto que la resiliencia de los rodamientos no depende linealmente de la carga, la rigidez axial también depende de la carga. Los valores exactos para la rigidez axial en rodamientos para una carga determinada se pueden calcular mediante métodos informáticos avanzados, aunque se ofrecen valores orientativos. Estos valores son válidos para los conjuntos de rodamientos montados bajo condiciones estáticas con dos rodamientos completamente de acero dispuestos espalda con espalda o cara a cara y sometidos a cargas moderadas.

Los conjuntos de rodamientos que constan de tres o cuatro rodamientos pueden ofrecer una mayor rigidez axial que los conjuntos con dos rodamientos.

2.2.5. AREA DE CONTACTO

El elemento rotativo que puede emplearse en la fabricación del rodamiento, pueden ser: de bolas, de rodillos o de agujas.

En los rodamientos de movimiento rotativo, según el sentido del esfuerzo que soporta, pueden ser axiales, radiales y axiales-radiales.



Un rodamiento radial es el que soporta esfuerzos radiales, que son esfuerzos de dirección normal a la dirección que pasa por el centro de su eje, como por ejemplo una rueda, es axial si soporta esfuerzos en la dirección de su eje, ejemplo un collarín de embrague, y axial-radial si los puede soportar en los dos, de forma alternativa o combinada.

La fabricación de los cojinetes de bolas o rodamientos es la que ocupa en tecnología un lugar muy especial, dados los procedimientos para conseguir la esfericidad perfecta de la bola. Los mayores fabricantes de ese tipo de rodamientos emplean el vacío para tal fin. El material es sometido a un tratamiento abrasivo en cámaras de vacío absoluto

Cada clase de rodamientos muestra propiedades características, que dependen de su diseño y que lo hace más o menos apropiado para una aplicación dada. Por ejemplo, los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales moderadas así como cargas axiales pequeñas. Tienen baja fricción y pueden ser producidos con gran precisión. Por lo tanto, son preferidos para motores eléctricos de medio y pequeño tamaño. Los rodamientos de rodillos cilíndricos pueden soportar cargas radiales muy pesadas y son oscilantes, lo que les permite asumir flexiones del eje, entre dos rodamientos, que soportan un mismo eje. Estas propiedades los hacen muy populares para aplicaciones por ejemplo en ingeniería pesada, donde las cargas son fuertes, así como las deformaciones producidas por las cargas, en máquinas grandes es también habitual cierta desalineación entre apoyos de los rodamientos.

En el rodamiento de bolas, el contacto que se utiliza es el contacto de punto, ya que la superficie de contacto es ovalada cuando la carga es aplicada. Además, debido al contacto de puntos hay baja resistencia y como los rodamientos de bolas son adecuados para aplicaciones de bajo torque y alta velocidad, tienen mejores características acústicas. La capacidad de carga es baja, pero pueden soportar cargas en ambas direcciones, radial y axial.

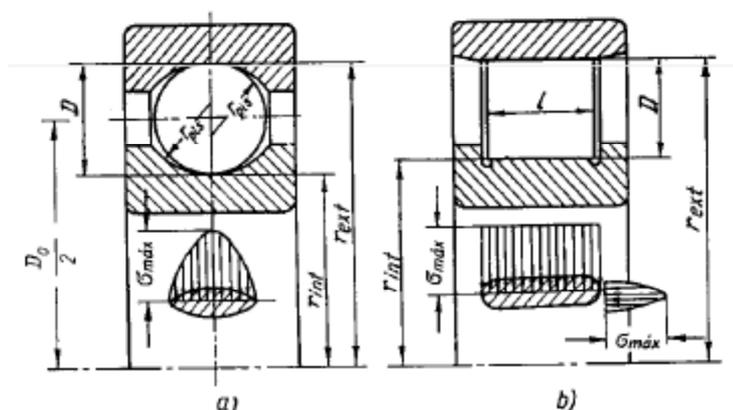


Ilustración 6 - Área de contacto

En el rodamiento de rodillo, el contacto es lineal, ya que la superficie de contacto es irregular cuando la carga es aplicada. Debido al contacto de línea, el torque es mayor que en los rodamientos de bolas, pero la rigidez también es mayor. La capacidad de carga, este caso, es más alta; los rodamientos de rodillo cilíndricos equipados con pestañas, pueden soportar una pequeña carga axial. Sin embargo, al combinar rodamientos de rodillos cónicos en pares, los mismos son capaces de soportar carga axial en ambas direcciones.

2.2.6. FUNCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Elemento mecánico utilizado en las máquinas rotativas como apoyo o soporte de los elementos portadores:

- Soporte de ejes, anillo interior fijo y anillo exterior móvil.
- Soporte de árboles, anillo exterior fijo y anillo interior móvil.

Sistema mecánico diseñado para que los rozamientos originados durante el giro no sean de deslizamiento sino de rodadura.

2.2.7. TIPOS DE RODAMIENTOS

Los distintos fabricantes de rodamientos ofrecen una amplia gama de tipos de rodamientos dependiendo de las prestaciones que necesite cada servicio que vaya a hacer el rodamiento.

Es necesario calcular los esfuerzos principales a los que estará sometido el rodamiento, los ciclos que deberá aguantar y las temperaturas a las que trabajará.

Podemos dividir los tipos de rodamientos en dos principales tipos dependiendo de su montaje, fijación y dependiendo de la orientación de los componentes que tienen para aguantar cargas radiales o axiales:

- Rodamientos con cargas principales radiales.
 - Rodamientos rígidos de bolas, tienen un amplio campo de aplicación, son de diseño sencillo, adecuados para altas velocidades de funcionamiento y requieren poco mantenimiento. No es especialmente resistente a cargas de valor muy alto. Poca resistencia a carga axial.

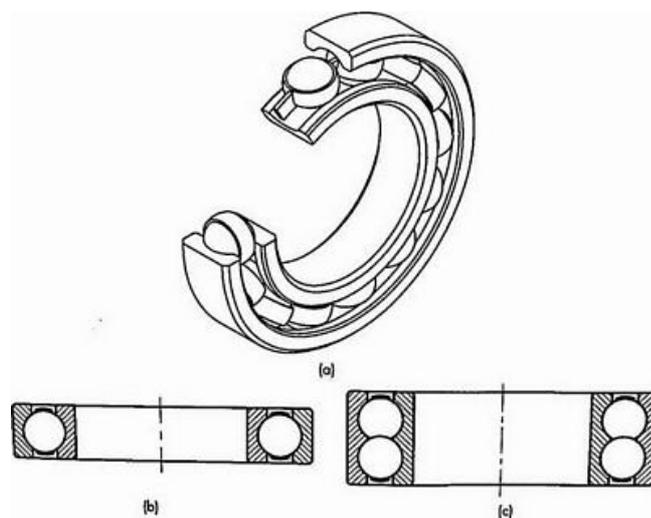


Ilustración 7- Rodamiento de bolas

- Rodamientos de bolas a rótula, dos hileras de bolas con un camino de rodadura esférico común en el aro exterior del rodamiento. Esta característica hace que el rodamiento sea autoalineable, permitiéndose desviaciones angulares del eje respecto al soporte. Indicados para

aplicaciones en las que se pueden producir desalineaciones o deformaciones del eje. Su característica de auto alineamiento interno es útil en muchas aplicaciones, pero no se debe abusar de ello. Los elementos esféricos tienen la ventaja de ampliar su área de contacto a medida que la carga aumenta. No soporta grandes cargas.

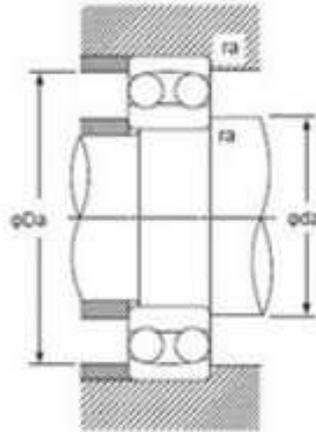


Ilustración 8 - Rodamiento de bolas a rótula

- Rodamientos de bolas con contacto angular, la línea que une los puntos de contacto de las bolas de acero con los anillos interior y exterior forman un ángulo con la línea que define la dirección radial, éste es el ángulo de contacto. Este ángulo suele ser de 30° , aunque hay de desde 40° (con mayor soporte de carga axial) hasta 15° (para elevadas velocidades). Estos rodamientos tienen posición de montaje, ya que solo soportan cargas axiales en un sentido.



Ilustración 9 - Rodamiento de bolas de contacto angular

- Rodamientos de rodillos cilíndricos, tienen la misma función que los rodamientos rígidos de bolas, es decir, absorber puramente cargas radiales. No obstante, su capacidad de carga radial es más elevada al tener una mayor superficie de contacto donde repartir las cargas aplicadas sobre el rodamiento. Dado que los rodillos hacen contacto lineal con las pistas de rodadura, pueden soportar grandes cargas radiales, siendo baja su capacidad de carga axial. Los rodillos pueden ser guiados por los rebordes del anillo exterior o del anillo interior. Existen rodamientos de rodillos cilíndricos con rebordes en los dos anillos, por lo que pueden ser cargados con cargas radiales y axiales combinadas. Existe una gran variedad de tipos, siendo la mayoría de ellos de una sola hilera de rodillos con una jaula en los laterales del rodamiento.

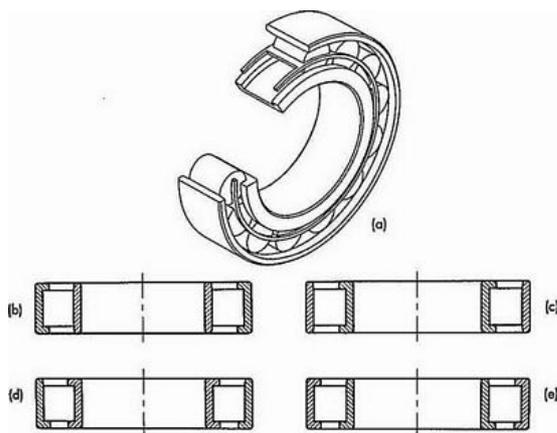


Ilustración 10 - Rodamiento de rodillos cilíndricos.

- Rodamientos de agujas, se caracterizan por tener rodillos finos y largos en relación a su diámetro, por lo que se les denomina agujas. Tienen gran capacidad de carga y son especialmente útiles donde se dispone de un espacio radial limitado para su montaje. Suelen carecer de anillos exterior e interior y ser simplemente la hilera de rodillos con la jaula.

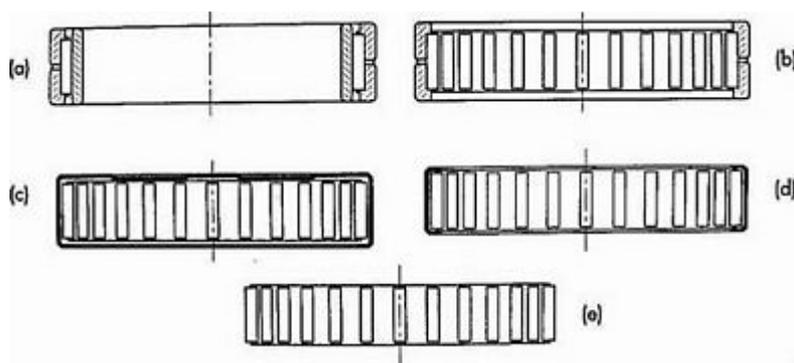


Ilustración 11 - Rodamientos de agujas

- Rodamientos de rodillos a rótula, compuestos por dos hileras de rodillos con un camino de rodadura esférico común sobre el aro exterior. Cada uno de los caminos de rodadura del aro interior está inclinado formando un ángulo con el eje del rodamiento. Son autoalineables, pueden soportar cargas radiales y cargas axiales, y tienen una gran capacidad de carga. Son como los rodamientos de bolas a rótula pero con una mayor capacidad de cara e indicados para unas menores velocidades de giro de funcionamiento.

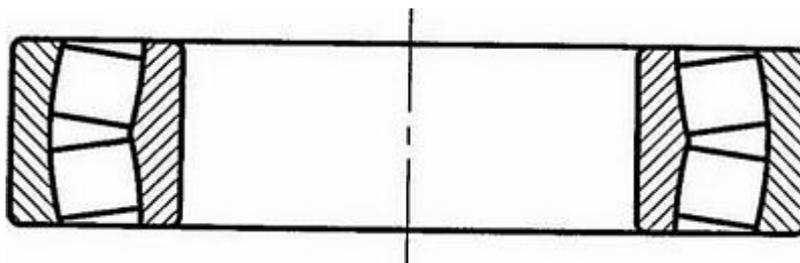


Ilustración 12 - Rodamiento de rodillos a rótula

- Rodamientos de rodillos cónicos, tienen los rodillos dispuestos entre los caminos de rodadura cónicos de los aros interior y exterior. El diseño de estos rodamientos los hace especialmente adecuados para soportar cargas combinadas axiales y radiales. En este tipo de rodamientos, los rodillos y las pistas de rodadura tienen forma cónica. La configuración de su diseño hace que los vértices de los conos de rodillos y pistas de rodadura se encuentren en un punto común sobre el eje del rodamiento. Los rodillos son guiados por el contacto entre el extremo mayor del rodillo y el reborde mayor del anillo interior. El contacto lineal entre los rodillos y las pistas de rodadura, hace que estos rodamientos tengan una elevada capacidad de carga; a su vez, resisten velocidades relativamente elevadas. Tienen una alta capacidad para soportar cargas radiales, cargas axiales en una Dirección y cargas combinadas. Cuanto más grande es el ángulo de contacto, más grande es la capacidad de carga axial. Cuando una carga radial pura es colocada sobre el rodamiento, es inducida una carga en la dirección axial; en consecuencia, estos rodamientos se montan, generalmente, en pares o puestos uno al otro. Este tipo de rodamientos son desmontables, es decir, cada anillo puede ser montado individualmente, permitiendo utilizar ajustes fijos en ambos anillos.

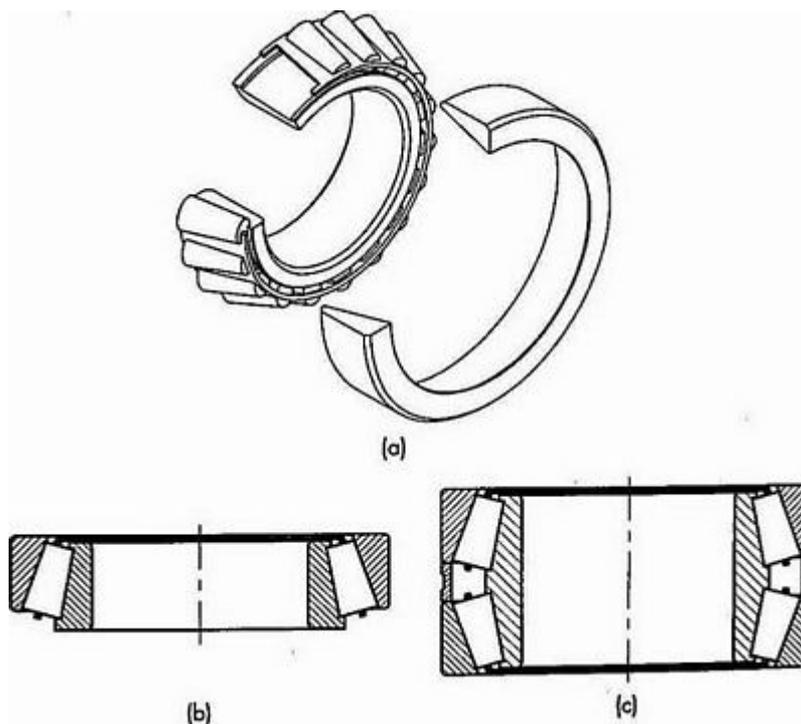


Ilustración 13 - Rodamiento de rodillos cónicos

- Rodamientos con cargas principales axiales.
 - Rodamientos axiales de bolas, pueden ser de simple efecto o de doble efecto. Los de simple efecto son adecuados para absorber cargas axiales y fijar el eje en un solo sentido, pueden soportar cargas radiales pequeñas. Los de doble efecto son adecuados para absorber cargas axiales y fijar el eje en ambos sentidos, sin embargo no soportan cargas radiales. El ángulo de contacto es de 90° , debiendo el plano de rodamiento ser perfectamente perpendicular al eje de rotación. Este tipo de rodamientos puede soportar cargas axiales en un sentido; a su vez, no resulta apropiado para operar a elevadas velocidades. Para asegurar el guiado de las bolas en su camino de rodadura, deben estar solicitados permanentemente por una carga axial mínima o precarga. Es desmontable, siendo su montaje muy simple, ya que los componentes se pueden montar por separado.

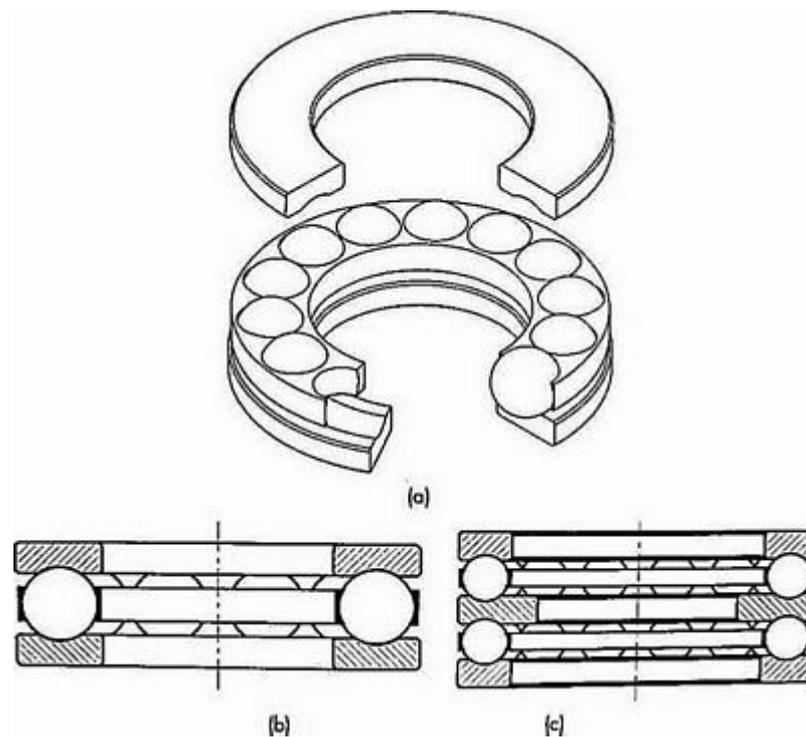


Ilustración 14 - Rodamientos axiales de bolas

- Rodamientos axiales de rodillos, pueden ser de rodillos cilíndricos o de rodillos cónicos, son adecuados para disposiciones que tengan que soportar grandes cargas axiales. Se suelen emplear cuando la capacidad de carga de los rodamientos axiales de bolas es inadecuada. Son capaces de soportar cargas radiales en un sentido (dependiendo de la conicidad de los rodillos) y de absorber desalineaciones de los ejes. Están constituidos por dos aros, uno ajustado en el eje y otro en el alojamiento del soporte, y unos rodillos cilíndricos alojados en una jaula porta rodillos. Se puede conseguir un diseño compacto, utilizando únicamente los rodillos y jaula porta rodillos, empleando el eje y el alojamiento del soporte como pistas de rodadura.

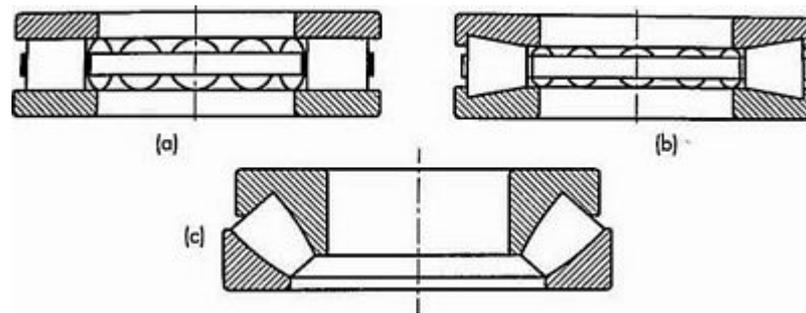


Ilustración 15 - Rodamientos axiales de rodillos

- Rodamientos axiales de agujas, pueden soportar grandes cargas axiales y requieren de un espacio axial muy pequeño. Son rodamientos de simple efecto y solo pueden absorber cargas axiales en un sentido (compresión).

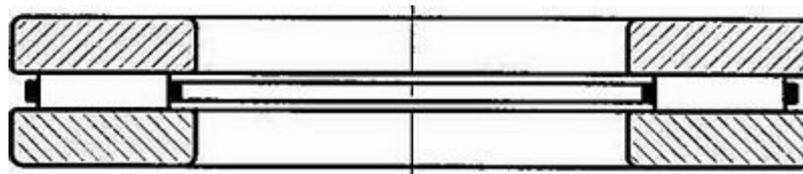


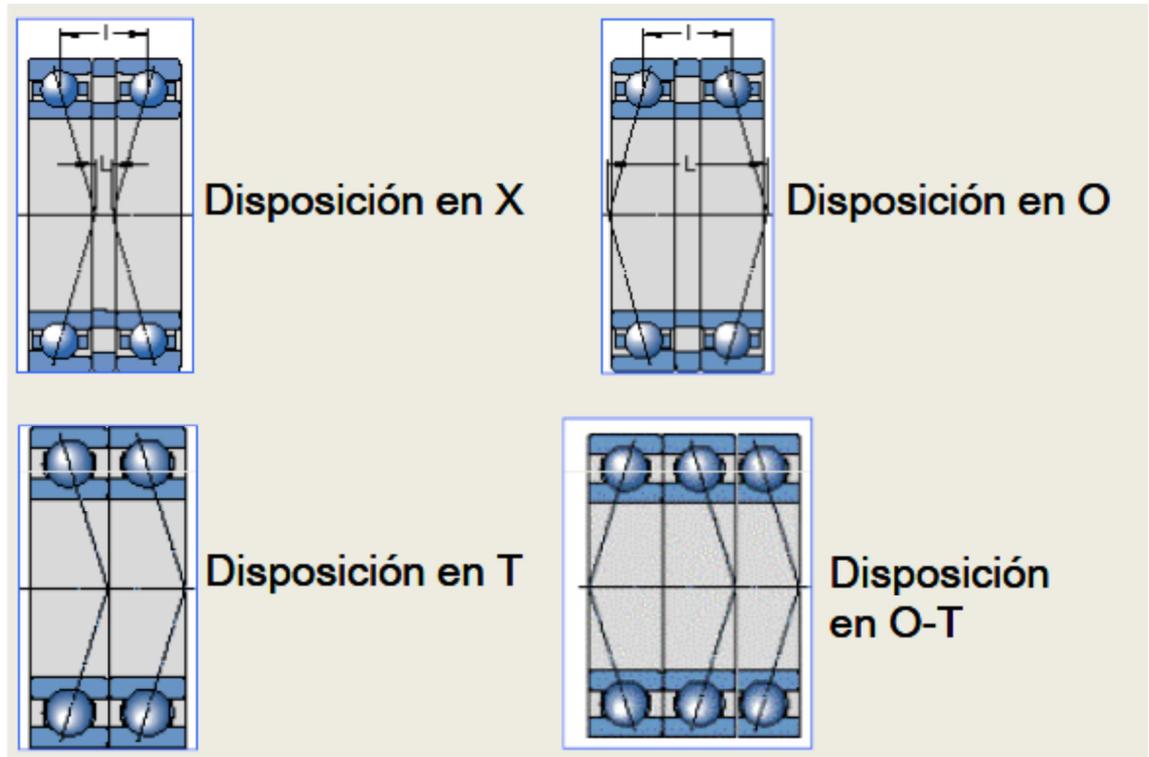
Ilustración 16 - Rodamiento axial de agujas

2.2.7.1. COMBINACIÓN DE RODAMIENTOS DE CONTACTO ANGULAR

Los rodamientos de contacto angular se suelen montar por parejas, debido a que tienen capacidad para soportar cargas axiales en un solo sentido. De ésta manera se complementa la pareja, aunque si el espacio es reducido, se monta un solo rodamiento con dos o más hileras de bolas.

El segundo rodamiento es el encargado de guiar la carga axial del sentido opuesto a la que soporta el primero, de esta manera aumenta la rigidez del sistema completo donde se montan y se elimina la holgura axial del rodamiento cuando tiene que operar solo con carga radial.

DISPOSICIONES DE RODAMIENTOS DE CONTACTO ANGULAR



Disposición en X (o “cara a cara”) puede soportar cargas radiales y axiales en cualquier dirección. Presenta una distancia “ L ” entre centros efectivos de carga pequeña. Su capacidad para mantener momentos es inferior a la disposición en O y ángulo de desalineamiento permisible es superior. Esta disposición es muy utilizada porque puede soportar cargas altas y cargas de choque.

La disposición espalda-a-espalda es especialmente buena cuando la distancia entre los rodamientos es corta y se aplican momentos de carga.

La disposición cara-a-cara facilita el montaje cuando es necesaria la interferencia en el aro interior. En general, es buena cuando existe error de montaje.

Al utilizar esta disposición con precarga, se debe tener cuidado con la cantidad de precarga y el ajuste del juego.



Disposición en O (“o espalda-a-espalda”), ésta se utiliza a altas velocidades cuando las cargas radiales no son tan altas y las cargas axiales son relativamente altas. Proporciona también buena rigidez del eje mediante la precarga.

Para momentos de carga, la disposición espalda-a-espalda resulta mejor que la de cara-a-cara.

Además puede soportar cargas radiales y axiales en cualquier dirección. Presenta una gran distancia “L ” entre los centros efectivos de carga de los rodamientos, luego tiene una elevada capacidad para asimilar cargas de momento. El ángulo de desalineamiento permisible es pequeño.

Este tipo es aconsejable si se aplican momentos.

Disposición en T (“Tandem”), pueden soportar cargas radiales y axiales en una sola dirección. Puesto que dos rodamientos comparten la carga axial, esta disposición se utiliza cuando la carga axial en una dirección es alta.

2.2.8. NORMALIZACIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos son creados por fabricantes muy especializados, con tipos muy concretos y fuertemente normalizados. Las normas más importantes son las ISO, DIN y AFBMA. Las normalizaciones se refieren a las medidas externas:

- Diámetros de anillo interior/externo
- Ancho
- Radios de acuerdo
- Tolerancias dimensionales, ...

Los elementos rodantes no están normalizados: para un mismo diámetro de agujero (diámetro del eje o árbol donde va fijado el rodamiento), hay varios rodamientos con diferentes capacidades de carga: con distinto número y tamaño de elementos rodantes.



Se denomina serie de rodamientos al grupo de rodamientos que presentan un mismo diámetro de agujero y diferentes capacidades de carga. Los rodamientos se designan por un código de letras y números:

- La primera cifra (1) designa el tipo de cojinete (de bolas, de contacto angular, de rodillos cónicos, etc.)
- La segunda cifra (2) es un código que hace referencia al ancho del cojinete
- La tercera cifra (3) es un código que hace referencia a la serie de diámetros
- Las dos últimas cifras (45) son el numero característico del agujero que define el diámetro:
 - Multiplicando dicha cifra por 5 (en el intervalo de 20-480mm.)
 - Para un diámetro superior a 480mm. se indica directamente la cifra. En el caso de que sea inferior a 20mm tiene una denominación especial.
- A veces, la cifra completa va precedida o seguida de letras que se usan para indicar alguna característica especial del rodamiento como tapas de protección, jaulas de material especial, etc.

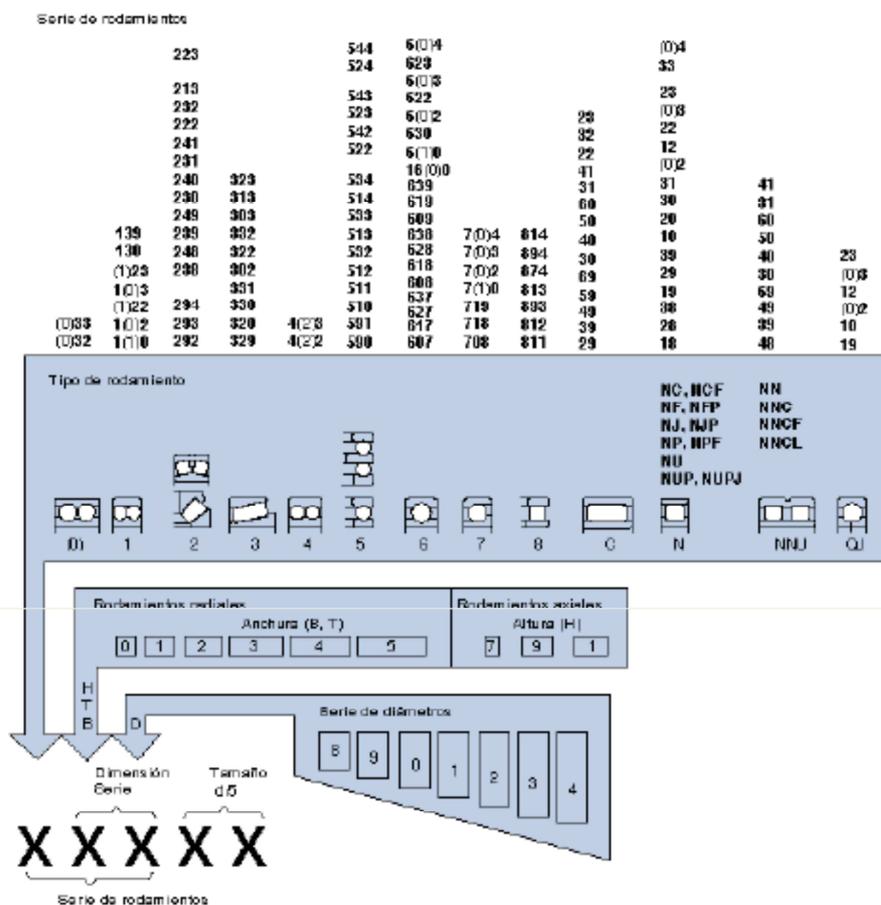


Ilustración 17 - Normalización de Rodamientos

2.2.9. CINEMÁTICA DE LOS RODAMIENTOS

Los rodamientos presentan relaciones cinemáticas complicadas:

- “Spinning” y efectos giroscópicos en los rodamientos de bolas.
- Desalineación e inclinación en los rodamientos de rodillos.
- En los rodamientos de bolas de contacto angular, el ángulo de contacto que forma la bola con la pista interior varía respecto al ángulo que forma con la pista exterior.

Para realizar cálculos de los esfuerzos que sufren los rodamientos se suponen varias hipótesis de trabajo:

- Los elementos rodantes son rígidos, se omite la deformación de contacto (se excluye la influencia de la carga).
- No se considera la holgura radial.
- Se ignora el efecto “película” de la lubricación
- Los elementos rodantes presentan rodadura pura, sin deslizamientos.
- Se considera que el movimiento se desarrolla en el plano radial.

2.2.9.1. RIGIDEZ: CARGA – DESPLAZAMIENTO

A igual carga e igual diámetro de los elementos rodantes, los rodamientos de bolas presentan menos superficie de contacto y se deforman más que los rodamientos de rodillos, por lo tanto pueden soportar menos carga.

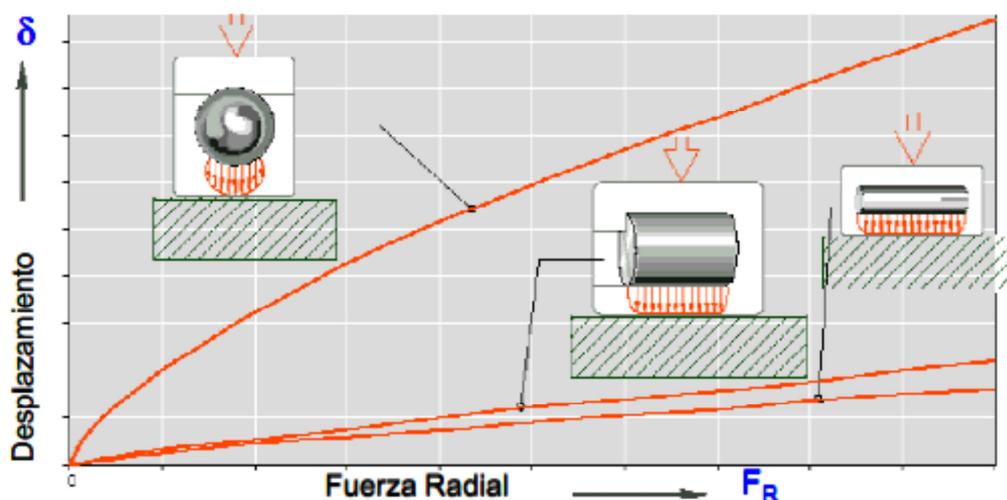


Ilustración 18 - Relacion Carga/Desplazamiento

2.2.9.2. ÁREA DE CONTACTO

En rodamientos de bolas, la superficie de contacto es ovalada cuando se le aplica carga. Debido al contacto puntos hay baja resistencia, son adecuados para aplicaciones de bajo par y alta velocidad, también son menos sonoros. La capacidad de carga es baja, pero pueden soportar cargas en ambas direcciones, radial y axial.

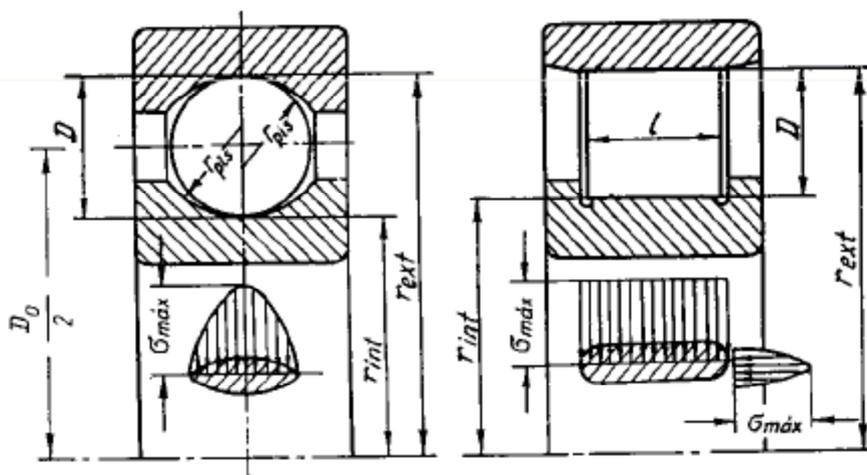


Ilustración 19 - Área de contacto

En rodamientos de rodillos, la superficie de contacto es rectangular cuando la carga es aplicada. Debido al contacto de línea, el torque es mayor que en los rodamientos de bolas, pero la rigidez también es mayor. La capacidad de carga es más alta. En los rodamientos de rodillos cilíndricos equipados con pestañas, pueden soportar una pequeña carga axial. Al combinar rodamientos de rodillos cónicos en pares, los mismos son capaces de soportar carga axial en ambas direcciones.

2.2.10. DISTRIBUCIÓN DE CARGA

2.2.10.1. DISTRIBUCIÓN DE CARGA RADIAL EN UN RODAMIENTO.

La primera condición que se impone es que no existe la holgura, esto se consigue con la precarga correcta en el rodamiento.

La carga radial total F_r se distribuye en varios elementos rodantes (parte inferior). La línea de carga pasa por el centro de los anillos con las referencias en el centro del anillo exterior y la línea de carga.

Se analiza la posición donde un elemento rodante está en la línea de carga (posición de máxima carga sobre un elemento rodante).

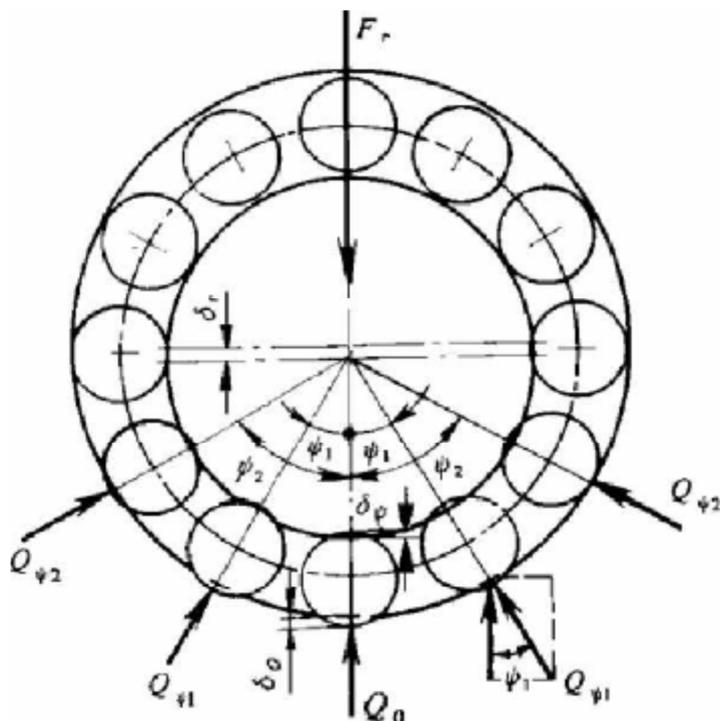


Ilustración 20 - Distribución de Cargas

2.2.11. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN RODAMIENTO

2.2.11.1. ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL RODAMIENTO.

Se debe tener en cuenta una serie de aspectos y parámetros de para que el rodamiento elegido sea el más adecuado para la función y la vida que se le va a requerir. Lo primero que hay que definir son las condiciones de ambiente y operación. Una vez definido el ambiente se podrá decidir qué tipo y qué configuración de rodamientos es el más adecuado.

En segundo lugar se debe saber que dimensiones hay disponibles para alojar el rodamiento y a su vez las tolerancias en las que debe estar el rodamiento y su juego interno.

En último lugar hay que seleccionar el material de la jaula, el tipo de lubricación y método de sellado dependiendo del ambiente de operación (suciedad, temperatura, humedad, etc.)

En ocasiones no comunes se decide alguna característica especial del rodamiento.

2.2.11.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS

Tipos de rodamientos	Rodamientos rígidos de bolas	Rodamientos de bolas a contacto angular	Rodamientos de doble hilera de bolas a contacto angular	Rodamientos de bolas a contacto angular apareados	Rodamientos autolubrificables de bolas	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola pestaña	Rodamientos de rodillos cilíndricos de doble pestaña	Rodamientos de doble hilera de rodillos cilíndricos	Rodamientos de agujas
Características										
Capacidad de manejo de carga										
Carga axial										
Alta velocidad [ⓐ]	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆
Alta precisión rotacional [ⓐ]	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆		☆☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	
Bajo ruido/vibración [ⓐ]	☆☆☆☆	☆☆☆		☆		☆	☆	☆	☆	☆
Bajo torque friccional [ⓐ]	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆	☆				
Alta rigidez [ⓐ]			☆☆	☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆
Resistencia a los choques/vibración [ⓐ]			☆		★	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Desalineamiento permitido [ⓐ] para anillos int./ext.	☆				☆☆☆	☆				
Fijo en la dirección axial [ⓐ]	⊙	○	⊙	⊙ Para anillos DB y DF	⊙		○	⊙		
Movible en la dirección axial [ⓐ]	○		○	○ Para anillos DB	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙
Anillos interior/exterior separables [ⓐ]						○	○	○	○	○
Diámetro interior cónico [ⓐ] en el anillo interior					○	○				○

Rodamientos de rodillos cónicos	Rodamientos de 2 y 4 hileras de rodillos cónicos	Rodamientos de rodillos esféricos	Rodamientos axiales de bolas	Rodamientos axiales de doble hilera de bolas a contacto ang.	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Rodamientos axiales de rodillos esféricos	Página de referencia	Tipos de rodamientos
								Características
								Capacidad de manejo de carga
								Carga Radial
								Carga axial
☆☆☆	☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	☆	☆	A-66	Alta velocidad [ⓐ]
☆☆☆	☆		☆	☆☆☆			A-31	Alta precisión rotacional [ⓐ]
			☆				—	Bajo ruido/vibración [ⓐ]
							A-67	Bajo torque friccional [ⓐ]
☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-54	Alta rigidez [ⓐ]
☆☆	☆☆☆	☆☆☆		★	☆☆☆	☆☆☆	A-18	Resistencia a los choques/vibración [ⓐ]
☆		☆☆☆		★	★	☆☆☆	A-79	Desalineamiento permitido [ⓐ] para anillos int./ext.
○	⊙	⊙	○	⊙	○	○	A-13	Fijo en la dirección axial [ⓐ]
	○	○	○	○	○		A-13	Movible en la dirección axial [ⓐ]
○	○		○	○	○		—	Anillos interior/exterior separables [ⓐ]
		○					A-79	Diámetro interior cónico [ⓐ] en el anillo interior

Ilustración 21 - Características de los rodamientos

2.2.11.3. PARÁMETROS DE UN RODAMIENTO

CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE

Será una carga estática hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial que actúan sobre el rodamiento (P_0).

Esta carga hipotética será radial pura en rodamientos radiales o axial centrada en rodamientos axiales, pero en rodamientos de contacto angular de bolas o de rodillos cónicos se escoge el valor mayor de las siguientes dos expresiones:

$$P_0 = V \cdot F_r \quad (\text{Ec 2.1})$$

$$P_0 = X_0 \cdot V \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad (\text{Ec 2.2})$$

Con los siguientes datos:

P_0	Carga estática equivalente	V	Factor de rotación
F_a	Carga Axial	X_0	Factor estático radial
F_r	Carga Radial	Y_0	Factor estático radial

CAPACIDAD ESTÁTICA DE CARGA

Expresa la carga necesaria para causar una deformación en el elemento rodante y en la pista de rodadura de una diezmilésima (0,0001) del diámetro del elemento rodante en el punto de presión máxima". No es la carga de rotura, pero a partir de esta carga pueden quedar deformaciones permanentes.

Es un estimador de la máxima carga estática admitida por el rodamiento sin que se queden deformaciones permanentes, y es el parámetro de referencia para seleccionar el rodamiento cuando se usa a velocidades muy bajas, oscilante, choques, en cuyo caso se usará un rodamiento que soporte cargas estáticas equivalentes que cumplan:

$$P_0 = \frac{C_0}{s_0} \quad (\text{Ec 2.3})$$

Con los siguientes datos:

C_0	Capacidad de carga estática
S_0	Factor de seguridad estático, depende de las condiciones de funcionamiento y del tipo de rodamiento. $0,5 < S_0$ hasta un valor de 5 aproximadamente

RODAMIENTOS	RADIALES Y CONTACTO ANGULAR	DE EMPUJE O AXIALES
BOLAS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \sin \alpha$
RODILLOS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot l_e \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \sin \alpha$

Tabla 1 - Capacidad Estática de Carga

i	Número de filas de elementos rodantes	l_e	Longitud del rodillo
Z	Número de elementos rodantes	α	Ángulo de contacto del rodamiento
D_b	Diámetro del rodillo o bola	f_0	Coefficiente relativo al tipo de rodamiento

CARGA DINÁMICA EQUIVALENTE

Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento. Esta carga dinámica será radial pura en rodamientos radiales o axial centrada en rodamientos axiales. En caso de rodamientos radiales o de contacto angular se escoge una de las siguientes dos expresiones.

$$P = V \cdot F_r \quad \frac{F_a}{F_r} \leq \zeta \cdot \tan \alpha \equiv e \quad (\text{Ec 2.4})$$

$$P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad \frac{F_a}{F_r} > \zeta \cdot \tan \alpha \equiv e$$

P	Carga dinámica equivalente resultado de una carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento	V	Factor de rotación	
F _a	Carga Axial	X	Factor dinámico radial	
F _r	Carga Radial	Y	Factor dinámico axial	
α	Ángulo de contacto del rodamiento	δ	Coeficiente del tipo de rodamiento	Rod. Bolas → 1,1
				Rod. Rodillo → 1,5
				Rod. Ang Bol → 1,25

En el caso de que el rodamiento estuviera sometido a cargas variables, **P** sería una carga dinámica hipotética resultado de la carga variable axial y radial y velocidad variable que actúan sobre el rodamiento.

$$P = \sqrt[p]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot P_i^p \right)}{\sum (q_i \cdot n_i)}} \quad (\text{Ec 2.5})$$

$$n_m = \frac{\sum (q_i \cdot n_i)}{100} \quad (\text{Ec 2.6})$$

n _m	Velocidad media de giro		P _i	Carga dinámica equivalente parcial de cada intervalo de funcionamiento
a _i	Coeficiente de duración de vida para cada intervalo de funcionamiento		q _i	Porcentaje de duración parcial de cada intervalo de funcionamiento
P	Exponente del coeficiente de duración de vida	p=3 para rod. De bolas	n _i	Velocidad de rotación parcial de cada intervalo de funcionamiento



		p=10/3 para rod. De rodillos		
--	--	---------------------------------------	--	--

CAPACIDAD DINÁMICA DE CARGA

Carga máxima que puede soportar un rodamiento en movimiento, sin que aparezcan signos de fatiga en ninguno de sus elementos (aros o elementos rodantes), durante un millón de revoluciones del rodamiento.

Experimentalmente se puede hacer una estimación de la vida nominal (o duración) a partir de la capacidad dinámica de carga y de la carga dinámica equivalente de un rodamiento.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot 10^6 \text{ revs} \quad (\text{Ec 2.7})$$

OTROS

A la relación entre la capacidad dinámica de carga y la carga dinámica equivalente $\left(\frac{C}{P}\right)$ se le denomina **Seguridad de carga**.

Se denomina **P_u** a la **carga límite de fatiga**, si la carga dinámica equivalente es menor que el límite de fatiga, ésta no se produce

Un factor muy importante es la carga mínima que necesita un rodamiento para que funcione correctamente:

Carga mínima en rodamientos de bolas	0,01· C
Carga mínima en rodamientos de rodillos	0,02· C

2.2.11.4. ESTIMACIÓN DE LA VIDA NOMINAL O VIDA ÚTIL.

La duración o vida útil (**L**) de un rodamiento es el número de revoluciones (o de horas operando), en condiciones operativas constantes de velocidad y carga, que está el rodamiento funcionando hasta alcanzar un fallo por fatiga del material. Se ha comprobado en laboratorios que, en buenas condiciones, los rodamientos de deterioran por fatiga de material.

La vida nominal de un rodamiento (**L₁₀**) se basa en un modelo estadístico al 90% y se define como el número total de revoluciones que el 90% de los rodamientos de un grupo idéntico, sometidos a iguales condiciones operativas de laboratorio, alcanzará o sobrepasará antes de que ocurra el fallo por fatiga del material. Se expresa como:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot 10^6 \text{ revs} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \text{ horas} \quad (\text{Ec 2.8})$$

PROCESO DE CÁLCULO DE LA VIDA NOMINAL

- Selección del tipo y tamaño del rodamiento
 - Requisitos técnicos.
 - Condiciones operativas.

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) $L_{10h} \times 10^3 \text{ h}$				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones domésticas • Herramientas de mano eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria agrícola • Equipos de oficina 			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos médicos • Instrumentos de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores de acondicionadores de aire residenciales • Equipos de construcc. • Elevadores • Grúas 	<ul style="list-style-type: none"> • Gruas (Poleas) 		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> • Automóviles • Vehículos de dos ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores pequeños • Buses/camiones • Transmisiones de engranes en general • Máquinas madereras 	<ul style="list-style-type: none"> • Husillos de máquinas • Motores industriales • Trituradores • Cribas vibratorias 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisiones de engranes principales • Máquinas de caucho/plástico • Rodillos de calandrias • Máquinas de impresión 	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> • Laminadores • Escaleras eléctricas • Transportadores • Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de vehiculos ferroviarios • Acondicionadores de aire • Motores grandes • Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de locomotoras • Motores de tracción • Elevadores mineros • Volantes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas de fabricación de papel • Equipos de propulsión para barcos
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de abastecimiento de agua • Bombas de drenaje/ventiladores para minería • Equipos para generación de potencia

Ilustración 22 - Vida requerida en maquinarias



- Cálculo de la carga dinámica equivalente que soportará el rodamiento
- Determinación final de la vida nominal. Puede ser mejorada considerando factores operativos, técnicos o de fiabilidad.

VIDA NOMINAL AJUSTADA

La estimación de la vida útil de rodamientos contemplando diferentes materiales, diversas condiciones operativas y probabilidades de supervivencia.

Los distintos factores son:

- Factor de ajuste de vida por fiabilidad (**a₁**):

FIABILIDAD	90%	95%	96%	97%	98%	99%
FACTOR a ₁	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Tabla 2 - Factor de fiabilidad

- Factor de ajuste de vida por material (**a₂**):

Para acero de rodamientos, a₂=1

- Factor de ajuste de vida por condiciones operativas (**a₃**):

Se determina a partir de la lubricación, limpieza y relación de viscosidades (**K**):

$$K = \frac{V}{V_1} \quad (\text{Ec 2.9})$$

V	Viscosidad real del lubricante	V ₁	Viscosidad necesaria para una lubricación adecuada $V_1 = f(d_m, n, T)$
---	--------------------------------	----------------	--

Tabla 3 - Tabla de viscosidad

A nivel práctico se crea el parámetro **a₂₃**

$$a_{23} = a_2 \cdot a_3 \quad (\text{Ec 2.10})$$



Por lo que la vida nominal ajustada se queda:

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10} \quad (\text{Ec 2.11})$$

VIDA NOMINAL AJUSTADA AMPLIADA

Admitida por la ISO 281 y recomendada por los fabricantes:

$$L_{naa} = a_1 \cdot a_{vc} \cdot L_{10} \quad (\text{Ec 2.12})$$

Una vez que se obtiene la relación de viscosidad **K**, el coeficiente de influencia de la suciedad ambiental (η_c) y la expresión $\eta_c \cdot \frac{P_u}{P}$ se puede obtener el valor de a_{vc} a partir de unas gráficas características de cada rodamiento.

P_u	Carga límite a Fatiga	P	Carga dinámica equivalente
-------	-----------------------	---	----------------------------

SUCIEDAD AMBIENTAL	COEFICIENTE η_c
Máxima limpieza. Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante. Condiciones de laboratorio	1
Limpieza elevada. Aceite lubricante con filtración muy fina. Rodamientos engrasados y obturados.	0,8
Limpieza normal. Aceite lubricante con filtración fina	0,5
Suciedad ligera. Ligera suciedad en el aceite lubricante	Entre 0,5 y 0,3
Suciedad típica. Rodamiento contaminado, con abrasión de otros elementos	Entre 0,3 y 0,1



Suciedad fuerte. Entorno de los rodamientos muy sucio. Rodaduras insuficientemente obturadas.	Entre 0,1 y 0
Suciedad muy fuerte	0

Tabla 4 - Valores de coeficiente de limpieza

CÁLCULO DE LA VIDA NOMINAL DEL RODAMIENTO

Debemos tener a mano el catálogo del rodamiento con todos los datos característicos del rodamiento para poder calcular la vida nominal del rodamiento en 5 pasos.

- Cálculo del factor de velocidad (f_n) (dependiente de la velocidad de giro). Se obtiene del catálogo del fabricante.
- Cálculo del factor de esfuerzos dinámicos (f_L) (depende del rodamiento usado). Se obtiene del catálogo del fabricante
- Determinación de la carga dinámica equivalente P para cada rodamiento, obteniendo los valores necesarios del catálogo.
- Comprobación de la resistencia bajo fatiga. Determinación de la carga dinámica equivalente P_0 . Cogiendo los valores necesarios del catálogo

Se debe calcular la capacidad estática de carga para cada caso que debe ser menor que el valor teórico proporcionado en el catálogo.

- Cálculo de la vida nominal del rodamiento.
- Cálculo de la vida nominal ajustada.
- Cálculo de la vida nominal ajustada ampliada.

→Ejemplo de cálculo de vida nominal del rodamiento

Una bomba de membrana contiene algunos rodamientos del tipo A7210C, cuyas dimensiones y capacidades de carga pueden extraerse de la página del catálogo que se ofrece en la hoja anexa. Uno de estos rodamientos a bolas, en



condiciones operativas, funciona a juego a una velocidad de 500 r.p.m., soportando una carga radial de 200 Kg. y una carga axial de 350 Kg. y siendo su temperatura en funcionamiento de 40º C. La viscosidad del lubricante empleado en el rodamiento es $\nu = 23 \text{ mm}^2/\text{s}$. La viscosidad n_1 necesaria para asegurar una lubricación adecuada a la temperatura de funcionamiento (40º C) se puede obtener de gráfica

Los rodamientos del tipo A7210C se fabrican en aceros duros, por ello, podemos suponer que el coeficiente de duración de vida dependiente del material es $a_2=1$ y el dependiente de las condiciones operativas (a_3) puede extraerse del diagrama de la figura 1. Debido al ambiente contaminado, el lubricante puede presentar pocas impurezas.

Se pide:

- Vida nominal del rodamiento, para una fiabilidad del 90%, en horas
- Vida nominal ajustada del rodamiento, para una fiabilidad del 90%, en horas.

Solucion:

Se establece el cociente entre la carga axial soportada por el rodamiento y la capacidad de carga estática del rodamiento (si se mira en el catálogo, para el rodamiento A7210C se obtiene $C_0 = 2200 \text{ Kg.}$):

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{350}{2200} = 0,1591$$

A 72 08 C	B 72 08 C	40	80	18	2	1 730	1 930
A 72 09 C	B 72 09 C	45	85	19	2	1 800	2 040
A 72 10 C	B 72 10 C	50	90	20	2	1 860	2 200
A 72 11 C	B 72 11 C	55	100	21	2,5	2 400	2 900
A 72 12 C	B 72 12 C	60	110	22	2,5	2 700	3 350
A 72 13 C	B 72 13 C	65	120	23	2,5	3 350	4 150
A 72 14 C	B 72 14 C	70	125	24	2,5	3 450	4 400
A 72 15 C	B 72 15 C	75	130	25	2,5	3 550	4 650
A 72 16 C	B 72 16 C	80	140	26	3	4 150	5 500
A 72 17 C	B 72 17 C	85	150	28	3	4 730	6 400
A 72 18 C	B 72 18 C	90	160	30	3	5 400	7 200
A 72 19 C	B 72 19 C	95	170	32	3,5	6 000	8 300
A 72 20 C	B 72 20 C	100	180	34	3,5	6 700	9 300
A 72 21 C	B 72 21 C	105	190	36	3,5	7 650	10 000
A 72 22 C	B 72 22 C	110	200	38	3,5	8 150	11 600
A 72 24 C	B 72 24 C	120	215	40	3,5	9 000	12 900
A 72 28 C	B 72 28 C	130	230	40	4	10 600	15 600
A 72 28 C	B 72 28 C	140	250	42	4	11 600	18 000
A 72 30 C	B 72 30 C	150	270	45	4	12 700	20 800
A 72 32 C	B 72 32 C	160	290	48	4	14 600	25 500
A 72 34 C	B 72 34 C	170	310	52	5	15 600	28 000
A 72 36 C	B 72 36 C	180	320	52	5	16 300	29 000
A 72 38 C	B 72 38 C	190	340	55	5	17 600	33 500
A 72 40 C	B 72 40 C	200	360	58	5	20 000	39 000
A 72 44 C	B 72 44 C	220	400	65	5	23 200	49 000

$\frac{F_a}{C_a}$	e	Y
0,015	0,38	1,47
0,029	0,40	1,40
0,058	0,43	1,30
0,087	0,46	1,23
0,12	0,47	1,19
0,17	0,50	1,12
0,29	0,55	1,02
0,44	0,56	1,00
0,58	0,56	1,00

Carga dinámica equivalente	
$P = F_r$	para $\frac{F_a}{F_r} \leq e$
$P = 0,44 F_r + Y F_a$	para $\frac{F_a}{F_r} > e$

Carga estática equivalente	
$P_0 = F_r$	para $\frac{F_a}{F_r} \leq 1,09$
$P_0 = 0,5 F_r + 0,46 F_a$	para $\frac{F_a}{F_r} > 1,09$

Ilustración 23 - Parte del catálogo de SKF

En el catálogo, el valor más próximo es 0,17. Si se toma dicho valor, se pueden extraer del catálogo los valores del factor de carga axial ($Y=1,12$) y del factor “e” ($e=0,5$). Una vez conocidos estos factores, se puede hallar la carga dinámica equivalente del rodamiento, utilizando el sistema de ecuaciones anterior (Ec 3.4):

$$\frac{350}{200} = 1,75 > 0,5 \rightarrow \frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = 0,44 \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$P = 0,44 \cdot 200 + 1,12 \cdot 350 = 480 \text{ kg}$$

Conocida la carga dinámica equivalente, mirando en el catálogo la capacidad dinámica de carga del rodamiento ($C = 1860$) y como es un rodamiento de bolas ($p=3$) y gira a 500 rpm, se puede determinar la vida nominal del rodamiento para una fiabilidad del 90% utilizando la anterior ecuación (Ec 3.8) para obtener directamente el resultado en horas:



$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{60 \cdot 500} \cdot \left(\frac{1860}{480}\right)^3 = 1939 \text{ horas}$$

Para hallar la vida nominal ajustada se deben de conocer los coeficientes de duración de vida:

- El factor de ajuste por material se sabe que es la unidad (**a₂=1**).
- El factor de ajuste por fiabilidad del 90% es **a₁=1**
- El factor de ajuste por condiciones operativas (**a₃**) se debe hallar con los siguientes datos
 - La viscosidad del lubricante empleado (**v=23 mm²/s**)
 - La viscosidad idónea para las condiciones operativas establecidas, que se extrae del diagrama de la figura con el siguiente método.

El diámetro medio del rodamiento se obtiene de los datos del catálogo (d=50mm y D=90mm.):

$$d_M = \frac{d + D}{2} = \frac{50 + 90}{2} = 70 \text{ mm.}$$

En el diagrama de la siguiente figura se puede observar que la viscosidad recomendada que resulta para el diámetro medio obtenido y una velocidad de 500rpm es aproximadamente de v₁=31mm²/s.

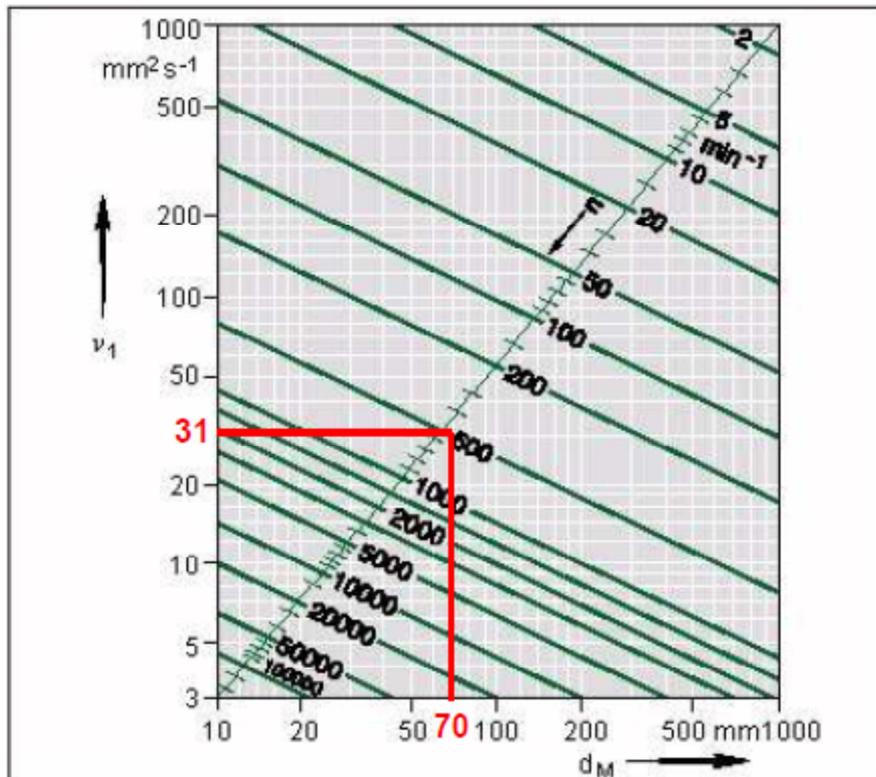


Ilustración 24 - Relación de diámetro y viscosidad

Ahora se puede hallar la relación de viscosidades (**K**) utilizando la ecuación (Ec 3.9):

$$K = \frac{V}{V_1} = \frac{23}{31} = 0,742$$

Conocida la relación de viscosidades y sabiendo que puede haber impurezas en el lubricante (zona "c"), se extrae de la gráfica de la figura el valor del factor de ajuste de vida útil de las condiciones operativas: $a_3=0,6$.

Y habiendo obtenido los tres coeficientes de duración de vida, podemos averiguar la vida nominal ajustada del rodamiento, para una fiabilidad del 90%, y con las condiciones operativas establecidas utilizando la ecuación (Ec 3.11):

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{na} = 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1939 = 1163 \text{ horas}$$

2.2.12. LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS.

2.2.12.1. INTRODUCCIÓN A LA LUBRICACIÓN

La finalidad principal de la lubricación es reducir la fricción y el desgaste en el interior de los rodamientos que podrían causar fallos prematuros. Podemos distinguir tres tipos de lubricación.

- **Lubricación límite**, es aquella en la que la película de fluido no se separa de la superficie.
- **Lubricación hidrodinámica**, a diferencia de la anterior, en ésta, la película de fluido está totalmente separado de la superficie.
- **Lubricación mixta**, aquella en la que la película se separa parcialmente del fluido.

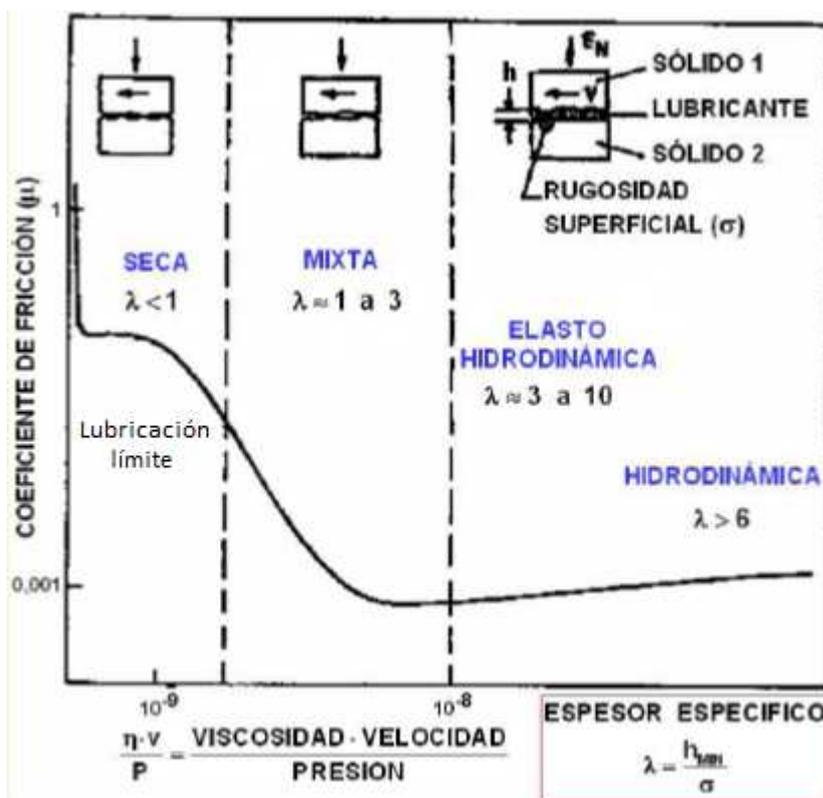


Ilustración 25 - Gráfica Lubricación



Dentro de la lubricación hidrodinámica existe la lubricación elastohidrodinámica (EHD), la cual se caracteriza por un estrechamiento de la capa lubricante a la salida (aprox 25 %) y porque la curva de presión es parecida a la de un contacto hertziano seco con un pico de presión a la salida.

En la lubricación hidrodinámica el espesor de la película lubricante puede ser del orden de 5 μm en adelante, mientras que en la lubricación elastohidrodinámica es de 1 μm ó menos. Normalmente esta lubricación está asociada con superficies no concordantes y con la lubricación por película fluida.

Hay que destacar que dicha lubricación (elastohidrodinámica) compatibiliza tres ecuaciones:

- La ecuación diferencial de la lubricación hidrodinámica de Reynolds.
- La ecuación de deformación elástica bajo carga de Hertz.
- La ecuación que relaciona la viscosidad con la presión.

2.2.12.2. FACTORES PARA SELECCIONAR UN LUBRICANTE

El principal parámetro a considerar es la viscosidad pero también se puede ver influido por otros factores como el tamaño del rodamiento (a mayor carga, mayor tamaño y mayor viscosidad), la velocidad de giro (a mayor “n”, mayor pérdidas por rozamiento y por tanto menor viscosidad), la temperatura operativa (a mayor temperatura, menor viscosidad y mayor viscosidad inicial) el tipo de rodamiento, las condiciones de montaje, el espacio disponible, aspectos ambientales como la humedad, suciedad, etc.

2.2.12.3. MOTIVO PARA LUBRICAR UN RODAMIENTO

Los distintos métodos de lubricación se dividen inicialmente en lubricación por grasa o por aceite. Las prestaciones satisfactorias del rodamiento se pueden

obtener mediante la adopción del método más adecuado dependiendo de la aplicación o las condiciones de trabajo.

Un rodamiento se puede lubricar con aceite o grasa, las ventajas que ofrece la lubricación aplicadas a los rodamientos son las siguientes:

- Reducir la fricción y el desgaste
- Proteger las pistas y los elementos rodantes de los residuos causados por la humedad, suciedad...
- Prevenir la oxidación y la corrosión
- Eliminar el calor producido en el rodamiento por la fricción
- Amortiguar el ruido de funcionamiento
- Evacuar los residuos generados
- Asegurar la lubricación elastohidrodinámica.

Se puede diferenciar también las compatibilidades que ofrece lubricar con grasa o con aceite en la siguiente tabla:

Característica \ Método	Lubricación con grasa	Lubricación con aceite
Manejo	◎	△
Confiabilidad	○	◎
Efecto de enfriamiento	×	○ (Circulación necesaria)
Estructura de sellado	○	△
Pérdida de potencia	○	○
Contaminación Ambiental	○	△
Alta velocidad de rotación	×	○

◎ : Excelente ○ : Bueno △ : Regular × : Malo

Ilustración 26 - Usos de distintas lubricaciones

2.2.12.4. RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE ACEITES, PÉRDIDAS DE FRICCIÓN Y TEMPERATURA DEL RODAMIENTO

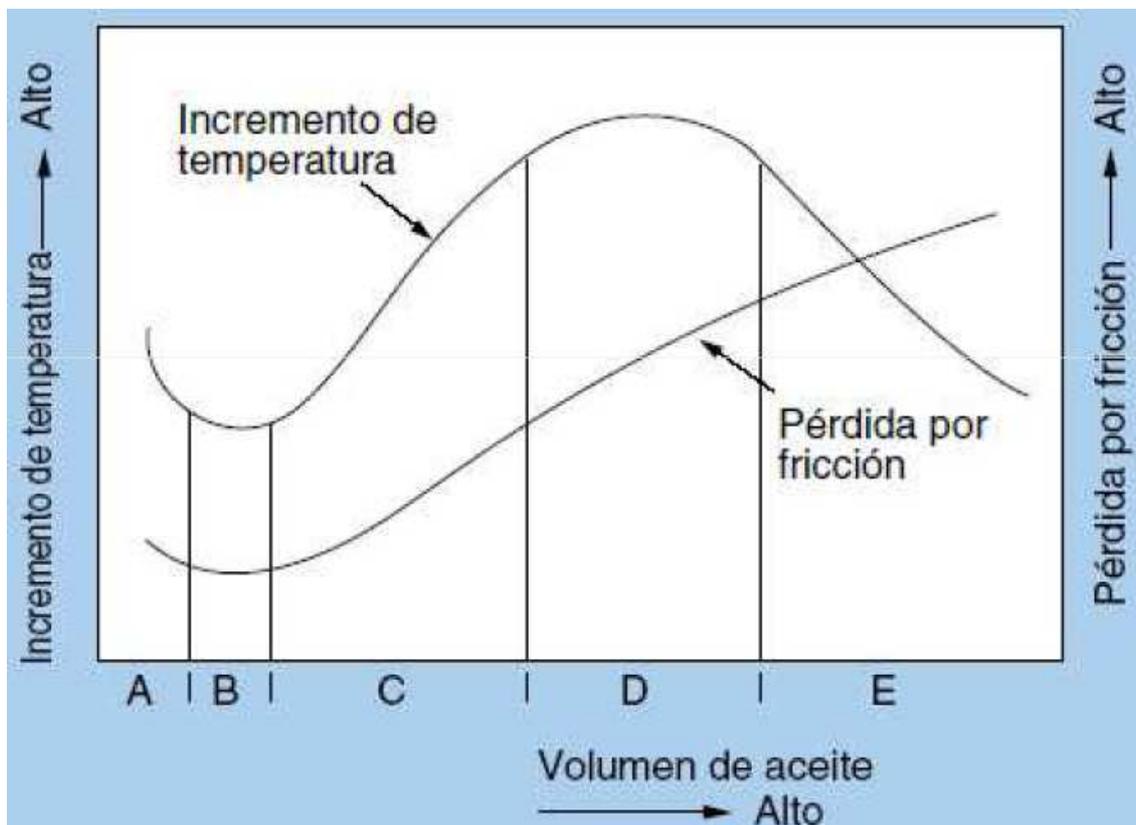


Ilustración 27 - Temperatura y Aceite

En el rango A, cuando el volumen de aceite es extremadamente bajo ocurre contacto metálico directo entre los elementos rodantes y las pistas. De esta manera se presenta abrasión y atascamiento del rodamiento.

En el rango B, se crea una delgada capa de aceite sobre todas las superficies, así la fricción es mínima y la temperatura del rodamiento es baja. El método de lubricación que se utiliza es la lubricación con grasa, niebla de aceite (mezcla de aire y aceite)

En el rango C, debido a que el volumen de aceite se incrementa, el calor generado se balancea con el enfriamiento, por lo que el método de lubricación que se debe utilizar es la lubricación por circulación



En el rango D, independientemente del volumen de aceite la temperatura se incrementa de forma constante, por lo que al igual que en el rango anterior la lubricación a utilizar es la de circulación

En el rango E, debido a que el volumen de aceite se incrementa, predomina el enfriamiento y la temperatura del rodamiento disminuye. En este caso se utiliza la lubricación de circulación forzada o chorro de aceite

2.2.12.5. LUBRICACIÓN CON GRASA O CON ACEITE.

Como ya hemos mencionado anteriormente hay dos tipos de materiales para lubricar rodamientos.

- Lubricación con grasa
- Lubricación con aceite

La lubricación con grasa permite un rodamiento sellado y lubricado y un uso a temperatura moderada y velocidad de giro baja o media

La lubricación con aceite por lo contrario da lugar a un rodamiento no sellado, permitiendo el uso de varios métodos de lubricación y un uso para altas sollicitaciones de temperaturas y velocidad.

2.2.12.6. VENTAJAS E INCONVENIENTES EN LOS TIPOS DE LUBRICACIÓN

Ambos tipos de lubricación son muy distintos y cada uno de ellos nos genera una serie de ventajas e inconveniente a la vez. A continuación vamos a destacar una serie de ellas empezando por las ventajas de la lubricación con grasa:

- Buen funcionamiento con cargas elevadas
- Larga duración



En cuando a las desventajas de la lubricación con grasa podemos destacar:

- No evacua el calor
- Mal comportamiento con suciedad o humedad
- Mala distribución del lubricante

Basándonos ahora en la lubricación con aceite, estas son las siguientes ventajas:

- Buena refrigeración
- Buena distribución del lubricante
- Permite evacuar la suciedad

Por último, las desventajas a tener en cuenta en las lubricaciones con aceite

- Vida útil más corta
- Admite cargas más reducidas

2.2.12.7. FACTORES PARA LA SELECCIÓN DE GRASAS

Las grasas para lubricar rodamientos tienen como aceite base, aceite minerales o sintéticos, espesados con jabones metálicos que mejoran sus propiedades con otros aditivos.

Uno de los factores a tener en cuenta es la viscosidad de las grasas con base de aceite, que debe variar entre 15 y 500 mm²/s a 40°C.

Esta viscosidad tiene que tener unas propiedades, entre ellas destacamos:

- **Consistencia**, no debe cambiar constantemente
- **Campo de temperatura**, oscila entre -30 y + 140 °C
- Propiedad anticorrosivas
- **Comportamiento ante la presencia del agua**, debe ser lo más resistente posible a ser arrastrado por el agua



- **Capacidad de carga**, debiendo aguantar una elevada carga
- **Miscibilidad**, debe poderse mezclar con otras grasas, pensando en la relubricación

La grasa, una vez introducida, normalmente no necesita ser rellenada durante largo tiempo; no obstante, en condiciones de funcionamiento severas, debe ser rellenada o sustituida frecuentemente. Cuando los intervalos de llenado son cortos, los puntos de llenado y de vaciado deben ser proporcionados en posiciones convenientes que permitan la sustitución de la grasa deteriorada por otra nueva. Por ejemplo, el espacio en el alojamiento destinado a la grasa puede ser dividido en varias secciones con separaciones. La grasa en el lado particionado pasa gradualmente a través del rodamiento, mientras que la grasa vieja forzada del rodamiento es descargada a través de una válvula de grasa. Si no se utiliza válvula de grasa, el espacio en el lado de descarga se hace mayor que en el lado particionado, con el fin de que pueda retener la grasa vieja, la cual es retirada periódicamente.

2.2.12.8. FACTORES DE RELUBRICACIÓN

Aun utilizando grasa de alta calidad, con el tiempo se deterioran sus propiedades; así pues, se requiere rellenado periódico, por lo que es necesario utilizar la relubricación. Los intervalos de relubricación se ven influidos por una serie de factores que a continuación enumeramos:

Periodo de engrase (t_f) de cada tipo de rodamiento, teniendo en cuenta:

- El tipo de rodamiento:
 - Axiales de bolas = $0,2 \cdot t_f$
 - Radiales de bolas = $5 \cdot t_f$
 - Radiales de rodillos cilíndricos = $4 \cdot t_f$
 - Rodillos cónicos = $0,2 \cdot t_f$
 - Rodillos esféricos = $0,2 \cdot t_f$



- Axiales de rodillos cilíndricos = $0.3 \cdot t_f$: Están constituidos por dos aros, uno ajustado en el eje y otro en el alojamiento del soporte, y unos rodillos cilíndricos alojados en una jaula porta rodillos. Se puede conseguir un diseño compacto, utilizando únicamente los rodillos y jaula porta rodillos, empleando el eje y el alojamiento del soporte como pistas de rodadura. Estos rodamientos son adecuados para soportar grandes cargas axiales en un sentido, sustituyendo a los rodamientos axiales de bolas cuando la capacidad de carga de estos últimos es inadecuada.
- Tamaño
- Velocidad de giro
- Temperatura operativa
- Tipo de grasa
- Espacio disponible
- Suciedad ambiental

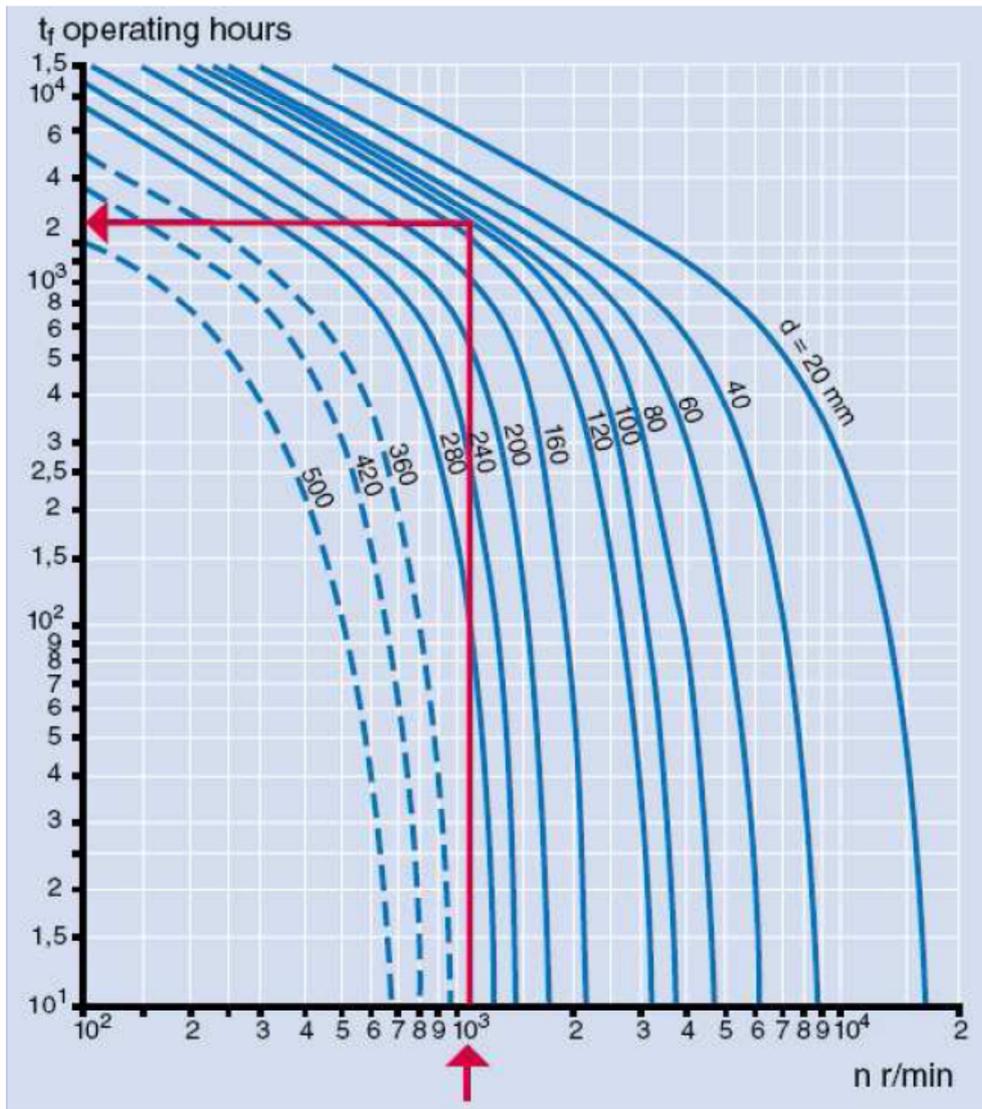


Ilustración 28 - Tiempos de relubricación

Teniendo en cuenta el factor de relubricación (K_f), el cual se puede obtener de la siguiente tabla:



TIPO DE RODAMIENTO	FACTOR (K_f)
Rodamientos rígidos de bolas de una hilera	Entre 0,9 y 1,1
Rodamientos rígidos de bolas de dos hileras	1,5
Rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera	1,6
Rodamientos de bolas de contacto angular de dos hileras	2
Rodamientos para husillos ($\alpha=15^\circ$)	0,75
Rodamientos para husillos ($\alpha=25^\circ$)	0,9
Rodamientos con cuatro caminos de rodadura	1,6
Rodamientos oscilantes de bolas	Entre 1,3 y 1,6
Rodamientos axiales de bolas	Entre 5 y 6
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular de dos hileras	1,4
Rodamientos de rodillos cilíndricos de una hilera	Entre 1,8 y 2,3
Rodamientos de rodillos cilíndricos de dos hileras	2
Rodamientos de rodillos cilíndricos sin jaula	25
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	90
Rodamientos de agujas	3,5
Rodamientos de rodillos cónicos	4
Rodamientos oscilantes con una hilera de rodillos	10
Rodamientos oscilantes de rodillos sin reborde	Entre 7 y 9
Rodamientos oscilantes de rodillos con reborde central	Entre 9 y 12

Tabla 5 - Valores del factor de relubricación

Y el periodo de engrase (t_f) se obtiene de la siguiente gráfica:

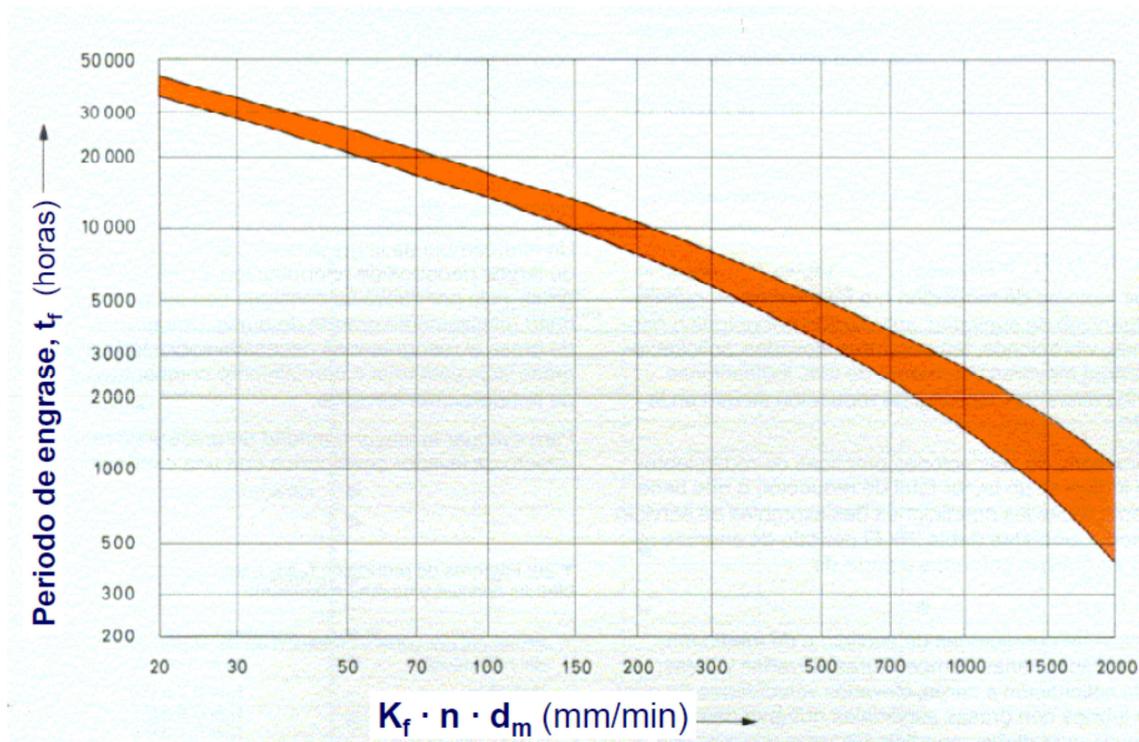


Ilustración 29 - Periodos de engrase

En el caso de que se quiera utilizar los otros factores que modifican el periodo de relubricación se utilizan los factores de la siguiente tabla:

INFLUENCIA POR POLVO Y HUMEDAD EN LAS SUPERFICIES FUNCIONALES DEL RODAMIENTO	FACTOR t_1
Reducida	Entre 0,7 y 0,9
Fuerte	Entre 0,4 y 0,7
Muy fuerte	Entre 0,1 y 0,4

Tabla 6 - Factor de humedad y suciedad

INFLUENCIA POR SOLICITACION A CARGA POR GOLPES, VIBRACIONES Y OSCILACIONES	FACTOR t_2
Reducida	Entre 0,7 y 0,9
Fuerte	Entre 0,4 y 0,7
Muy fuerte	Entre 0,1 y 0,4

Tabla 7 - Factor de vibraciones y golpes

INFLUENCIA POR TEMPERATURAS	FACTOR t_3
Reducida (Hasta 75°C)	Entre 0,7 y 0,9
Fuerte (Entre 75°C y 85°C)	Entre 0,4 y 0,7
Muy fuerte(Entre 85°C y 120°C)	Entre 0,1 y 0,4

Tabla 8 - Factor de temperatura

INFLUENCIA POR SOLICITACIÓN A CARGA	FACTOR t_4
P/C= 0,1 a 0,15	Entre 0,7 y 1
P/C= 0,15 a 0,25	Entre 0,4 y 0,7
P/C= 0,25 a 0,35	Entre 0,1 y 0,4

Tabla 9 - Factor de carga

INFLUENCIA POR SOLICITACIÓN A CARGA	FACTOR t_5
Corriente débil	Entre 0,5 y 0,7
Corriente fuerte	Entre 0,1 y 0,5

Tabla 10 - Factor por corriente de aire a través del rodamiento

2.2.12.9. SELECCIÓN DE ACEITES

La selección de aceites para rodamientos se basa en la correcta elección de la viscosidad para unas condiciones operativas dadas. A su vez, al igual que con la

selección de grasas, vamos a establecer unos estándares que expliquen la relación de aceites lubricantes.

Temperatura de operación del rodamiento °C	valor d_n	Grado de viscosidad ISO del aceite lubricante (VG)		Rodamiento apropiado
		Carga normal	Carga pesada o carga de impacto	
-30~ 0	Hasta la velocidad de rotación permitida	22, 32	46	Todos los tipos
0~ 60	Up to 15,000	46, 68	100	Todos los tipos
	15,000 ~80,000	32, 46	68	Todos los tipos
	80,000 ~150,000	22, 32	32	Todos los tipos de rodamientos axiales de bolas
	150,000~500,000	10	22, 32	Rodamientos radiales de una hilera de bolas, de rodillos cilíndricos
60~100	Up to 15,000	150	220	Todos los tipos
	15,000 ~80,000	100	150	Todos los tipos
	80,000 ~150,000	68	100, 150	Todos los tipos de rodamientos axiales de bolas
	150,000~500,000	32	68	Rodamientos radiales de una hilera de bolas, de rodillos cilíndricos
100 ~150	Hasta la velocidad de rotación permitida	320		Todos los tipos
0~ 60	Hasta la velocidad de rotación permitida	46, 68		Rodamientos auto-alineables de rodillos
60~100	Hasta la velocidad de rotación permitida	150		

Tabla 11 - Selección de aceite

2.2.12.10. METODOS DE LUBRICACIÓN CON ACEITES

Aunque anteriormente se ha hablado de ellos muy por encima, diversos son los métodos que se utilizan para la lubricación con aceites, entre todos ellos podemos destacar

- **Lubricación por circulación de aceite:** están diseñados principalmente para la lubricación por aporte de aceite en continuo a los diferentes puntos de la máquina. Con este sistema no se consigue únicamente lubricar sino también se refrigeran los rodamientos sometidos a grandes cargas y velocidades medias-altas en máquinas de casi cualquier tamaño. También eliminan eficazmente la suciedad, el agua y las partículas de aire con la instalación de filtros específicos para cada contaminante.
- **Lubricación por baño de aceite:** La lubricación en baño de aceite es ampliamente utilizada en los casos de velocidades bajas o medias. El nivel de aceite debe estar en el centro del elemento de rodadura más



bajo. Es aconsejable disponer de un indicador de nivel visual con el fin de comprobar que se mantiene el nivel de aceite óptimo

- **Lubricación por inyección de aceite:** En el caso de rodamientos con altas velocidades de rotación, el aceite se inyecta directamente en el paso entre la jaula y un anillo. La lubricación por inyección con grandes cantidades de lubricante conlleva una gran pérdida de rendimiento. Se requieren grandes esfuerzos para evitar el calentamiento de los rodamientos.
- **Lubricación por disco:** El mismo eje que soporta el rodamiento lleva un disco por el que circula aceite haciendo un circuito de aceite que pasa por el rodamiento.
- **Lubricación por goteo:** La lubricación por goteo se utiliza habitualmente en rodamientos de bolas pequeños funcionando a velocidades relativamente altas.
- **Lubricación por salpicadura:** Mediante este método de lubricación, el aceite es salpicado sobre los rodamientos mediante engranajes o simples discos giratorios instalados cerca de los rodamientos y sin necesidad de sumergir los rodamientos en aceite. Normalmente se utiliza este sistema en la transmisión de automóviles y en engranajes finales de transmisión.
- **Lubricación por niebla de aceite:** La lubricación por niebla de aceite pulveriza una niebla sobre los rodamientos. El método tiene las siguientes ventajas:
 - La cantidad de aceite necesaria es mínima, la resistencia del aceite a la agitación es baja y se posibilitan velocidades mayores.
 - La contaminación del entorno es mínima debido a que las fugas de aceite son muy pequeñas.
 - Resulta relativamente fácil suministrar aceite continuamente fresco, con lo cual se prolonga la vida del rodamiento.
- **Lubricación por mezcla aire-aceite:** Utilizando el método de Lubricación Aire/Aceite, se descarga una pequeña cantidad de aceite intermitente,



mediante un pistón de cantidad constante en un tubo que conduce un caudal constante de aire comprimido. El aceite fluye a lo largo de la pared del tubo aproximándose a un caudal constante y proporcional. Las mayores ventajas de la lubricación por aire/aceite son:

- Puesto que se suministra la cantidad mínima necesaria de aceite, el método es aconsejable para altas velocidades debido a su menor generación de calor.
- Puesto que la mínima cantidad de aceite es alimentada continuamente, la temperatura del rodamiento permanece estable.
- Además, y también debido a la poca cantidad de aceite usada, prácticamente no se produce polución ambiental.
- Puesto que únicamente se suministra aceite fresco, la deterioración del mismo no necesita ser considerada.
- Puesto que existe un suministro continuo de aire comprimido al rodamiento, la presión interna del mismo es alta, y en consecuencia el polvo o fluidos cortantes no pueden introducirse.

2.2.12.11. SISTEMAS DE ESTANQUEIDAD. SELLADO DE RODAMIENTO

Los sistemas de estanqueidad son diseñados para trabajar a vacío y/o presión, con amplia gama de tamaños y materiales totalmente configurables.

Hay dos tipos de sellado de rodamiento

- Sellado tipo no contacto
 - Pequeña holgura entre el eje y el cobertor del alojamiento
 - Aptos para altas velocidad de giro
 - Fricción despreciable



- Sellado tipo contacto
 - El eje es presionado por un labio de caucho
 - Fricción apreciable, por lo que genera más temperatura
 - Más eficiente que el sellado tipo no contacto

2.2.13. MONTAJE Y DESMONTAJE DE RODAMIENTOS.

El montaje de rodamientos es muy importante para un funcionamiento correcto y una buena longevidad del mismo. Se debe montar sin golpear a ser posible, para no producir ninguna deformación permanente en los elementos rodantes, en los aros o anillos o en la misma jaula que mantienen los elementos internos en su posición. Un montaje brusco también puede dañar el cerramiento que llevan algunos rodamientos para que la grasa interna no se salga y no entren impurezas dentro. A su vez es necesario que sea un montaje justo, dentro de las tolerancias indicadas por el fabricante del rodamiento para que ese mismo apretamiento entre cajeadado y rodamiento provoquen una precarga en el mismo como requieren todos los rodamientos.

También es muy aconsejable una fijación al árbol o al cajeadado hecho en la máquina para evitar que, si el rodamiento va a sufrir alguna carga axial, ésta no desplace el rodamiento a lo largo del árbol y se salga de su posición.

Los métodos más aconsejables en el montaje de los rodamientos son 2. El montaje con prensa con apoyo en los anillos en los que tengamos la fijación, es decir, si se está montando un rodamiento sobre un árbol o eje, la prensa debe hacer presión en el anillo interno del rodamiento, y si se va a hacer un montaje del rodamiento en su cajeadado, se debe oprimir con prensa sobre el anillo exterior, también es viable que la prensa haga la presión sobre los 2 anillos a la misma altura; otro método es el montaje por expansión térmica, se calienta el rodamiento y se enfría el eje para que varíen las dimensiones de éstos y se pueda hacer un

montaje con mayor suavidad. De ésta manera cuando las temperaturas vuelven a su estado normal queda hecha una unión entre rodamiento y eje (o cajeado).

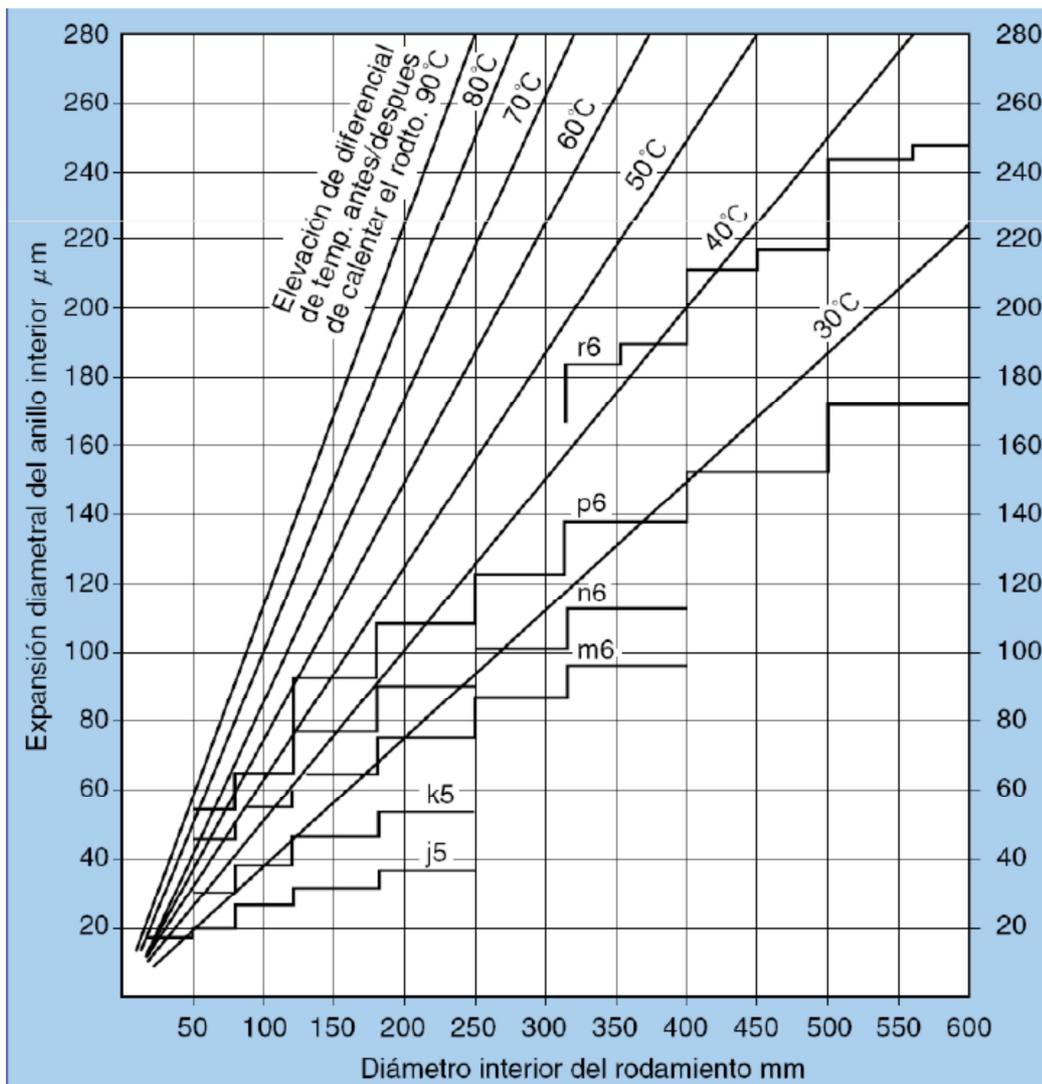


Ilustración 30 - Propiedades térmicas de los anillos

El desmontaje requiere los mismos cuidados que en el montaje, la mejor manera es utilizar la expansión térmica de los materiales y acompañar con un extractor mecánico o hidráulico para sacar el rodamiento. Como en ocasiones se fijan los rodamientos con selladores o pegamentos, el desmontaje del mismo se puede volver una operación complicada.



2.2.14. DISPOSICIONES DEL RODAMIENTO

Los rodamientos son elementos de máquina de alta exigencia, con una precisión elevada; para garantizar su máxima potencia el constructor tiene que elegir tipo y ejecución adecuados y combinar de forma apropiada las características de los rodamientos con las partes adyacentes. Además tiene que tener en cuenta la lubricación, la obturación y el mantenimiento durante el montaje y desmontaje.

La aplicación de medios apropiados durante el montaje y desmontaje de rodamientos así como exactitud y limpieza en el lugar de montaje son condiciones previas para una duración de servicio larga.

En general, los ejes suelen estar soportados sólo por dos rodamientos. Al considerar la disposición del montaje de los rodamientos se deben estudiar los siguientes puntos:

- Dilatación y contracción del eje debido a las variaciones de temperatura.
- Facilidad de montaje y desmontaje del rodamiento.
- Desalineamiento de los aros interior y exterior debido a deflexiones del eje o errores de montaje.
- Rigidez del sistema en conjunto, incluyendo los rodamientos y el método de precarga
- Capacidad para mantener las cargas en la posición correcta y para transmitir las.

Los rodamientos, normalmente se forman por parejas:

- Rodamiento Fijo
- Rodamiento libre o flotante

De entre los rodamientos montados sobre un eje, sólo uno de ellos puede ser de “extremo fijo”, utilizado para fijar el eje axialmente. Para este rodamiento de extremo fijo, se debe seleccionar un rodamiento que pueda soportar tanto cargas radiales como axiales. El resto de los rodamientos deben ser de “extremo libre”,



para transportar únicamente cargas radiales y aliviar la contracción y dilatación térmica del eje. Si se utilizaran dos extremos fijos se someterían los dos rodamientos a unos esfuerzos axiales innecesarios, ya que afectarían las dilataciones térmicas del eje o de la misma máquina en la que van montados los rodamientos. Si las medidas tomadas para aliviar la contracción y dilatación térmica del eje son insuficientes, se aplican cargas axiales anormales a los rodamientos que puedan causar fallos prematuros.

Si las medidas tomadas para aliviar la contracción y dilatación térmica del eje son insuficientes, se aplican cargas axiales anormales a los rodamientos que puedan causar fallos prematuros. Cuando se utilizan como rodamientos de extremo libre tipos de rodamientos “no separables”, el ajuste entre aro exterior y el alojamiento es ligero para permitir desplazamientos axiales del eje junto con el rodamiento. En ocasiones se alivian estas dilataciones mediante un ligero ajuste del eje y el aro interior.

Cuando la distancia entre los rodamientos es corta y la influencia de la contracción y dilatación del eje es despreciable, se utilizan dos rodamientos de bolas de contacto angular o de rodillos cónicos opuestos. El juego axial (posible movimiento axial) producido tras el montaje se ajusta utilizando tuercas o láminas de relleno.

En el rodamiento fijo una vez montados, sus anillos no pueden desplazarse lateralmente. El rodamiento es fijado en ambos sentidos axiales, en el eje y en el alojamiento. Debe soportar carga en ambos sentidos. Dentro de este tipo destacamos:

- Rodamientos rígidos de bolas.
- Rodamientos de bolas de contacto angular.
- Rodamientos de rodillos cónicos.
- Rodamientos de rodillos a rótula.



En el rodamiento libre o flotante, éste sólo soporta carga radial, admitiendo desplazamiento axial por el eje (dilataciones térmicas).

2.2.14.1. JUEGO INTERNO DE LOS RODAMIENTOS

El juego interno del rodamiento se define como la distancia total que se puede desplazar un aro con respecto a otro en dirección radial (juego radial interno) o en dirección axial (juego axial interno).

Es necesario distinguir entre el juego interno de un rodamiento antes del montaje y el juego interno de un rodamiento montado que ha alcanzado su temperatura de funcionamiento (juego de funcionamiento). El juego interno inicial (antes del montaje) es superior al juego de funcionamiento debido a que los diferentes grados de apriete en los ajustes y la dilatación térmica de los aros del rodamiento y de los componentes adyacentes dan lugar a una expansión o contracción de los aros.

El juego radial interno de un rodamiento es de considerable importancia para que el rodamiento pueda funcionar satisfactoriamente. Como regla general, los rodamientos de bolas deben tener siempre un juego de funcionamiento casi nulo, o puede haber una ligera precarga. Por otra parte, los rodamientos de rodillos cilíndricos, de rodillos a rótula deben tener siempre cierto juego residual durante el funcionamiento, por pequeño que sea. Esto es también válido para los rodamientos de rodillos cónicos, excepto para las disposiciones de rodamientos que requieren rigidez, por ejemplo en los piñones de diferencial en los que los rodamientos se montan con un cierto grado de precarga.

Se ha seleccionado un juego interno denominado Normal para obtener un juego de funcionamiento adecuado al montar los rodamientos con los ajustes normalmente recomendados y cuando las condiciones de funcionamiento son las normales. Cuando las condiciones de funcionamiento y las de montaje difieren de las normales, por ejemplo cuando se usan ajustes de interferencia para los dos aros



del rodamiento, o cuando las temperaturas no son las habituales, se deberán seleccionar rodamientos con un juego interno mayor o menor que Normal.

Los rodamientos con un juego interno distinto al Normal están identificados por los sufijos C1 a C5.

Sufijo	Juego radial interno
C1	Menor que C2
C2	Menor que Normal
CN	Normal, usado únicamente en combinación con letras que indican una gama de juegos reducidos o desplazados
C3	Mayor que Normal
C4	Mayor que C3
C5	Mayor que C4

Tabla 12 - Juego interno

El “Juego Normal” en rodamientos de bolas es casi nulo, incluso con precarga. En los de contacto angular (bolas o rodillos cónicos) tiene más importancia el juego interno axial. En los rodamientos de rodillos cilíndricos o de rodillos esféricos a rótula es necesario un pequeño juego radial.

Diámetro interior nominal d mm		C2		CN		C3		C4		C5	
más de	incl.	min.	max.								
—	2.5	0	6	4	11	10	20	—	—	—	—
2.5	6	0	7	2	13	8	23	—	—	—	—
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	36	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225	250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250	280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280	315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315	355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355	400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460
400	450	3	80	60	170	150	270	250	380	350	510
450	500	3	90	70	190	170	300	280	420	390	570
500	560	10	100	80	210	190	330	310	470	440	630
560	630	10	110	90	230	210	360	340	520	490	690

Tabla 13 - Juego interno radial en rodamientos de bolas

Diámetro interior nominal d mm		Rodamientos con diámetro interior cilíndrico											
		C1NA		C2NA		NA ^o		C3NA		C4NA		C5NA	
más de	incl.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
—	10	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	—	—
10	18	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
18	24	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
24	30	5	10	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30	40	5	12	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95
40	50	5	15	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50	65	5	15	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130
65	80	10	20	20	40	40	60	70	90	90	110	130	150
80	100	10	25	25	45	45	70	80	105	105	125	155	180
100	120	10	25	25	50	50	80	95	120	120	145	180	205
120	140	15	30	30	60	60	90	105	135	135	160	200	230
140	160	15	35	35	65	65	100	115	150	150	180	225	260
160	180	15	35	35	75	75	110	125	165	165	200	250	285
180	200	20	40	40	80	80	120	140	180	180	220	275	315
200	225	20	45	45	90	90	135	155	200	200	240	305	350
225	250	25	50	50	100	100	150	170	215	215	265	330	380
250	280	25	55	55	110	110	165	185	240	240	295	370	420
280	315	30	60	60	120	120	180	205	265	265	325	410	470
315	355	30	65	65	135	135	200	225	295	295	360	455	520
355	400	35	75	75	150	150	225	255	330	330	405	510	585
400	450	45	85	85	170	170	255	285	370	370	455	565	650
450	500	50	95	95	190	190	285	315	410	410	505	625	720

Tabla 14 - Juego interno radial en rodamientos de rodillos cilíndricos

2.2.14.2. JUEGO INTERNO EFECTIVO

El juego interno de un rodamiento en condiciones operativas (juego efectivo, δ_{EF}) suele ser menor que el juego interno inicial.

$$\delta_{EF} = \delta_0 - (\delta_F + \delta_T) \quad (\text{Ec 2.1})$$

Tras el montaje del rodamiento, se produce reducción del juego interno por dilatación del anillo interior y reducción del anillo exterior.

$$\delta_F = \frac{7}{10} \cdot \Delta_{EF} \quad (\text{Ec 2.13})$$

Δ_{EF}	Interferencia efectiva
---------------	------------------------

Debido a la diferencia de temperaturas entre el anillo interior y el exterior se genera reducción del juego interno en el rodamiento.

$$\delta_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot D_0 \quad (\text{Ec 2.14})$$

α	Coeficiente de expansión térmica del material del rodamiento, de valor aproximado $12,5 \cdot 10^{-6}$ (1/°C)
ΔT	Diferencia de temperatura entre los dos anillos (°C)
D_0	Diámetro de la pista del anillo exterior

2.2.14.3. JUEGO INTERNO RADIAL

El juego radial es válido para rodamientos con anillo interior y se obtiene con el rodamiento sin montar. Es la medida que puede desplazarse, en dirección radial, el anillo interior respecto al exterior, desde una posición límite hasta la opuesta.

A fin de obtener una exactitud de giro y una rigidez máxima, los rodamientos de rodillos cilíndricos de alta precisión deben tener una precarga o un juego radial



interno mínimos después del montaje. Los rodamientos de rodillos cilíndricos con un agujero cónico se suelen montar con precarga.

La cantidad de juego de funcionamiento o precarga depende de la velocidad, la carga, el lubricante y la rigidez requerida del sistema de rodamientos completo. También depende de la precisión de forma de los asientos de los rodamientos, que tienen un papel importante a la hora de conseguir la precarga o el juego necesario. La temperatura de funcionamiento del rodamiento también se debe tener en cuenta, ya que podría provocar una reducción del juego o un aumento de la precarga.

La normalización del juego interno de los rodamientos se refiere únicamente al juego radial (NORMA AFNOR NFE 22316).

Este juego radial será necesario para prevenir:

- Las deformaciones de los anillos de rodamiento durante su colocación.
- Las diferencia de dilatación de las anillas interior y exterior debido a las diferentes temperaturas alcanzadas por estos anillos durante el funcionamiento.

2.2.14.4. AJUSTE DEL RODAMIENTO

En el caso de rodamientos con el aro interior ajustado al eje solo con interferencia ligera, se puede producir un deslizamiento circunferencial dañino entre el aro interior y el eje. Este deslizamiento del aro interior conocido con el nombre de “creep” (corrimiento), resulta en un desplazamiento circunferencial del aro respecto al eje si la interferencia de ajuste no es lo suficientemente apretada.

Cuando se produce “creep”, las superficies ajustadas sufren abrasión, produciendo desgaste y considerables daños al eje. Es importante prevenirlo mediante la utilización de interferencia suficiente para evitar la rotación del aro del rodamiento sobre el eje o el alojamiento.



También se puede producir calentamiento y desgaste anormales debido a la penetración en el rodamiento de partículas metálicas abrasivas.

El “creep” no siempre puede ser evitado utilizando únicamente apriete axial sobre las caras de los aros de los rodamientos. No obstante, generalmente no resulta necesario proporcionar interferencia a aros sometidos únicamente a cargas estacionarias.

A veces, el ajuste se realiza sin interferencia alguna, tanto en el aro exterior como en el interior, con el fin de satisfacer ciertas condiciones de funcionamiento o de facilitar el montaje y desmontaje. En estos casos se debe considerar la aplicación de lubricación o algún otro método para prevenir los daños que se pudieran producir sobre las superficies de ajuste debido al “creep”.

Los factores que influyen en la selección del ajuste son:

- El juego interno del rodamiento (axial o radial)
- Las condiciones de giro
- El diseño y el material de los ejes y los alojamientos
- El tipo y las dimensiones del rodamiento
- El tipo, la magnitud y la dirección de las cargas que soportan (cargas fijas, rotativas o de dirección indeterminada)
- Las condiciones de temperatura.
- La facilidad para el montaje y desmontaje.
- El desplazamiento de un rodamiento libre.

Como ya se ha descrito, muchos factores, tales como las características y magnitud de la carga del rodamiento, diferencias de temperatura, medios de montaje y desmontaje, etc., deben ser considerados al seleccionar el ajuste adecuado.

Si el alojamiento es delgado o el rodamiento es montado sobre un eje hueco, se hace necesario un ajuste más apretado de lo normal.

Un alojamiento partido a menudo deforma el rodamiento dándole una forma oval; así pues, se debe evitar el uso de alojamientos partidos cuando se requiera un ajuste apretado del aro exterior.

Los ajustes de los aros interior y exterior deben ser apretados en las aplicaciones en las que el eje está sometido a vibraciones considerables.

TIPOS DE AJUSTES

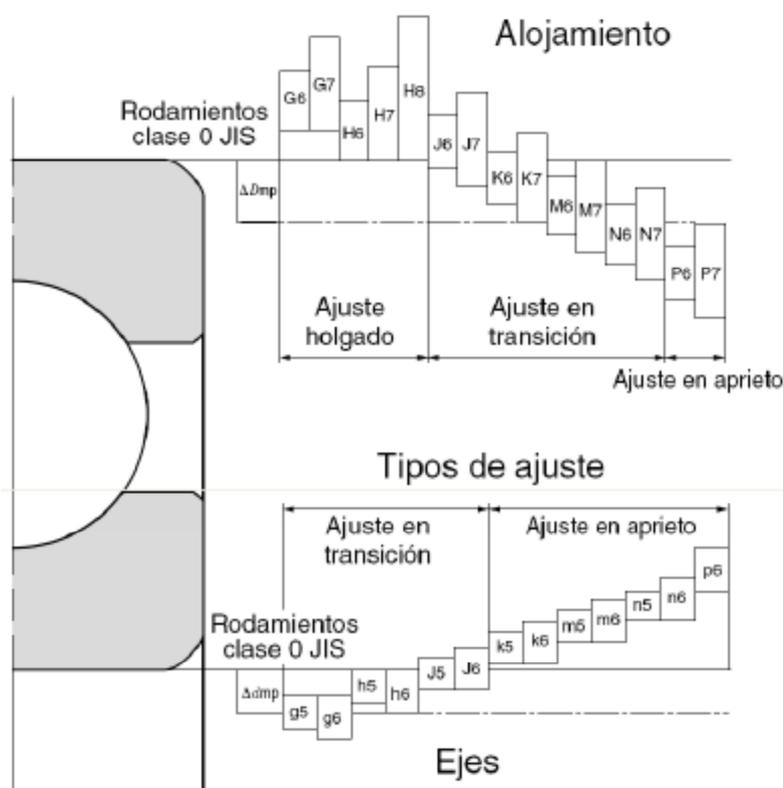


Ilustración 31 - Tipos de ajuste

2.2.14.5. TOLERANCIAS DIMENSIONALES

Las tolerancias para las dimensiones geométricas y la precisión de funcionamiento de los rodamientos vienen especificadas por la norma ISO 492/199/582 (Precisiones de los Rodamientos). Se especifican tolerancias para los siguientes elementos:

En relación con las clases de precisión de los rodamientos, además de la precisión ISO normal, puesto que la precisión mejora, existen las Clases 6X (para rodamientos cónicos), Clase 6, Clase 5, Clase 4 y Clase 2, siendo esta última la más alta de las ISO.

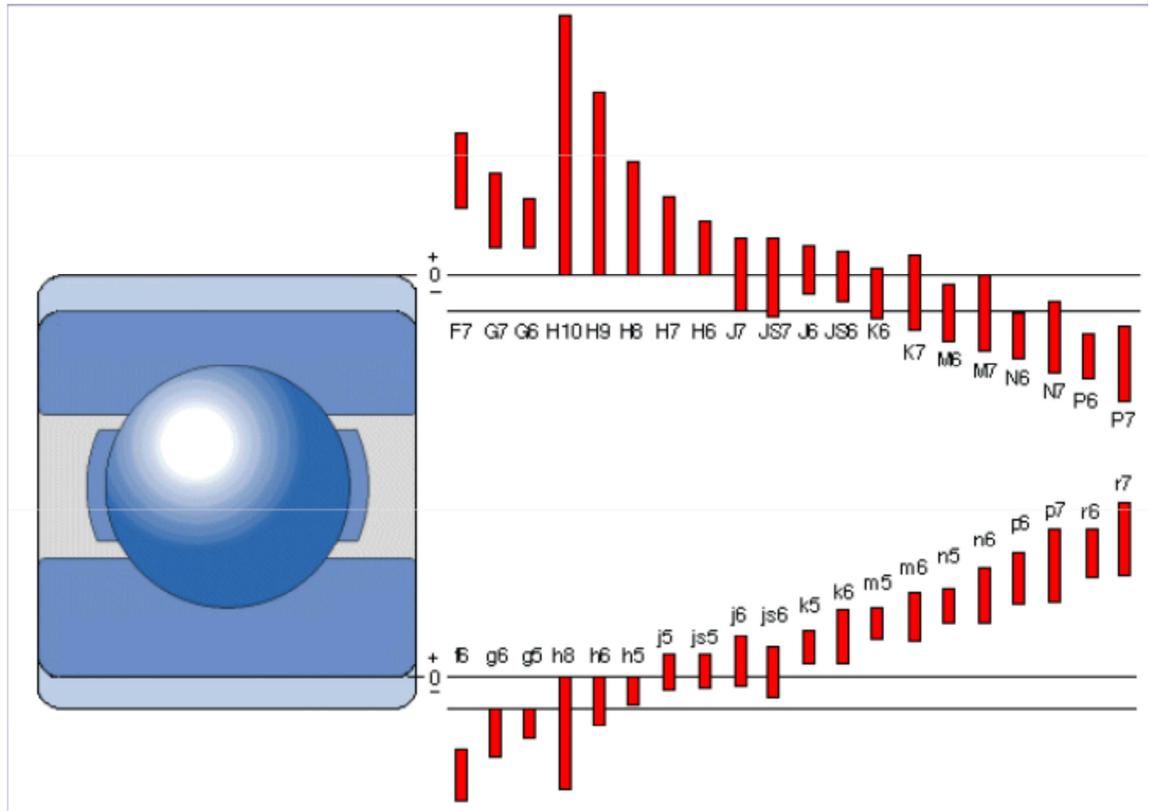


Ilustración 32 - Tolerancias dimensionales

CARACTERÍSTICAS DE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- Variación radial del anillo interior (K_a): la variación radial del anillo interior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición cuando el anillo interior gira una revolución.
- Variación radial del anillo exterior (K_{ea}): la variación radial del anillo exterior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición, cuando el anillo externo gira una revolución.



- Variación axial del anillo interior (S_{ia}): la variación axial del anillo interior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición cuando el anillo interior gira una revolución.
- Variación axial del anillo exterior (S_{ea}): la variación axial del anillo exterior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición, cuando el anillo externo gira una revolución.
- Variación de la cara con respecto al diámetro interior (S_d): la variación de la cara con respecto al diámetro interior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición, cuando el anillo interior gira una revolución junto con el mandril.
- Inclinación de la cara del anillo exterior (S_b): la variación de la cara del anillo exterior es la diferencia entre la máxima y la mínima lectura del instrumento de medición, cuando el anillo externo gira una revolución a lo largo de la platina de refuerzo.

TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS EN EJE Y ALOJAMIENTO SEGÚN LA NORMA ISO 1101

Las tolerancias geométricas afectan a la forma y posición de un elemento determinado. Pueden ser tolerancias de forma ó tolerancias de posición.

- Las tolerancias de forma afectan a la forma de una línea o de una superficie.
- Las tolerancias de posición indican la tolerancia permitida en la posición relativa de los elementos en la pieza.

Se deben especificar únicamente cuando son imprescindibles para asegurar la aceptabilidad y validez de la pieza respecto a su funcionamiento previsto y su finalidad.

Una tolerancia de forma, de situación, de orientación o de oscilación de un elemento geométrico (punto, línea, superficie o plano medio) define la zona



teórica dentro de la que debe estar contenido el elemento. De esta forma, el elemento considerado puede tener cualquier forma, posición u orientación comprendida dentro de esta zona de tolerancia, siempre que se cumplan las especificaciones señaladas.

2.2.14.6. PRECARGAS

Los rodamientos normalmente retienen algo de juego interno durante el funcionamiento. No obstante, en algunos casos se desea proporcionar un juego negativo para mantener un stress interno. Esto se llama “precargar”. Normalmente se aplica precarga a los rodamientos a los cuales se les puede ajustar el juego durante el montaje, tales como los rodamientos de bolas de contacto angular o los rodamientos de rodillos cónicos. Normalmente se montan dos rodamientos cara-a-cara o espalda-espalda para formar un conjunto dúplex con precarga.

La finalidad principal de algunas aplicaciones típicas de rodamientos precargados son las siguientes:

- Mantener los rodamientos en la posición exacta tanto radial como axialmente y mantener la precisión de funcionamiento del eje (ejes principales de máquina herramienta, instrumentos de precisión, etc)
- Incrementar la rigidez del rodamiento (ejes principales de máquina-herramienta, ejes de piñones o engranajes finales de transmisión de automóviles, etc.)
- Minimizar el ruido debido a vibración axial y resonancia (motores eléctricos pequeños, etc)
- Prevenir deslizamiento entre los elementos de rodadura y los caminos de rodadura debido a momentos giroscópico (aplicaciones de alta velocidad o aceleración de rodamientos de bolas de contacto angular o de bolas de empuje.



- Mantener los elementos de rodadura en su posición correcta con los aros del rodamiento (rodamientos de bolas de empuje o de rodillos esféricos de empuje montados en un eje horizontal).

MÉTODOS DE PRECARGA

- Precarga de posición:
 - Se obtiene una precarga de posición fijando dos rodamientos opuestos axialmente para imponer una precarga y su posición relativa no varía durante el funcionamiento. En la práctica los siguientes tres métodos son utilizados generalmente para obtener una precarga de posición.
 - Mediante la instalación de un conjunto dúplex de rodamientos con dimensiones “stand-out” y juego axial previamente ajustados.
 - Mediante el uso de un espaciador o lámina del tamaño adecuado para obtener el espaciado requerido y la precarga.
 - Mediante el uso de tornillos o tuercas que permiten el ajuste de la precarga axial. En este caso, se debe medir el par inicial para verificar que la precarga es correcta.
- Precarga de presión constante
 - Se obtiene una precarga de presión constante mediante el uso de un muelle espiral o de lámina que imponga una precarga constante. Incluso si la posición relativa de los rodamientos varía durante el funcionamiento la magnitud de la precarga permanece relativamente constante.

Cierta precarga origina una distribución de tensiones que optimiza la vida útil del rodamiento. Además un excesivo juego o precarga repercute negativamente en la vida útil del rodamiento.

Se aplica comúnmente a los rodamientos de bolas de contacto angular y a los de rodillos cónicos.

Al aplicar precarga excesiva redonda en una reducción de la vida del rodamiento, calentamiento normal o incremento del par de rotación.



Se debe considerar los objetivos de la precarga antes de determinar la magnitud que debe aplicarse sobre un rodamiento.

EFECTOS DE LA PRECARGA DEL RODAMIENTO

- Aumento de la rigidez (relación entre la fuerza que actúa sobre el rodamiento y la deformación elástica producida). El rodamiento admite cargas más altas.
- Reducción del ruido de funcionamiento de la máquina.
- La frecuencia natural del rodamiento se eleva lo cual lo hace más apto para trabajar a altas velocidades.
- Incremento de la exactitud del guiado del eje.
- Prolonga la vida útil en servicio de los rodamientos.
- Compensación del desgaste y de las variaciones en el asentamiento debido al funcionamiento.
- Se recomienda precargar los rodamientos si giran a velocidades altas y con poca o ninguna carga

PRECARGA Y RIGIDEZ

Como ya hemos mencionado anteriormente, cada disposición de rodamientos requiere una holgura de funcionamiento positiva o negativa, según la aplicación. En la mayoría de los casos, la holgura de funcionamiento debe ser positiva, es decir, aunque pequeña, el rodamiento al girar debe tener una determinada holgura residual.

Sin embargo, hay muchos casos en los que es preferible una holgura de funcionamiento negativa, es decir, una precarga, con objeto de aumentar la rigidez de la disposición de rodamientos o incrementar la exactitud de giro. Tal es el caso de los husillos de las máquinas-herramienta, de los rodamientos de piñón de ataque en las transmisiones de vehículos a motor, las disposiciones de rodamientos



de motores eléctricos pequeños o de las disposiciones de rodamientos para movimientos oscilatorios. La aplicación de la precarga, por ejemplo, mediante muelles, también es recomendable en aquellos casos en que los rodamientos tienen que girar con poca o ninguna carga aplicada sobre ellos y a altas velocidades. En estos últimos casos, la precarga sirve para asegurar la aplicación de una carga mínima sobre el rodamiento, al objeto de evitar que el rodamiento se dañe como consecuencia de movimientos de deslizamiento.

La rigidez de un rodamiento (expresada en N/mm) se define como la relación entre la fuerza que actúa sobre el rodamiento y la deformación elástica que produce en él. Las deformaciones elásticas provocadas por la carga dentro de una gama de valores dada son más pequeñas en los rodamientos precargados que en los rodamientos sin precargar.

TIPOS DE PRECARGA

Dependiendo del tipo de rodamiento, la precarga puede ser radial o axial. Por ejemplo, debido a su diseño, los rodamientos de rodillos cilíndricos sólo se pueden precargar radialmente, mientras que los rodamientos axiales de bolas sólo se pueden precargar axialmente. Los rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular, y los rodamientos de rodillos cónicos que generalmente se montan junto a un segundo rodamiento del mismo tipo en disposición espalda con espalda o frente a frente, se pre-cargan axialmente.

En este caso, la aplicación de la precarga axial implica también la precarga radial del rodamiento. Los rodamientos rígidos de bolas generalmente se precargan axialmente aunque, para ello, los rodamientos deben tener un juego interno radial mayor que el normal (por ejemplo C3) para que se produzca un ángulo de contacto mayor que cero, como en el caso de los rodamientos de bolas con contacto angular.

La distancia entre los centros de presión de dos rodamientos con contacto angular (de bolas o de rodillos cónicos) es mayor cuando los rodamientos se disponen espalda con espalda que cuando se disponen frente a frente.



Esto significa que los rodamientos dispuestos espalda con espalda son capaces de absorber mayores cargas de par, aun en el caso de que la distancia entre los centros de los rodamientos sea relativamente corta. Las fuerzas radiales resultantes del par y la deformación causada por estas fuerzas radiales en los rodamientos son menores cuando los rodamientos se disponen frente a frente. Si al girar el rodamiento, el eje se calienta más que el alojamiento, la pre-carga ajustada a temperatura ambiente durante el montaje aumentará, siendo este aumento mayor en las disposiciones frente a frente que en las disposiciones espalda con espalda. En ambos casos, la dilatación térmica producida en sentido radial sirve para reducir la holgura o aumentar la pre-carga. Esta tendencia aumenta debido a la dilatación térmica en sentido axial cuando los rodamientos están frente a frente, pero disminuye en las disposiciones espalda con espalda. Para una determinada distancia entre los rodamientos y cuando el coeficiente de dilatación térmica de estos es igual al de los componentes adyacentes, las dilataciones térmicas radial y axial se anulan mutuamente, evitándose así cualquier cambio en la precarga, pero esto sólo ocurre en las disposiciones espalda con espalda.

PRECISIÓN EN EL GUIADO DEL EJE

Cuanta más pequeña es la holgura en funcionamiento de un rodamiento, mejor son guiados los elementos rodantes en la zona sin carga y más silencioso es el funcionamiento del rodamiento.

Un eje sobre rodamientos precargados es guiado con mayor precisión, debido a que la precarga reduce la flexión del eje bajo la acción de la carga. La mayor precisión de guiado y mayor rigidez que se alcanza con los rodamientos de piñón y diferencial precargados implican una mejor precisión y uniformidad en el engrane, lo que mantiene las fuerzas dinámicas adicionales en niveles reducidos. Como resultado de esto, se consigue un funcionamiento silencioso y se prolonga la duración de los engranajes.



PROCEDIMIENTO DE AJUSTE

Por ajuste se entiende la preparación del juego interno de la precarga de una disposición de rodamientos. Por ejemplo, la precarga radial que normalmente se emplea para rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos de dos hileras de bolas con contacto angular y, en ocasiones, para rodamientos rígidos de bolas se consigue usando en uno de los aros del rodamiento, o en los dos, el grado de apriete necesario para reducir el juego interno radial inicial del rodamiento a cero, de manera que en funcionamiento, la holgura sea negativa, es decir que se produzca una precarga. Los rodamientos con agujero cónico son particularmente adecuados para precarga radial, debido a que mediante la introducción del rodamiento en su asiento cónico (agujero cónico, manguito de fijación o manguito de desmontaje), la precarga se puede aplicar dentro de estrechos límites. La fuerza de precarga que se necesita para precargar axialmente rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular, rodamientos de rodillos cónicos y, también, rodamientos rígidos de bolas se consigue desplazando axialmente uno de los aros del rodamiento con respecto al otro en la magnitud que corresponda a la fuerza de precarga deseada. Cada una de las disposiciones de rodamientos se ajusta independientemente usando tuercas, arandelas de reglaje, distanciadores, manguitos deformables, etc. y los procedimientos de medición y de inspección que aseguran la obtención de la precarga nominal establecida con el mínimo error posible. Existen diferentes métodos dependiendo, del parámetro a medir:

- Ajuste usando la trayectoria de precarga
 - Este método de ajuste se emplea frecuentemente cuando se pueden pre-montar los componentes de la disposición de rodamientos. Para una disposición de rodamientos de piñón, por ejemplo, la precarga se consigue:
 - Insertando arandelas de reglaje entre un resalte del alojamiento y un aro exterior de los rodamientos o entre la carcasa y el alojamiento

- Colocando aros intermedios entre los aros exteriores y los aros interiores de los dos rodamientos
 - Colocando un separador entre un resalte de eje y el aro interior de uno de los rodamientos o entre los aros interiores de los dos rodamientos.
- Ajuste usando el par de rozamiento
 - Ajuste empleando la medición directa de la fuerza.

Estos tipos de ajuste ofrecen la ventaja de poder utilizar componentes con tolerancias normales y conseguir la precarga deseada con un grado de precisión razonablemente bueno.

2.2.14.7. VELOCIDAD MÁXIMA DE LOS RODAMIENTOS

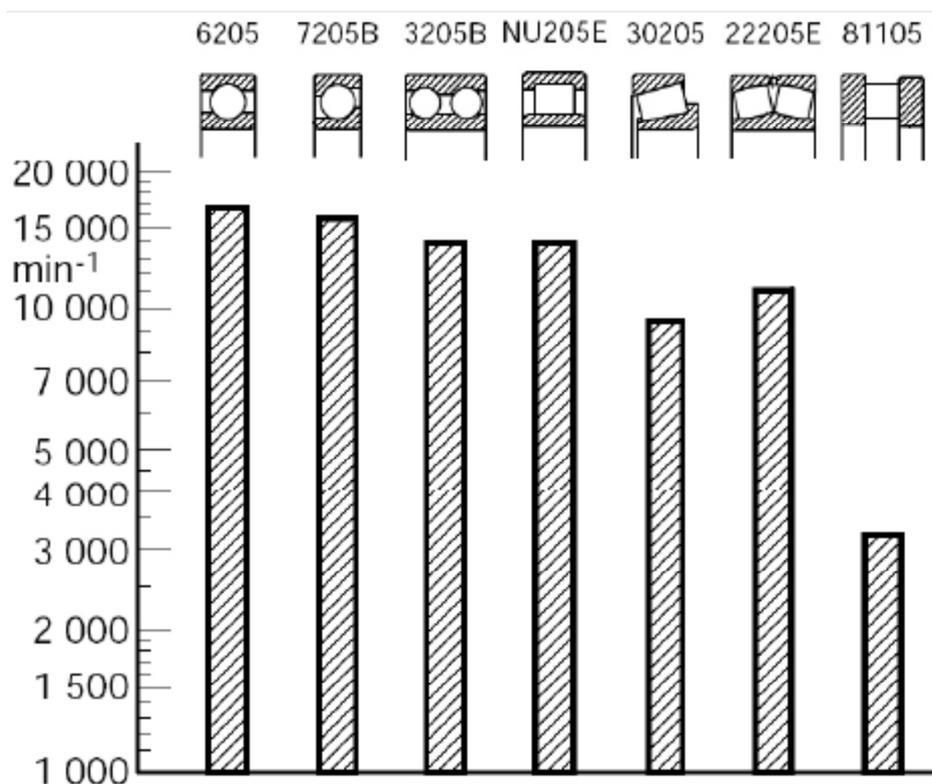


Ilustración 33 - Velocidad máxima según tipo de rodamiento

La velocidad máxima permisible (n_{per}) se calcula según DIN 732-2. La base para el cálculo es el balance térmico en el rodamiento, el equilibrio entre la potencia de



rozamiento en función de la velocidad de rotación y la evacuación de calor en función de la temperatura. En estado de equilibrio, la temperatura del rodamiento es constante.

La temperatura permisible de funcionamiento determina la velocidad máxima permisible del rodamiento. Los requisitos para el cálculo son: un montaje correcto, un juego de funcionamiento normal y unas condiciones de servicio constantes.

El método de cálculo no es válido para:

- Los rodamientos con obturaciones de contacto, ya que la velocidad de giro máxima está limitada por la velocidad de deslizamiento máxima permisible en el labio obturador
- Los rodillos de apoyo y los rodillos de levas
- Los rodamientos de agujas autoalineables
- Los rodamientos axiales a bolas y los rodamientos a bolas de contacto angular.

2.2.14.8. ROZAMIENTO QUE SE PRODUCE EN RODAMIENTOS

El rozamiento desarrollado por un rodamiento está formado por varios componentes. Debido a la gran cantidad de factores de influencia como la velocidad de rotación, la carga, las inclinaciones y ladeos a causa del montaje, etc., el momento real de rozamiento y la potencia real de rozamiento pueden diferir claramente de los valores calculados.

A continuación se expone una tabla en la cual se explica los coeficientes de fricción por rozamientos.

Tipo de rodamiento	Coefficiente $\mu \times 10^{-3}$
Rodamientos rígidos de bolas	1.0~1.5
Rodamientos de bolas a contacto angular	1.2~1.8
Rodamientos oscilantes de bolas	0.8~1.2
Rodamientos de rodillos cilíndricos	1.0~1.5
Rodamientos de agujas	2.0~3.0
Rodamientos de rodillos cónicos	1.7~2.5
Rodamientos de rodillos esféricos	2.0~2.5
Rodamientos axiales de bolas	1.0~1.5
Rodamientos axiales de rodillos	2.0~3.0

Tabla 15 - Coeficientes de fricción para rodamientos

2.2.14.9. CHUMACERAS

La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello y un alojamiento de hierro colado de alto grado o de acero prensado, suministrado de varias formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interior del alojamiento son esféricas para que la unidad sea autoalineable.

Algunas de sus características de diseño y ventajas son:

- Tipo libre de mantenimiento
- Tipo relubricable
- Dispositivos de obturación
- Rodamientos de alta capacidad de carga nominal
- Fácil instalación de montaje y reemplazo

Las chumaceras se dividen en dos clases

- Chumaceras unidad de bloque



- Chumaceras bipartidas

Las chumaceras unidad de bloque se utilizan en aplicaciones sencillas, por ejemplo en maquinaria agrícola, instalaciones de extracción, maquinaria para la construcción y aplicaciones similares. Básicamente son un rodamiento rígido de bolas con superficie exterior esférica, sellado a ambos lados y un soporte en fundición gris, algunas veces los soportes son en chapa de acero. Estas chumaceras vienen listas y lubricadas para montar directo al eje previa verificación de redondez, cilíndricidad y tolerancias.

Las chumaceras se utilizan normalmente para aplicaciones como rodamientos fijos, gracias al juego axial son capaces de absorber pequeñísimas dilataciones de eje y gracias al diseño rígido del rodamiento estas chumaceras soportan cargas axiales de hasta un 20% de la capacidad de carga dinámica del rodamiento.

Un factor muy importante a tener en cuenta es la velocidad de giro máximo de estas chumaceras, pues Las chumaceras bipartidas se conocen como soportes SN, SNL, SNH o su equivalente en FAG: SNV; permiten alojar rodamientos de rodillos esféricos o rodamientos oscilantes de bolas. Con un manguito de montaje que adapta el rodamiento cuando es cónico se pueden montar en ejes milimétricos o en pulgadas de la siguiente manera: entre más fino sea el mecanizado más alta será la velocidad de giro alcanzable.

A continuación se explican las partes que componen las chumaceras.

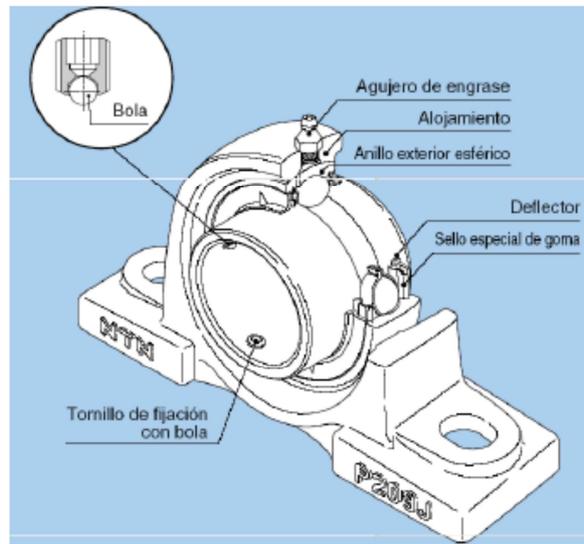


Ilustración 34 - Chumacera



3.HERRAMIENTAS DE SOFTWARE PARA PROGRAMACIÓN.



3.1. INTRODUCCIÓN

BLAFA (Bearing Learning App for Android) es una aplicación desarrollada para el análisis de rodamientos que trabaja sobre el sistema operativo Android, el más popular entre los smartphones actuales.

3.2. ANDROID

Android es un sistema operativo móvil basado en Linux, que junto con aplicaciones middleware está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas, Google TV y otros dispositivos. Es desarrollado por la Open Handset Alliance, la cual es liderada por Google. Este sistema por lo general maneja aplicaciones como Google Play.

Fue desarrollado inicialmente por Android Inc., una firma comprada por Google en 2005. Es el principal producto de la Open Handset Alliance, un conglomerado de fabricantes y desarrolladores de hardware, software y operadores de servicio. Las unidades vendidas de teléfonos inteligentes con Android se ubican en el primer puesto en los Estados Unidos, en el segundo y tercer trimestres de 2010, con una cuota de mercado de 43,6% en el tercer trimestre. A nivel mundial alcanzó una cuota de mercado del 50,9% durante el cuarto trimestre de 2011, más del doble que el segundo sistema operativo (iOS de Apple, Inc.) con más cuota.

Tiene una gran comunidad de desarrolladores escribiendo aplicaciones para extender la funcionalidad de los dispositivos. A la fecha, se han sobrepasado las 700.000 aplicaciones (de las cuales, dos tercios son gratuitas) disponibles para la tienda de aplicaciones oficial de Android: Google Play, sin tener en cuenta aplicaciones de otras tiendas no oficiales para Android, como pueden ser la App Store de Amazon o la tienda de aplicaciones Samsung Apps de Samsung. Google Play es la tienda de aplicaciones en línea administrada por Google, aunque existe la posibilidad de obtener software externamente. Los programas están escritos en el lenguaje de programación Java. No obstante, no es un sistema operativo libre de malware, aunque la mayoría de ello es descargado de sitios de terceros.



El anuncio del sistema Android se realizó el 5 de noviembre de 2007 junto con la creación de la Open Handset Alliance, un consorcio de 78 compañías de hardware, software y telecomunicaciones dedicadas al desarrollo de estándares abiertos para dispositivos móviles. Google liberó la mayoría del código de Android bajo la licencia Apache, una licencia libre y de código abierto.

La estructura del sistema operativo Android se compone de aplicaciones que se ejecutan en un framework Java de aplicaciones orientadas a objetos sobre el núcleo de las bibliotecas de Java en una máquina virtual Dalvik con compilación en tiempo de ejecución. Las bibliotecas escritas en lenguaje C incluyen un administrador de interfaz gráfica (surface manager), un framework OpenCore, una base de datos relacional SQLite, una Interfaz de programación de API gráfica OpenGL ES 2.0 3D, un motor de renderizado WebKit, un motor gráfico SGL, SSL y una biblioteca estándar de C Bionic. El sistema operativo está compuesto por 12 millones de líneas de código, incluyendo 3 millones de líneas de XML, 2,8 millones de líneas de lenguaje C, 2,1 millones de líneas de Java y 1,75 millones de líneas de C++.

Historial de Android

Android ha visto numerosas actualizaciones desde su liberación inicial. Estas actualizaciones al sistema operativo base típicamente arreglan bugs y agregan nuevas funciones. Generalmente cada actualización del sistema operativo Android es desarrollada bajo un nombre en código de un elemento relacionado con postres.

Las versiones de Android reciben nombre de postres en inglés. En cada versión el postre elegido empieza por una letra distinta siguiendo un orden alfabético:

- A: Apple Pie (v1.0), *Tarta de manzana*
- B: Banana Bread (v1.1), *Pan de plátano*
- C: Cupcake (v1.5), *Magdalena glaseada.*
- D: Donut (v1.6), *Rosquilla.*



- E: Éclair (v2.0/v2.1), pastel francés conocido en España como *pepito*, *petisú*, *suso* o *canuto*.
- F: Froyo (v2.2), (Abreviatura de «Frozen Yogurt») *Yogur Helado*.
- G: Gingerbread (v2.3), *Pan de jengibre*.
- H: Honeycomb (v3.0/v3.1/v3.2), *Panal de miel*.
- I: Ice Cream Sandwich (v4.0), *Sandwich de helado*.
- J: Jelly Bean (v4.1/v4.1.2/v4.2), *Judía de gelatina*.
- K: Key Lime Pie (v5.0)

El desarrollo de aplicaciones para este sistema operativo se escribe en lenguaje de programación Java.

Android es un sistema operativo basado en Linux, diseñado principalmente para dispositivos con pantalla táctil como teléfonos inteligentes (Smartphones) o tabletas. Fue desarrollado inicialmente por Android Inc y recibió el respaldo económico de Google, que finalmente la adquirió en 2005.

Android se encuentra en cientos de millones de dispositivos móviles en más de 190 países en todo el mundo. Es el mayor sistema para cualquier plataforma móvil y crece a un ritmo vertiginoso, se estima que cada día un millón de usuarios nuevos empiezan a usar un dispositivo Android, con el fin de buscar aplicaciones, juegos u otro contenido digital.

Según datos recogidos por la Wikipedia citan textualmente que:

“Las unidades vendidas de teléfonos inteligentes con Android se ubican en el primer puesto en los Estados Unidos, en el segundo y tercer trimestres de 2010 con una cuota de mercado de 43,6% en el tercer trimestre.

A nivel mundial alcanzó una cuota de mercado del 50,9% durante el cuarto trimestre de 2011, más del doble que el segundo sistema operativo (iOS de Apple, Inc.) con más cuota”.

Dicha fuente asegura que a lo largo del tercer trimestre de 2012 la cuota de mercado de uso de Android asciende a 72,4%.



Ilustración 35 - Crecimiento de android cronológico

La estructura del sistema operativo Android se compone de aplicaciones que se ejecutan en un framework Java de aplicaciones orientadas a objetos sobre el núcleo de las bibliotecas de Java en una máquina virtual_Dalvik con compilación en tiempo de ejecución. Las bibliotecas escritas en lenguaje C incluyen un administrador de interfaz gráfica, un framework OpenCore, una base de datos relacional SQLite, una interfaz de programación de Api Grafica OpenGL, un motor de renderizado WebKit, un motor gráfico SGL, SSL y una biblioteca estándar de C Bionic. El sistema operativo está compuesto por 12 millones de líneas de código, incluyendo 3 millones de líneas de XML, 2,8 millones de líneas de lenguaje C, 2,1 millones de líneas de Java y 1,75 millones de líneas de C++.

Para la transmisión de estas aplicaciones se ha puesto en marcha un mercado de aplicaciones llamado Google Play. Se trata de un mercado abierto en el que puedes publicar tantas aplicaciones como quieras, tanto gratuitas como de pago, y dirigidas a los clientes que uno desea.

Puedes distribuir a todos los dispositivos o centrarte en segmentos específicos según la capacidad del hardware disponible, en los terminales.



3.2.1. ANTECEDENTES

3.2.1.1. UNIX

Unix (registrado oficialmente como UNIX®) es un sistema operativo portable, multitarea y multiusuario; desarrollado, en principio, en 1969, por un grupo de empleados de los laboratorios Bell de AT&T, entre los que figuran Ken Thompson, Dennis Ritchie y Douglas McIlroy.

3.2.1.2. LINUX

Linux es un núcleo libre de sistema operativo basado en Unix. Es uno de los principales ejemplos de software libre. Linux está licenciado bajo la GPL v2 y está desarrollado por colaboradores de todo el mundo. El desarrollo del día a día tiene lugar en la *Linux Kernel Mailing List Archive*

El núcleo Linux fue concebido por el entonces estudiante de ciencias de la computación finlandés, Linus Torvalds, en 1991. Linux consiguió rápidamente desarrolladores y usuarios que adoptaron códigos de otros proyectos de software libre para su uso en nuevas distribuciones. El núcleo Linux ha recibido contribuciones de miles de programadores de todo el mundo. Normalmente Linux se utiliza junto a un empaquetado de software, llamado distribución Linux y servidores.

3.2.2. JAVA

Java es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos, desarrollado por James Gosling en 1995. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la



manipulación directa de punteros o memoria. La memoria es gestionada mediante un recolector de basura.

Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un bytecode, aunque la compilación en código máquina nativo también es posible. En el tiempo de ejecución, el bytecode es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del bytecode por un procesador Java también es posible.

La implementación original y de referencia del compilador, la máquina virtual y las bibliotecas de clases de Java fueron desarrollados por Sun Microsystems en 1995. Desde entonces, Sun ha controlado las especificaciones, el desarrollo y evolución del lenguaje a través del Java Community Process, si bien otros han desarrollado también implementaciones alternativas de estas tecnologías de Sun, algunas incluso bajo licencias de software libre.

Entre diciembre de 2006 y mayo de 2007, Sun Microsystems liberó la mayor parte de sus tecnologías Java bajo la licencia GNU GPL, de acuerdo con las especificaciones del Java Community Process, de tal forma que prácticamente todo el Java de Sun es ahora software libre aunque la biblioteca de clases de páginas web comprendidas en las librerías de objetos para ser compilados como aplicaciones comprimidas no están totalmente acopladas.

Historia de JAVA

Java se creó como una herramienta de programación para ser usada en un proyecto de set-top-box en una pequeña operación denominada the Green Project en Sun Microsystems en el año 1991. El equipo (Green Team), compuesto por trece personas y dirigido por James Gosling, trabajó durante 18 meses en Sand Hill Road en Menlo Park en su desarrollo.

Los objetivos eran implementar una máquina virtual y un lenguaje con una estructura y sintaxis similar a C++. Entre junio y julio de 1994 el equipo reorientó la plataforma hacia la Web. Sintieron que la llegada del navegador web Mosaic,



propiciaría que Internet se convirtiese en un medio interactivo, como el que pensaban era la televisión por cable. Naughton creó entonces un prototipo de navegador, WebRunner, que más tarde sería conocido como HotJava.

El entorno de ejecución era relativamente seguro y los principales navegadores web pronto incorporaron la posibilidad de ejecutar applets Java incrustadas en las páginas web.

Java ha experimentado numerosos cambios desde la versión primigenia, JDK 1.0, así como un enorme incremento en el número de clases y paquetes que componen la biblioteca estándar.

El lenguaje de programación usado para desarrollar aplicaciones o juegos sobre el sistema operativo Android es JAVA. Hay varias opciones o entornos para poder convertir las ideas en código JAVA.

3.3. ECLIPSE

Es un software compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto multiplataforma para desarrollar aplicaciones y proyectos. Es una potente y completa plataforma de Programación, desarrollo y compilación de elementos muy variados. Ha sido usada para trabajar con entornos de desarrollo integrados (IDE*), Aplicaciones Java o programas en C++.

Eclipse fue desarrollado inicialmente por IBM como sucesor de VisualAge, actualmente es desarrollado y mantenido por la Fundación Eclipse, una organización independiente sin ánimo de lucro fomentando la comunidad de código abierto.

La base para Eclipse es la plataforma de cliente enriquecido, la cual está constituida por una plataforma principal, y unas características secundarias. Las funciones de Eclipse son más bien de carácter general, aunque se pueden ampliar y mejorar mediante el uso de módulos (plug-ins). Esto conlleva sus ventajas, ya que



al basarse en módulos, Eclipse se convierte en una plataforma muy ligera para componentes de software y además le permite extenderse usando otros lenguajes de programación como son C/C++ y Python.

En definitiva Eclipse ofrece al programador unos Frameworks muy ricos para el desarrollo de aplicaciones gráficas, definición y manipulación de modelos de Software, Aplicaciones web, etc. con una interfaz gráfica personalizable y profesional.

Para la programación en lenguaje JAVA se debe integrar el módulo JDT (Java Development Toolkit). El SDK (Software Development Kit) de Eclipse incluye las herramientas de desarrollo de Java, ofreciendo un entorno de desarrollo integrado con un compilador de Java interno y un modelo completo de los archivos fuente de Java. Esto permite técnicas avanzadas de refactorización y análisis de código con el objetivo de encontrar “bugs” o fallos en la programación.

3.4. APPINVENTOR

Google App Inventor es una aplicación de Google Labs para crear aplicaciones de software para el sistema operativo Android. De forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones fruto de App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

Con Google App Inventor, se espera un incremento importante en el número de aplicaciones para Android debido a dos grandes factores: la simplicidad de uso, que facilitará la aparición de un gran número de nuevas aplicaciones; y el Google Play, el centro de distribución de aplicaciones para Android donde cualquier usuario puede distribuir sus creaciones libremente.



La aplicación se puso a disposición del público el 12 de julio de 2010 y está dirigida a personas que no están familiarizadas con la programación informática. En la creación de App Inventor, Google se basó en investigaciones previas significativas en informática educativa. Fue creada a mediados del 2009 por el profesor Harold Abelson del MIT. Antes de salir al mercado se ha probado en diferentes centros educativos y la han utilizado desde niños de 12 años hasta licenciados universitarios sin nociones de programación.

Google App Inventor es una herramienta que ha sido desarrollada por los Google Labs y ha sido lanzada en forma oficial hacia fines de 2010. Con ella, Google acercaba el desarrollo de aplicaciones para Android a las masas, ofreciendo una forma sencilla de crear aplicaciones en forma visual y apenas teniendo que escribir código.

Luego, sin embargo, esta herramienta fue dejada de lado por Google y cuando ya todos pensábamos que iba a quedar en el olvido, la compañía ha decidido unir esfuerzos con el prestigioso Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) para devolverlo a la vida como un proyecto de código abierto. La primera versión de Google App Inventor creada en forma conjunta ya está disponible, y han prometido actualizaciones periódicas para solucionar fallos y mejorar esta herramienta, cuyo lanzamiento definitivo se espera para el mes de Abril. Eso sí, los desarrolladores del MIT han informado de momento ellos realizarán todo el trabajo y no se aceptará ninguna contribución al código, aunque aseguran que esto sí se permitirá en un futuro próximo, cuando el MIT Center of Mobile Learning abra sus servidores de App Inventor al público en general.

Por el momento hay poca (o nula) documentación de ayuda, pero han creado un Grupo de Google en el que se podrá coordinar todo el esfuerzo de documentación, código, preguntas y demás.

3.4.1. ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA

App inventor está formado por dos herramientas

- App Inventor Designer
 - o Aplicación web
- App Inventor Blocks Editor
 - o Aplicación instalada en el ordenador

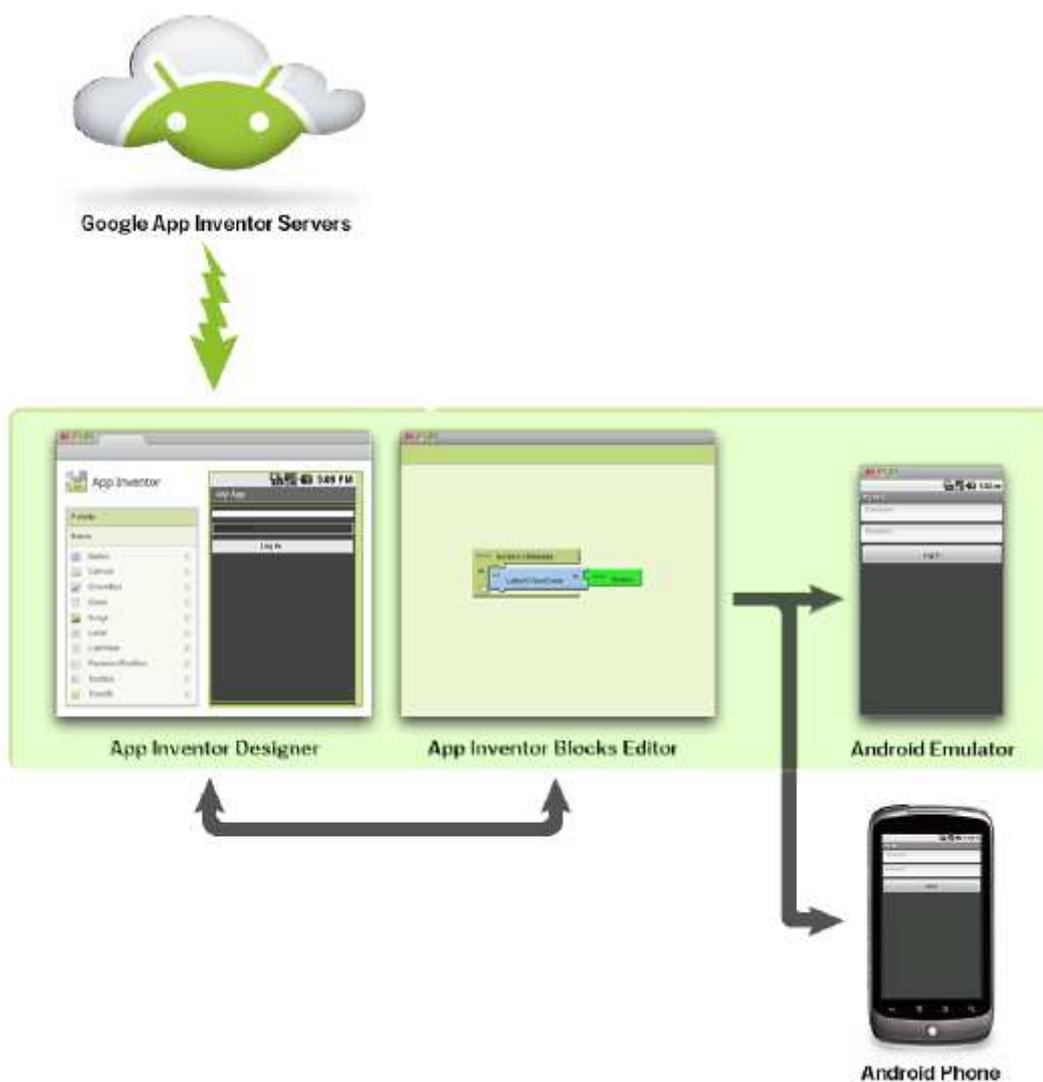


Ilustración 36 - Organigrama Appinventor



El App Inventor Designer es la parte de la herramienta donde seleccionamos los componentes de la aplicación, además de la interfaz de la aplicación.

Está compuesta por cuatro módulos:

- Paleta (Palette)
- Visor (Viewer)
- Componentes (Components)
- Propiedades (Properties)

El App Inventor Block Editor es la parte de la herramienta donde especificamos lo que deben los componentes y donde se unifica gráficamente las piezas para dar lógica a la aplicación.



4. METODOLOGÍA

4.1. ETAPAS DE DISEÑO

La finalidad de este proyecto Fin de Carrera es la de proporcionar una herramienta simple, fácil e interactiva para que cualquier persona que disponga un dispositivo Android pueda emplearla, ya sea un estudiante o un ingeniero de diseño. Dicha herramienta proporcionara un valor orientativo y aproximado de la vida del rodamiento. Los requisitos que se buscarán para la aplicación fuera del ámbito del cálculo son los siguientes:



Ilustración 37 - Requisitos de diseño de la aplicación

- ***Diseño Atractivo***
Su presentación y organización invita al usuario su uso.
- ***Fácil de Usar.***
Se ha buscado la simpleza en cuanto a la presentación de los datos y siempre que se ha podido todos los datos del menú correspondiente se expone en la pantalla sin necesidad de subirla o bajarla.
- ***Sencillo de Entender***
La aplicación está dividida en 2 bloques, uno de teoría de rodamientos y el otro con los cálculos que se realizan para obtener la aproximación a la vida del rodamiento. Con un menú principal que une los dos bloques.



- **Interactivo**

En algunos de los submenús de la aplicación, esta establece un dialogo en forma de aviso si los datos introducidos son correctos o no.

Para la creación de la aplicación se hará uso de un programa informático conocido como Appinventor. De entre todos **los sistemas software disponible** para desarrollar aplicaciones encontramos **Appinventor**, Eclipse, Yapp, Mobincube o Uppsite. **Appinventor** resalta sobre todos los demás en cuanto dimensión, herramientas y facilidades al igual que es el recomendado por la propia web de desarrolladores de Google.

A continuación haremos una breve introducción y explicación de lo que es Appinventor y Android y de los pasos que hay que seguir para la creación y publicación de nuestra aplicación.

4.2. ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO

Dado que Google da la posibilidad a desarrolladores de utilizar Appinventor, herramienta de programación que es muy sencilla para iniciación y requiere pocos conocimientos de un lenguaje de programación específico, se usa desde el navegador web, como puede ser Google Chrome. Es necesario tener JAVA 6 instalado en el pc de trabajo, aunque con JAVA 7 es completamente funcional y se evitan los antiguos errores de seguridad de JAVA 6.

Esta utilidad para empezar a programar se divide en dos grupos:

- **App Inventor Designer (Diseñador)** donde se podrá seleccionar los componentes de cada pantalla de la aplicación.
- **App Inventor Blocks Editor (Editor de bloques)** donde se montaran los bloques de programa, aquí se especifica cómo deben

comportarse los componentes que hemos montado en el Designer.
Se montan los componentes como si de un puzzle se tratase.

Para crear dichas aplicaciones solamente bastará utilizar un navegador web e instalar la utilidad del creador de bloques. Estas aplicaciones se podrán probar directamente en un teléfono o en un emulador. Tendremos la facilidad de que los servidores de App Inventor almacenen nuestros trabajos y nos ayuden a realizar un seguimiento de nuestros propios proyectos.

La aplicación va apareciendo en el teléfono a medida que añadimos piezas a la misma. Ésta irá revisando nuestro trabajo a medida que vamos creando la aplicación. Cuando hayamos terminado, se empaquetará y se creará un solo archivo independiente, listo para ser instalado en cualquier terminal con Android.

Como hemos comentado anteriormente, si no disponemos de un teléfono Android, podemos construir y desarrollar nuestras aplicaciones utilizando un emulador para probar cada cambio que se haga o el funcionamiento general de la aplicación. Este software se ejecuta en el ordenador y se comporta igual que si tuviésemos un teléfono. Incluso suele ser más cómodo probarlo previamente en un emulador que en un terminal, ya que nos ahorraremos problemas de bloqueo del terminal, del desgaste de la batería, etc.

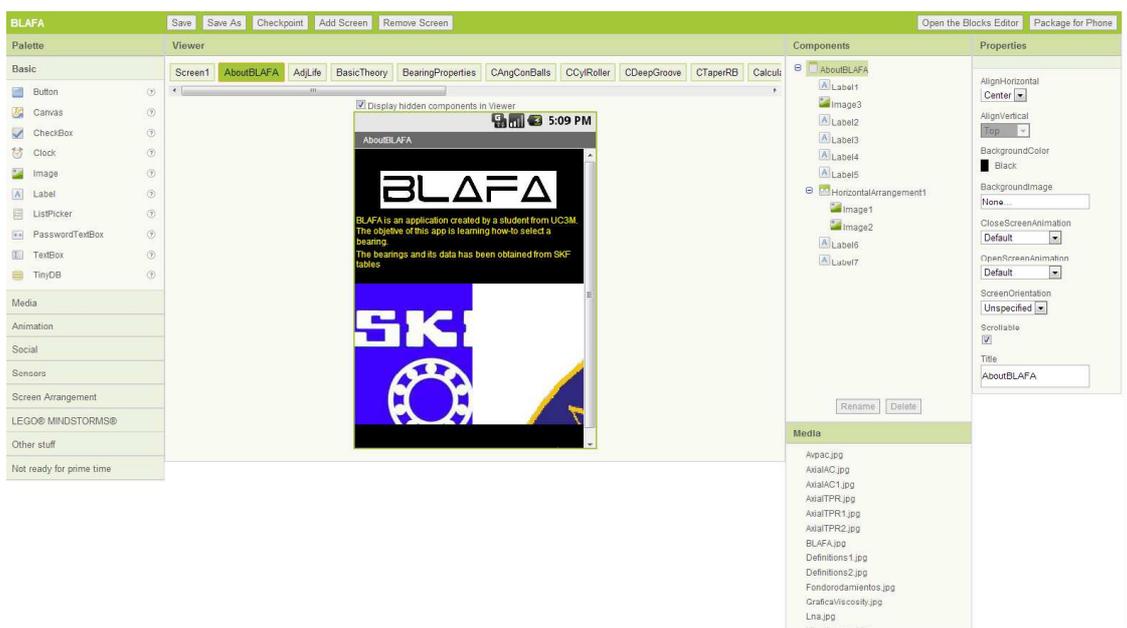


Ilustración 38: Captura de pantalla del entorno Designer del Appinventor

El entorno de desarrollo de App Inventor es compatible con **Mac OS X, GNU / Linux** y sistemas operativos de Windows. También con varios modelos de teléfonos Android populares. Las aplicaciones creadas con App Inventor se pueden instalar en cualquier teléfono Android.

La versión que se utiliza de App Inventor para el desarrollo de BLAFA es la v134. Y se desarrollará especialmente pensado para móviles con pantalla de resolución al menos 800x480 pixeles, como pueden ser móviles de gama media actualmente como el modelo Samsung Galaxy SII (I9100 GT) o LG Optimus 2X (P990), aun así con móviles de gama alta y de mayor resolución deberían funcionar perfectamente.

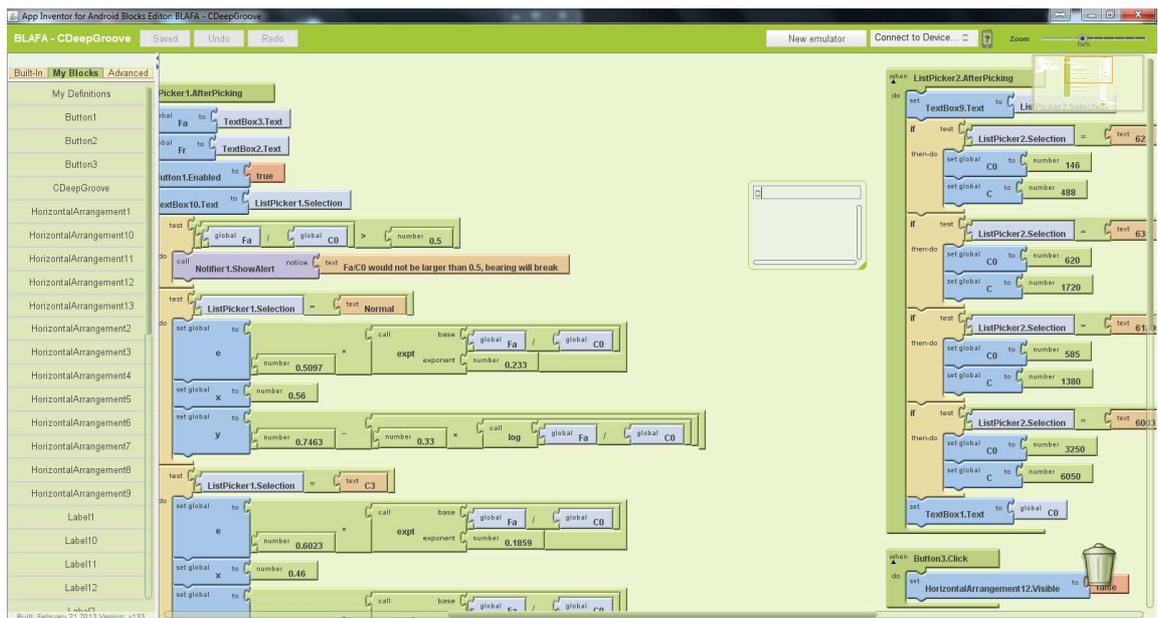


Ilustración 39: Captura de pantalla del entorno Blocks del Appinventor

4.2.1. PLATAFORMAS

Todos los dispositivos con sistemas operativos Android, montan o vienen equipados con una cierta plataforma, esta se identifica con un nivel API. El mundo



de la informática es un mundo en constante cambio y evolución, y los sistemas operativos han de ser flexibles para poder incorporar estos cambios.

La siguiente figura muestra las distintas plataformas de Android con su nivel API.

Tabla 16 Plataformas Android

Versión	Nivel API	Nombre
1.6	4	Donut
2.1	7	Eclair
2.2	8	Froyo
2.3.3-2.3.7	9-10	Gingerbread
3.1-3.2 (Solo Tablets)	12-13	Honeycomb
4.03-4.04	15	Ice Cream Sandwich
4.1-4.2	16-17	Jelly Bean

Un estudio realizado por Google sobre el acceso de dispositivos Android a Google Play a lo largo de 14 días y acabando el 4 de Febrero de 2013 arrojó los siguientes datos:

Tabla 17 Distribución de Accesos

Versión	Nivel API	Distribución
1.6	4	0,2%
2.1	7	2,2%
2.2	8	8,1%
2.3.3-2.3.7	9-10	45,6%
3.1-3.2	12-13	1,3%
4.03-4.04	15	29%
4.1-4.2	16-17	13,6%



La importancia de estos datos radica en que una aplicación diseñada en una versión o plataforma puede ser ejecutada en versiones sucesivas pero nunca en versiones anteriores.

La versión de Android en la que desarrollaremos la aplicación del Proyecto Fin de Carrera será la 2.3.3 en adelante con Nivel API 10, aunque permitirá ejecutarse en versiones 2.2 (Froyo). La elección de esta plataforma se debe a que la versión 2.2 cubre el 97,6% de los dispositivos según el estudio y porque sus bibliotecas son muchas más extensas que la de sus predecesores (2.1 y 1.6).

4.2.2. REQUISITOS DE APP INVENTOR

Requisitos:

- Software
 - o Java
 - o Herramienta Block Editor

- Ordenador
 - o Macintosh (con procesador Intel): Mac OS X 10.5, 10.6
 - o Windows: Windows XP, Windows Vista, Windows 7
 - o GNU/Linux: Ubuntu 8+, Debian 5+

- Navegador
 - o Mozilla Firefox 3.6 o superior.
 - o Apple Safari 5.0 o superior.
 - o Google Chrome 4.0 o superior.
 - o Microsoft Internet Explorer 7 o superior.



4.3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Una vez fijado la temática a desarrollar (cálculo de vida de rodamientos), el mercado en el que queremos introducirnos (Android) y la herramienta con la que desarrollar nuestra aplicación Android (Appinventor) solo falta conocer las referencias, el método que seguimos para diseñar y programar nuestra aplicación. Antes de programar la aplicación final, primero realizaremos una aplicación de prueba para comprobar el nivel gráfico y de cálculo al que se puede llegar programando con esas herramientas.

4.3.1. REFERENCIAS

Para realizar esta aplicación me he basado en 2 principales referencias. Una es la aplicación Campus de SKF para aprendizaje de rodamientos y en el “Catálogo general” también de SKF del que he obtenido las gráficas para el correcto cálculo de viscosidades de aceites y los datos para hacer ciclos combinados.

- **SKF Campus**

Es un software de aprendizaje sobre rodamientos desarrollado para Windows XP 32 bit. Éste software se utiliza para el aprendizaje sobre los rodamientos pudiendo calcular una infinidad de parámetros además de tener una gran base de datos sobre todos los tipos de rodamientos, con él es posible calcular distintas combinaciones, situaciones variadas en cajas de relaciones distintas.

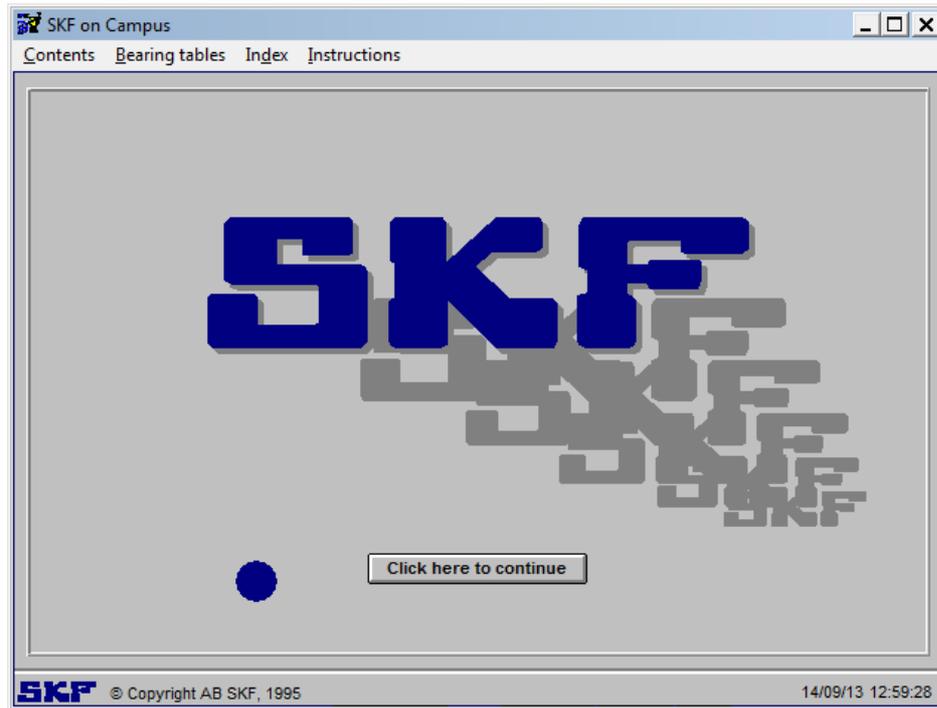


Ilustración 40 - Portada Campus SKF

Cabe destacar la gran variedad de rodamientos que posee la base de datos de Campus con todos los detalles de los rodamientos.

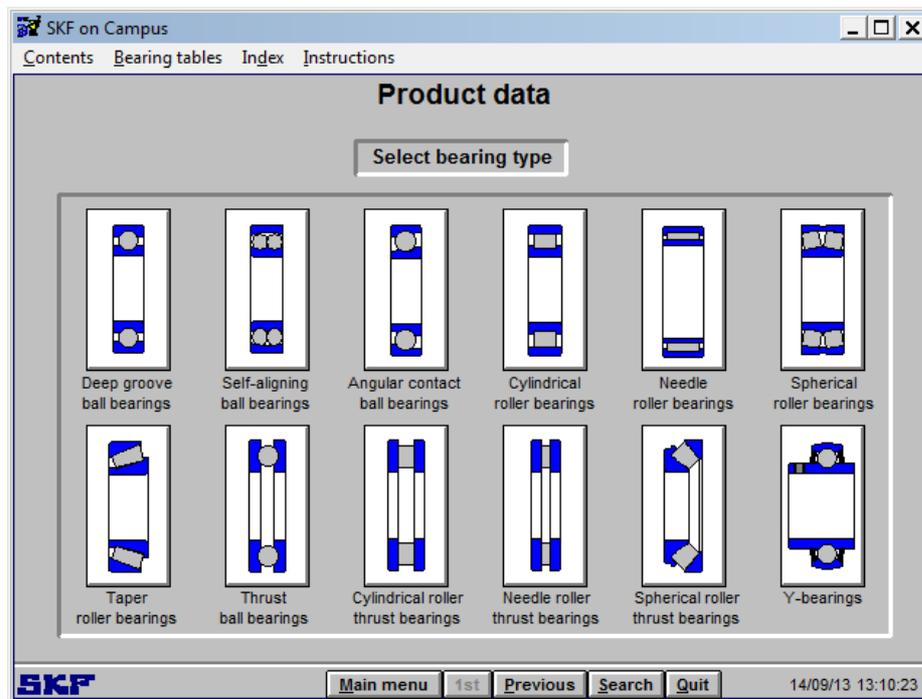


Ilustración 41 - Tipos de rodamientos

SKF on Campus - Bearing tables

Contents Bearing tables Index Instructions

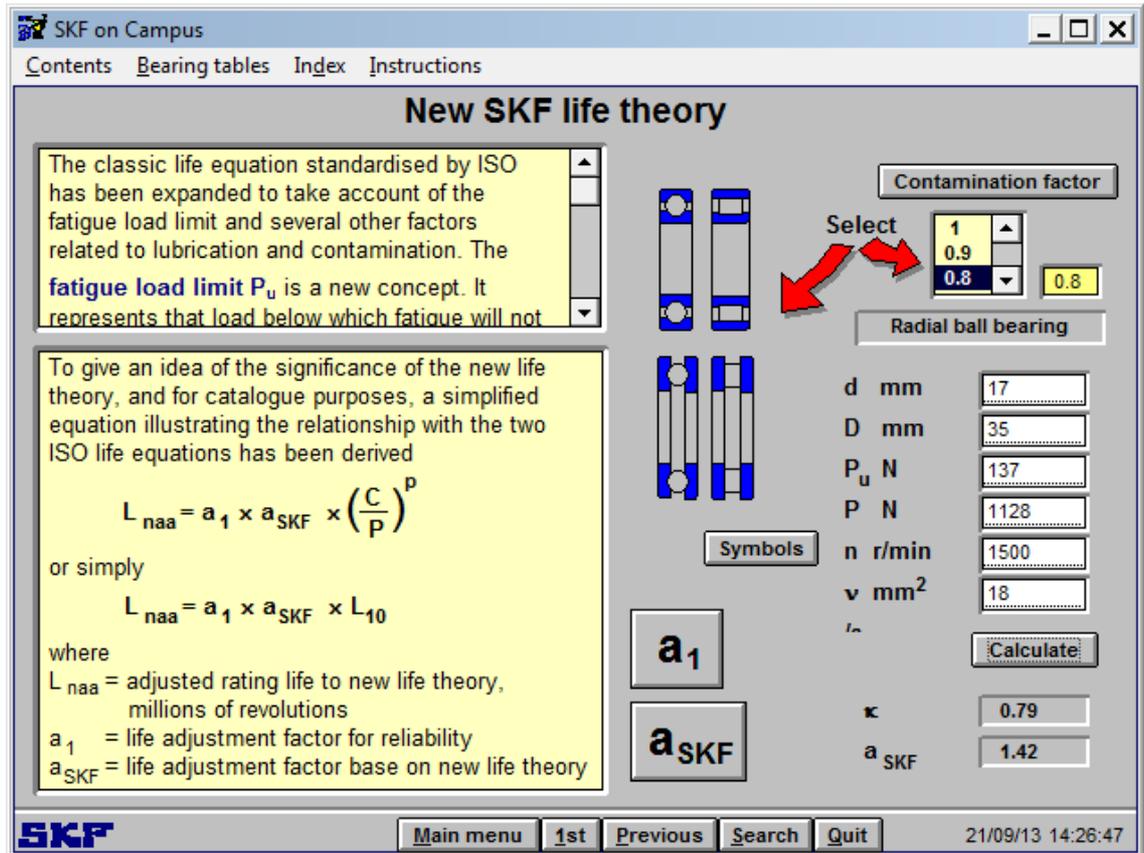
Info **Deep groove ball bearings** d = 2,5-100, 105-1400

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic	static	P_u	Lubrication	oil		Selected bearing
mm	mm	mm	N	N	N	r/min	r/min	kg	-
15	32	8	5590	2850	120	22000	28000	0.025	SKF 16002
15	32	9	5590	2850	120	22000	28000	0.030	SKF 6002
15	35	11	7800	3750	160	19000	24000	0.045	SKF 6202/QE6
15	42	13	11400	5400	228	17000	20000	0.082	SKF 6302
17	26	5	1680	930	39	24000	30000	0.0082	SKF 61803
17	30	7	4360	2320	98	22000	28000	0.018	SKF 61903
17	35	8	6050	3250	137	19000	24000	0.032	SKF 16003
17	35	10	6050	3250	137	19000	24000	0.039	SKF 6003
17	40	12	9560	4750	200	17000	20000	0.065	SKF 6203/QE6
17	47	14	13500	6550	275	16000	19000	0.12	SKF 6303
17	62	17	22900	10800	455	12000	15000	0.27	SKF 6403
20	32	7	2700	1500	63	19000	24000	0.02	SKF 61804
20	37	9	6370	3650	156	18000	22000	0.04	SKF 61904
20	42	8	6890	4050	173	17000	20000	0.05	SKF 16004
20	42	12	9360	5000	212	17000	20000	0.07	SKF 6004
20	47	14	12700	6550	280	15000	18000	0.11	SKF 6204/QE6
20	52	15	15900	7800	335	13000	16000	0.14	SKF 6304
20	52	15	18200	9000	380	13000	16000	0.14	SKF 6304 ETN9
20	72	19	30700	15000	640	10000	13000	0.40	SKF 6404
22	50	14	14000	7650	325	13000	16000	0.12	SKF 62/22
22	56	16	18600	9300	390	12000	15000	0.18	SKF 63/22

SKF < > Product text Main menu 1st Previous Quit Calculations

Ilustración 42 - Base de datos

Aunque también tendremos que tomar otras referencias ya que Campus SKF tiene unas limitaciones como el uso de gráficas, o el uso de aceites como lubricantes.



New SKF life theory

The classic life equation standardised by ISO has been expanded to take account of the fatigue load limit and several other factors related to lubrication and contamination. The **fatigue load limit P_u** is a new concept. It represents that load below which fatigue will not

To give an idea of the significance of the new life theory, and for catalogue purposes, a simplified equation illustrating the relationship with the two ISO life equations has been derived

$$L_{naa} = a_1 \times a_{SKF} \times \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

or simply

$$L_{naa} = a_1 \times a_{SKF} \times L_{10}$$

where
 L_{naa} = adjusted rating life to new life theory, millions of revolutions
 a_1 = life adjustment factor for reliability
 a_{SKF} = life adjustment factor base on new life theory

Contamination factor

Select: 1, 0.9, 0.8, 0.8

Radial ball bearing

d mm: 17
 D mm: 35
 P_u N: 137
 P N: 1128
 n r/min: 1500
 v mm²: 18
 Calculate

a_1
 a_{SKF}

α : 0.79
 a_{SKF} : 1.42

SKF Main menu 1st Previous Search Quit 21/09/13 14:26:47

Ilustración 43 - Calculos en Campus

4.3.2. DISEÑO DE BLAFA

Desde el principio se marca un esquema principal que la aplicación debía seguir como guía.

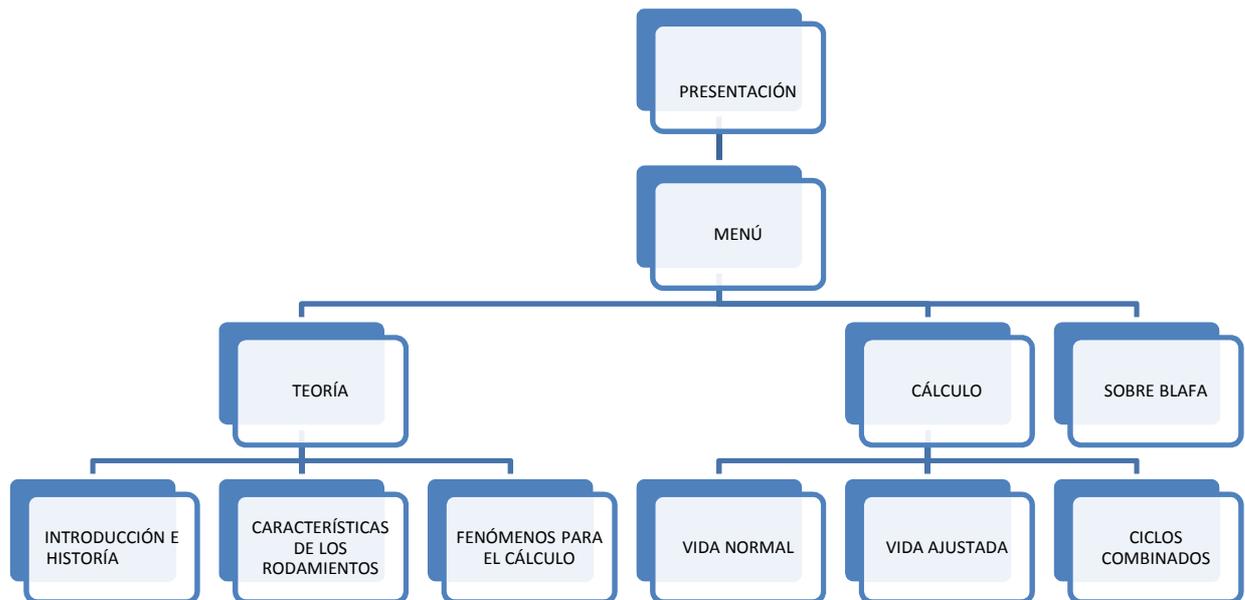


Ilustración 44 - Esquema Básico

Después de ello se procede a elegir el programa con el cual llevaremos a cabo la construcción de la aplicación. Se eligió Appinventor ya que es gratuito y muy gráfico con una buena posibilidad de diseño gráfico y rápida previsualización de como queda lo que se está haciendo. No hay que entender puro lenguaje de programación de una rama concreta pero si hay que entender como funciona cualquier lenguaje de programación, entender que funciones son las que ofrece y que elementos son los que hay que usar para hacer cada pantalla o elemento.

Entonces las aplicaciones de android se dividen en distintas pantallas o ventanas que se relacionan entre sí, las cuales cada una tiene su diseño distinto y su código distinto. En concreto BLAFA se compone de 22 pantallas todas ellas relacionadas entre sí con distinta funcionalidad.

En este entorno se diseña primero el diseño gráfico deseado de la pantalla y luego se juntan los “bloques” que hacen la función de programación y proporcionan la lógica entre ellos. Se muestra por ejemplo la portada.

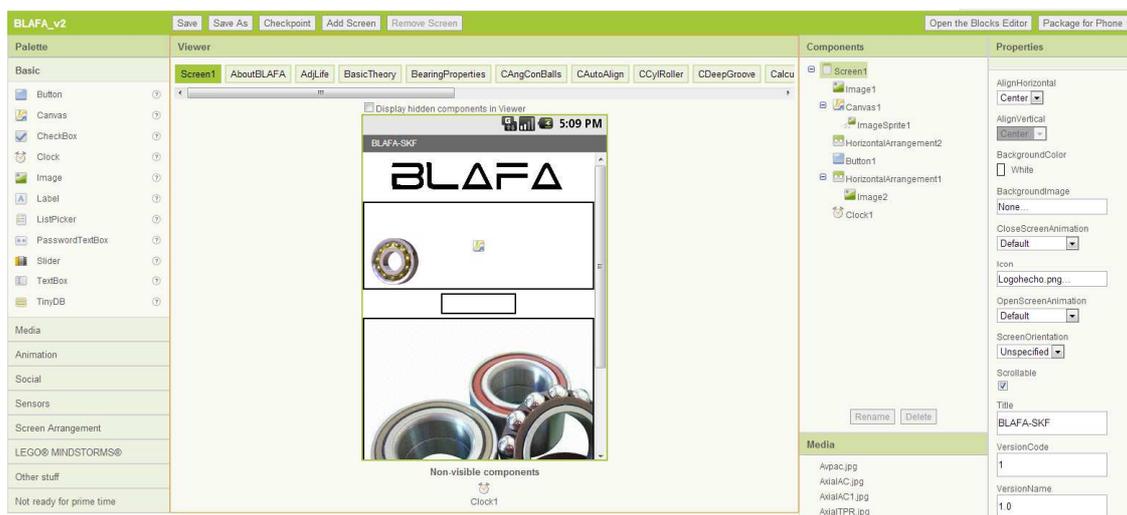


Ilustración 45 - Diseño de la portada

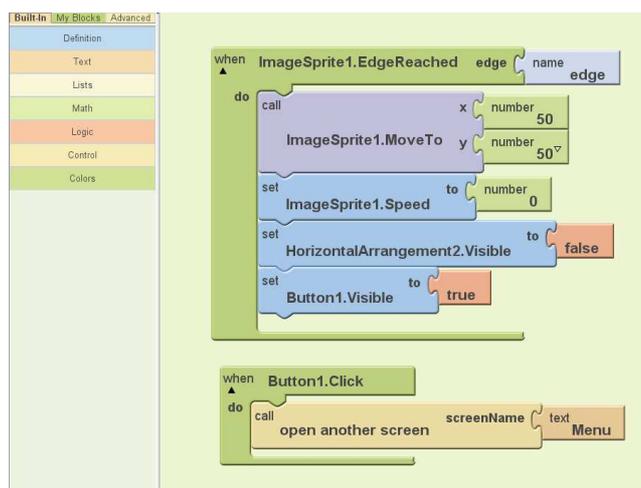


Ilustración 46 – “Bloques” de la presentación

Podemos observar que incluye un objeto llamado imagesprite el cual se va a mover de izquierda a derecha hasta que toque la pared, en ese momento se parará, se pondrá en situación de parado y se mostrará el botón de pasar al menú.

En el momento que se pulsa el botón la pantalla presentación queda parada y pasamos a ver el menú principal de la aplicación.

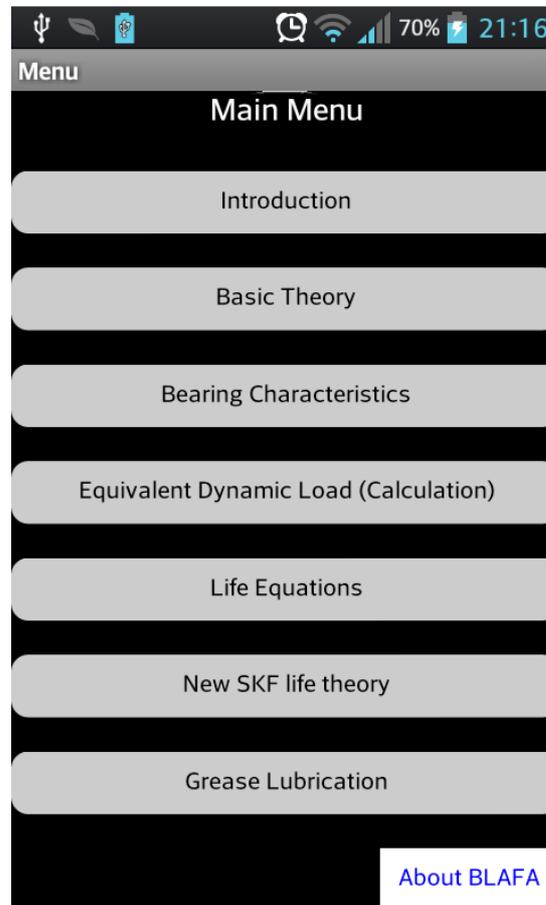


Ilustración 47 - Menú Principal

Desde aquí se procede a diseñar y programar las 21 ventanas restantes que incorpora BLAFA.

Las pantallas o ventanas que contienen los aspectos teóricos son bastante simples a la hora de poner los bloques, ya que simplemente hay que relacionar los botones con las distintas pantallas a las que nos van a llevar cuando pulsamos en ellos y dar la funcionalidad de “visto” u “oculto” a los botones de las secciones dentro de una misma pantalla.

A la hora de diseñar una pantalla de cálculo se dificulta la gestión del diseño gráfico, las variables que debemos crear y los bloques que realizarán los cálculos o que cumplirán varias condiciones para tomar distintas decisiones en los cálculos.

También cabe destacar el complicado trabajo para que se pueda interpretar una gráfica o una función y se pueda trabajar con ella, para ello utilizamos el objeto CANVAS con la gráfica como imagen de fondo.

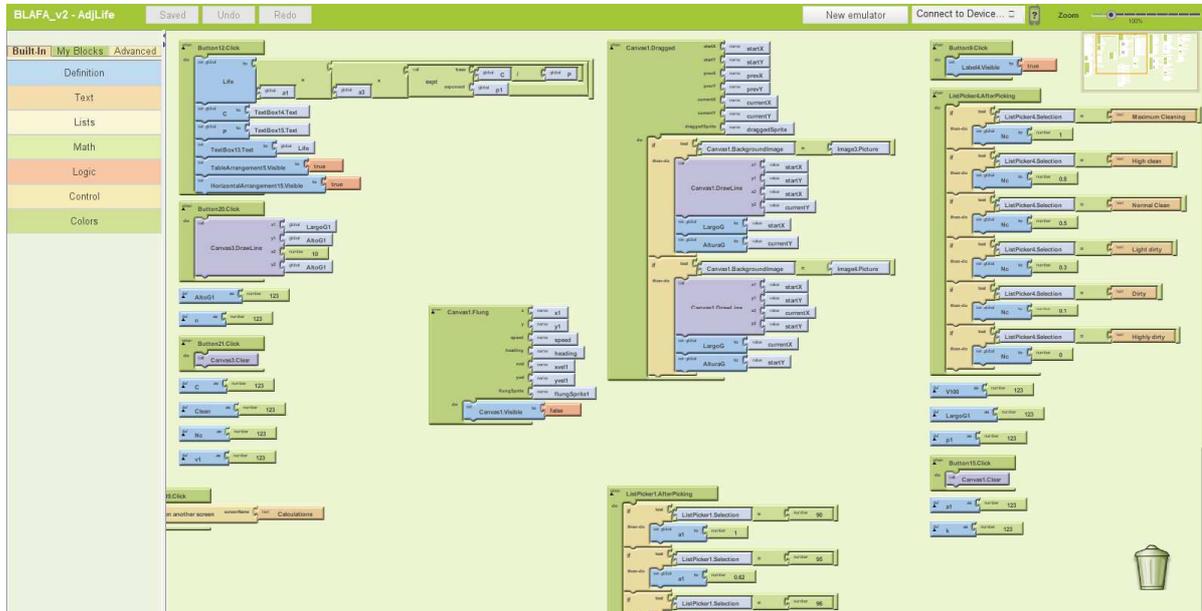


Ilustración 48 - Código de bloques de la Vida ajustada

Para probar todo esto sin tener que compilar la aplicación tenemos la opción de conectar por wifi a nuestro Smartphone (descargando la aplicación del MIT) y comprobar que la pantalla está bien, o en el caso de no disponer de uno compatible podremos utilizar el emulador que proporciona el MIT-Appinventor y ahorraremos tiempo compilando la aplicación para probar si funciona bien o no, ya que el emulador podrá probar la aplicación sin llegar a realizar la compilación



Ilustración 49 - Emulador Appinventor



5.ANALISIS DE RESULTADOS. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN.



Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y que no exista ningún error en las múltiples líneas de código de las que está compuesta se realizara un caso práctico. Los resultados de este caso práctico se comparan con los resultados obtenidos a través de nuestra aplicación.

A continuación vamos a exponer el caso práctico que hemos utilizado para comprobar el perfecto estado de la aplicación.

Ejemplo:

El motor de un corta césped tiene un rodamiento de bolas de tipo 6003. Determinar vida útil del rodamiento y decidir cómo se puede conseguir una mayor vida del aparato conociendo las condiciones actuales

El rodamiento sufre en servicio una fuerza radial de 1000 N y una fuerza axial de 400 N a una velocidad constante de 1500 rpm. Está lubricado con aceite, con viscosidad de 60 mm²/s a una temperatura de 40 grados centígrados. La temperatura de operación son 75 grados centígrados y necesitamos tener una fiabilidad de la vida del 95%.

Al ser un rodamiento interno del motor se considera un ambiente limpio.

RODAMIENTO SKF 6003	
Diámetro interior (d) = 17 mm	Diámetro exterior (D) = 35mm
Capacidad de carga dinámica (C) = 6050N	Capacidad de carga estática (Co) = 3250N
Carga límite de fatiga (Pu) = 137N	

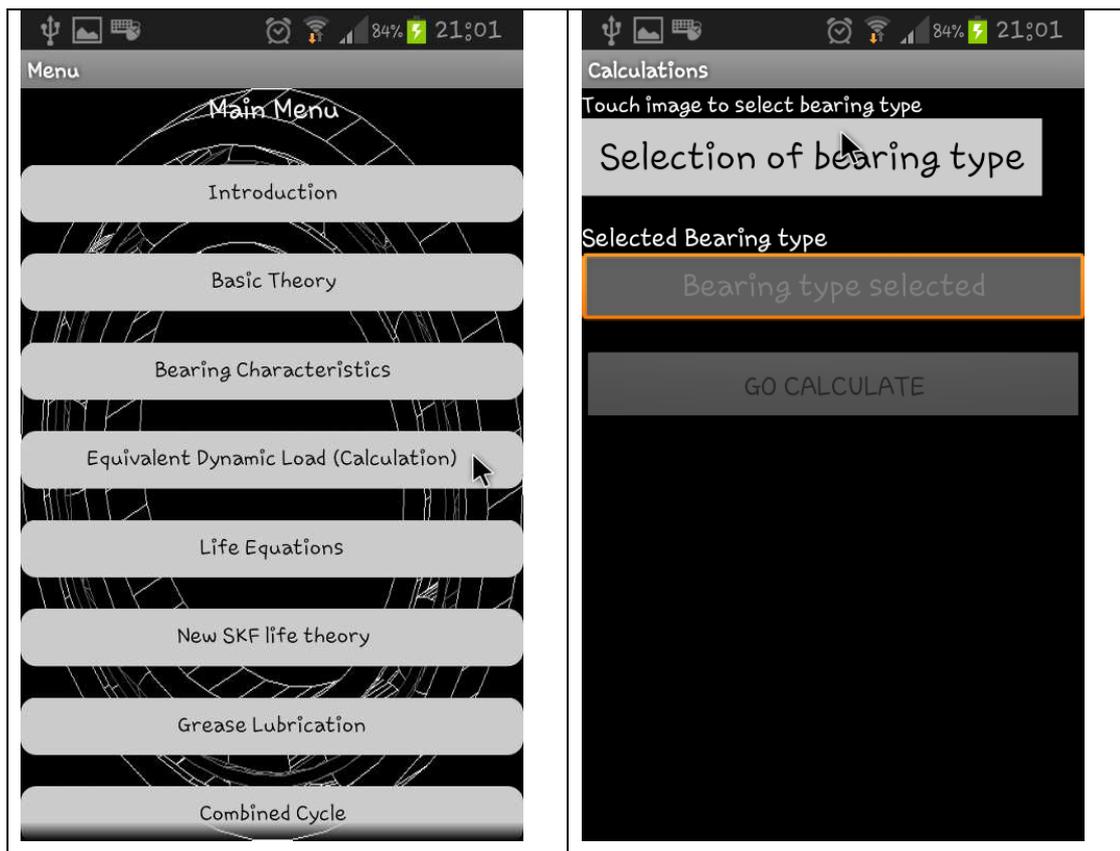
Resolución:

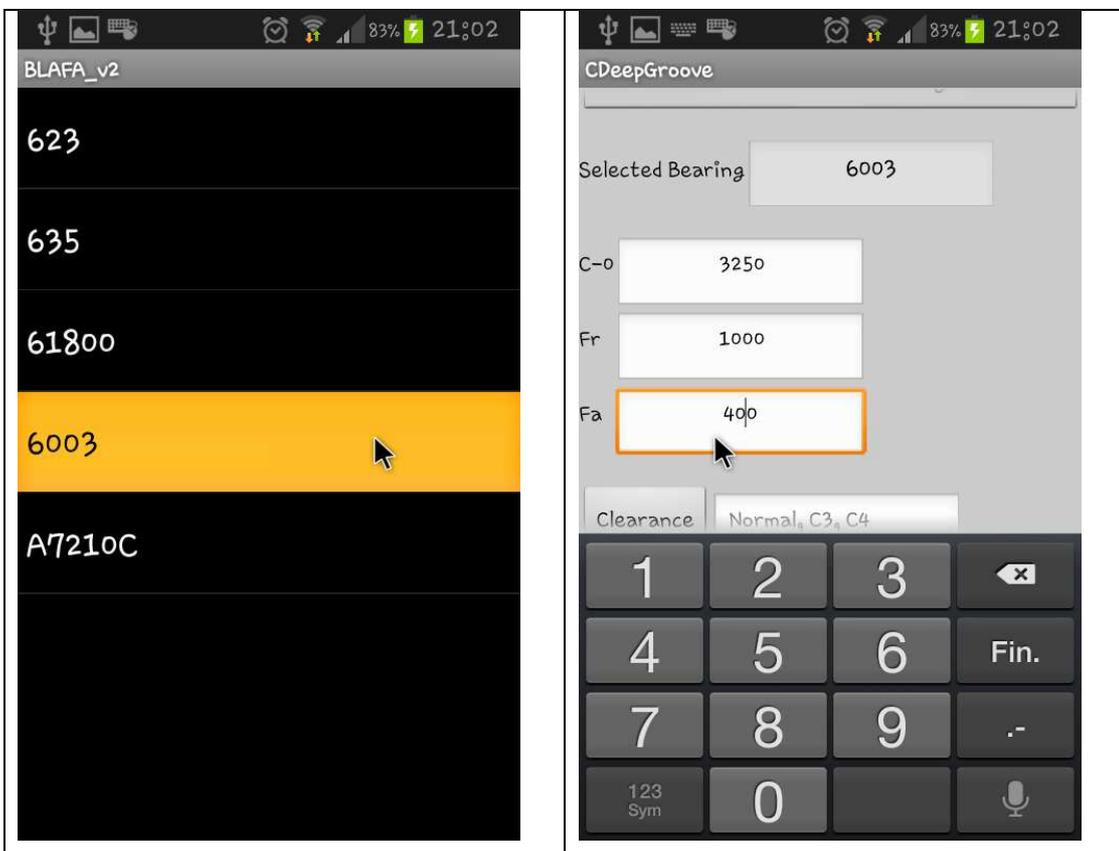
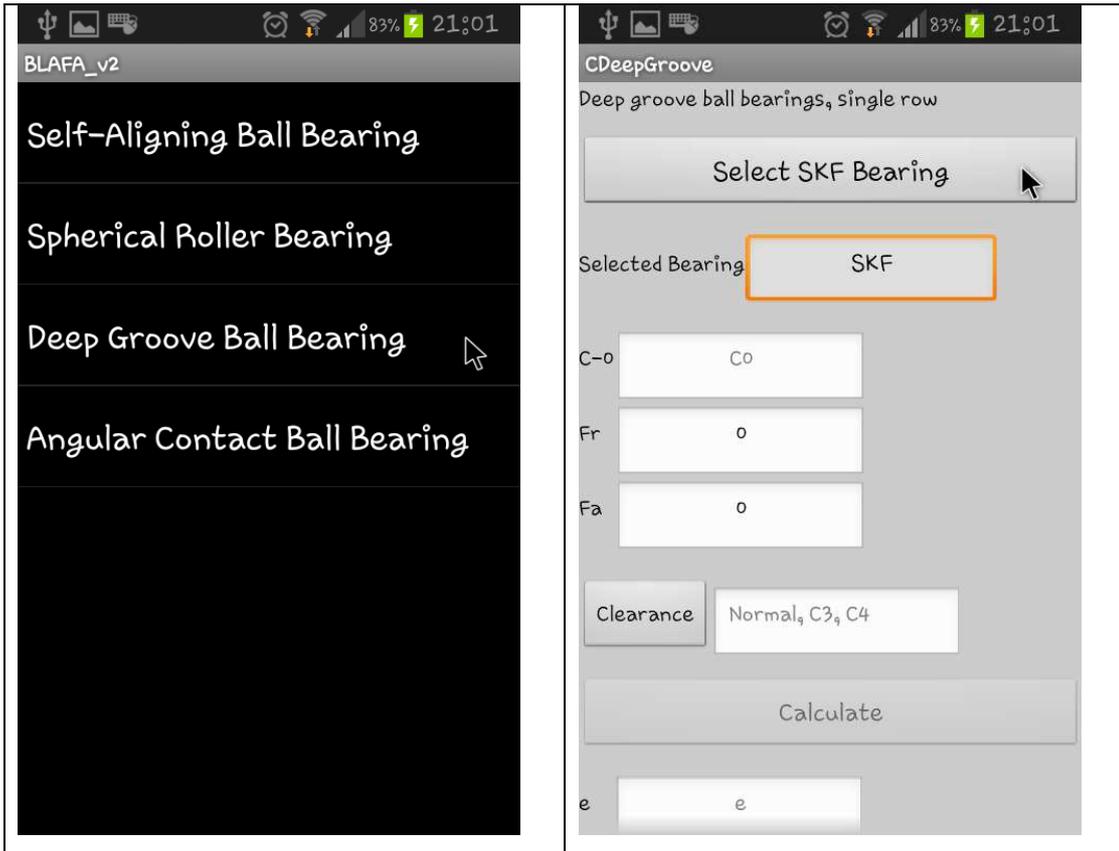
Para calcular la vida nominal del rodamiento debemos seguir la ecuación Ec 2.7, y por lo tanto necesitamos saber la carga dinámica equivalente (P) que podemos obtener usando las ecuaciones Ec 2.2 y Ec2.3.

Veremos en el catálogo de SKF que para el rodamiento SKF 6003 con un juego normal el valor de “e” es el siguiente:

$$e = 0.32$$

He de decir que en BLAFA estos valores se obtienen usando una línea de tendencia para evitar que el programa tenga más bases de datos y sea más pesado, además de tener que idear una manera de hacer interpolaciones. Con lo cual, considerando que la variación que obtenemos de vida nominal son en torno a 1000 revoluciones de uso, que resulta un valor poco considerable ya que se hablan de cientos de millones de revoluciones de uso. Entonces BLAFA nos da el siguiente resultado. A continuación los pasos que debemos seguir en BLAFA para seleccionar el rodamiento:





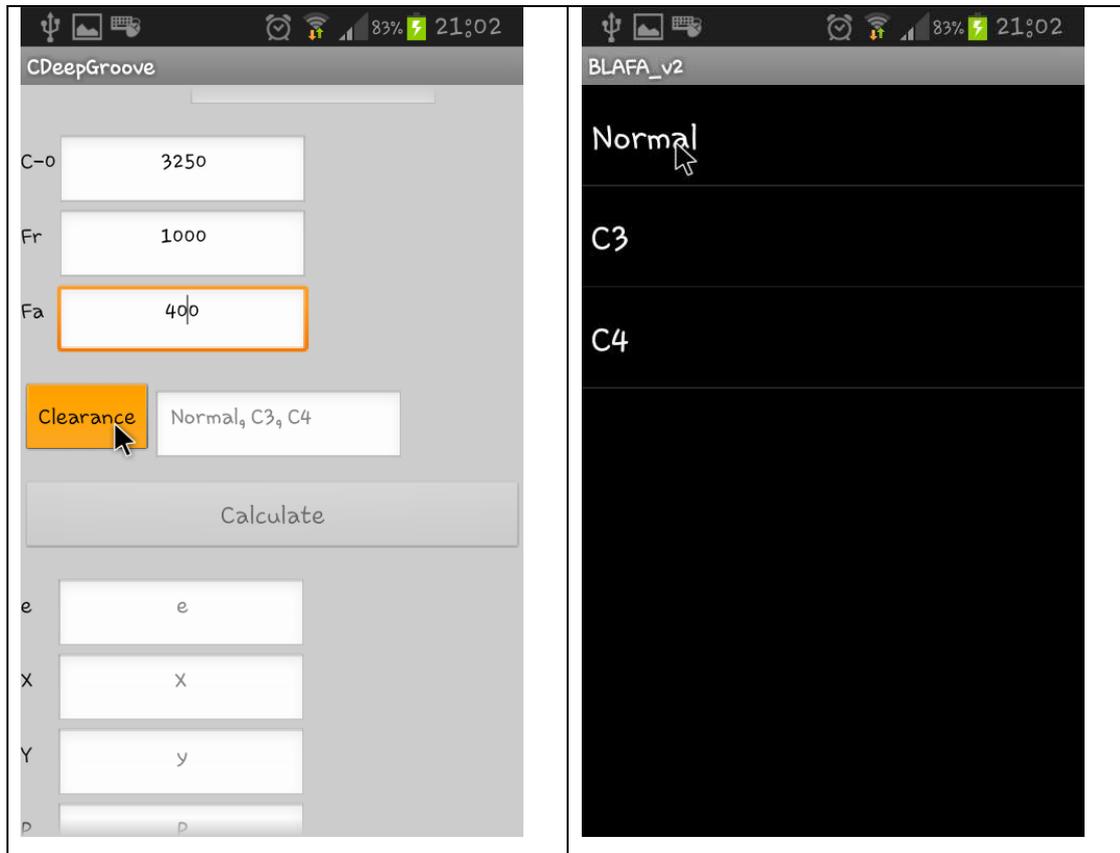
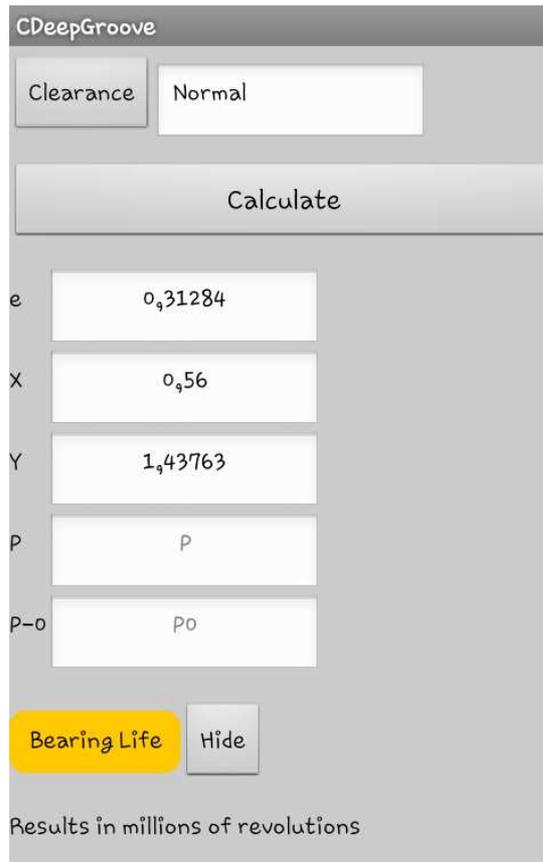


Ilustración 50 - Cálculo de “e”



CDeepGroove

Clearance Normal

Calculate

e 0,31284

X 0,56

Y 1,43763

P P

P-o Po

Bearing Life Hide

Results in millions of revolutions

Comprobaremos que se cumple la condición de:

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

$$\frac{400}{1000} = 0.4 > 0.32 \rightarrow P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$P = 0.56 \cdot 1000 + 1.42 \cdot 400 = 1128N$$

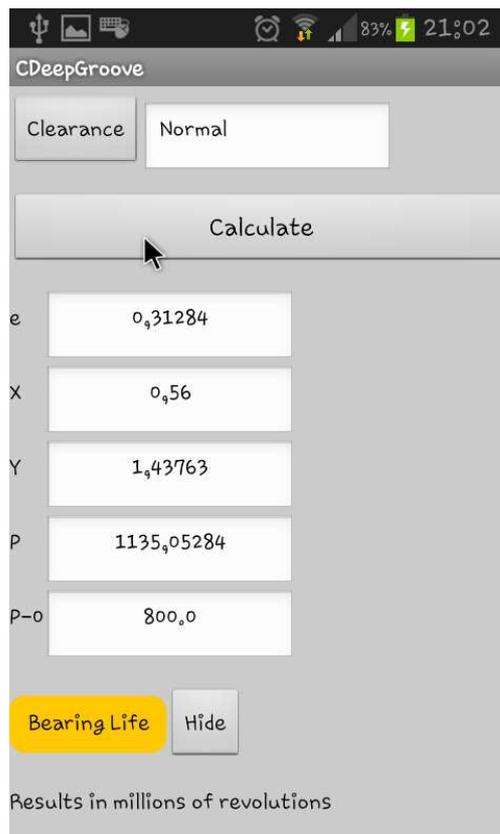


Ilustración 51 - Calculo de P

Calculamos la vida nominal del rodamiento con la ecuación Ec 2.7

$$L_{10} = \left(\frac{6050}{1128} \right)^3 \cdot 10^6 = 152.1 \cdot 10^6 \text{ revs}$$

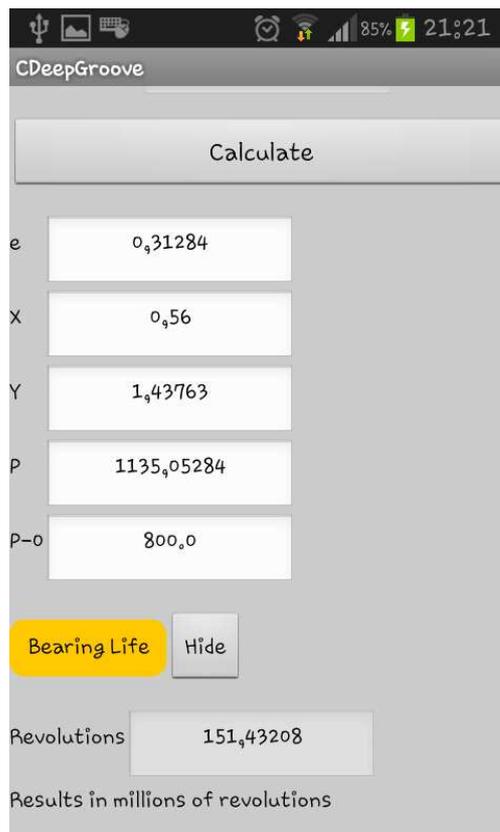
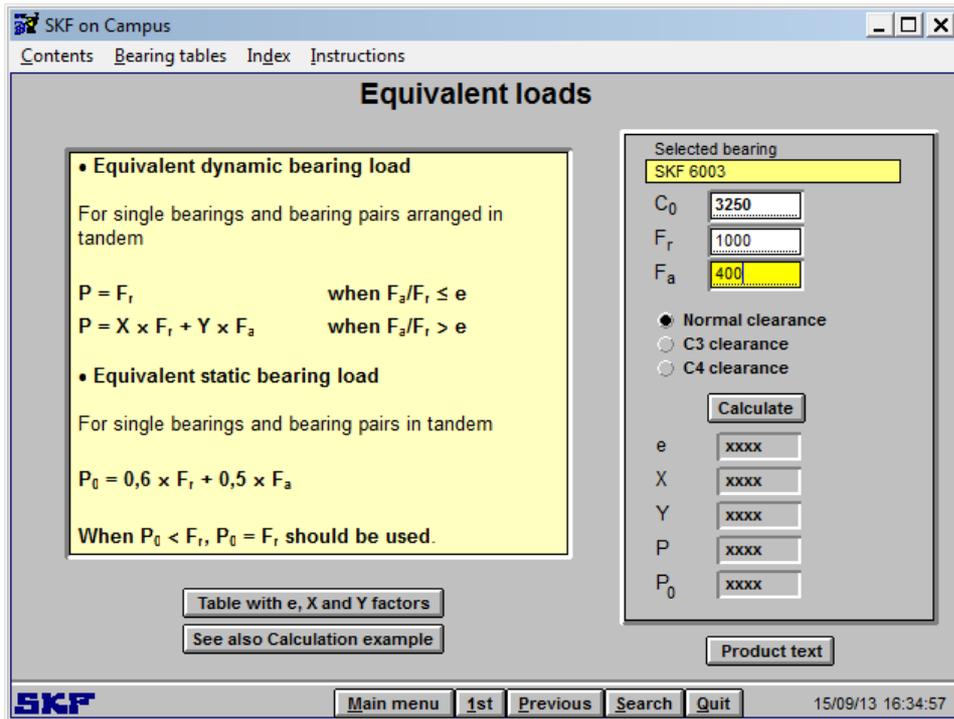


Ilustración 52 - Cálculo de vida nominal

Vemos que se ha obtenido un resultado realmente parecido al obtenido en el programa campus que es el mismo que se obtiene haciendo los cálculos teóricamente.



SKF on Campus

Contents Bearing tables Index Instructions

Equivalent loads

- Equivalent dynamic bearing load**
 For single bearings and bearing pairs arranged in tandem

$$P = F_r \quad \text{when } F_a/F_r \leq e$$

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \quad \text{when } F_a/F_r > e$$
- Equivalent static bearing load**
 For single bearings and bearing pairs in tandem

$$P_0 = 0,6 \times F_r + 0,5 \times F_a$$
 When $P_0 < F_r$, $P_0 = F_r$ should be used.

Table with e, X and Y factors
See also Calculation example

Selected bearing: SKF 6003

C_0 : 3250
 F_r : 1000
 F_a : 400

Normal clearance
 C3 clearance
 C4 clearance

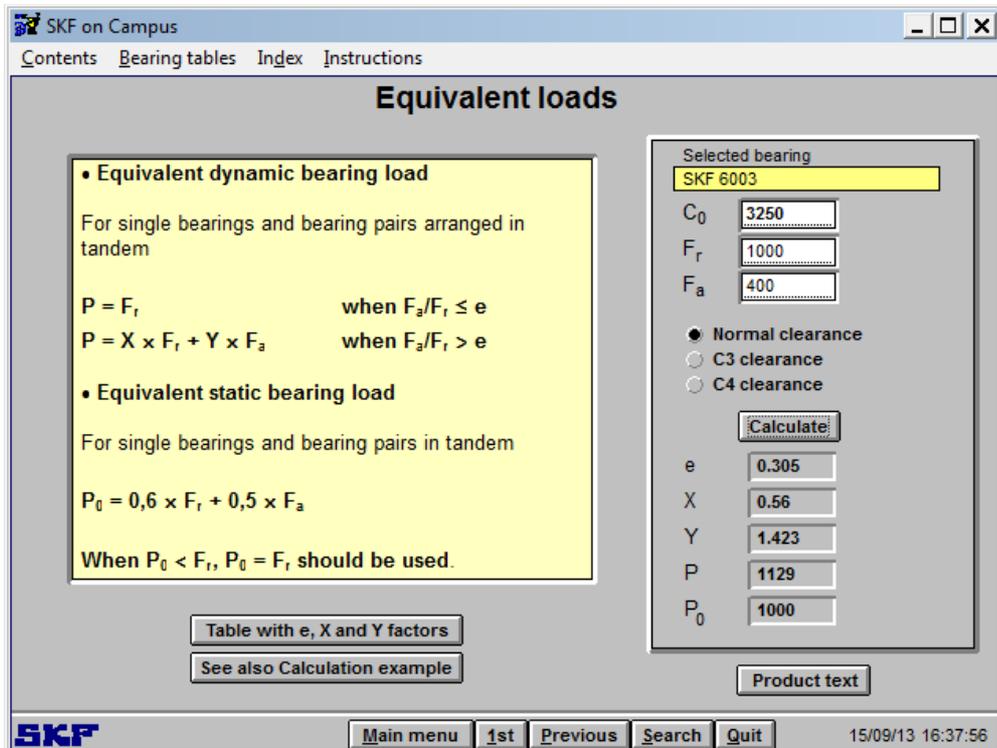
Calculate

e: xxxx
 X: xxxx
 Y: xxxx
 P: xxxx
 P_0 : xxxx

Product text

SKF Main menu 1st Previous Search Quit 15/09/13 16:34:57

Ilustración 53 - Datos de rodamiento en Campus



SKF on Campus

Contents Bearing tables Index Instructions

Equivalent loads

- Equivalent dynamic bearing load**
 For single bearings and bearing pairs arranged in tandem

$$P = F_r \quad \text{when } F_a/F_r \leq e$$

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \quad \text{when } F_a/F_r > e$$
- Equivalent static bearing load**
 For single bearings and bearing pairs in tandem

$$P_0 = 0,6 \times F_r + 0,5 \times F_a$$
 When $P_0 < F_r$, $P_0 = F_r$ should be used.

Table with e, X and Y factors
See also Calculation example

Selected bearing: SKF 6003

C_0 : 3250
 F_r : 1000
 F_a : 400

Normal clearance
 C3 clearance
 C4 clearance

Calculate

e: 0.305
 X: 0.56
 Y: 1.423
 P: 1129
 P_0 : 1000

Product text

SKF Main menu 1st Previous Search Quit 15/09/13 16:37:56

Ilustración 54 - Calculo de vida con Campus

A partir de aquí nos basamos en cálculo teórico del catálogo general de SKF de donde obtenemos las gráficas utilizadas para el cálculo de la vida ajustada con los distintos factores que afectan.

Basándonos en la ecuación de vida ampliada (Ec 2.11) vamos a obtener todos los factores que hacen falta para el cálculo de la vida ampliada.

En primer lugar obtendremos a_1 que depende de la fiabilidad con la que se quiera trabajar. Si queremos una fiabilidad de que el rodamiento no romperá del 99% será más restrictivo que al 90% y la vida ajustada nos dará un menor número de ciclos a los que podemos asegurar que no va a tener rotura por fatiga. En el problema se exige un 95%, de las tablas se obtiene lo siguiente:

FIABILIDAD	90%	95%	96%	97%	98%	99%
Factor de ajuste a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Tabla 18 - Ajuste de fiabilidad

$$a_1 = 0.62$$

En la aplicación también elegimos el nivel de fiabilidad que queremos



Ilustración 55 - a1 en Blafa

Proseguimos con el cálculo de la viscosidad necesaria del aceite que se va a utilizar:

Cálculo del diámetro medio:

$$dm = \frac{17 + 35}{2} = 26 \text{ mm}$$

Con este dato y las rpm de giro entramos en la siguiente gráfica y obtenemos un valor requerido de $21 \text{ mm}^2/\text{s}$ de la viscosidad:

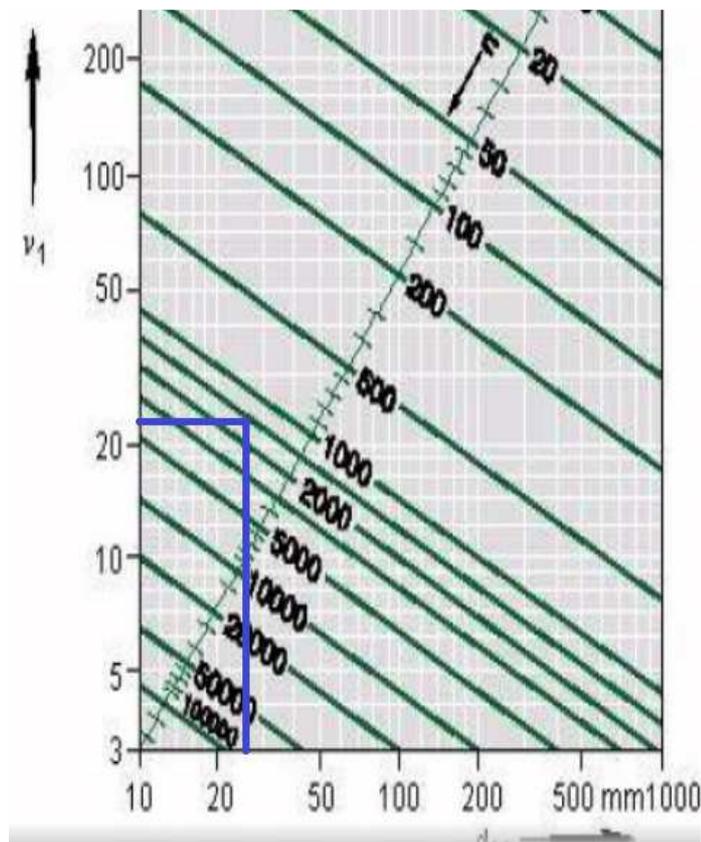


Ilustración 56 - Gráfica de viscosidad requerida

En la aplicación hacemos lo mismo e introducimos el valor que hemos obtenido:

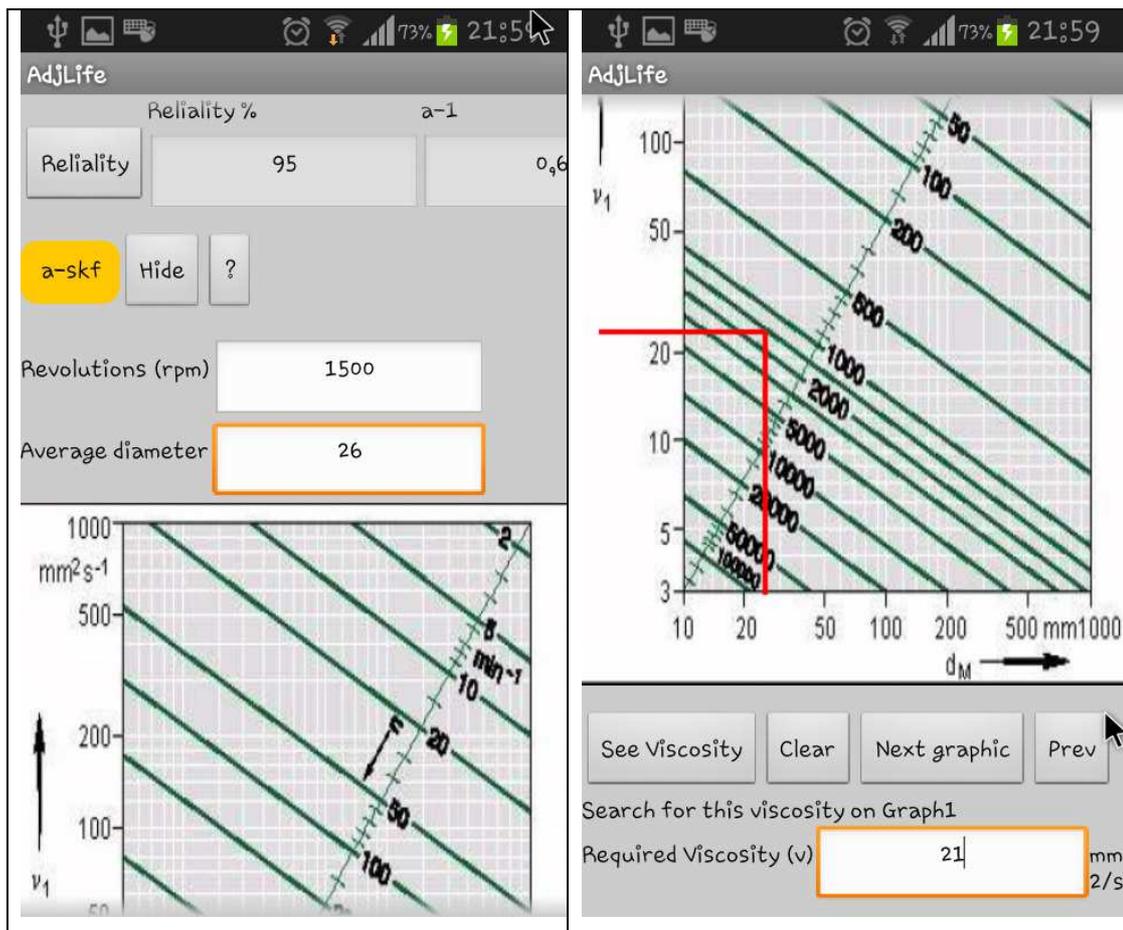


Ilustración 57 - Viscosidad requerida

En la siguiente gráfica debemos averiguar que viscosidad tendrá el aceite que se está usando a la temperatura operativa del rodamiento, ya que siempre el fabricante va a facilitar sus datos a una temperatura estándar de 40°C:

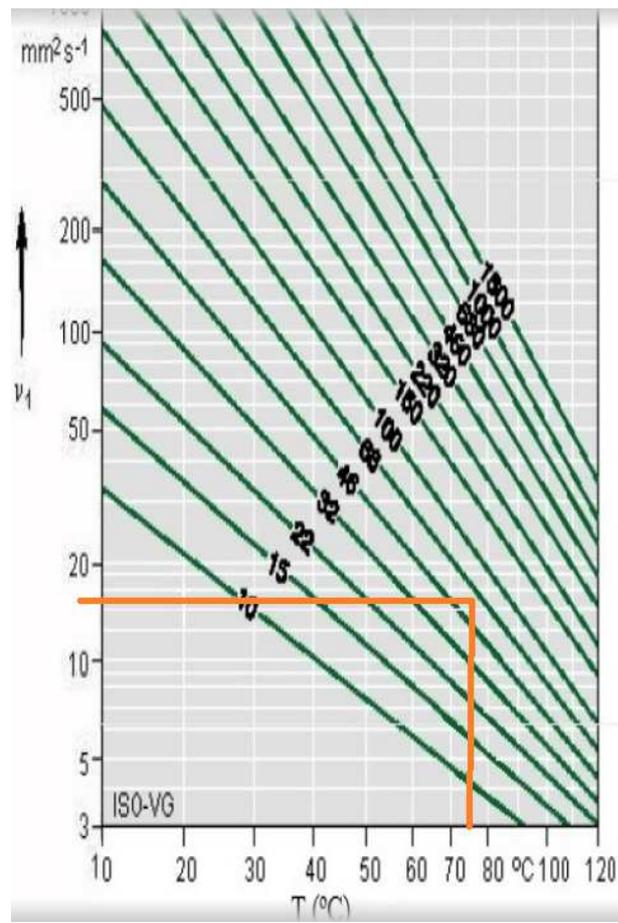


Ilustración 58 - Gráfica de viscosidad a temperatura operativa

Como antes hacemos lo mismo en la aplicación BLAFA:

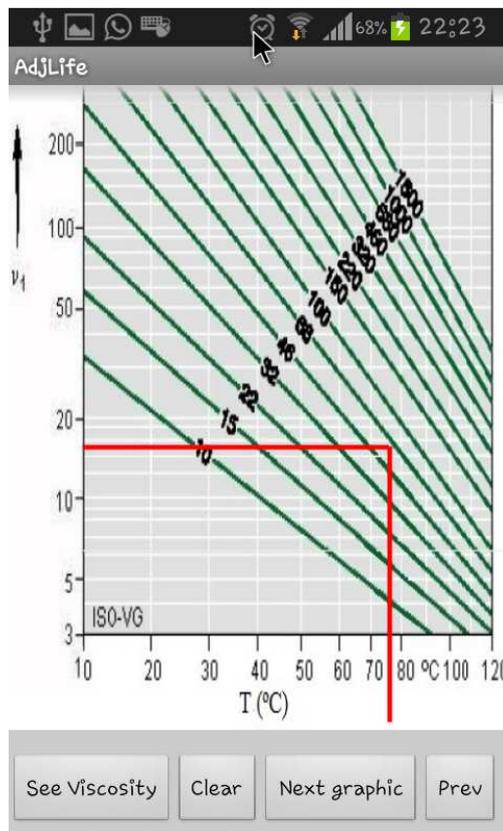


Ilustración 59 - Viscosidad en BLAFA

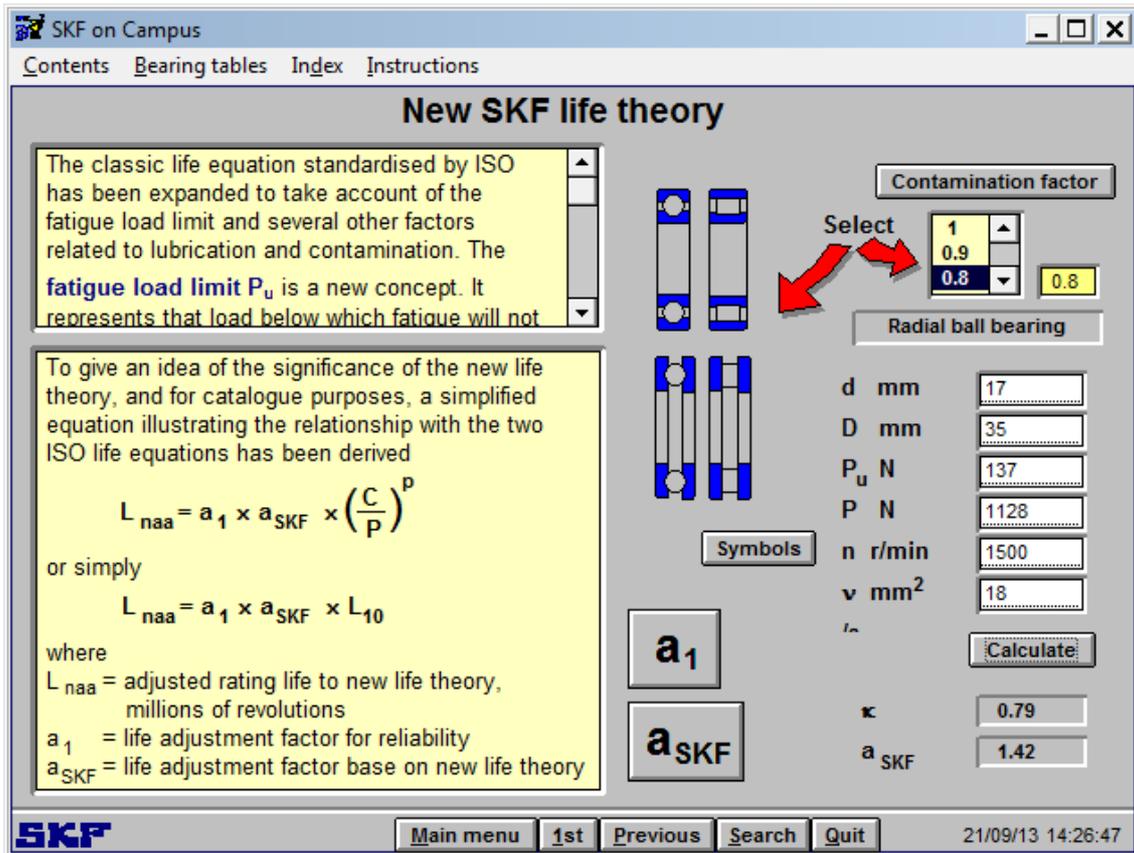
El resultado es que la viscosidad que va a tener el aceite a temperatura de operación es $18 \text{ mm}^2/\text{s}$, por lo tanto, podemos obtener la relación de viscosidades y después a_{skf} :

$$k = \frac{18}{21} = 0.86$$

En un ambiente limpio el valor del coeficiente es 0.8 (Tabla 4)

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P} = 0.8 \cdot \frac{137}{1128} = 0.097$$

Con el programa Campus de SKF podemos realizar el cálculo del valor de a_{skf} introduciendo los datos que hemos obtenido de aquí.



New SKF life theory

The classic life equation standardised by ISO has been expanded to take account of the fatigue load limit and several other factors related to lubrication and contamination. The **fatigue load limit P_u** is a new concept. It represents that load below which fatigue will not

To give an idea of the significance of the new life theory, and for catalogue purposes, a simplified equation illustrating the relationship with the two ISO life equations has been derived

$$L_{naa} = a_1 \times a_{SKF} \times \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

or simply

$$L_{naa} = a_1 \times a_{SKF} \times L_{10}$$

where

- L_{naa} = adjusted rating life to new life theory, millions of revolutions
- a_1 = life adjustment factor for reliability
- a_{SKF} = life adjustment factor base on new life theory

Radial ball bearing

d mm	17
D mm	35
P_u N	137
P N	1128
n r/min	1500
v mm ²	18
α	0.79
a_{SKF}	1.42

Contamination factor: 0.8

Calculate

Ilustración 60 - New Life en Campus

En BLAFA seleccionamos la limpieza, introducimos los valores calculados anteriormente y pulsamos el botón de calcular:

The screenshot displays the BLAFA_v2 application interface. On the left, there is a graph showing oil viscosity curves for different temperatures. Below the graph, there are input fields: 'Oil Viscosity at New T (°C)' with a value of 18, and 'Nc (Contamination)' with a 'Select Contamination' button. On the right, a list of cleaning levels is shown: 'Maximum Cleaning', 'High clean', 'Normal Clean', 'Light dirty', 'Dirty', and 'Highly dirty'. The 'High clean' option is highlighted in yellow.

The screenshot shows the AdjLife application interface. At the top, the status bar displays various icons and the time 22:35. The app title "AdjLife" is visible. The main interface includes several input fields and buttons:

- "Oil Viscosity at New T (°C)" with a value of 18.
- "Nc (Contamination)" with a button labeled "Select Contamination".
- "Pu" with a value of 137.
- "P" with a value of 1128, highlighted by an orange border.
- A button labeled "Dynamic Load" with the text "* P and Pu can be calculated here".
- A large button labeled "Calculate K and Clean factor".
- Output fields for "K" (0,85714) and "Nc(Pu/P)" (0,09716).

At the bottom, there is a graph titled "Factor a_{skf} para rodamientos rodillos de rodillos" with a y-axis labeled "50" and "a_{skf}". The graph shows a series of vertical lines of varying heights, representing the a_{skf} factor for different roller bearings.

Ilustración 61 - Cálculo de factores K y a_3

Ya habiendo obtenido todos los factores solo nos queda saber el valor a_{skf} de la siguiente gráfica.

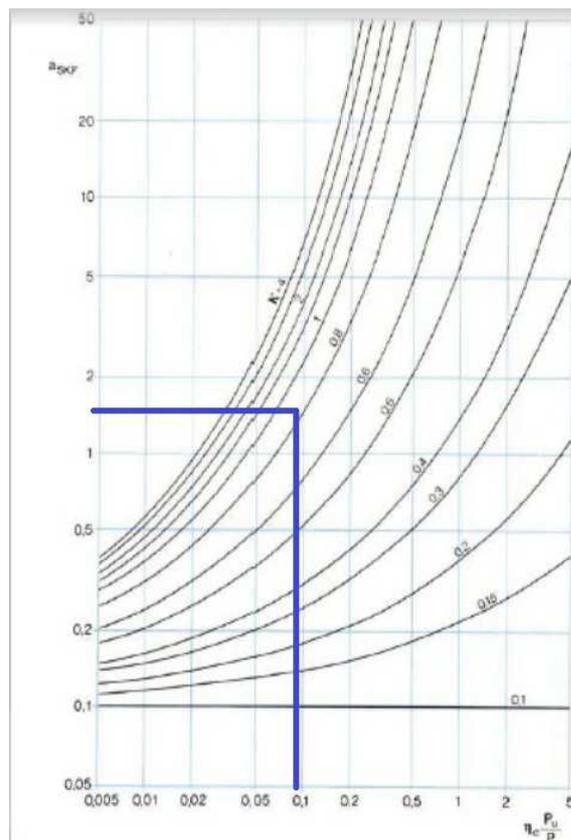


Ilustración 62 - Gráfica a-skf

Como podemos ver es realmente aproximado al facilitado por SKF en Campus.

Como en todos los pasos anteriores hacemos lo mismo en BLAFA seleccionando la gráfica correspondiente (para rodamientos de bolas):

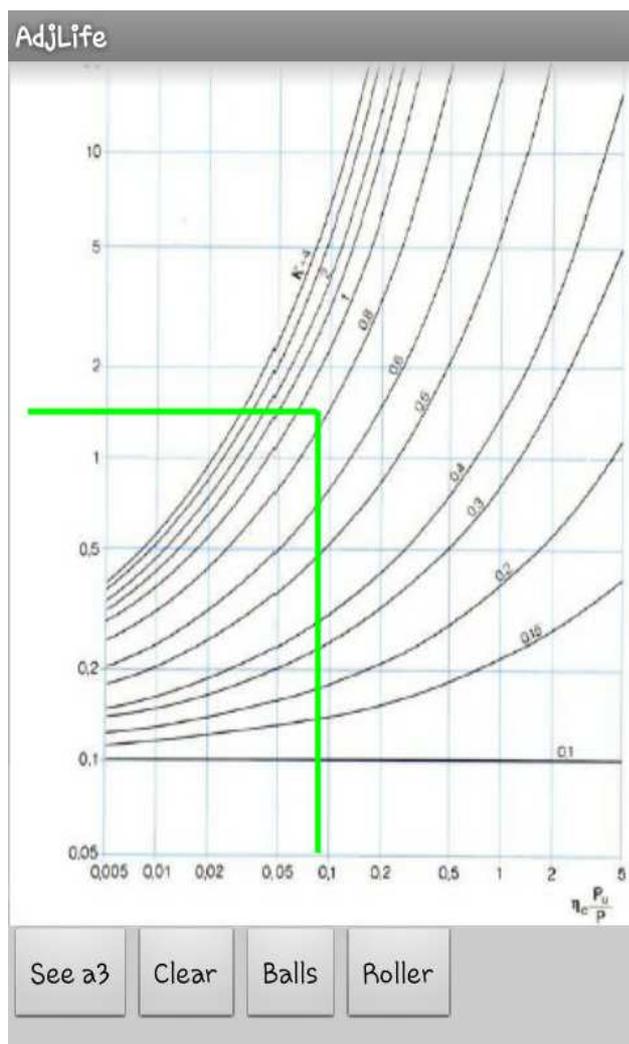
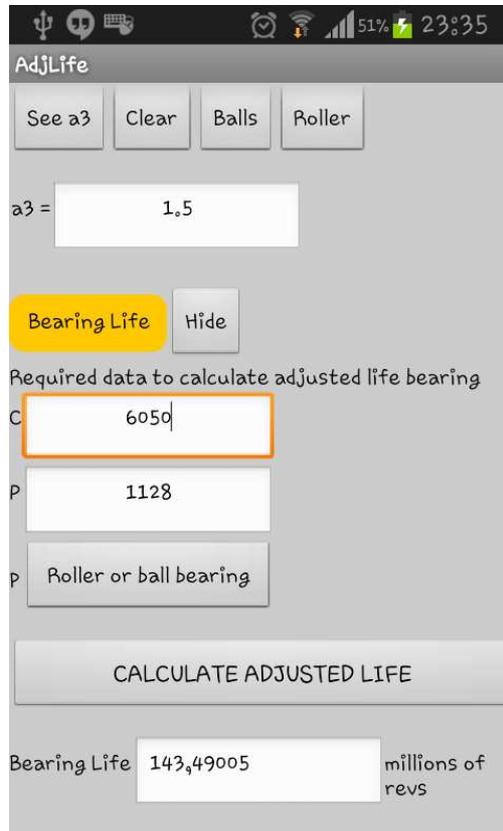


Ilustración 63 - BLAFA a-skf

Con estos valores podemos obtener ya la vida ajustada del rodamiento:

$$L_{skf} = a_1 \cdot a_{skf} \cdot L_{10} = 0.62 \cdot 1.5 \cdot 152.1 \cdot 10^6 = 143.45 \cdot 10^6 \text{ revs}$$

En BLAFA:



AdjLife

See a3 Clear Balls Roller

a3 = 1.5

Bearing Life Hide

Required data to calculate adjusted life bearing

C 6050

P 1128

Roller or ball bearing

CALCULATE ADJUSTED LIFE

Bearing Life 143,49005 millions of revs

Ilustración 64 - Resultado de Vida ajustada en BLAFA

Podemos observar que la duración con ese aceite es baja, se debería poner un aceite de mayor viscosidad para mejorar la vida del rodamiento (no se llega a la viscosidad requerida) otro factor que también ayuda es reducir el juego del rodamiento, poniendo un rodamiento que sea fabricado con mayor precisión.



6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS



6.1. CONCLUSIONES

Llegados al final de este Proyecto Fin de Carrera se puede afirmar que el objetivo principal, diseño e implementación de una aplicación Android para el estudio de rodamientos, se ha cumplido de forma satisfactoria.

Se ha realizado una búsqueda de software genérico con el que implementar la aplicación. Este software, Appinventor, presenta grandes herramientas y cuenta con un mayor número de facilidades. Además es el programa informático recomendado por la web de desarrolladores de Google.

Para ello se ha recopilado información de cómo crear, desarrollar y entender la estructura de aplicaciones Android a través del software Appinventor y creado documentación útil para obtener un mayor conocimiento del software y Android con el fin de facilitar su uso en futuros trabajos relacionados con rodamientos o para distintos estudios.

El proceso de diseño de la aplicación ha supuesto la toma de decisiones en busca de la idoneidad del diseño elegido y conllevado el uso de un buen número de herramientas que el programa Appinventor pone a disposición del usuario.

Con esta información se implementó el organigrama de la aplicación **BLAFA**, el cual ha sido probado en repetidas ocasiones, viéndose modificado ciertos aspectos de algunos módulos de la aplicación.

Tras realizar un juego de pruebas para varios casos posibles se ha verificado la correcta operatividad de la aplicación de este proyecto y podemos concluir la plena disponibilidad de esta nueva herramienta con vistas a posteriores trabajos para dotarla de mayores competencias y funcionalidades.

Otro de los objetivos que nos propusimos al comenzar el proyecto fue que la aplicación no fuese sólo con fines académicos sino que pudiese tener su cabida en la industria moderna. Esto se ha cumplido pues la aplicación es una herramienta muy útil tanto para estudiantes como para profesionales que quieran obtener



rápidamente resultados de ciclos de rodamientos, con una cierta precisión y en un formato de acceso directo como lo es un Smartphone. A cumplir dicho objetivo ha contribuido el complejo cálculo que se desarrolla y la facilidad de uso que tiene la aplicación.

A medida que hemos avanzado con el proyecto y en vista de las conclusiones obtenidas en el transcurso del mismo, se ha ratificado que el uso de aplicaciones para la realización de cálculos tecnológicos es muy provechoso y, seguramente, cada vez sea más utilizado en todos los sectores de la industria. Los cálculos técnicos adquieren con este tipo de herramientas una mayor eficiencia, tiempos menores de trabajo y por supuesto ahorro económico.

Una vez finalizado el desarrollo de la aplicación, se ha compartido con varios compañeros ingenieros que han probado y han dado su correcta opinión sobre el diseño y las características de la misma.

Como colofón final, podemos afirmar que se han conseguido, con un alto grado de satisfacción, todos los objetivos planteados al principio del presente proyecto.

La aplicación ha sido probada con éxito en los siguientes smartphones:

- Samsung Galaxy SII (GT9100) sobre las versiones 2.3, 4.0, 4.1 y 4.2 de android
- LG Optimus 2X (P990) sobre las versiones 2.2, 2.3 y 4.0
- HTC Sensation sobre la versión 2.3
- Samsung Galaxy ACE sobre la versión 2.3
- Samsung Galaxy SIII (GT9300) sobre la versión 4.1.2.

6.2. TRABAJOS FUTUROS

Al tratarse de un producto nuevo e innovador las posibilidades de expansión y mejora son enormes. Como líneas de mejora se proponen las siguientes evoluciones:



- Incorporación de nuevos idiomas.
- Creación de una versión en otros sistemas operativos como iOS, Blackberry OS y Windows Phone.
- Estudio de un mayor número de rodamientos y de mayor número de cargas al igual que la introducción mayores datos o introducción de cálculo libre sin basarse en el catálogo de rodamientos de SKF
- Exportar a otros elementos mecánicos (engranajes, correas,...).
- Inclusión de nuevos apartados como la vida nominal en otras unidades como horas.

Dichas mejoras dotarían al cálculo de los rodamientos a una mayor versatilidad y funcionalidad no vistas, pudiéndose convertir en una herramienta única y sin competidores en el mercado.

Dichas optimizaciones dotarían a **BLAFA** con una versatilidad y funcionalidad no vistas pudiéndose convertir en una herramienta única y sin competidores en el mercado.



7.PRESUPUESTO



El desarrollo de este proyecto lleva conlleva una serie de gastos económicos estimados que se desarrollan a continuación. El desglose de los costes se ha dividido en cuatro grupos: formación, desarrollo, equipo, y otros costos

- **Formación:** Estimación del coste necesario para el aprendizaje del lenguaje de programación Java y de los fundamentos de Android. Se crearan pequeños applets y aplicaciones Android ajenos al proyecto con el fin de familiarizarse con el uso del software y sus funciones
- **Desarrollo:** Coste imputable al tiempo desempeñado para la creación y puesta en funcionamiento de **BLAFA** por parte del autor del proyecto, Emilio Álvarez Sanz, como ingeniero.
- **Informática:** Se estima el coste asociado al uso del Pc de sobremesa como del software empleado.
- **Otros Costes:** Aglomera el resto de costes derivados del proyecto como impresión de documentos, desplazamientos...

Tabla 19 Coste de desarrollo

<u>Desarrollo</u>	<u>Horas</u>	<u>Coste(€)/hora</u>	<u>Coste Imputable(€)</u>
<i>BLAFA</i>	175	40	7000
<u>Total Desarrollo</u>			7000

Tabla 20 Coste de equipos

<u>Informática</u>	<u>Coste(€)</u>	<u>Amortización</u>	<u>Coste Imputable(€)</u>
<i>Pc + Office 2010</i>	1500	1/6	250
<i>Smartphone</i>	250	1/5	50
<i>Appinventor</i>	0	-	0
<i>Complementos SDK+Java</i>	0	-	0
<i>Emulador android</i>	0		0
<u>Total Informatica</u>			300

Tabla 21 Otros costes

<u>Otros Costes</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Desplazamientos y consultas</i>	250
<i>Impresión de documentos y material de oficina</i>	250
<u>Total Otros Costes</u>	500



Tabla 22 Coste total

<u>Resumen de Costes</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Desarrollo</i>	7000
<i>Informática</i>	300
<i>Otros Costes</i>	500
<u>Total Proyecto Provisional</u>	7800

Tabla 23 Presupuesto final

<u>Presupuesto final</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Gastos indirectos y beneficios + 20%</i>	1560
<u>Total Proyecto (sin IVA)</u>	9360



8. BIBLIOGRAFÍA.



8.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Catálogo general de SKF
- Aplicación Campus de SKF
- Diseño de Máquinas. Norton, Robert L. PRENTICE HALL, 1999. ISBN 970-17-0257-3
- DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA. J.E. Shigley y C. Mischke. McGraw-Hill, 2002. ISBN 9701036468
- Guía Práctica Java SE 6. F. Javier Moldes. Ediciones Anaya Multimedia, 2077. ISBN 978-84-415-2288-6

8.2. REFERENCIAS DE LA WEB

Teléfono inteligente.

http://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fonos_inteligentes

(Último acceso Mayo 2013)

Videos tutoriales android.

<http://www.inquisidores.net/index.php>

(Último acceso Mayo 2013)

Videos tutoriales de programación android. The New Boston

<http://thenewboston.org/list.php?cat=6>

(Último acceso Mayo 2013)

Tutorial de programación android

[http://dis.um.es/~bmoros/privado/bibliografia/tutorial%20eclipse%20para%20novatos%20java%20\(Pollino\).pdf](http://dis.um.es/~bmoros/privado/bibliografia/tutorial%20eclipse%20para%20novatos%20java%20(Pollino).pdf)

(Último acceso Junio 2013)



Creación de gráficas para android

<http://www.ignacionario.com/2011/07/android-vi-creacion-de-graficas.html>

(Último acceso Agosto 2013)

Programas para la web: Nuestro primer applet.

<http://www.aprendeaprogramar.com/mod/resource/view.php?id=215>

(Último acceso Febrero 2013)

Youtube. Web de videos

www.youtube.com

(Último acceso Septiembre 2013)

Smartphone

http://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fonos_inteligentes

(Último acceso Noviembre 2012)

Lenguajes de programación para android

<http://androideity.com/2012/07/16/5-lenguajes-para-programar-en-android/>

(Último acceso Febrero 2013)

Tutoriales del MIT EDU APPINVENTOR

<http://appinventor.mit.edu/explore/tutorials.html>

(Último acceso Septiembre 2013)



ANEXO I. MANUAL DE BLAFA



Antes de comenzar, se aconseja encarecidamente a los usuarios tener configurado el dispositivo en idioma **inglés**.

BLAFA es una aplicación desarrollada para el aprendizaje sobre el cálculo de los esfuerzos que sufren los rodamientos, teniendo como principal objetivo obtener una aproximación de la vida ajustada ampliada de un rodamiento o grupo de rodamientos en un determinado servicio del que se dispongan de los datos necesarios para dicho cálculo.

Basado en los catálogos de SKF, BLAFA incluye una base de datos totalmente ampliable con una selección inicial de dieciséis rodamientos de cuatro tipos distintos para el cálculo de la vida nominal. Si en algún momento el rodamiento no se encuentra en la base de datos de la aplicación, se podrían recoger los datos necesarios del catálogo de la casa de rodamientos e introducir las características técnicas de dicho rodamiento.

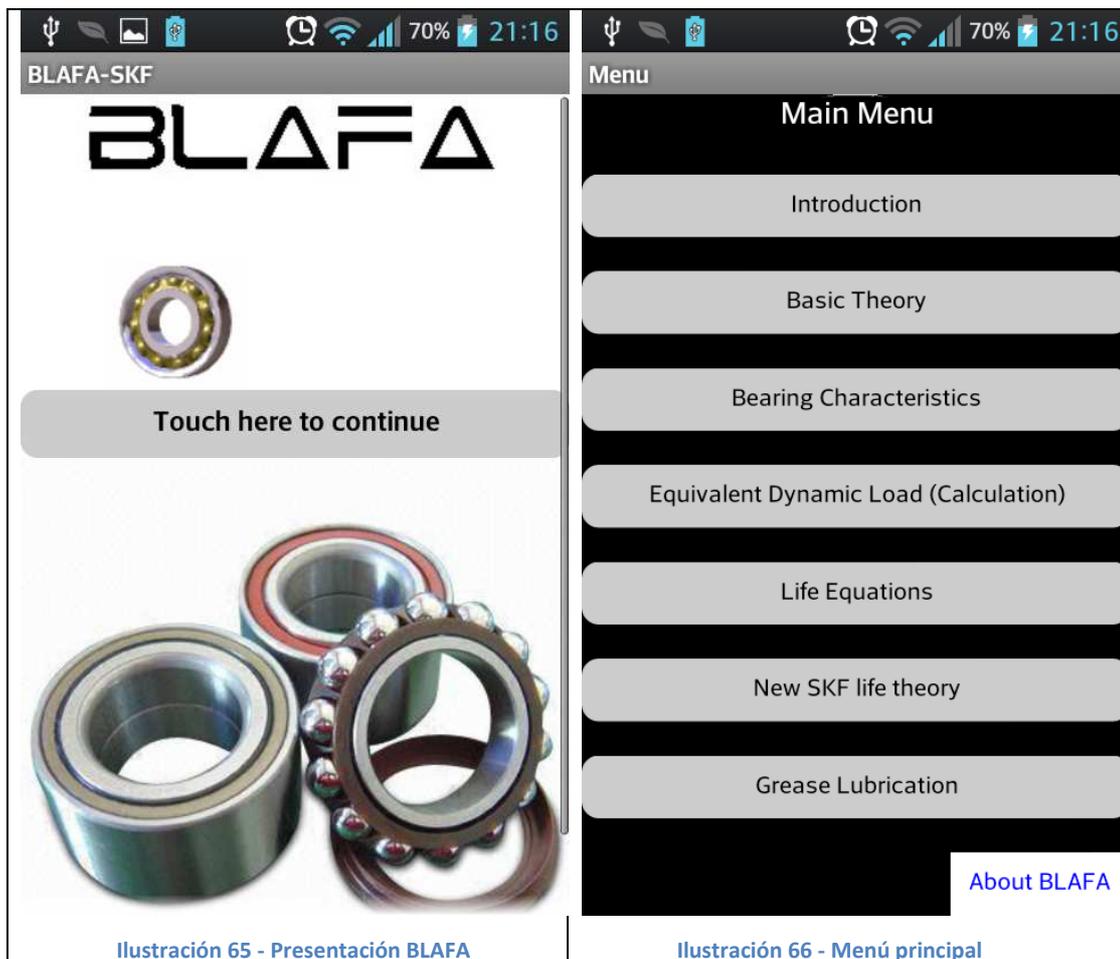
Como base principal para la aplicación, se ha tomado como guía el programa CAMPUS también utilizado como aprendizaje sobre rodamientos, pero sobre una plataforma más habitual que es la de Microsoft Windows. En esta aplicación que se ha desarrollado, se utiliza como sistema operativo Android que, como se ha comentado más arriba, es un sistema operativo de código abierto que está enfocado para ser usado en teléfonos móviles (smartphones) o tabletas, aunque, en un futuro, seguramente se acabe usando también en ordenadores de sobremesa.

BLAFA se divide en tres partes:

- Introducción teórica de rodamientos.
- Características técnicas de todos los rodamientos.
- Cálculos.

I. PANTALLA DE INICIO Y PRESENTACIÓN

Al comenzar a usar la aplicación saldrá una animación de unos rodamientos, cuando termine se le puede pulsar el botón indicado para ir al menú principal.



Desde este menú principal podremos desplazarnos a cualquier sección del programa, desde cualquier rama de la teoría de rodamientos hasta los cálculos o la pantalla de información sobre BLAFA.



II. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La primera pantalla de teoría sobre los rodamientos en la que podemos encontrar una parte de historia de cómo empezó la idea de los rodamientos, para que se puedan hacer una idea de cómo eran los antiguos rodamientos. Como bien dice la introducción, la historia del rodamiento comienza cuando alguien quiere mover objetos pesados y supone esfuerzos muy grandes y un desgaste del material importante debido al arrastre que provoca un gran rozamiento con el suelo y daña el material. En una idea, a alguien se le ocurre lubricar la zona de rozamiento con alguna pasta viscosa como pudiera ser barro, o en algunos casos con agua. Con el invento de la rueda, un nuevo concepto aparece, y es que el movimiento de rodadura supone menor esfuerzo y rozamiento que un movimiento de deslizamiento. Los primeros rodamientos que se fabricaron fueron rodamientos planos sin elementos rodantes (casquillos). Para maquinaria, los primeros rodamientos fueron planos, de madera y lubricados.

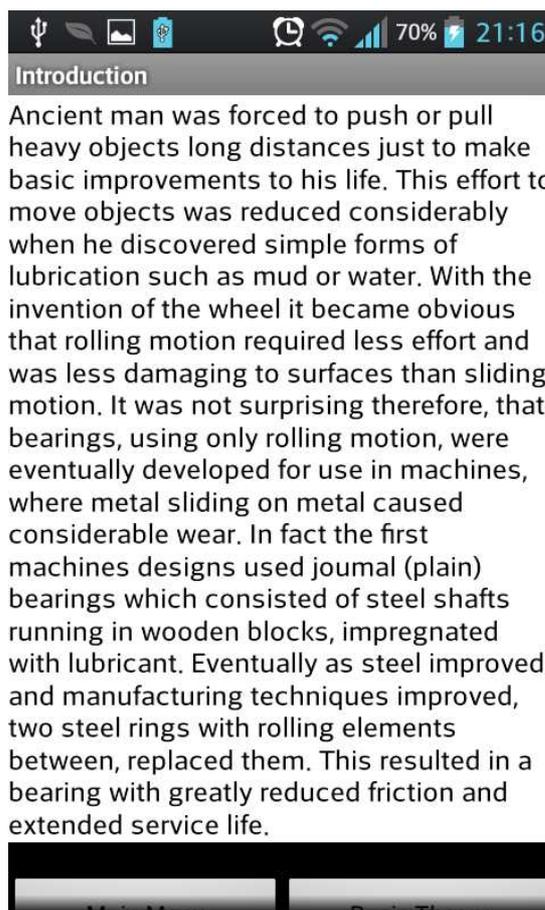


Ilustración 67 – Introducción

Cada pantalla tiene, en la parte inferior, una serie de botones que relacionan unas pantallas con otras y que podemos desplazarnos entre ellas sin pasar por el menú principal, además de que siempre está el botón de “Main Menu” que llevará siempre al menú principal.

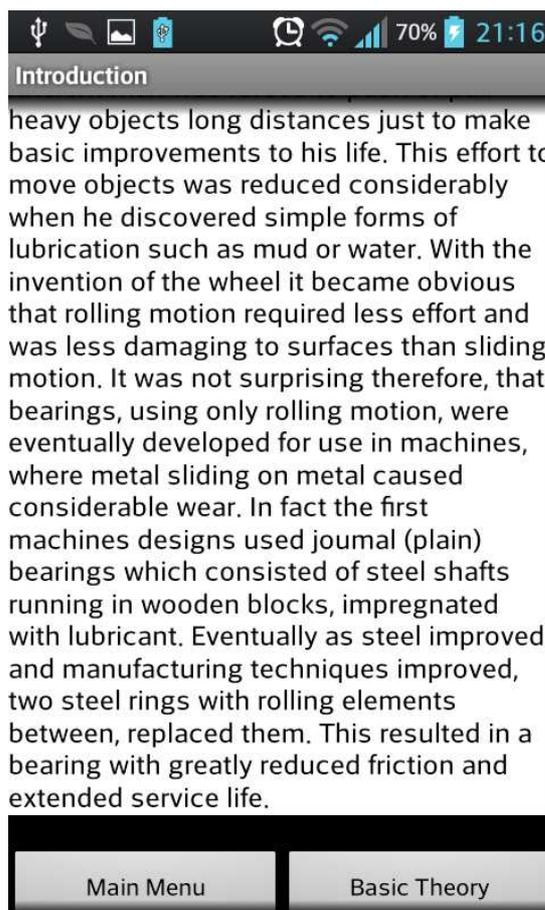


Ilustración 68 - Botones de pantallas

En este caso se puede volver al menú principal o seguir viendo la teoría de rodamientos.

III. TEORÍA BÁSICA DE RODAMIENTOS

En esta pantalla de teoría básica se tiene una estructura “muestra u oculta”, cada botón de color naranja mostrará una información distinta sobre los rodamientos. De esta manera se puede ver todo en la misma pantalla de una manera muy sencilla sin tener que viajar entre distintas pantallas. Se puede mostrar solo la información que se requiera y después ocultar si se quiere ver otra más abajo y no se desea una pantalla muy larga en el dispositivo móvil. Aunque

también es posible tener varios puntos de información desplegada para poder comparar datos o leer todo de una misma vez.

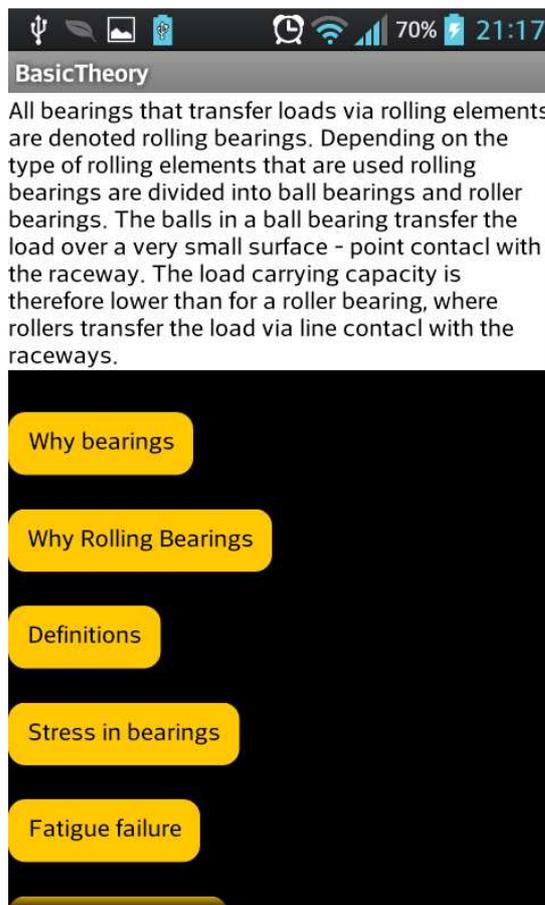
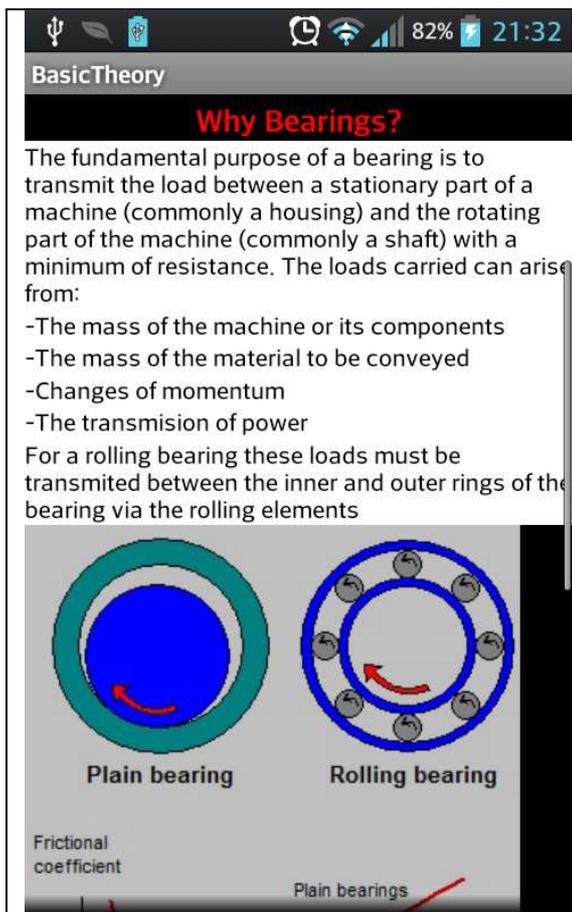


Ilustración 69 - Teoría básica

Esta pantalla también incluye una pequeña introducción teórica sobre los rodamientos, en la cual define los rodamientos como: cualquier sistema que pueda transmitir cargas vía elementos rodantes. Dependiendo de qué tipo de elementos rodantes se denominará de una manera o de otra, a parte, de las distintas características que poseerán. Un rodamiento de bolas transfiere la carga en un punto de la pista y un cilindro en una línea. Por lo tanto el cilindro podrá transferir más carga.

Los apartados que ofrece la teoría básica de rodamientos son los siguientes:

- Porqué se recomienda el uso de rodamientos



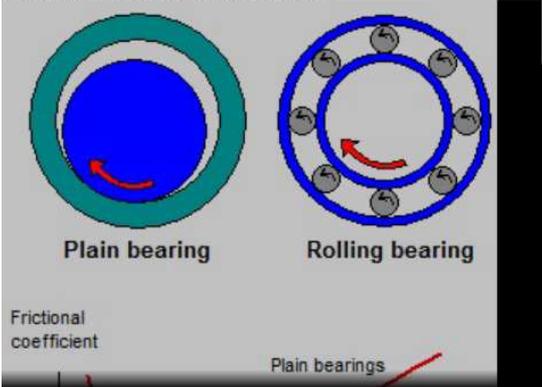
BasicTheory

Why Bearings?

The fundamental purpose of a bearing is to transmit the load between a stationary part of a machine (commonly a housing) and the rotating part of the machine (commonly a shaft) with a minimum of resistance. The loads carried can arise from:

- The mass of the machine or its components
- The mass of the material to be conveyed
- Changes of momentum
- The transmission of power

For a rolling bearing these loads must be transmitted between the inner and outer rings of the bearing via the rolling elements

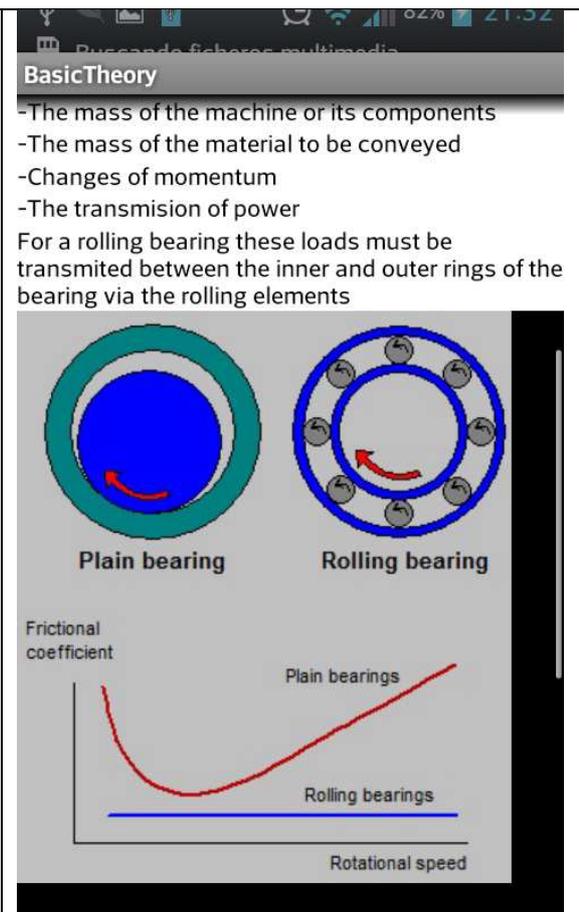


Plain bearing Rolling bearing

Frictional coefficient

Plain bearings

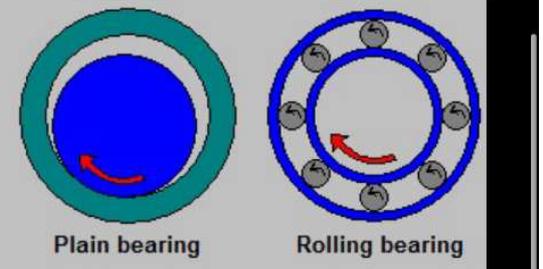
Ilustración 70 - Razones para el uso de rodamientos



BasicTheory

- The mass of the machine or its components
- The mass of the material to be conveyed
- Changes of momentum
- The transmission of power

For a rolling bearing these loads must be transmitted between the inner and outer rings of the bearing via the rolling elements



Plain bearing Rolling bearing

Frictional coefficient

Plain bearings

Rolling bearings

Rotational speed

Ilustración 71 - Razones para el uso de rodamientos 2

- o El objetivo fundamental de un rodamiento es transmitir la carga entre una parte estacionaria (parada) y otra que se mueve (o gira) con la mínima resistencia. Las cargas que aguanta un rodamiento son: la masa de la máquina y sus componentes, la masa del material que sujeta, cambios de momentos y transmisión de potencia.

- Qué ventajas tiene el rodamiento frente al casquillo

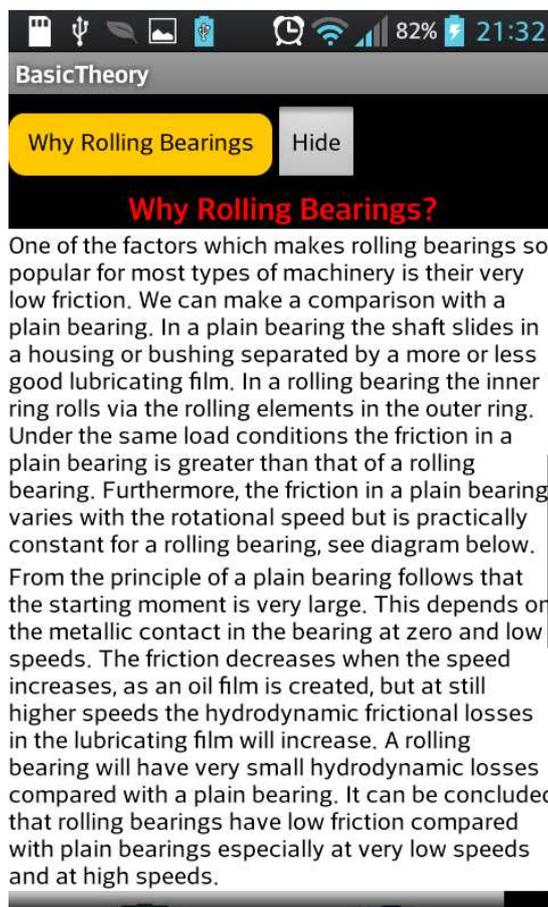
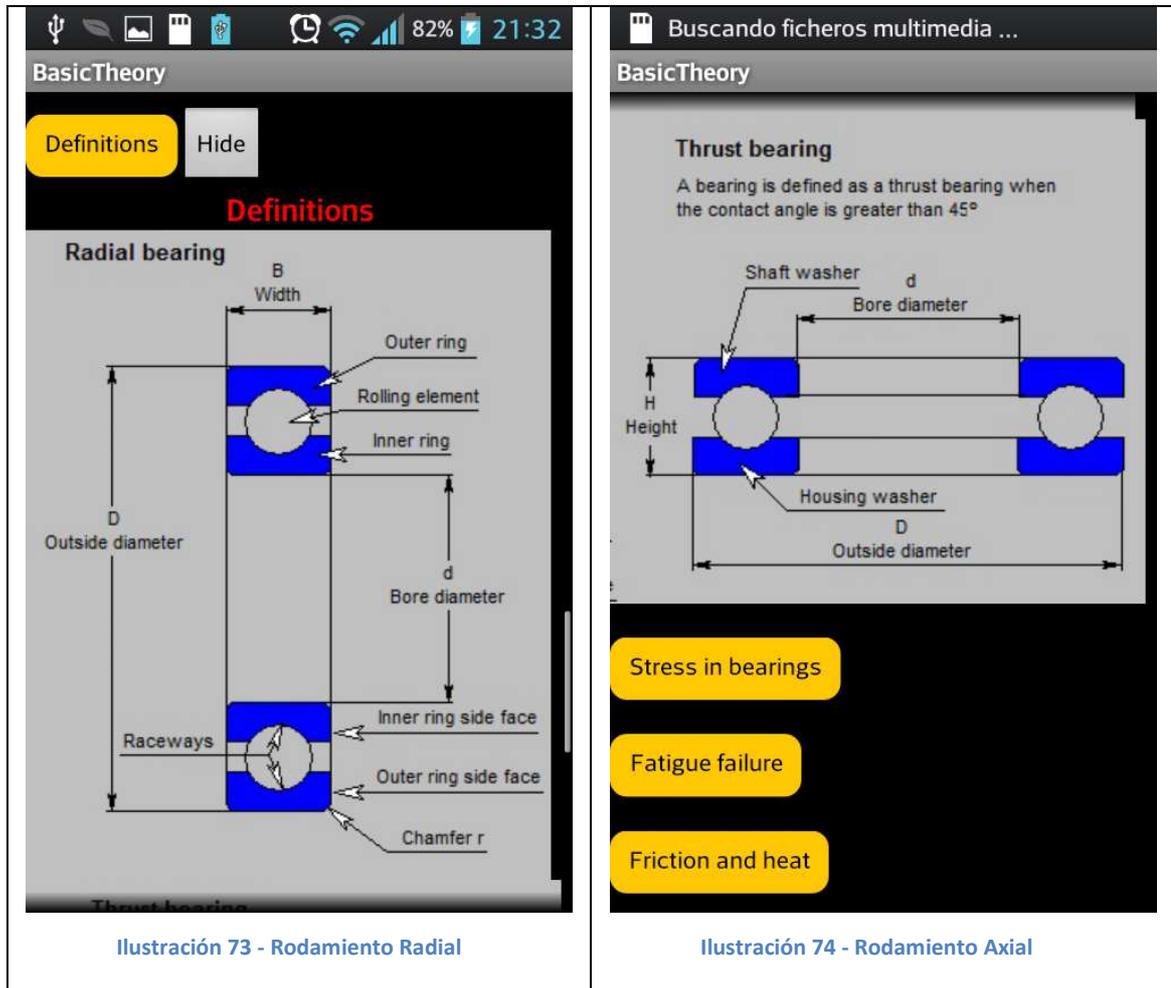


Ilustración 72 - Ventajas de rodamientos

- Una de las principales razones que hace famoso el rodamiento frente al casquillo es su bajo nivel de fricción. Un casquillo sujeta un eje que se desliza mediante lubricación y material deslizante, pero el rodamiento transforma esa fricción en rodadura más lubricación. Además la fricción en los casquillos varía con la velocidad de giro del eje dado que la lubricación es distinta a mayor velocidad de giro. Además en el momento de iniciar el giro la fricción es muy alta con casquillo, ya que no hay presión de lubricación, pero en el rodamiento es prácticamente la misma que a mayores revoluciones.

- Definiciones importantes que se deben saber antes de usar el programa.



- Dispondrá de un esquema para un rodamiento radial y otro axial como ejemplo con las partes de los rodamientos
- Qué esfuerzos existen en los rodamientos

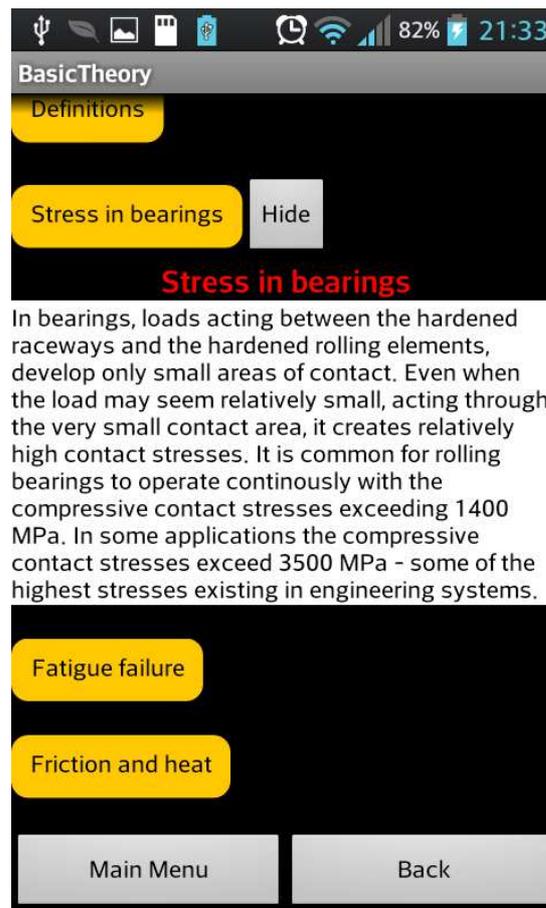


Ilustración 75 - Tensión

- o Los rodamientos soportan cargas grandes permanentemente porque una pequeña carga el rodamiento la concentra en un punto sobre las pistas de rodamientos (uno sobre la pista interior y otro sobre la pista exterior) lo que crea altos puntos de esfuerzos excediendo los 1.400 MPa e incluso llegando a los 3.500 MPa, uno de los sistemas que aguanta más tensiones en un sistema ingenieril.

- Fallos de fatiga

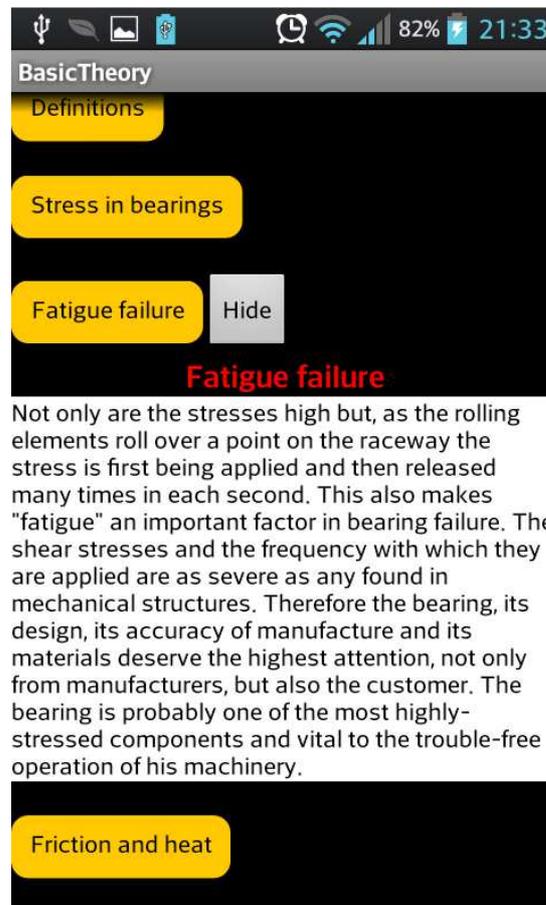


Ilustración 76 - Fatiga

- No solo las tensiones son altas, sino que también lo son los fallos de fatiga, ya que los puntos de alto estrés están continuamente viajando por las guías internas con alternancia de cargas, lo que crea unos altos de fatiga.

- Fricción y calor

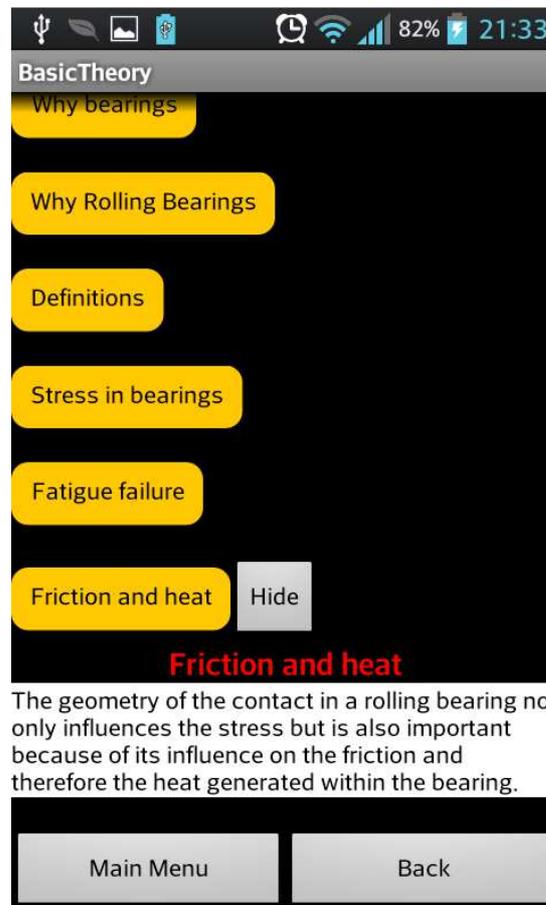


Ilustración 77 - Temperatura

- Al tener puntos que sufren tensiones altas, esto provoca que la temperatura se eleve.

Una vez que mostramos un apartado tocando el botón naranja de cada sección, aparecerá otro botón a la derecha del botón naranja que se ha pulsado para que se oculte la información que acabamos de mostrar. El botón de “ocultar” aparecerá solamente si se ha pulsado el botón naranja que muestra la sección.

IV. CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamientos muestra distintas propiedades características que dependen del diseño y en el trabajo que desempeñe, por ejemplo los rodamientos de bolas rígidos pueden aguantar pequeñas cargas radiales y también pequeñas cargas axiales, está diseñado para un funcionamiento con poco ruido (produce poca fricción) y velocidades altas. Pero los cilíndricos esféricos pueden cargar cargas muy fuertes y se pueden autoalinearse.

Esta sección funciona como las demás, botón naranja para expandir la sección y botón gris "hide" para ocultar la sección.

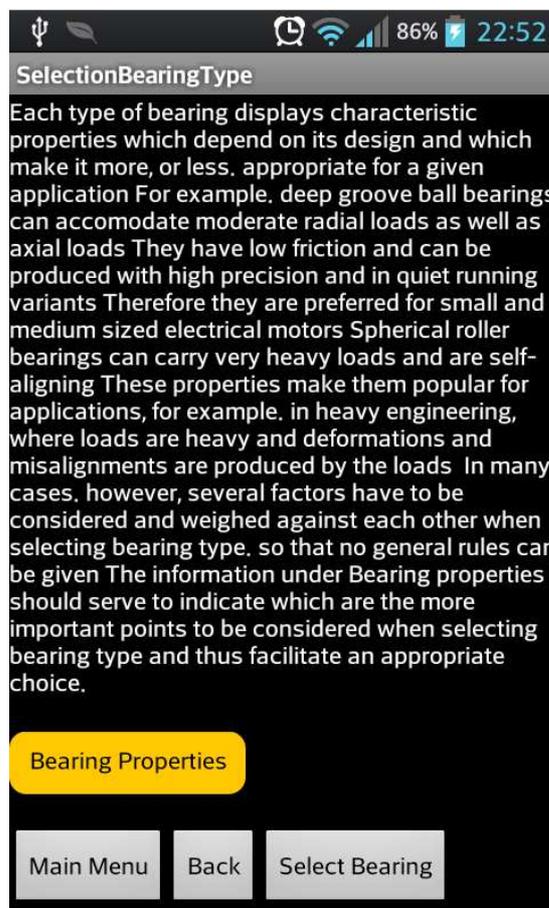


Ilustración 78 - Características del rodamiento

Todos estos aspectos deben tenerse en consideración al elegir un tipo de rodamiento u otro, pero no hay unas normas generales a seguir para elegir qué puntos son los más importantes para elegir un rodamiento.

- **PROPIEDADES DE LOS RODAMIENTOS**

- **FUNCIONAMIENTO SILENCIOSO**

Ciertas aplicaciones como pequeños motores eléctricos para uso en el hogar o maquinaria de oficina requieren un funcionamiento que haga el menor ruido posible. Los rodamientos rígidos de bolas son especialmente producidos para estas operaciones.

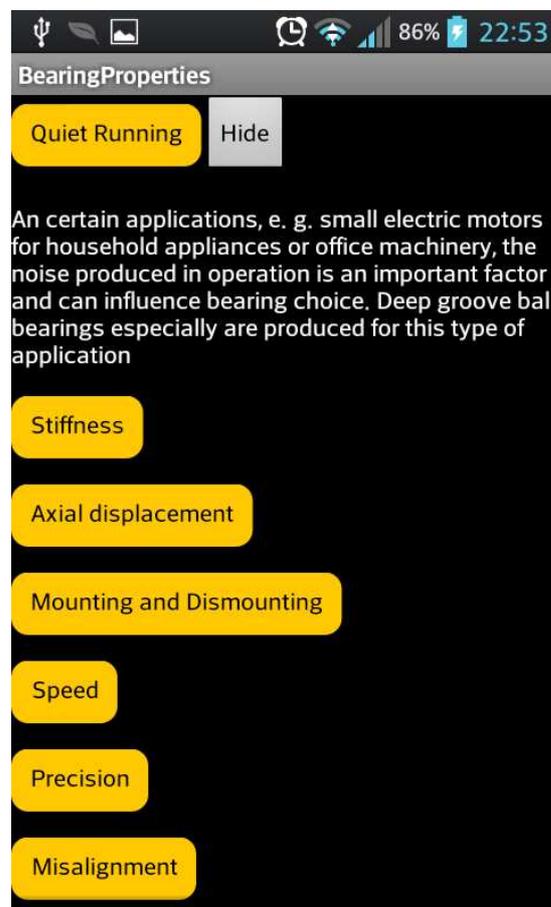


Ilustración 79 – Ruido

- **RIGIDEZ**

La rigidez de un rodamiento está caracterizada por el nivel de deformación elástica (resiliencia) en el rodamiento bajo carga. Generalmente esta deformación es muy pequeña y puede ser ignorada. En unos pequeños casos, la rigidez es muy

importante, por ejemplo en rodamientos de usillos para herramientas de maquinaria, o rodamientos de piñones. La rigidez puede ser mejorada aplicando precarga.

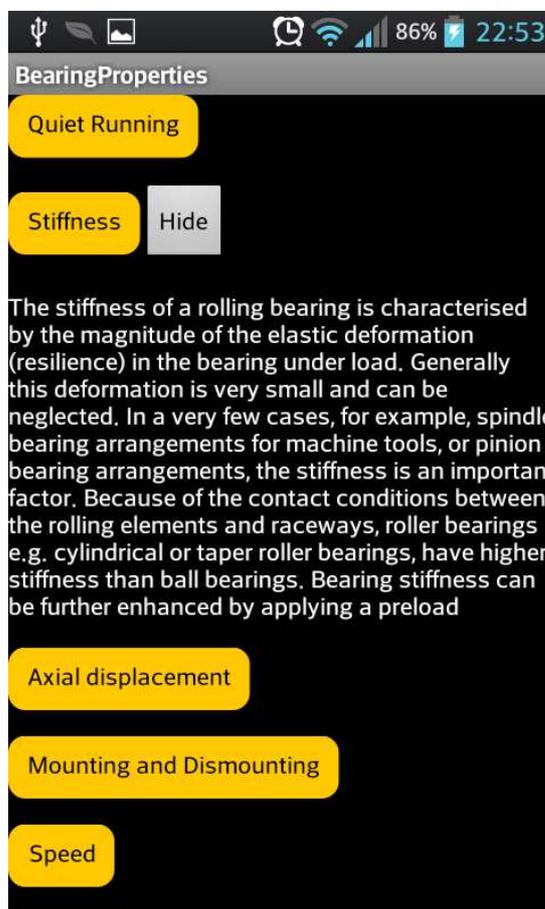


Ilustración 80 – Dureza

○ DESPLAZAMIENTO AXIAL

Un eje o un árbol generalmente esta soportado por un rodamiento fijado axialmente y otro libre. Los rodamientos con fijación axial proporcionan la inmovilidad para que el eje no se desplace axialmente en ambos sentidos, por lo que deben aguantar buena carga axial, pero los rodamientos libres no hace falta que aguanten cargas axiales, deben tener la capacidad de tener un pequeño movimiento y que sirva de guía axial (rodamientos con un solo flanco). Se suelen usar rodamientos que son desmontables por un flanco.

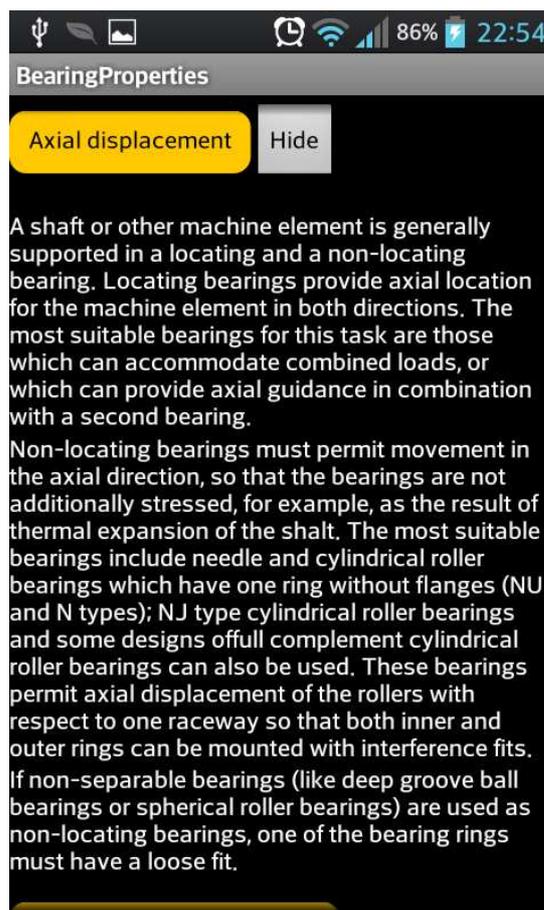


Ilustración 81 - Desplazamiento axial

○ VELOCIDAD

La velocidad a la que el rodamiento puede operar está limitada por la operación de temperatura. Los tipos de rodamientos que tienen baja fricción corresponden a los que generan poco calor y, por lo tanto, son más aptos para altas velocidades. Donde se pueden alcanzar mayores velocidades es en situaciones con únicamente carga radial y rodamientos rígidos de bolas o con rodamientos de bolas de contacto angular cuando existe alguna carga axial.

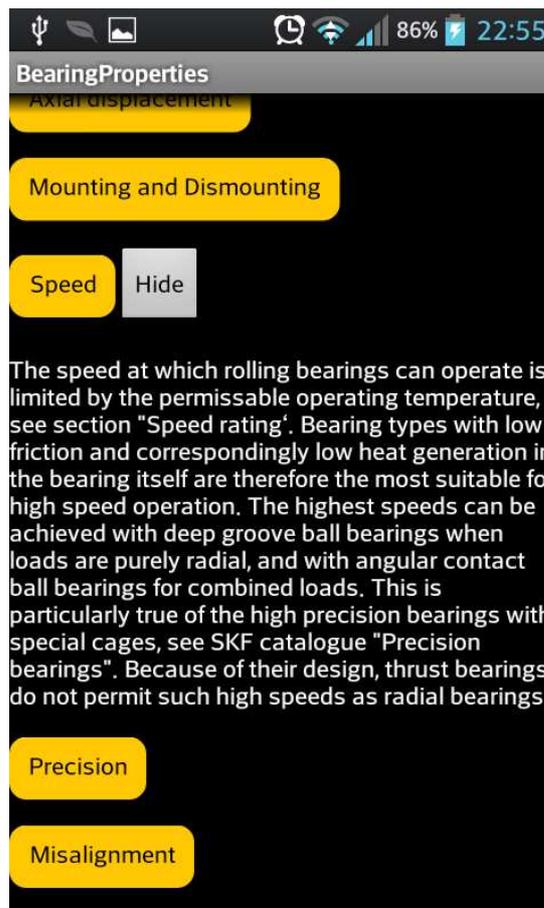


Ilustración 82 – Velocidad

○ PRECISIÓN

Los rodamientos que se hacen con mayor precisión que la normal se requieren para grupos que tienen que tener una alta precisión de operación y una alta velocidad de operación es requerida.

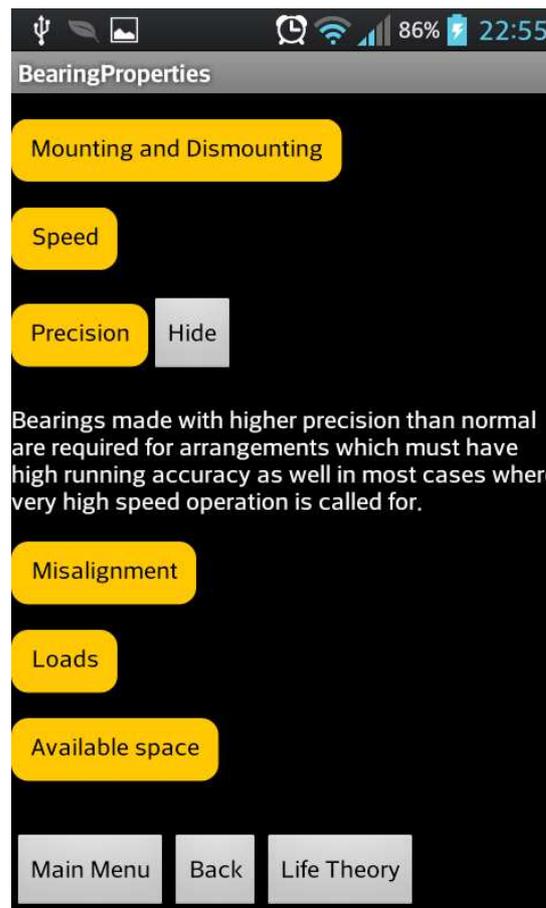


Ilustración 83 – Precisión

○ **DESALINEAMIENTOS**

Desalineamientos angulares entre el eje y el cajeado del rodamiento tienen lugar cuando el eje se dobla y genera una flecha por la carga que debe soportar. Debido a la larga distancia entre los rodamientos puede que haya una variación angular que debe absorber los rodamientos, para ello hay rodamientos que permiten unas pequeñas variaciones angulares.

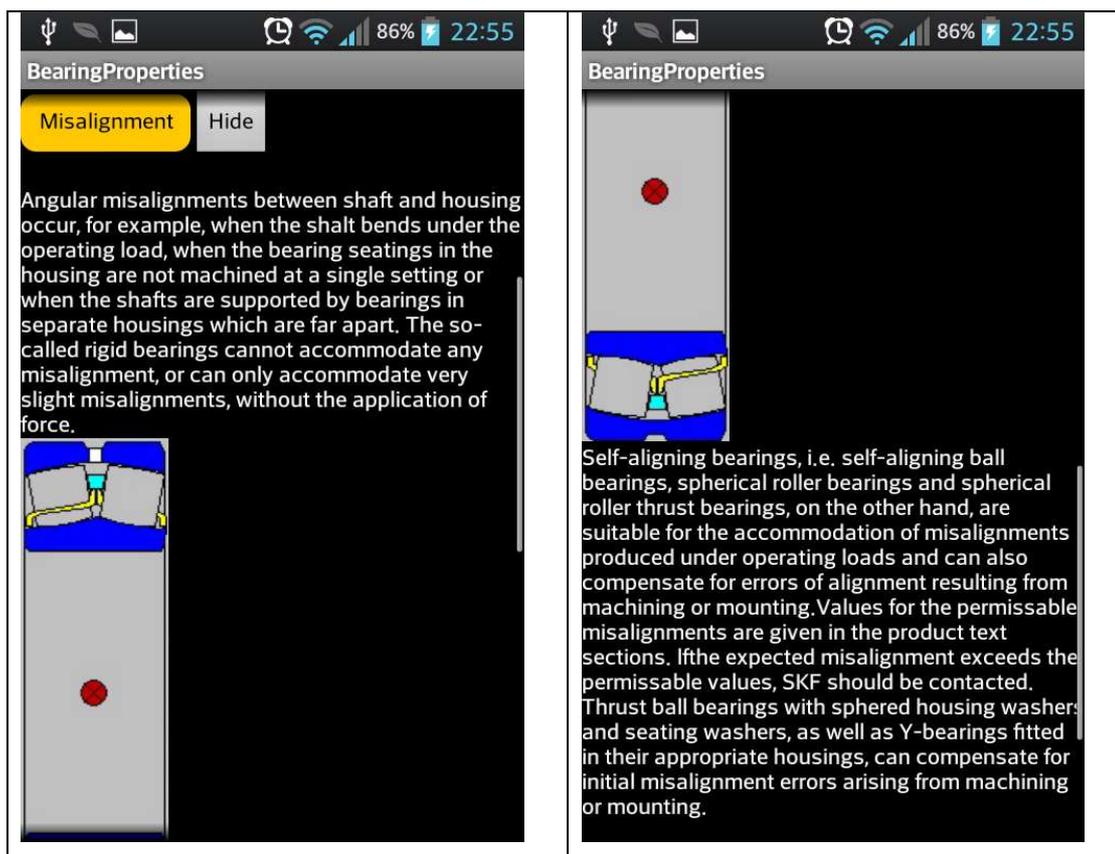


Ilustración 84 - Desalineamientos

○ CARGAS

Los rodamientos aguantan cargas de muchos tipos y en ocasiones aguantan cargas de muy alto valor, pero los rodamientos están diseñados para aguantar cargas direccionales, es decir, en unas direcciones aguantan mucha carga, pero es probable que si cambia de dirección la carga, el rodamiento pueda llegar a romper con cierta facilidad.

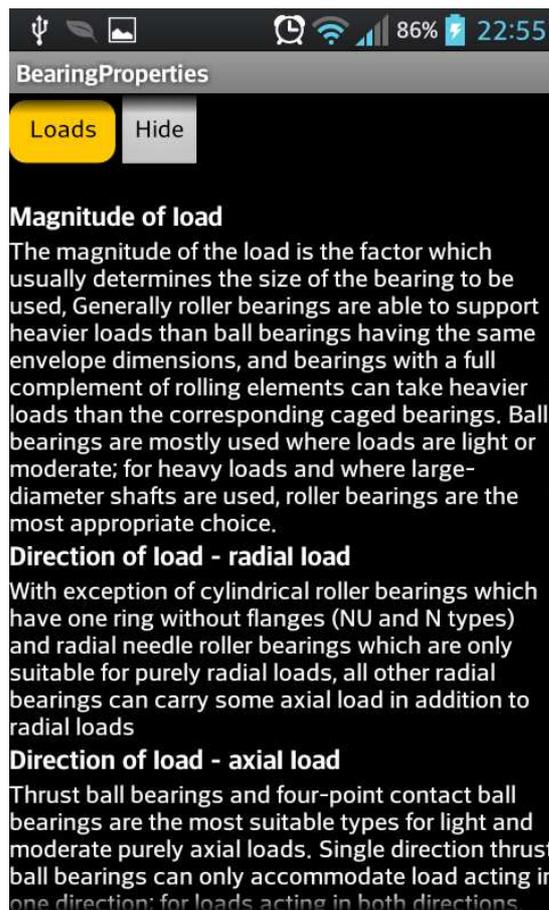


Ilustración 85 – Cargas

○ ESPACIO DISPONIBLE

El espacio disponible del que se disponga condiciona mucho la elección del rodamiento, y la carga que se vaya a tener.

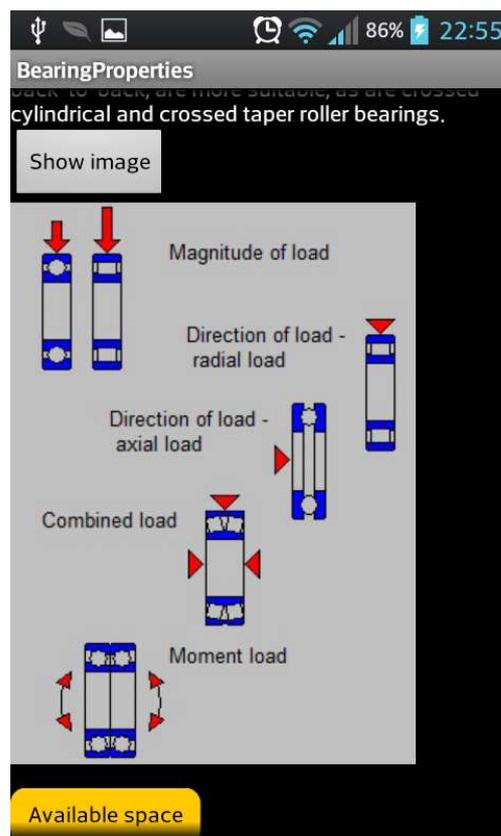


Ilustración 86 - Espacio disponible

V. CÁLCULOS

• SELECCIÓN DE RODAMIENTO

Para el cálculo de rodamientos en BLAFA hay que seleccionar desde el menú principal la opción de “selección de rodamiento” para calcular la vida nominal, o en otro caso podemos ir directamente a calcular la vida ampliada pulsando el botón “New SKF life theory”

Una vez que estemos dentro de la selección de rodamiento tenemos opción a elegir cuatro tipos distintos, hemos de elegir el tipo de rodamiento que queremos analizar y pulsamos en el botón “GO CALCULATE”. Y en la siguiente pantalla elegiremos el modelo del que se quiera saber la vida nominal.

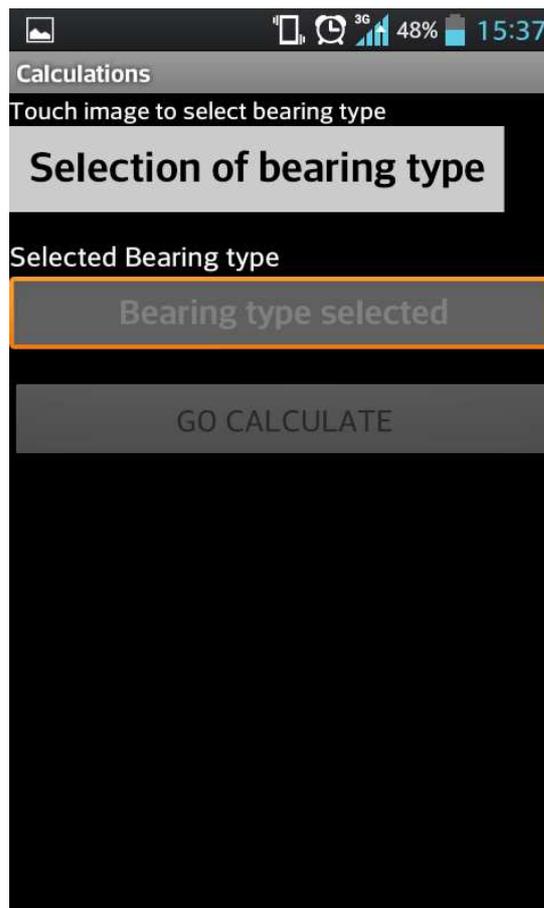


Ilustración 87 - Elección de tipo de rodamiento

- **SELF-ALIGNING BALL BEARING**

Tipo de rodamiento que es autoalineable y que es muy útil para ejes largos o que se prevean pequeñas desalineaciones.

Pulsando en “Select SKF Bearing” se elige el modelo a analizar. En siguiente lugar se introducen las fuerzas que va a tener que soportar el rodamiento y se pulsa en “CALCULATE”.

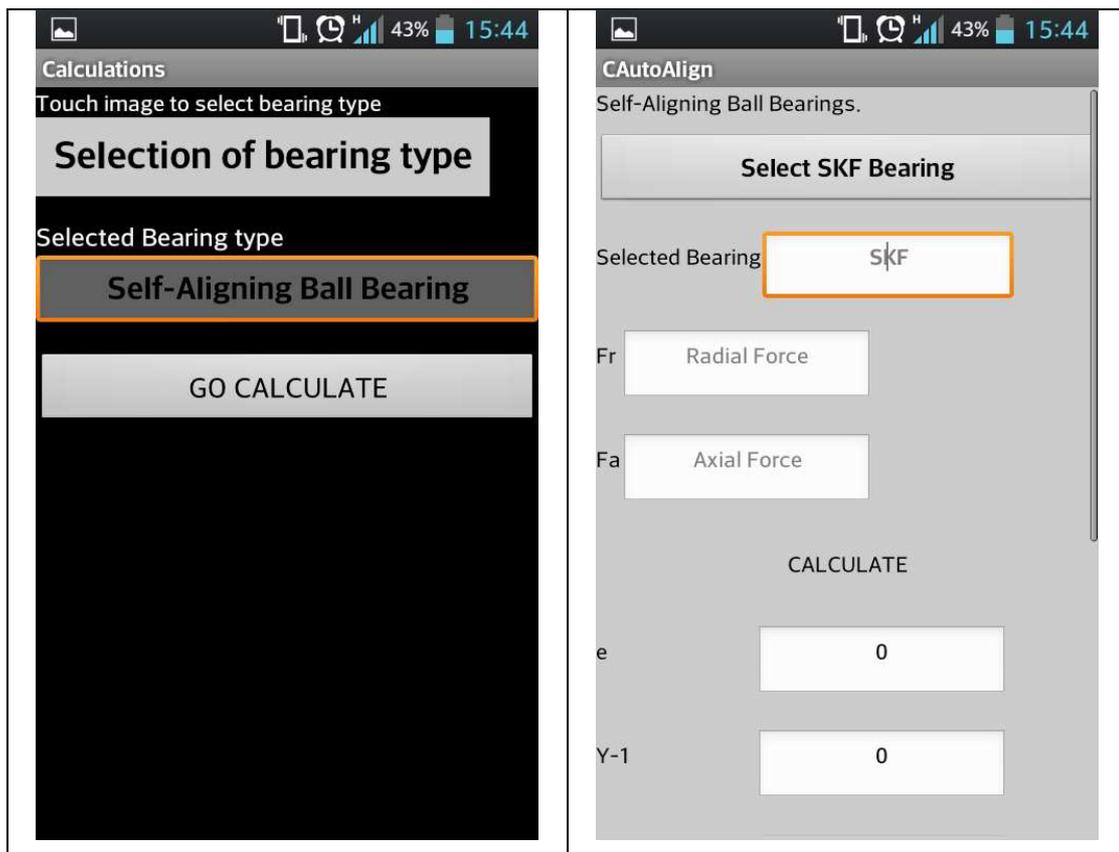


Ilustración 88 - Selección autoalineante

En la tabla de abajo salen los datos del rodamiento que hemos elegido y en las últimas dos líneas obtendremos los resultados de P y P_0 . En el siguiente paso pulsamos el botón de "Bearing Life" y obtendremos la vida nominal de dicho rodamiento que aguantará las fuerzas indicadas.

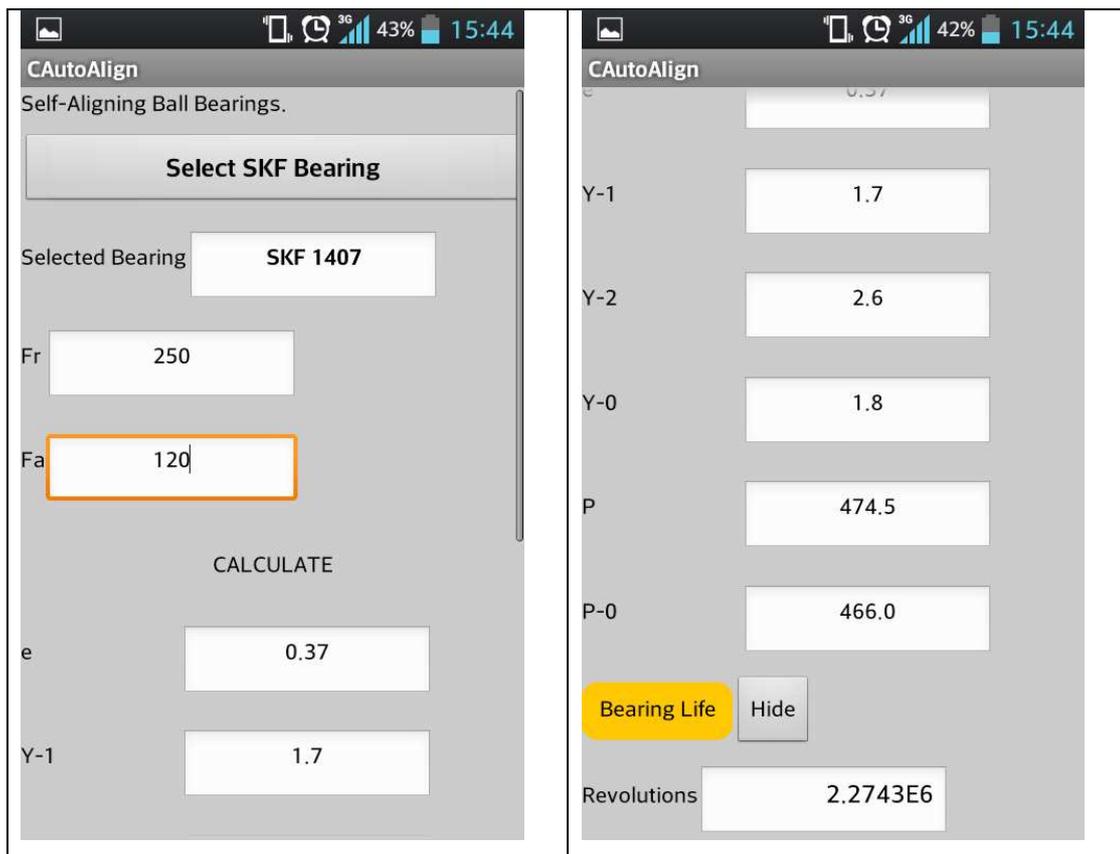


Ilustración 89 - Cálculo de Autoalineable

Este proceso es básico en todas las pantallas de cálculo de vida nominal de rodamientos.

- **SPHERICAL ROLLER BEARING**

Es un caso muy parecido al anterior, simplemente elegir el modelo, introducir los valores de las fuerzas en Newtons y calcular la vida nominal.

- **DEEP GROOVE BALL BEARING**

En este caso empezaremos como en los anteriores, seleccionando un rodamiento e introduciendo las fuerzas a soportar por el rodamiento.

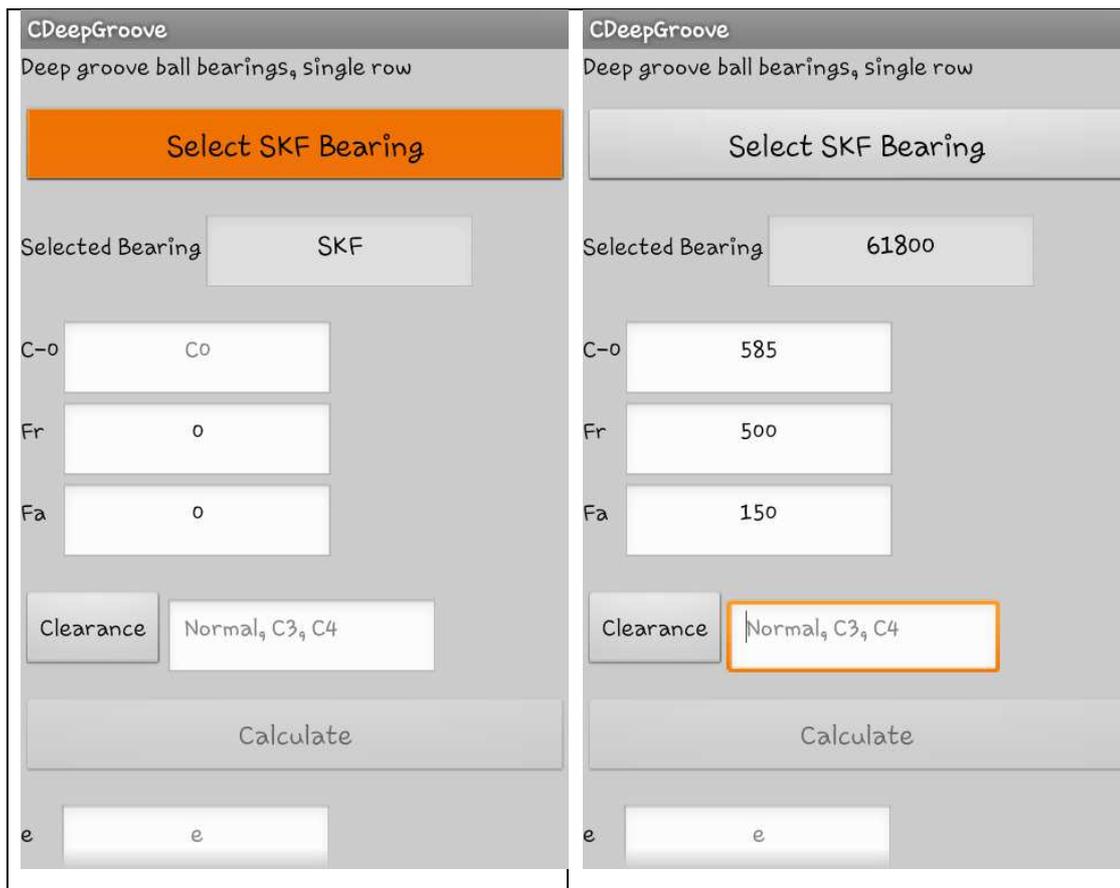


Ilustración 90 - Selección de Rodamiento de bolas

El siguiente paso es seleccionar el juego que va a tener el rodamiento, como norma general se suele seleccionar “Normal”, aunque hay la posibilidad de elegir un mayor ajuste C3 o C4, de esto dependen la mayoría de los factores del rodamiento.

SKF facilita unas tablas de los cuales se pueden interpolar los demás valores:

Fa/c0	Normal			C2			C3		
	e	x	y	e	x	y	e	x	y
0,025	0,22	0,56	2	0,31	0,46	1,76	0,4	0,44	1,42
0,04	0,24	0,56	1,8	0,33	0,46	1,62	0,42	0,44	1,36
0,07	0,27	0,56	1,6	0,36	0,46	1,46	0,44	0,44	1,27
0,13	0,31	0,56	1,4	0,41	0,46	1,3	0,48	0,44	1,16
0,25	0,37	0,56	1,2	0,46	0,46	1,14	0,53	0,44	1,05
0,5	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Ilustración 91 - Datos SKF de Juego en rodamiento de bolas rígido.

En este caso se ha decidido que en BLAFA los valores de “X”, “Y” y “e” se han obtenido usando una línea de tendencia para evitar que el programa tenga más bases de datos y sea más pesado, ya que se deberían meter unos datos para cada rodamiento y cada juego, además de tener que idear una manera de hacer interpolaciones. Se sabe que el impacto causado en el resultado de la vida nominal, varía aproximadamente entre 0 y 0,1% de revoluciones de uso, que resulta un valor poco considerable ya que se hablan de cientos de millones de revoluciones de uso.

Como podemos comprobar en el siguiente ejemplo:

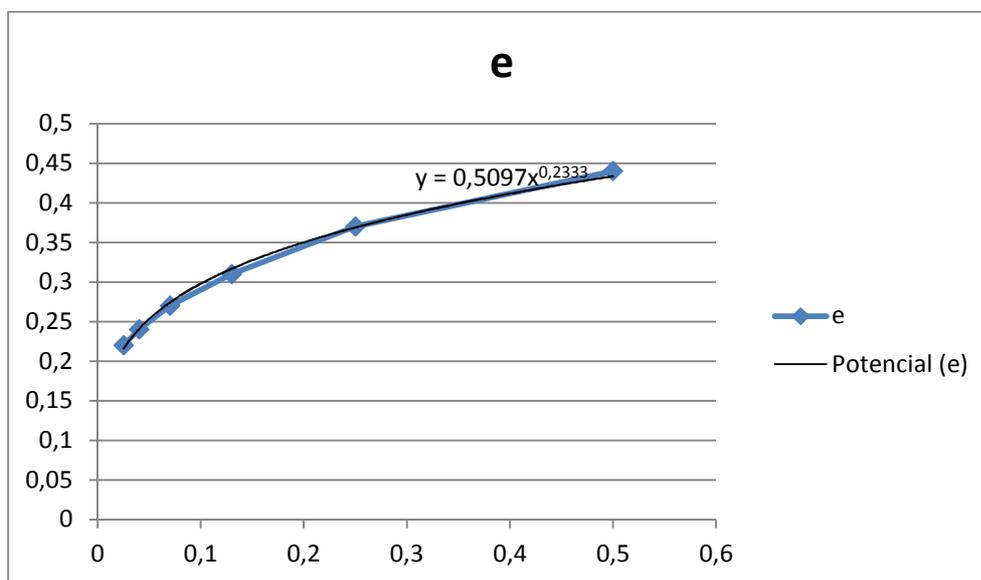


Ilustración 92 - Variación entre valor teórico y Potencial

Entonces una vez seleccionado el Juego del rodamiento e introducido las fuerzas, podemos calcular las cargas dinámicas y la vida nominal.

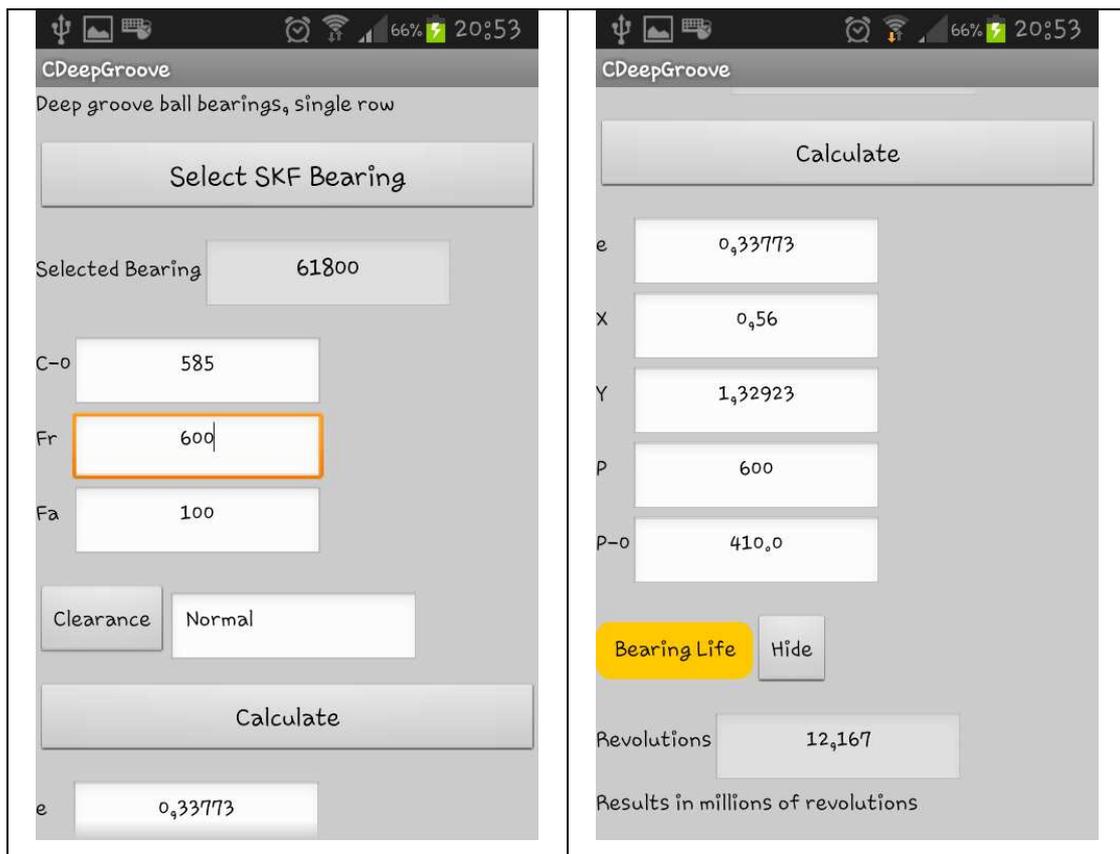


Ilustración 93 - Cálculo de Vida de Rodamiento de bolas

- **ANGULAR CONTACT BALL BEARING**

En este caso, se muestra la teoría que hay que seguir para las distintas variaciones de carga, debido a que se le da más importancia a la carga axial que soporta el rodamiento, entonces tenemos básicamente dos opciones, que la carga radial sea mayor que la axial y viceversa.

Como estos rodamientos se suelen montar por parejas, tenemos la opción de calcular los esfuerzos en la pareja de rodamientos que podría tener un eje.

Una vez que seleccionamos un rodamiento:

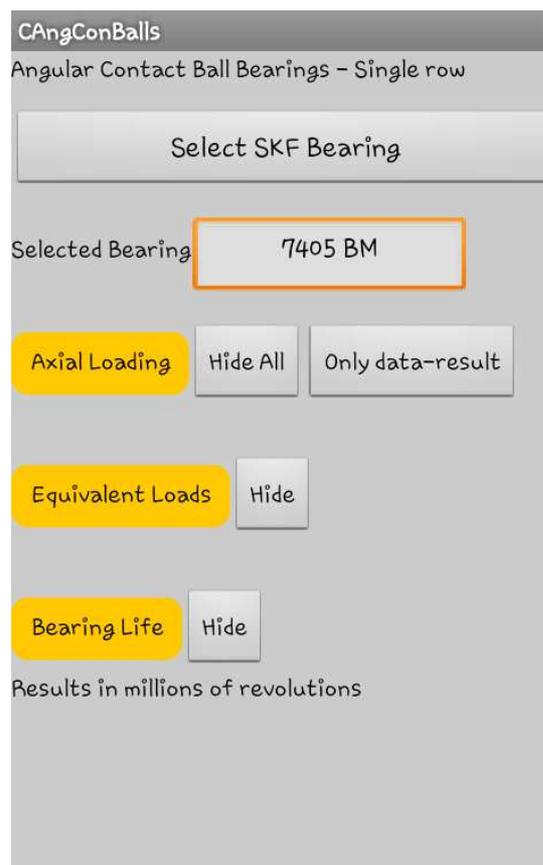


Ilustración 94 - Selección de rodamiento de contacto angular

Introduciendo las cargas que sufre cada rodamiento y siguiendo las imágenes de guía para el cálculo de K_a , puede calcular el esfuerzo axial que sufre cada rodamiento, y con ello podemos calcular la carga dinámica equivalente y vida de rodamiento

Como podemos observar, tenemos la solución para distintas configuraciones como tándem o cara-a-cara o espalda-espalda.

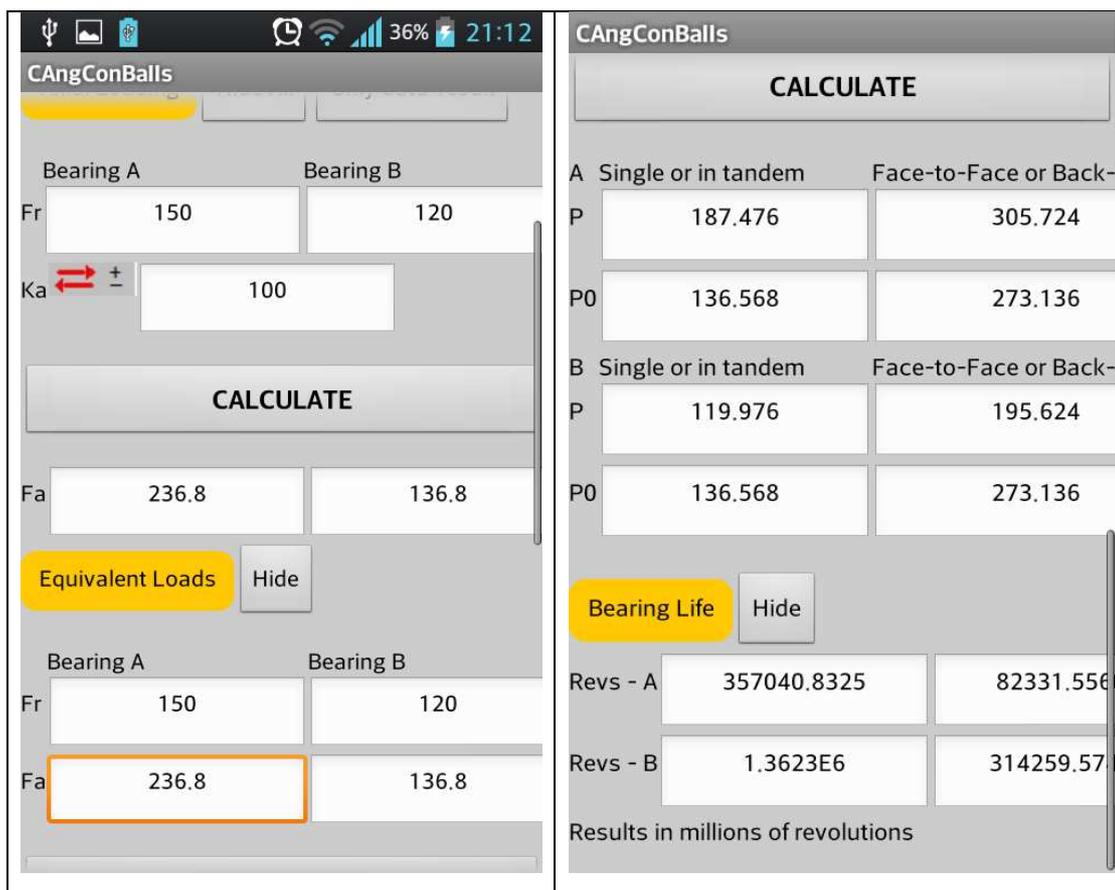


Ilustración 95 - Vida de rodamiento angular

• CÁLCULO DE VIDA AJUSTADA

En esta sección se ha puesto a disposición del usuario una serie de herramientas que dependiendo de los valores de los que disponga puede operar de una manera o de otra. Lo más importante es el uso de las gráficas. Las gráficas están programadas para que solo se pueda dibujar líneas en vertical, para que, a la imprecisión del dedo se pueda ver por donde va la línea que se está dibujando. En el último nivel vertical que se haya tocado, será donde el sistema dibujará la línea horizontal que aproximará el valor necesario. En las secciones se puede elegir la gráfica que es necesaria pulsando los botones de "next" o "previous" para buscar la gráfica que hace falta, por ejemplo si el rodamiento es de rodillos o de bolas; o si disponemos de la viscosidad del aceite o de la temperatura operativa.

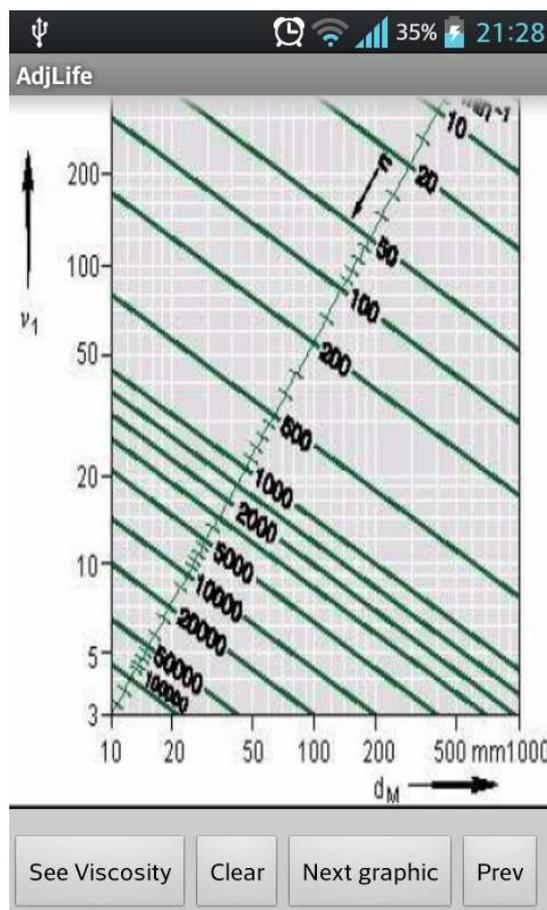


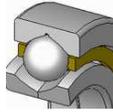
Ilustración 96 - Uso de gráficas

En esta captura se muestran los botones por defecto de las gráficas de BLAFA, el botón de la izquierda dibujará una línea horizontal para aproximar el valor deseado. El botón “clear” limpia la gráfica de líneas, y los dos siguientes sirven para alternar entre gráficas.

VI. CÁLCULO DE CICLO COMBINADO

En la mayoría de casos se dan situaciones en las que hay se dan varios regímenes de giro durante el servicio, en BLAFA también se puede hacer el cálculo de la duración aproximada del rodamiento con este ciclo combinado de una manera muy simple. Solo hay que escoger el número de ciclos o de grupos de

revoluciones distintas a las que trabajará el rodamiento y estimar un porcentaje que hay que introducir siempre como decimales (siendo 1 el valor para 100%)



Al final pulsando en el icono se realiza el cálculo.

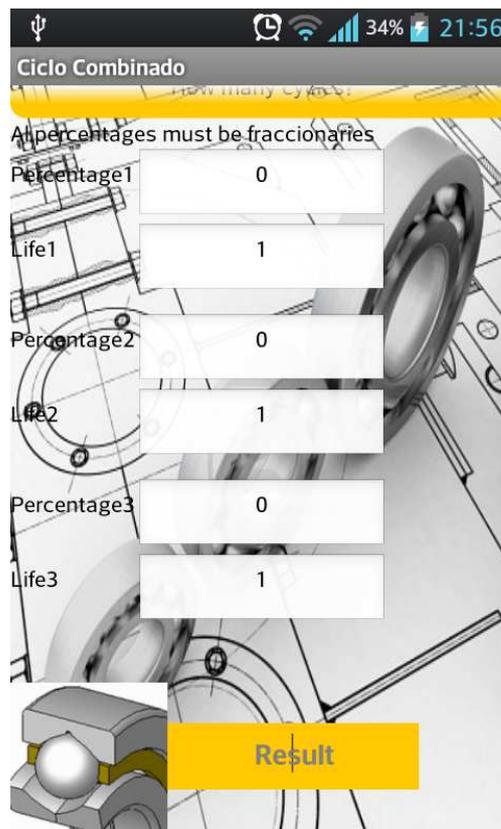


Ilustración 97 - Ciclo combinado

VII. SOBRE BLAFA



Ilustración 98 - Sobre BLAFA



ANEXO II. APLICACIÓN DE PRUEBA: CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA



I. APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA.

He de hacer mención al programa que se creó para llevar a cabo el cálculo de momentos de inercia que sirvió como precedente a BLAFA. Dicho programa recibe el nombre de **INERCIA**.

Esta aplicación ha sido creada para calcular momentos de inercia de cualquier geometría sencilla que se pueda dar, entre ellas están disponibles algunas como varillas con distintas posiciones del eje, cilindros, discos, esferas, etc.

Se debe conseguir una aplicación completamente funcional con un diseño sencillo, que sea fácil de usar y por supuesto que pueda realizar cálculos de momentos de inercia.

Debemos conseguir la aplicación e instalarla en el dispositivo con versión de android 2.2 o mayor

Para acceder a él desde un dispositivo móvil, solo tenemos que meternos en la opción menú y pulsar sobre el icono que nombra dicho aplicación.

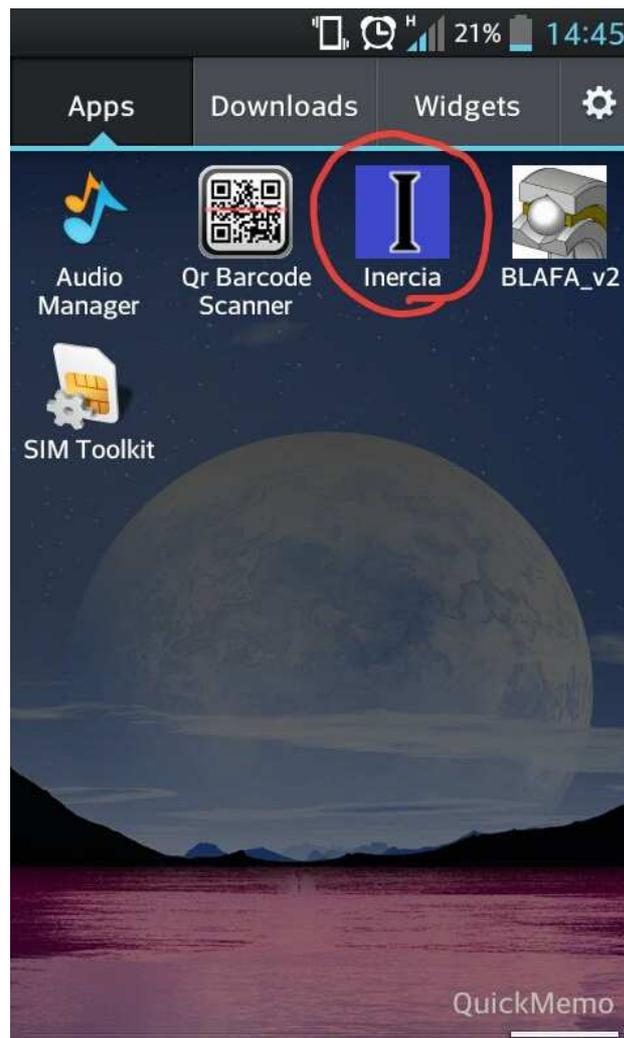


Ilustración 99 - Inercia

A continuación, aparecerá la portada como se muestra en la siguiente diapositiva. Para la portada he elegido el logo de la universidad Carlos III; poniendo en ella dos botones que dan acceso a la introducción teórica y al cálculo de momentos de inercia.

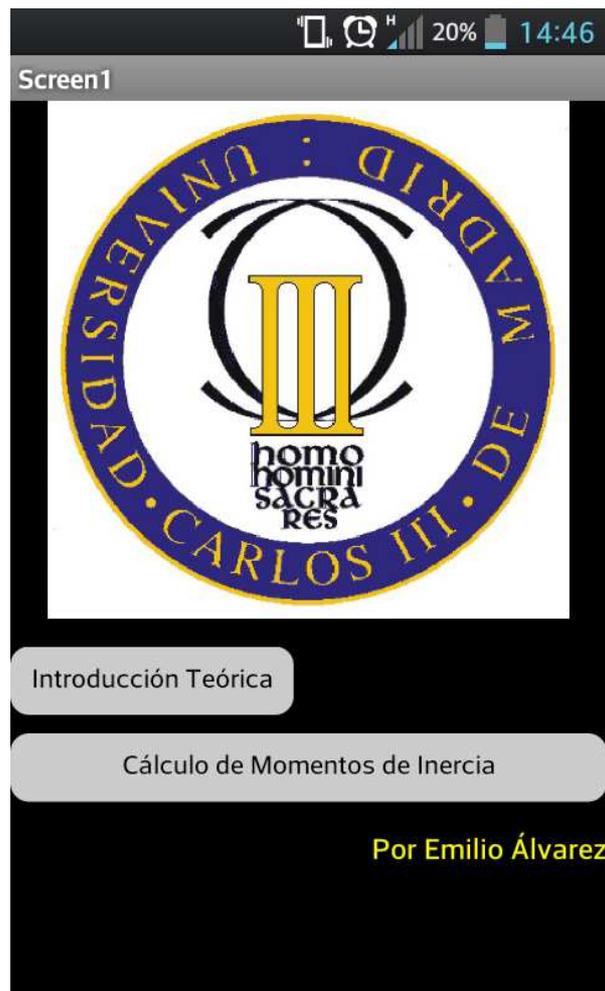


Ilustración 100 - Portada de Inercia

Posteriormente, se selecciona la opción del cálculo de inercia que queremos utilizar pulsando sobre la imagen de la geometría que más se aproxime al caso necesario, por ejemplo:

CalculoInercia

Pulse en la imagen para iniciar el cálculo del momento de inercia

Masas Discretas

$I = \sum m_i r_i^2$

Varilla (Eje central)

$I_c = \int_{-L/2}^{L/2} \frac{M}{L} x^2 dx = \frac{1}{12} ML^2$

Varilla (Eje en extremo)

QuickMemo

Ilustración 101 - Cálculo de Inercia

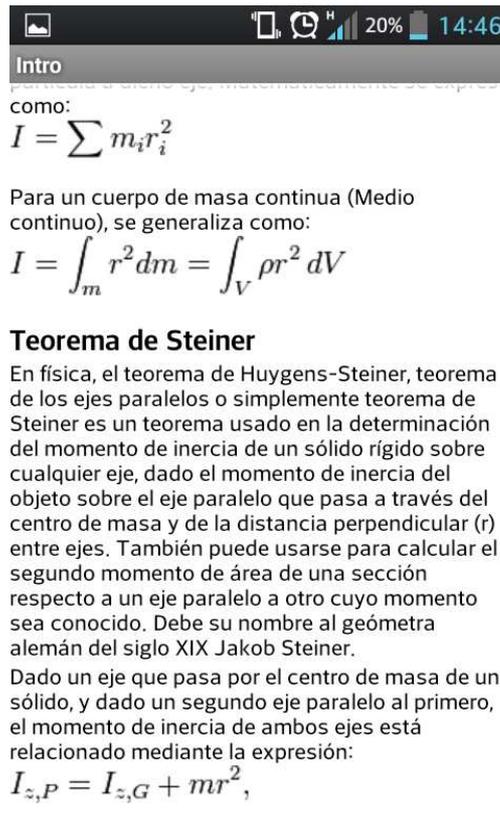
Un vez seleccionado se produce su cálculo; para ello se introduce los datos en kilogramos de la masa de la varilla y en metros la longitud de ésta y se pulsa el

botón “” para llevar a cabo el cálculo.

The screenshot shows a mobile application interface for calculating the moment of inertia of a rod. At the top, the title is "CVarilla2". Below the title, the Steiner theorem formula is displayed: $I = I_c + M\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{3}ML^2$. A diagram shows a horizontal red line representing the rod, with a vertical line through its center labeled "x". The ends of the rod are labeled "-L/2" and "+L/2", and a small segment is labeled "dx". Below the diagram, there are input fields for "Masa de la varilla (kg)" with the value "20" and "Longitud de la varilla (m)" with the value "12". A red hand-drawn scribble is over the "12" and the "Resultado" label. The result is shown as $I = 960$ [kgm²]. At the bottom, there are buttons for "Aplicar Teorema de Steiner" and "QuickMemo".

Ilustración 102 - Calculo de Steiner

A continuación se puede aplicar el teorema de Steiner, el cual se usa en la determinación del momento de inercia de un sólido rígido sobre cualquier eje paralelo que pasa a través del centro de masa.



Intro

como:

$$I = \sum m_i r_i^2$$

Para un cuerpo de masa continua (Medio continuo), se generaliza como:

$$I = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV$$

Teorema de Steiner

En física, el teorema de Huygens-Steiner, teorema de los ejes paralelos o simplemente teorema de Steiner es un teorema usado en la determinación del momento de inercia de un sólido rígido sobre cualquier eje, dado el momento de inercia del objeto sobre el eje paralelo que pasa a través del centro de masa y de la distancia perpendicular (r) entre ejes. También puede usarse para calcular el segundo momento de área de una sección respecto a un eje paralelo a otro cuyo momento sea conocido. Debe su nombre al geómetra alemán del siglo XIX Jakob Steiner.

Dado un eje que pasa por el centro de masa de un sólido, y dado un segundo eje paralelo al primero, el momento de inercia de ambos ejes está relacionado mediante la expresión:

$$I_{z,P} = I_{z,G} + mr^2,$$

Ilustración 103 - Teoría de Inercia

Esta teoría se encuentra dentro del apartado de teoría de la aplicación.

Una vez aplicado el teorema se calcula de nuevo la inercia teniendo en cuenta

la distancia al nuevo eje pulsando sobre el botón .

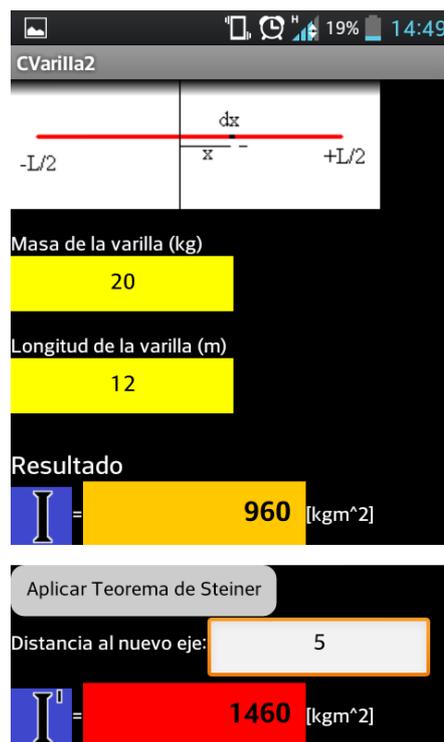


Ilustración 104 - Ejemplo de INERCIA

II. JUEGO DE PRUEBA. CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DE UNA RUEDA

Vamos a proponer un ejercicio de prueba para comprobar que la aplicación calcula perfectamente los momentos de inercia de alguna geometría concreta. Vamos a suponer que queremos calcular el momento de inercia de una rueda de un automóvil.



Ilustración 105 - Rueda de competición

Lo primero que debemos definir es qué elementos acompañan a la rueda en el movimiento, que peso tienen y que dimensiones son las del caso descrito.

En la mayoría de los casos las ruedas de un automóvil se componen de una llanta, un neumático y un elemento que acompaña el giro que puede ser un disco de freno o un sistema de freno de tambor. En este caso vamos a calcular uno con disco de freno.

La llanta escogida es de alto rendimiento con aleación ligera en magnesio de dimension 17" \approx 432 mm con un peso de 8kg, con una rueda de perfil bajo que aumentará el diámetro total hasta los 530 mm.

Aunque sabemos que no es verdad vamos a considerar que masa de la llanta y la rueda están uniformemente repartidas sobre todo su volumen simplificar el cálculo matemático de mano, ya que lo que queremos comprobar es que la aplicación realiza bien los cálculos.

En este caso vamos a montar unos discos de freno de diámetro de 300 mm y 6,75 kg de peso.

Vamos a proceder al cálculo a mano y después comprobaremos con la aplicación los resultados.

Considerando la llanta como un cilindro macizo I_c :

$$I_c = \frac{MR^2}{2} = \frac{8 \cdot 0.265^2}{2} = 0.2809 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

CCilindro1

$$I_C = \int x^2 dm = \int_0^R \frac{2M}{R^2} x^3 dx = \frac{1}{2} MR^2$$

Masa del cilindro (kg)
8

Radio del cilindro (m)
0.265

Resultado
I = **0.2809** [Kgm²]

Ilustración 106 - Cálculo de inercia de cilindro

Ahora calcularemos el momento de inercia del disco de freno que acompaña a la rueda I_d :

$$I_d = \frac{MR^2}{2} = \frac{6.75 \cdot 0.15^2}{2} = 0.0759 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

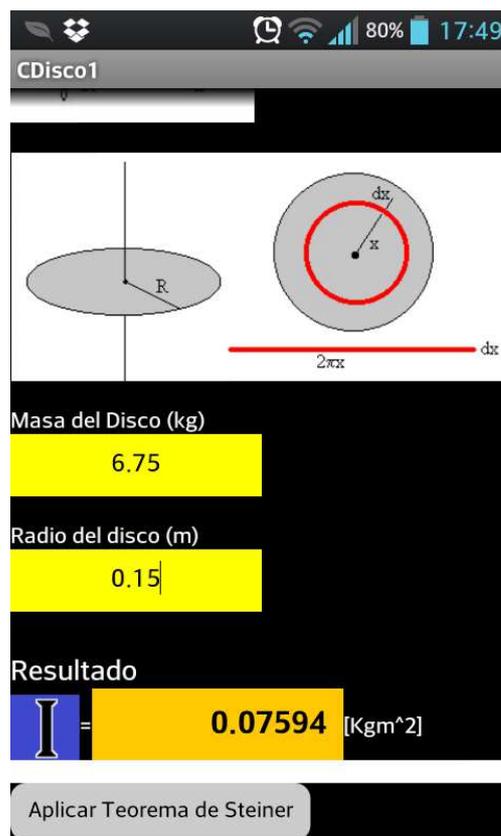


Ilustración 107 - Calculo de inercia de disco

Podemos verificar que la aplicación es correcta realizando los cálculos.

Para realizar otro cálculo vamos a proponer una esfera hueca de 15 kg de peso y 2m de radio que gira sobre un eje desplazado 0.3 m que no pasa por el centro de la misma.

Calcularemos el momento de inercia de la esfera (I_e) y aplicaremos el teorema de Steiner.

$$I_c = \frac{2MR^2}{3} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 2^2}{3} = 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

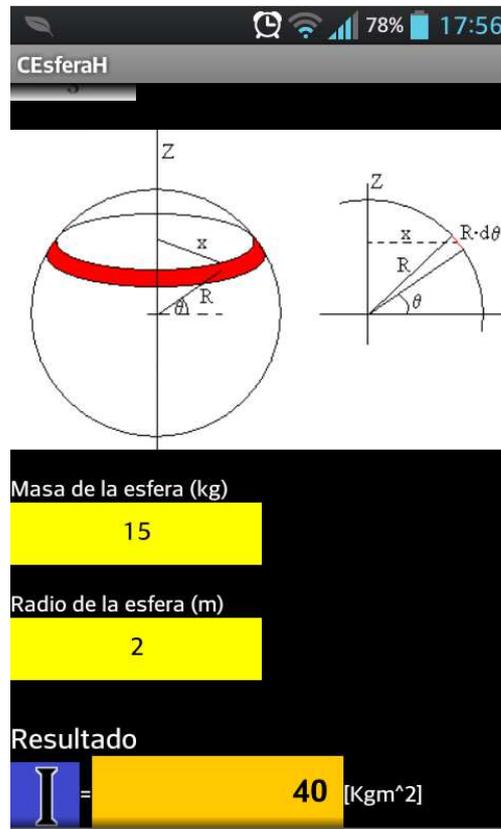


Ilustración 108 - Cálculo de inercia de esfera

Aplicamos el teorema de Steiner:

$$I'_e = I_e + mr^2 = 40 + 15 \cdot 0.3^2 = 41.35 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Ilustración 109 - Cálculo de inercia de esfera con Steiner

Como hemos comprobado que la aplicación resuelve los cálculos matemáticos perfectamente podemos dar por concluida, y sirviendo de base para empezar la nueva aplicación BLAFA.