



**Universidad Nacional Autónoma de México**

---

---

Facultad de ingeniería

# **“Diseño y construcción de un banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos monofásicos”**

## **Tesina**

Que para optar por el grado de:

**Ingeniero Mecatrónico**

Presenta:

**Rodríguez Andrade Jonathan**

Director de tesis:

**Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich**

**2014**

## Dedicatoria

Esta tesis esta dedica a:

Mis padres

Mis Hermanos

Mis Amigos

Mis profesores

Al Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Al Mtro. Rigel Gámez Leal

A la Dra. María del Pilar Corona Lira

Al Dr. Marcelo López Parra

Al Dr. Vicente Borja Ramírez

A Claudia Gaspar Pérez

Agradezco el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), del Centro de Diseño Mecánico e

Innovación Tecnológica (CDMIT) y de MABE para la realización del presente trabajo de tesis.

Por mi raza hablara mi espíritu

# Diseño y construcción de un banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos monofásicos

## Índice

Índice .....	ii
Resumen.....	iv
1 Introducción .....	1
1.1 Antecedentes de proyectos del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica .....	3
1.2 Equipo.....	4
1.3 Cliente .....	5
1.4 Antecedentes del proyecto .....	5
2 Objetivo .....	10
3 Metodología .....	12
4 Análisis del reto .....	15
4.1 Antecedentes de bancos de pruebas.....	15
4.2 Tecnologías.....	17
4.3 Clasificación.....	20
4.3.1 Equipo para laboratorio académico .....	20
4.3.2 Equipo para laboratorio industrial .....	32
4.3.3 Banco de pruebas para motores de corriente directa (CD) .....	37
4.3.4 Banco de pruebas para motores de corriente alterna (AC) .....	37
4.4 Motor Eléctrico Asíncrono .....	39
4.5 Productos .....	45
4.6 Conclusiones de la investigación del producto .....	48
4.7 Análisis de operación industrial .....	49
4.8 Resultado del análisis industrial .....	50

4.9 Conclusiones del análisis industrial.....	50
4.10 Lluvia de ideas .....	51
4.11 Selección de ideas .....	51
4.12 Realimentación con la empresa colaboradora.....	59
4.13 Requerimientos.....	60
5 Desarrollo del banco de pruebas .....	62
5.1 Trabajo colaborativo .....	62
5.2 Tareas de diseño mecánico .....	62
5.3 Análisis de las líneas de diseño mecánico .....	62
5.4 Configuración de cargas .....	69
5.5 Análisis de esfuerzos .....	72
5.6 Prototipo de función crítica (PFC) .....	74
5.7 Diseño final.....	75
6 Construcción.....	90
6.1 Presentación.....	96
7 Resultados .....	98
Conclusiones .....	100
Bibliografía y referencias web .....	I
Anexos .....	A

## Resumen

El presente trabajo de tesis contiene el desarrollo y método de construcción de un banco de pruebas para motores eléctricos de arranque por capacitor que cuenta con sistema de rotación transversal y tres grados de libertad para calibración. El procedimiento mediante el cual se realizó se encuentra descrito a continuación.

Inicialmente se trabajó en conjunto con el cliente para identificar los requerimientos necesarios para que su producto funcione adecuadamente, así como los detalles inherentes dentro de este proceso. De dichos requerimientos el más importante a considerar es la posibilidad de trabajar con diferentes tipos de motores eléctricos como motores de arranque por capacitor y motores trifásicos. Se presenta la hoja de especificaciones del banco de pruebas y la propuesta de diseño. También se presentan los resultados del trabajo de investigación, el cual consiste en la búsqueda de información del tema, el análisis de la misma y su posterior síntesis. Dentro de este material se encuentran apartados de información comercial y patentes de características relevantes en el campo de acción del producto a diseñar. Posteriormente se documenta el proceso mediante el cual se seleccionó el diseño a desarrollar, los procesos de manufactura a considerar para su construcción, los criterios de evaluación de diseño con su respectiva jerarquización y por último la elección final.

En segunda instancia se establecen las especificaciones de diseño, con lo cual es posible presentar los diferentes conceptos solución con sus respectivas características, exponiendo sus fortalezas y debilidades. En cada propuesta se mostraran los detalles que sean significativos, entre ellos están el modelado 3D, diagramas de funcionamiento y los materiales.

En tercera instancia se exponen los resultados obtenidos al aplicar los criterios de selección para la evaluación del paso anterior. Se procede con el dimensionamiento del banco de pruebas con las condiciones establecidas previamente, las características de calibración y alineación, las características de las señales de entrada a los dispositivos de adquisición y las configuraciones del sistema mecánico (posiciones de las cargas mecánicas dentro del sistema). Posteriormente se describen los diferentes elementos que componen el banco de pruebas con su descripción general y detallada así como la propuesta final con todos los elementos integrados.

En cuarta instancia se expondrán los materiales y elementos empleados en la producción del banco de pruebas, los instrumentos de calibración, adquisición de datos, actuadores y sensores así como las características de funcionamiento al integrarlos en el banco de pruebas.

En quinta instancia se desarrollaron diversos protocolos de experimentación con fines de obtener gradualmente mejores resultados, estableciendo criterios de validación mediante herramientas de ingeniería de calidad propuestos por la empresa colaboradora.

Finalmente el resultado obtenido en este proyecto es un banco de pruebas modular, ergonómico y seguro. Se logró reducir el ruido por vibración y se consiguió la operación de motores eléctricos en posición horizontal y vertical.

# Introducción



# 1 Introducción

Desde hace miles de años el hombre ha intentado explicar los sucesos que acontecen a su alrededor, por lo que articuló ideas que posteriormente solidificó hasta convertirlas en hipótesis, después las comprobó mediante experimentación, una vez comprobadas se convirtieron en leyes, las leyes físicas que describen el comportamiento de la naturaleza. Tal inquietud humana no ha cambiado, por el contrario, ha crecido, se ha refinado y ha evolucionado para dar origen a nuevos retos que confrontar, como en la capacidad de operación continua de los sistemas de evaluación (en esencia máquinas de experimentación) de una fábrica de producción masiva, buscando lograr con esto controlar la calidad de los productos fabricados, fundamental para el funcionamiento óptimo de los procesos de producción industriales que exigen precisión, calidad y velocidad.

La competencia industrial a nivel mundial exige eficiencia energética, por el aumento en los costos de producción de energía, las iniciativas mundiales de protección de recursos naturales, así como restricciones de comercialización a productos sin normalización, motiva a grupos desarrolladores de tecnología a investigar las características de operación de los productos en el mercado para garantizar su calidad.

Se estima que cerca del 80% de la energía eléctrica producida a nivel mundial es consumida a través de los motores eléctricos distribuidos en los diferentes electrodomésticos y máquinas industriales que los contienen internamente.

Actualmente es prácticamente imposible encontrar un hogar sin algún sistema de refrigeración, dentro de los cuales es imposible encontrar uno sin motor eléctrico. De entre los diferentes tipos de motores eléctricos se decidió emplear inicialmente el motor de inducción, porque se puede alimentar con corriente alterna monofásica (principal forma de suministro de energía eléctrica a nivel mundial) y es fácil de manufacturar. Sin embargo con el desarrollo de nuevas tecnologías los motores trifásicos lograron alcanzar niveles de eficiencia superiores, adquiriendo una importante ventaja en sus niveles de producción. Provocando que la inversión de las empresas involucradas sea destinada casi exclusivamente al desarrollo de este tipo de tecnologías, porque son las que han dado mejores resultados, dando lugar a una transición tecnológica, que consiste en desplazar al motor de inducción monofásico por el motor trifásico con control electrónico.

Los motores trifásicos cuentan con sistemas de control electrónico, su principal ventaja es la capacidad de hacer trabajar a diferentes velocidades al motor eléctrico. Este tipo de motores pueden cambiar su velocidad dependiendo de las demandas de carga por parte del sistema, por este motivo su eficiencia es mayor que la de un motor de inducción monofásico.

El control electrónico de los motores trifásicos se encuentra en constante evolución su objetivo es obtener la mayor eficiencia energética posible. Por lo tanto en ingeniería electrónica se han presentado los principales avances, específicamente en el área de control.

Por otra parte, en ingeniería mecánica se ha experimentado con diferentes tipos de mecanismos y distribuciones de contrapesos obteniendo ligeros incrementos en la eficiencia del motor.

Es importante mencionar que aún existe una gran cantidad de dispositivos que cuentan con motores de inducción monofásicos, por esta razón es necesario para las empresas encontrar una forma rentable de hacerlos más eficientes, permitiendo con ello preservar la infraestructura construida por los fabricantes de este tipo de motores eléctricos.

Las características de comportamiento del motor eléctrico se encuentran ampliamente descritas en la literatura, sin embargo cuando se acoplan al motor eléctrico diferentes elementos mecánicos (contrapesos y mecanismos) sus características cambian y se vuelve necesario estudiar estos cambios. El objetivo fundamental de este proyecto es conocer cómo afectan los cambios en el diseño del motor eléctrico sus prestaciones finales, para posteriormente poder manipularlas y modelarlas a voluntad.

En las próximas páginas se describirán a detalle las características del motor monofásico de arranque por capacitor. Detalles como los efectos del calentamiento de las bobinas de arranque y operación, el efecto de las variaciones de voltaje y fase en la línea de alimentación, y los efectos de la desalineación del rotor.

Es importante tener presente el comportamiento del refrigerante y el calentamiento en los elementos mecánicos, ya que es posible reducir el error en las pruebas de validación mediante la incorporación de estos parámetros.

Los refrigerantes empleados durante las décadas pasadas contaban con problemas graves de contaminación y toxicidad, el daño al medio ambiente fue evaluado con el tiempo, posteriormente se decidió dejar de emplearlos, se prohibió su uso, actualmente se trabaja con nuevos tipos de refrigerantes seguros pero menos eficientes, con lo cual el gasto energético del motor eléctrico aumentó, por este motivo, se volvió importante optimizar cada uno de sus elementos, ya que aumentar la eficiencia del motor eléctrico hasta en un uno por ciento representa ahorros millonarios.

En las diferentes compañías de producción tecnológica e instituciones educativas se trabaja en la refrigeración del futuro, como consecuencia de los problemas atmosféricos actuales, destacando el cambio climático acelerado, la reducción de la capa de ozono, el efecto invernadero, las sequías y las inundaciones, todos ellos conduciendo a una compleja red de efectos negativos. Tratándose por lo tanto de un reto que exige soluciones integrales, donde se consideré a los usuarios, los productos, el medio ambiente y la sociedad. Para lograr confrontar adecuadamente un reto de tal magnitud, se necesitan equipos de trabajo multidisciplinarios con expertos en cada una de las áreas involucradas, que al colaborar juntos sean capaces de proporcionar una solución global satisfactoria. La presente tesis es parte de los resultados del trabajo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) en este campo de investigación.

Desde el punto de vista mecánico el propósito fundamental del banco de pruebas en esta etapa es validar las prestaciones de operación de los motores eléctricos. Se procederá por lo tanto a mostrar las principales especificaciones de diseño del banco de pruebas, dichas especificaciones estarán apoyadas por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), en este caso se empleará la NOM 014 ENER 2004 con título “Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.0180 [kW] a 1,500[kW]. Límites, método de prueba y marcado”, esta norma proporcionará las bases de estandarización del tipo de pruebas que se realizarán en este proyecto.

El diseño estructural del banco de pruebas para motores eléctricos monofásicos de arranque por capacitor garantizará que las normas para estandarización de pruebas de validación de motores eléctricos sean cumplidas.

## 1.1 Antecedentes de proyectos del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con su Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) se ha encargado de vincular a sus estudiantes con la industria privada, mediante el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica en los cuales se les ha permitido participar de manera directa en la solución de diversos retos ante los cuales se enfrentan las empresas participantes en sus diferentes áreas de trabajo.

Los diferentes participantes en los proyectos apoyan a los alumnos con su experiencia en campo por la parte técnica y con financiamiento por la parte administrativa, de esta combinación se han generado una amplia gama de programas, con características muy particulares; dentro de los cuales destacan las participaciones globales, en las cuales se colabora con instituciones en el extranjero, y que son de suma importancia estratégica para garantizar la consolidación de la relación UNAM-Empresa con los proyectos de innovación tecnológica y los de investigación de tecnologías. En el caso particular del presente trabajo académico nos compete el caso del proyecto de innovación tecnológica, que contiene como principal premisa ofrecer a la empresa colaboradora un producto final con las características especificadas por el cliente.

Los proyectos a destacar resultado de esta vinculación son los siguientes:

El refrigerador solar del futuro, se trata de un refrigerador de avanzada que tiene la posibilidad de trabajar con energía limpia, mediante el empleo de energía solar para su alimentación, gracias al sistema de refrigeración diseñado por el equipo formado por alumnos del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) y en este caso particular la colaboración especial del Centro de Investigación de Diseño Industrial (CIDI).

El proyecto estufa del futuro que contiene un nuevo paradigma para el empleo de los combustibles fósiles logrando incrementar los niveles de eficiencia e impacto ambiental del producto.

Identificación de detonadores de compra en refrigeradores proyecto esencialmente de mercadotecnia donde participaron compañeros de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM es un ejemplo claro de las nuevas características del diseño de productos a nivel global, dando origen a equipos multidisciplinarios, para poder dar solución a todas las necesidades que debe satisfacer un producto dirigido al usuario.

Proyecto desarrollo y optimización de sistemas de refrigeración domestica operados por celdas solares, se trató de un proyecto principalmente de ingeniería mecánica en el cual se considera como especificación primaria de diseño el uso de celdas solares. Cuando se presentan proyectos de éstas características donde el sistema esta previamente condicionado, los conocimientos necesarios por parte de los integrantes del equipo son también más específicos, por tal motivo el equipo contó con ingenieros mecánicos y mecatrónicos. El proyecto finalmente evidenció los puntos fuertes y débiles del sistema de refrigeración alimentado por celdas solares, mostrando que su principal debilidad es la imposibilidad de proveer de energía en condiciones climáticas desfavorables (días nublados) y su principal fortaleza es la total sustitución de energía eléctrica por energía solar.

Finalmente las relaciones estratégicas solidificadas mediante los resultados obtenidos en los proyectos realizados con las empresas colaboradoras, han permitido crear una conexión entre la UNAM y la iniciativa privada, misma que estableció las bases necesarias para posibilitar la elaboración de este proyecto.

El proyecto que compete al presente trabajo, es el diseño de un banco de pruebas para motores eléctricos, considerando las diferentes características que se pueden encontrar en la gama de motores manejados por la empresa colaboradora, dentro de los que destacan los de inducción, ya sea de arranque por capacitor o de arranque por control electrónico.

## 1.2 Equipo

El equipo estuvo conformado para esta etapa por dos estudiantes de ingeniería mecatrónica con diferentes líneas de formación, por la parte de electrónica y control se contó con la participación de Mayte Hernández García y por la parte de ingeniería mecánica y manufactura el sustentante del presente trabajo de tesis Jonathan Rodríguez Andrade.

### 1.3 Cliente

El cliente es una empresa productora de electrodomésticos, sus principales productos son refrigeradores, lavadoras, microondas y licuadoras. El interés de nuestro cliente por mantenerse a la vanguardia motivó la creación de un vínculo con la UNAM y el CDMIT para juntos desarrollar nuevas tecnologías.

### 1.4 Antecedentes del proyecto

El banco de pruebas para motores eléctricos ha cambiado a partir del momento de su concepción, tratándose por consiguiente de un proceso de diseño iterativo, donde a partir de la observación se fue perfeccionando paso a paso el producto. De este proceso se desprenden las siguientes etapas del proyecto.

Inicialmente se plateó resolver los efectos negativos de la inercia en el sistema mecánico, la solución convergió al diseño del dispositivo llamado “banco de pruebas para motores monofásicos de baja inercia” debido a la incorporación de un freno de disco, con el cual se reduce al mínimo la inercia de frenado, mismo que le permitió realizar operaciones de frenado con una menor cantidad de perturbaciones, sin embargo contó con el inconveniente de carecer de un adecuado control, pues se limitaba a frenar en cinco pasos, insuficientes para generar las gráficas de caracterización.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Fig. 1 Banco de pruebas para motores eléctricos con freno de baja inercia.

Posteriormente se creó el banco de pruebas para motores eléctricos con freno magnético, con el cual es posible controlar con precisión la carga de trabajo. Los resultados en este sentido fueron totalmente satisfactorios, ya que el control del freno magnético represento un gran progreso en el proyecto, que permitió generar las mejores curvas de caracterización obtenidas hasta el momento. Otro factor relevante para conseguir estos resultados fue la incorporación del sensor de torque bidireccional NSTE®, este sensor funciona bajo principios magnéticos, por lo tanto es afectado significativamente por los campos magnéticos generados por el motor y el freno magnético, para resolver éste problema se diseñaron flechas de Nylamid aislantes.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Fig. 2 Banco de pruebas para motores eléctricos con freno magnético

Por último el proceso de diseño nos llevó al análisis del mecanismo de compresión, para su estudio se propuso un sistema totalmente diferente, donde el movimiento es generado por un motor auxiliar, de esta forma es posible analizar los esfuerzos a los que es sometido el motor de forma inversa desde el exterior hasta el interior. El compresor recibe una presión de 50 [psi] a través de un sistema de alimentación de aire presurizado simulando el fluido a comprimir en su operación regular. En la flecha del sistema mecánico se verán enfrentadas las fuerzas originadas por el motor auxiliar y el sistema de alimentación de aire presurizado, permitiendo al sensor de par NSTE® y al sensor de presión obtener la magnitud de esta fuerza. Los datos adquiridos mediante este experimento permitieron conocer la fuerza generada durante cada etapa del ciclo de compresión.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: [areivich@unam.mx](mailto:areivich@unam.mx)

Fig. 3 Banco de pruebas para motores eléctricos de contra variables



# Objetivo

## 2 Objetivo

### Objetivo general

El objetivo del proyecto es diseñar y construir un banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos que cumpla los lineamientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-014-ENER-2004) titulada “Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla” que contiene indicaciones para estandarización de pruebas de eficiencia.

### Objetivos específicos

Generar las curvas características del motor eléctrico.

Reducir el ruido por vibración presente en el sistema.

# Metodología

### 3 Metodología

Inicialmente se dividió el proyecto en dos áreas de trabajo, la primera de control y electrónica, la segunda de mecánica y manufactura.

Los siguientes elementos de diseño forman parte de la metodología empleada para la realización de este trabajo.

Observación

Investigación

Experimentación

Definición

Iteración

Construcción

Comprobación

La aplicación de los elementos de diseño en esta metodología depende de las necesidades del diseñador, él será quien determine cómo y cuándo emplearlos. Por lo tanto se trata de una metodología flexible y dinámica.

El proyecto estuvo compuesto por cinco etapas de diseño que se desarrollaron en el orden mostrado a continuación:

Primera etapa

Observación e Investigación: el trabajo previo durante el servicio social permitió tener una observación del producto, que se complementó con un proceso de investigación, para generar finalmente nuevas soluciones que dan solución a los problemas encontrados en los bancos de pruebas predecesores.

Segunda etapa

Experimentación: se realizaron pruebas de materiales, de cargas y dimensiones, empleando los perfiles de aluminio, el motor, el freno magnético y los herramientas con los que se contaba en el CDMIT, estableciendo las características principales sobre las cuales después se realizaría el modelado 3D banco de pruebas.

Tercera etapa

Definición: se seleccionó una solución y se presentó a los clientes, quienes compartieron sus opiniones e inquietudes al respecto, con su colaboración se afinaron los últimos ajustes al diseño.

#### Tercera etapa

Construcción: se fabricó el producto según las especificaciones definidas en los pasos anteriores, mediante diversas técnicas de manufactura, esta etapa también consistió en el ensamble de las piezas, su ajuste y por último su calibración.

#### Cuarta etapa

Comprobación: se verificó la calidad del producto, mediante la realización de pruebas.

#### Quinta etapa

Iteración: mediante el diseño a detalle se dejó a punto el banco de pruebas y finalmente se presentó al cliente.

# Análisis del reto

## 4 Análisis del reto

Inicialmente se realizó una investigación histórica en la cual se busca conocer los principios de diseño que han solucionado el problema en diferentes momentos de la historia. Se busca corregir los posibles errores con los que cuenten estos diseños o simplemente superar las limitaciones tecnológicas que se tenían en el pasado.

Se inició con una investigación de mercado para encontrar los productos que dan solución parcial o total al proyecto analizando principalmente su precio, los componentes que contiene, número de piezas, complejidad de manufactura, diseño, interfaz de usuario, adquisición de datos, estructura mecánica, herramientas de sujeción y acoplamientos. Con la información obtenida se evitara avanzar por líneas de diseño desfavorables.

Finalmente con los resultados obtenidos del análisis de la información, se descartaron varias alternativas y se generaron las primeras posibilidades de solución al problema, se creó el panorama general del proyecto. Después se evaluaron dos factores fundamentales, el cliente y el mercado. Finalmente se simularon las diferentes situaciones de operación del producto, para resolver cada una de las posibles eventualidades a las que se enfrentará.

El equipo se enfocó en los aspectos desatendidos del producto, para ofrecer un producto nuevo e innovador.

### 4.1 Antecedentes de bancos de pruebas

Los antecedente más remotos de los bancos de pruebas para motores eléctricos son los experimentos que dieron origen a la teoría electromagnética, los científicos que dieron cabida a los dispositivos que hoy conocemos como maquinas eléctricas tuvieron su nacimiento en los laboratorios primitivos de las centurias pasadas, de la mano de Michael Faraday quién construyó las bases fundamentales para su posterior construcción por Siemens y Maxwell. El motor eléctrico es la culminación del trabajo colectivo de científicos e ingenieros, su optimización ha sido relegada a las actuales generaciones, quienes necesitaran comprender los factores que le dieron origen para encontrar las claves que permitan lograr tan importante objetivo.

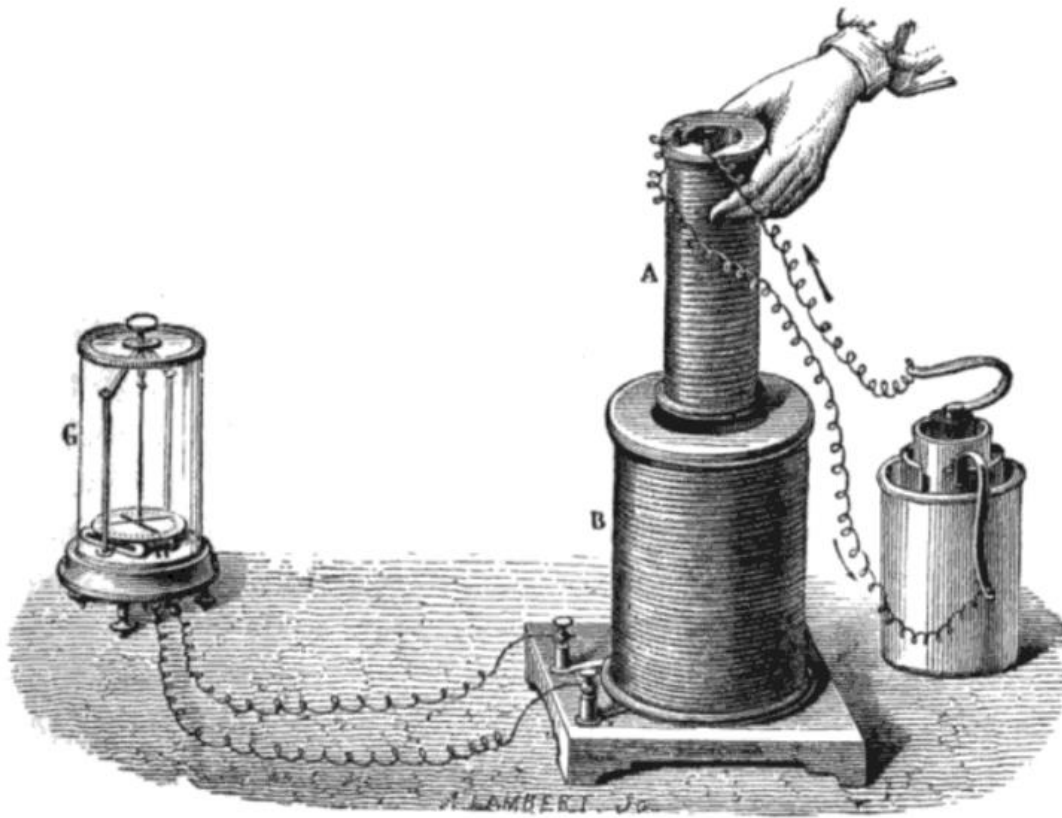


Figura 4 Experimento de Faraday

El experimento de Faraday demuestra la interacción entre el campo eléctrico y magnético. Se emplean una batería, una espira pequeña A, una espira grande B y como indicador de voltaje un galvanómetro. En el experimento se induce un campo eléctrico en la espira grande por medio del campo magnético generado por el circuito formado por la espira pequeña y la batería. La diferencia de potencial se presenta cuando la espira pequeña se desplaza dentro de la espira grande, si se encontrará estática no existiría tal diferencia de potencial. A partir de este descubrimiento fue posible crear motores eléctricos.

Actualmente es prácticamente imposible encontrar un hogar sin electrodoméstico, desde una licuadora hasta un refrigerador, el motor eléctrico está presente en todos y cada uno de estos dispositivos, se estima que cerca del 80% de la energía eléctrica producida a nivel mundial es consumida a través de los motores eléctricos.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos con prestaciones de operación particulares que determinan su aplicación, por ejemplo en dispositivos electrónicos como las computadoras se cuenta con motores brushless (sin escobillas) para accionar los ventiladores del sistema de enfriamiento, en las maquinas industriales se emplean motores trifásico y en los electrodomésticos generalmente se encuentran los motores de inducción monofásicos.



Las características de los motores eléctricos se encuentran ampliamente descritas en los libros de texto especializados, sin embargo cuando se trata del motor eléctrico ensamblado a un mecanismo de compresión el panorama cambia totalmente, enfrentándose a la necesidad de crear equipo especializado para lograr su caracterización, el banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos monofásicos.

El motor eléctrico se caracteriza obteniendo los diferentes valores que describen su comportamiento, cada uno de estos valores es una variable a medir, se pueden clasificar en tres tipos de variables, eléctricas, mecánicas y térmicas.

Las variables eléctricas son el voltaje de alimentación, la intensidad de corriente y la resistencia.

Las variables mecánicas son el par y la velocidad.

Las variables termodinámicas son las temperaturas en las bobinas primaria y secundaria

Al realizar los cálculos adecuados con las variables del sistema es posible crear las curvas de caracterización del motor eléctrico. Para lograrlo se cuenta con instrumentos de medición llamados sensores, los cuales contienen sofisticados componentes electrónicos que les confieren una gran precisión y velocidad de muestreo. También existen actuadores que permiten controlar alguna de las variables del sistema, para poder generar las gráficas de caracterización en función de ella.

Con las gráficas de caracterización es posible conocer la eficiencia energética del motor y determinar si se está aprovechando al máximo la energía consumida. La eficiencia es el valor que representa que tan bien se emplea la energía.

Los problemas ambientales actuales se deben en gran medida al uso ineficiente de la energía, como el motor eléctrico es uno de los principales consumidores de energía, las empresas e instituciones educativas invierten recursos económicos y humanos en su optimización, creando proyectos como el que presento a continuación.

## 4.2 Tecnologías

Las tecnologías empleadas en los bancos de pruebas para motores eléctricos han evolucionado de la mano de los equipos de cómputo actuales, cuentan con la capacidad de realizar procesos a elevadas velocidades por su alta frecuencia de operación, pueden realizar procesamientos simultáneos en sus múltiples núcleos, y con la capacidad de almacenamiento masivo se puede trabajar con una gran cantidad de información.

Los sistemas de adquisición de datos (DAQ) permiten medir, sincronizar y registrar los valores obtenidos a través de sus canales de entrada. El número de muestras por segundo que son capaces de adquirir los sistemas actuales es de hasta 2.0 Ms/s/canal (dos millones de muestras por segundo por canal), fundamental para brindar mayor precisión y mejor rendimiento.

Los sensores han diversificado las variables disponibles a medir y reducido su tamaño e invasión dentro del sistema en donde son empleados.

Existen actuadores que proporcionan la posibilidad de controlar alguna de las variables del sistema para realizar graficas de caracterización función ella. Son actuadores los frenos mecánicos con los que se proporciona carga al motor, motivo por el cual es importante mencionarlos.



Figura 5 Sistemas de adquisición National Instruments® pci express

En la adquisición de señales resulta necesario tener altas frecuencias de operación y varios canales de muestreo independientes, puesto que en cada una de las señales se requiere la mejor calidad posible.



Figura 6 Unidad de almacenamiento alta velocidad de transferencia de datos de estado solido

El almacenamiento en tiempo real exige que la tasa de transferencia de datos sea muy elevada para seguir la velocidad de muestreo sin perder información.



Figura 7 Workstation Dell®

Procesamiento gráfico de alto rendimiento, sistemas especializados de enfriamiento y procesamiento a altas frecuencias. Es posible obtener todas ellas mediante su integración en las Workstations actuales.

Finalmente se trata de un sistema integral donde cada elemento realiza una función, el desempeño de sus funciones está estrechamente relacionado con la congruencia entre las capacidades de sus elementos.



Figura 8 Workstation Dell®

El cómputo de gama alta se caracteriza por su excelente desempeño en procesamiento con la incorporación de procesadores de multitarea y altas frecuencias de operación, son capaces de dar solución a las aplicaciones más exigentes.

### 4.3 Clasificación

La clasificación de los diferentes tipos de dispositivos para prueba de actuadores eléctricos propuesta en este trabajo obedece inicialmente el criterio del tipo de usuario, del cual se obtienen dos segmentos, equipo para laboratorio académico y equipo para laboratorio industrial.

#### 4.3.1 Equipo para laboratorio académico

Los equipos para laboratorio académico cuentan con especificaciones particulares como la enseñanza de fundamentos teóricos de máquinas eléctricas, para cumplir estas especificaciones son importantes las interfaces de usuario y diagramas de operación e instrucciones intuitivas, su principal característica es la simplificación de operaciones para evidenciar con claridad los tópicos estudiados en la teoría electromagnética de motores eléctricos.



Figura 9 Temperatura de operación de motor

Es posible obtener información del motor en tiempo real, velocidad y par mecánico, en el caso del banco mostrado en la imagen anterior, es posible medir la temperatura de sus bobinas, para determinar los puntos de operación seguros de cada motor, es posible conocer la carga de trabajo óptima del motor mediante un análisis de eficiencia, donde conocer la temperatura es fundamental para saber cuánta energía se está disipando en forma de calor.

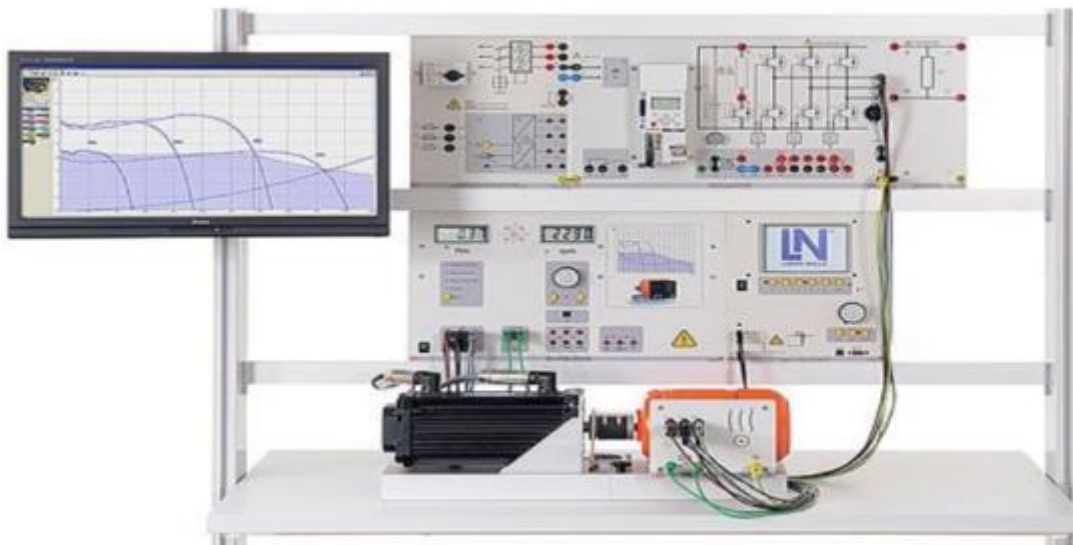


Figura 10 Banco para determinar curvas de caracterización del motor



Otra de las principales funciones del banco de pruebas es determinar las curvas de caracterización, carga mecánica contra velocidad. Se trata de una prueba donde se somete al motor a diferentes cargas mecánicas.



Figura 11 Banco de pruebas con fines educativos

El banco de pruebas mostrado en la figura 11 incorpora una amplia gama de materiales, destacan los plásticos, por sus propiedades favorables para trabajar en las frecuencias de vibración de los motores eléctricos, es por lo tanto una buena opción para mitigar el ruido por vibración.

Banco de pruebas académico

Equipo del Laboratorio de Máquinas Eléctricas Facultad de Ingeniería

Para motores de gama media los laboratorios de la universidad cuentan con bancos de pruebas fijos, cimentados, por lo tanto no es posible desplazar los motores a otros lugares ni evaluar diferentes motores con libertad, así mismo los motores probados en el banco poseen placa de caracterización, el banco cuenta con tres dispositivos operando en conjunto, un motor de arranque, un motor eléctrico de inducción y finalmente un generador eléctrico para proporcionar la carga.



Figura 12 Banco de pruebas de motores eléctricos Laboratorio de máquinas eléctricas.

El freno mecánico empleado consta de un mecanismo de prensado por etapas con balatas, enfriamiento por aire y un indicador analógico tipo báscula de precisión marca Toledo® las maquinas eléctricas son de la marca Westinghouse® con las siguientes especificaciones.

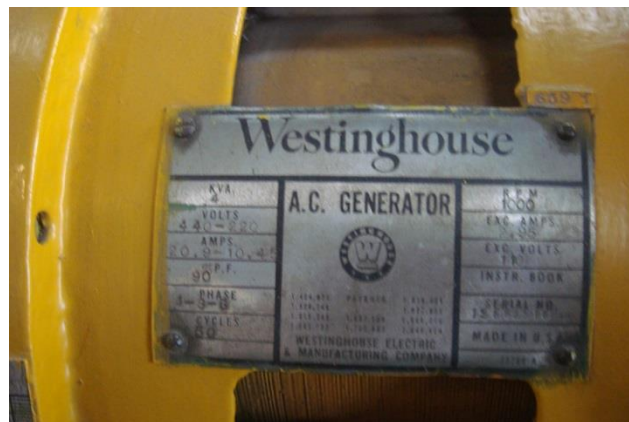


Figura 13 Placa de datos de operación del generador Westinghouse

Este banco de pruebas se emplea con fines didácticos, para la enseñanza de los conceptos básicos de máquinas eléctricas y electricidad de potencia.

#### Freno Prony

Se cuenta con el freno de Prony en el laboratorio de máquinas eléctricas sus características mecánicas permiten imprimir diferentes cargas al motor a través de un brazo de palanca generando fricción seca entre los componentes del freno y el motor.



Figura 14 Freno de Prony Laboratorio de máquinas eléctricas

Los elementos de los que se compone son dinamómetro (bascula), mecanismo de brazo de palanca y balata (disco de fricción).

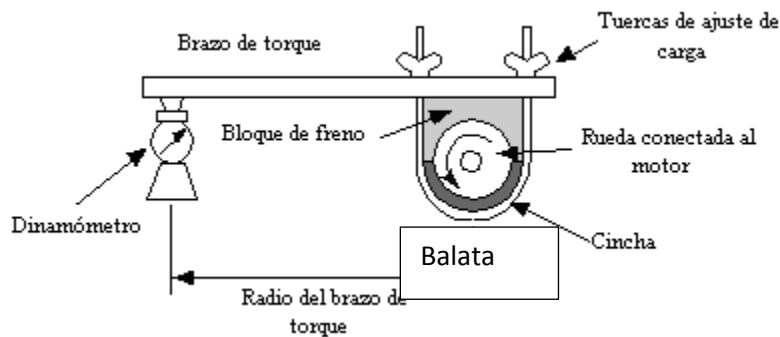


Figura 15 Diagrama simplificado del freno de Prony

El sistema se activa mediante las tuercas de ajuste de carga, posteriormente la distancia entre la rueda de contacto y la balata se reduce incrementando la carga en la flecha para finalmente poder observar los efectos que tiene sobre el motor. Los factores que se verán directamente modificados serán la corriente eléctrica, y la temperatura de los devanados de operación, en menor grado la velocidad.



El freno de Prony cuenta con la desventaja de generar cargas mecánicas no homogéneas, las mediciones tienen un margen de error grande por el tipo de dinamómetro empleado, la carga se aplica mediante las tuercas de ajuste que son difíciles de controlar, los intervalos para generar la curva de caracterización presentan problemas de dispersión y precisión.

Banco de pruebas para motores de combustión interna

El banco de pruebas para motores de combustión interna se encuentra en el laboratorio de máquinas térmicas de la facultad de ingeniería.



Figura 16 Banco de pruebas para motores de combustión interna Laboratorio de Máquinas Térmicas UNAM

Las etapas de este banco son las siguientes:

Etapas de alimentación

Etapas de operación

Etapas de carga y muestreo

En la etapa de alimentación las condiciones de alimentación son reguladas, haciendo posible determinar la razón de consumo del combustible para las diferentes cargas a las que será sometido el motor durante las pruebas. Los elementos que intervienen en esta etapa son el tanque de alimentación y sus instrumentos de medición.

En la etapa de operación se pone en funcionamiento el motor, los elementos que intervienen son el motor, las válvulas de inyección, el escape, la flecha del árbol de levas.

En la etapa de carga y muestreo se aplican diferentes cargas mecánicas para obtener las características de operación del motor de combustión interna. Para lograrlo se emplea el freno de Froude y por último se obtienen las lecturas con los instrumentos de medición tacómetro e indicador de par, las emisiones son medidas por medio del analizador gases.

#### El freno de Froude

Se cuenta con un dispositivo de freno de Froude en el laboratorio de máquinas térmicas de gama media, es un freno que permite trabajar con pares elevados, para máquinas rotativas con potencias de hasta doscientos caballos de fuerza, se emplea actualmente para la caracterización de un motor V8 de combustión interna a gasolina.



Figura 17 Freno de Froude Facultad de Ingeniería UNAM

Como se puede apreciar el freno de Froude tiene tres fases principales en su operación, la primera es aplicación de par mecánico, la segunda es control de par y por ultimo medición del par desarrollado.

*A Froude hydraulic dynamometer. The sluice gates, which are close-fitting covers, break down the water link between the rotor and casing as they are brought closer to each other. The action of the water brake is that of a fluid flywheel with the casing free to move on bearings but restrained by the balance weight.*

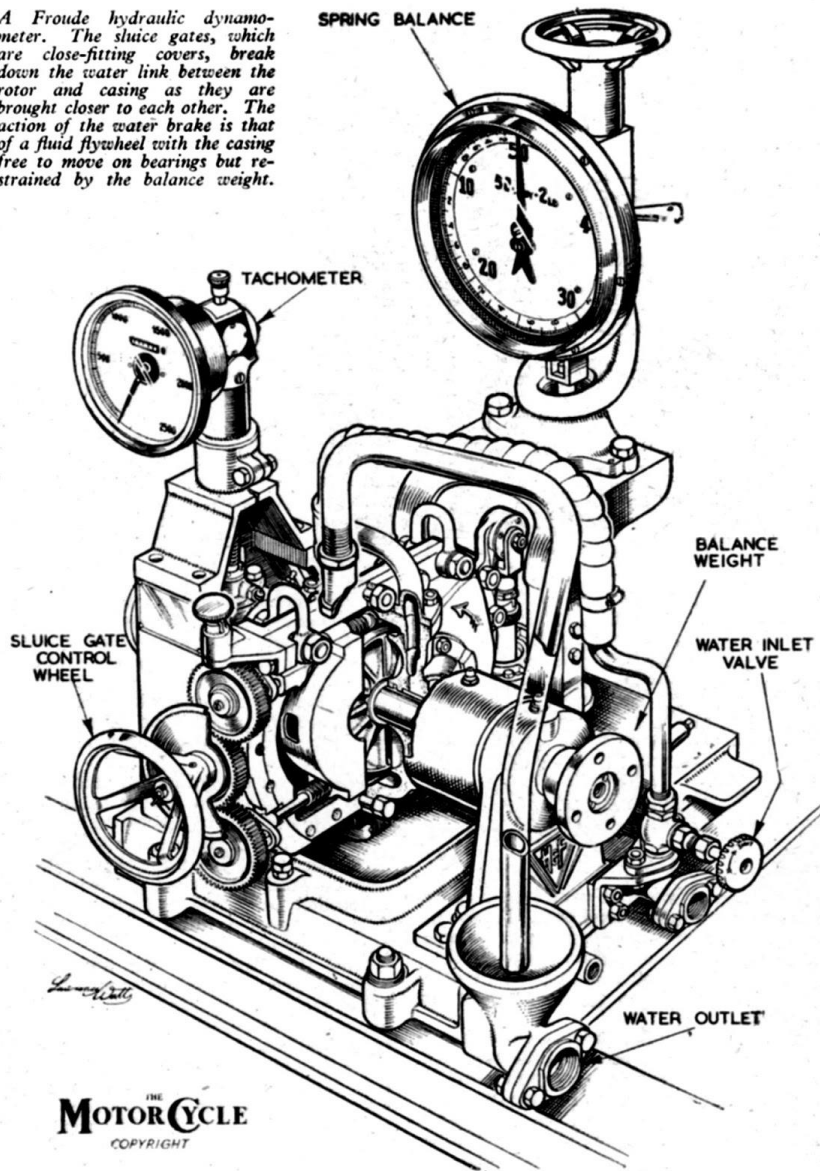


Figura 18 Esquema simplificado del freno de Froude

El esquema muestra las principales partes del Freno de Froude, considerando todos los componentes con los que cuenta, se trata prácticamente de un banco de pruebas completo, porque integra todos los instrumentos de medición necesarios.

Cuenta con un tacómetro para determinar la velocidad, con una manivela de control, balanza de resorte, balance de peso, válvula de entrada de agua y válvula de salida de agua.



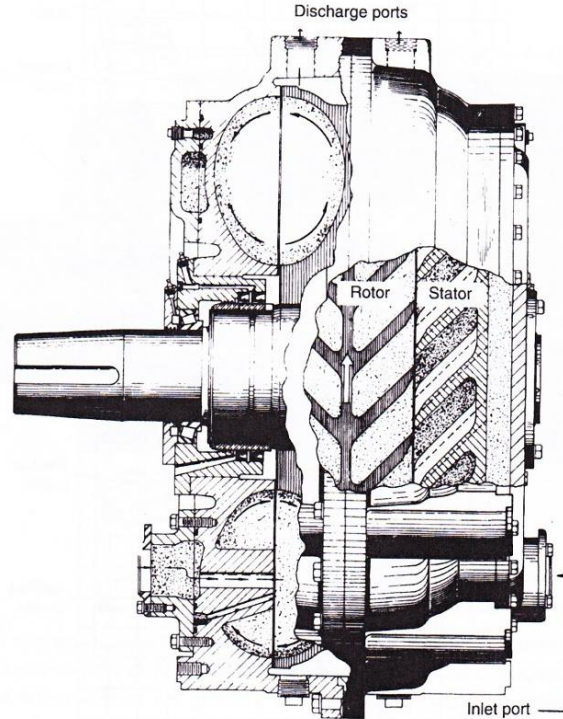


Figura 19 Puerto de entrada y salida del freno de hidrodinámico

Existen sistemas simplificados como el mostrado cuyos fines son únicamente proporcionar carga sobre una flecha, por consiguiente es posible para este dispositivo prescindir de los elementos de medición.

Los instrumentos son mecánicos e hidrodinámicos principalmente, cuentan con manivelas de ajuste para la impresión de cargas de par, que se constatan por medio de los indicadores analógicos.

Se cuenta con un tacómetro acoplado por medio de un engrane, la proporción del acoplamiento es uno a uno, las unidades con las que trabaja el equipo son revoluciones por minuto (rpm).

#### Electrodinamómetro

El electrodinamómetro es un dispositivo con la posibilidad de realizar analógicamente dos procesos simultáneos la proporción de una carga determinada y la lectura de la misma.

En la Facultad se cuenta con este instrumento para la realización de prácticas del Laboratorio de Maquinas Eléctricas.



Figura 20 Parte frontal del electrodinamómetro

Como se puede apreciar en la imagen se encuentra indicado el circuito eléctrico de funcionamiento, la entrada de alimentación es una fuente de 120 [V] a 2 [A] la frecuencia es de 40 [Hz], sin embargo se puede usar en México, donde la línea de alimentación ofrece 60 [Hz] que no afectan su operación. También se dispone de una perilla para determinar la carga mecánica aplicada sobre la flecha del electrodinamómetro.



Figura 21 Electrodinamómetro lateral

El electrodinamómetro tiene un rotor de jaula de ardilla sobre el cual circula una corriente DC cuando se encuentra operando, se monta sobre dos rodamientos fijos al chasis, el estator esta ensamblado al rotor mediante la coraza en color amarillo, que mantiene al estator y al rotor a la distancia adecuada. Al frente cuenta con un disco de acoplamiento por banda para trabajar con los diferentes motores, al reverso mediante un resorte mecánico se calibra las cargas.



Figura 22 Placa del electrodinamómetro

Al igual que los motores eléctricos convencionales tiene una placa de datos al reverso donde indica el rango de trabajo de los parámetros torque y velocidad. El torque en sistema ingles 0 – 27 [lbf in] equivalentes a 0 – 3.05 [Nm] en sistema internacional de unidades (SI)

#### Freno de histéresis

El freno de histéresis o de imanes permanentes funciona bajo principios electromagnéticos, es posible controlar la carga mecánica mediante un controlador analógico o digital.

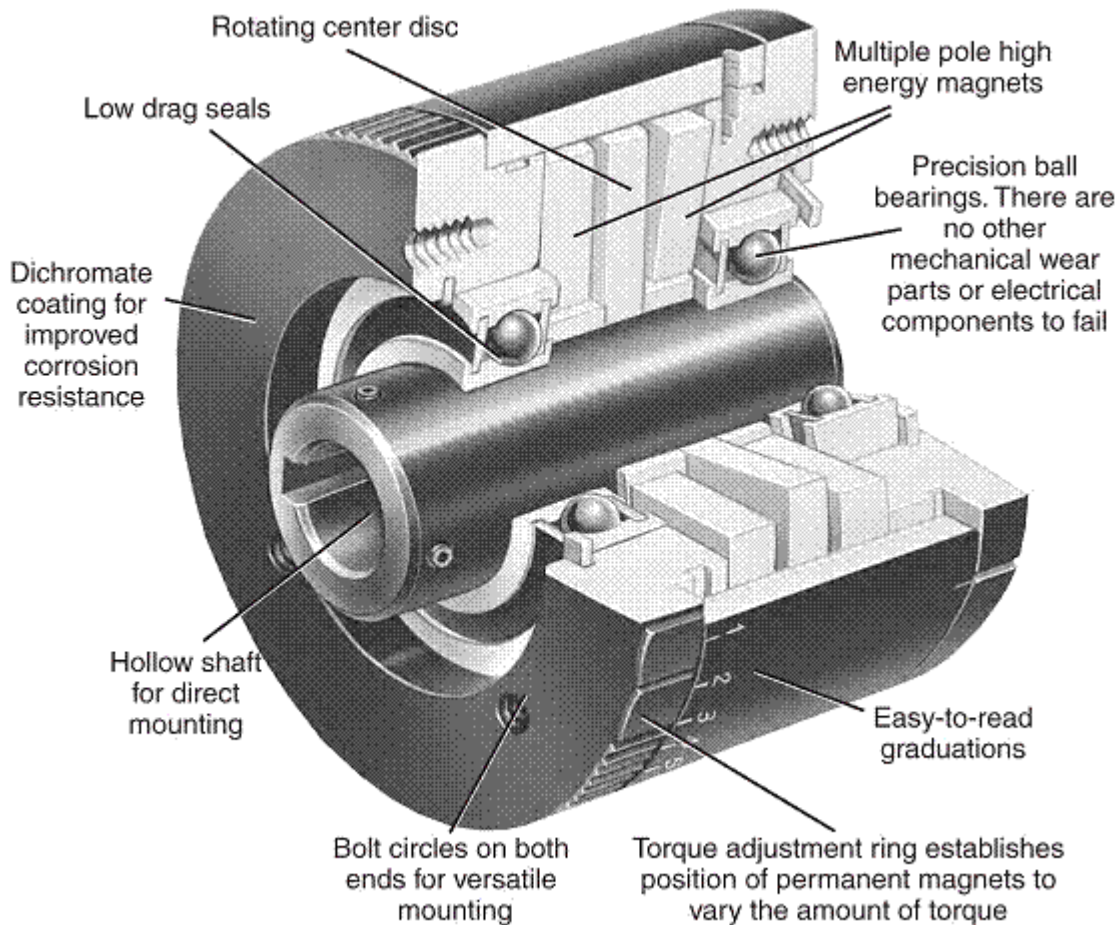


Figura 23 Esquema del freno de histéresis

Cuenta con las siguientes propiedades:

Las únicas piezas móviles son los rodamientos, dentro de los cuales el desgaste por fricción es recibido por las bolas de alta resistencia.

La velocidad del motor no afecta la carga aplicada por el freno, es posible mantener el par constante y variar la velocidad del motor sin afectar las mediciones, útil para generar curvas de caracterización a par constante.

Los problemas principales de este freno son los remanentes magnéticos, el dispositivo se queda magnetizado después de su operación por un tiempo mayor a los dos minutos.



### 4.3.2 Equipo para laboratorio industrial

El equipo de laboratorio industrial se encarga de realizar experimentos de investigación sobre los productos que se fabrican en plantas de producción masiva, mediante ensayos de dureza, de resistencia o de fatiga, es posible conocer las propiedades con las que se cuenta, con los datos de las pruebas es posible evaluar la calidad y mejorar el diseño.



Figura 24 Fábrica de lego

Cada una de las piezas fabricadas por Lego es sometida a estrictos estándares de calidad, es necesario evaluarlas a una velocidad cercana a la de producción, por consiguiente las máquinas de control de calidad funcionan bajo los mismos principios que los bancos de pruebas.



Figura 25 Máquina para pruebas de pistolas de CO2

Un ejemplo de las características con las que cuentan las máquinas para comprobación de calidad, es la máquina para prueba pistolas de CO2, que cuenta con rutinas automatizadas para tres modelos diferentes de armas, se prueban todos los elementos mecánicos, la pistola esta por



gatillo, almacenamiento de CO<sub>2</sub>, proyectiles, culata, y cañón. Los ciclos son de treinta segundos por disparo. Los cambios de arma tardan hasta tres minutos para la pistola más larga.

Banco de pruebas para aerogeneradores, este banco de pruebas regula las condiciones de operación del aerogenerador, para mantenerlo estable, mediante el control de la velocidad, alimentación y carga de trabajo.



Figura 26 Banco de pruebas para aerogeneradores

#### Laboratorio automotriz

Una de las principales industrias con mayor crecimiento tecnológico es la automotriz por la intensa competencia a nivel mundial, provocando en las diferentes compañías la necesidad de mantenerse a la vanguardia.



Figura 28 Planta de producción automotriz

La calidad de los productos automotrices es de alta exigencia, comprende todos los factores del diseño, desde la ergonomía hasta la seguridad del usuario.



Figura 29 Empleado realiza montaje de una puerta sobre un cuadro de metal.

Los productos manufacturados son sometidos a diferentes tipos de pruebas para comprobar si cuentan con las propiedades calculadas, corroborando sus resultados con herramientas de medición.

#### Banco de pruebas para automoción

Se trata de bancos de pruebas para verificar la calidad de los componentes de seguridad de los vehículos, mediante pruebas de impacto, de resistencia y de durabilidad.

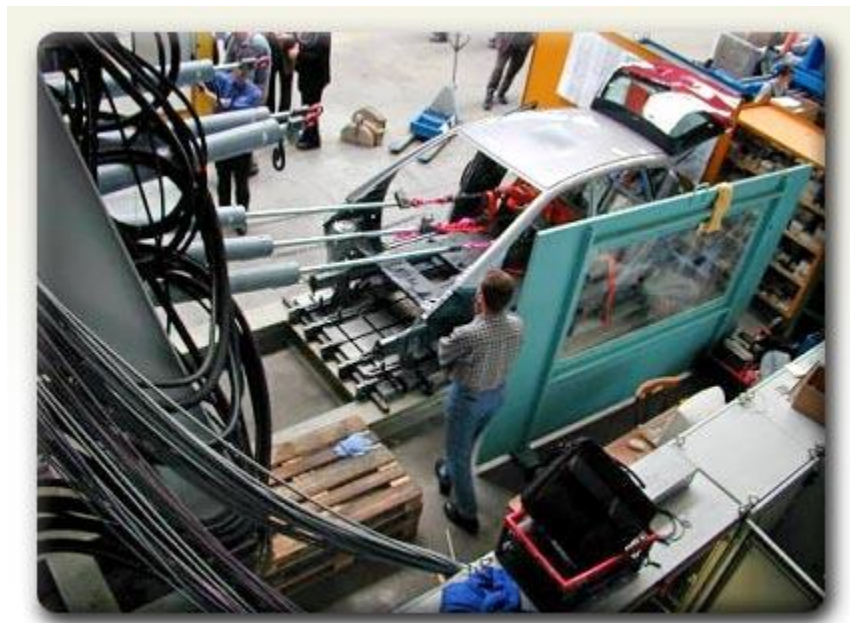


Figura 27 Banco de pruebas de parabrisas

Los automóviles están compuestos por una cantidad de piezas que oscila entre las 60,000 y 90,000 dependiendo de características tecnológicas del modelo, será un factor que seguirá en aumento, puesto que con la incorporación de cada nueva tecnología incrementa el número de piezas del que se compone un auto, los primeros automóviles contaban con hasta 50 piezas.

Finalmente analizar todas las piezas resultaría complejo, los modelos se reducen y se prueban únicamente los elementos más importantes. En el caso de las puertas se reduce el sistema como se aprecia en la imagen al elemento crítico (la puerta) y una estructura de soporte, evaluando únicamente la función de la puerta.

#### Aeronáutica militar

La industria militar presenta altos niveles de calidad y tecnología a nivel mundial, cuenta con la integración de múltiples factores de ingeniería, los productores de dispositivos electrónicos, mecánicos, eléctricos, y software colaboran creando así bancos de prueba de avanzada tecnología.

Existen bancos de pruebas para turbinas aeronáuticas, que exigen llevar la ingeniería actual hasta sus límites, como en él mostrado a continuación.



Figura 30 Banco de pruebas para alternadores aeronáuticos

Los bancos de pruebas para alternadores aeronáuticos, requieren elementos mecánicos con capacidades especiales para soportar 25,000 [rpm], altas temperaturas, sistemas de enfriamiento controlado, y resistencia a pares elevados. Los elementos electrónicos requieren una larga vida útil, resistencia electrostática, capacidad para operar por largas jornadas de trabajo sin interrupciones, resistencia al fuego.



Los elementos eléctricos del sistema, son esencialmente para seguridad del producto y la aeronave, como protecciones de sobrecarga, control eléctrico en caso de fallo, red de suministro de emergencia, reduciendo el daño en el equipo en caso de fallo.

La cantidad de variables a controlar del sistema se eleva dramáticamente, exigiendo en el producto final una cantidad de atributos fuera de precedentes. Se trata de uno de los bancos con mayor complejidad, costo y calidad.

Este tipo de banco estudio los alternadores por la importancia que tienen dentro del funcionamiento de una aeronave, a continuación se exponen algunas características de los alternadores.

Los alternadores son máquinas eléctricas encargadas de transformar energía mecánica en eléctrica su configuración es la siguiente:

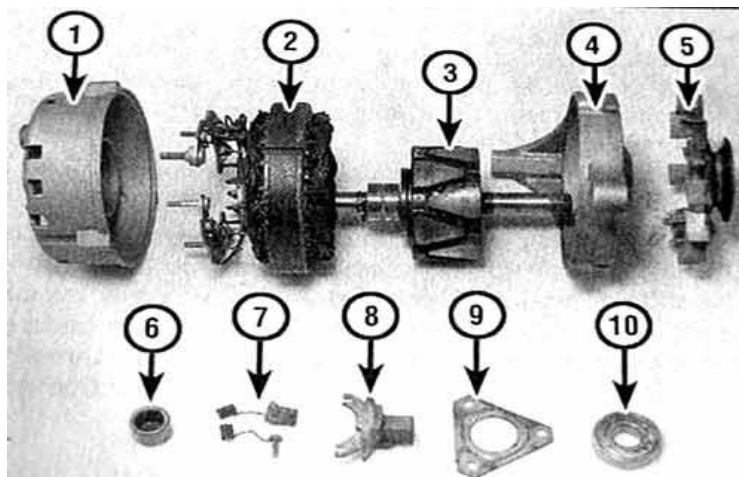


Figura 31 Esquema del alternador

Las piezas con las que cuenta el alternador son:

Piezas del Alternador	
1	Carcaza superior
2	Estator y rectificador de diodos
3	Rotor
4	Carcaza inferior
5	Polea y alavés
6	Cojinete superior
7	Escobillas
8	Porta escobillas
9	Soporte de cojinete
10	Cojinete inferior

Tabla 1 de piezas de generador

El alternador se encarga de alimentar los instrumentos eléctricos y electrónicos en vehículos como aviones y automóviles.

También se puede clasificar los bancos de pruebas para maquinas eléctricas por el tipo de motor eléctrico que son capaces de probar, según este criterio se tendrán las categorías siguientes:

#### **4.3.3 Banco de pruebas para motores de corriente directa (CD)**

Se trata de bancos de pruebas donde el motor eléctrico a probar es alimentado por corriente directa.



Figura 38 Micro Dyne System Magtrol®

El banco de pruebas para caracterización de motores de corriente directa es empleado principalmente para probar motores de juguetes, dispositivos de precisión, robots, y control de posición.

#### **4.3.4 Banco de pruebas para motores de corriente alterna (AC)**

Son bancos de pruebas que someten a análisis de operación a motores de corriente alterna, dentro de ellos se encuentran los monofásicos, bifásicos y trifásicos.



Figura 39 Banco de pruebas para motores Ac y bombas

En las diferentes áreas industriales se realizan pruebas para determinar la calidad de operación de sus equipos, mediante pruebas de desgaste y eficiencia.

Los procesos industriales necesitan conocer y anticiparse ante las eventualidades que puedan presentarse durante la manufactura de productos. El mantenimiento predictivo, pronóstico y correctivo, serán fundamentales para alcanzar los máximos niveles de producción. Los bancos de pruebas para motores de corriente alterna son utilizados para mantener operando correctamente todos los motores de la planta de producción.

Las variables en medición proporcionan las siguientes características del motor:

- Curvas par velocidad
- Frecuencia de operación
- Control de velocidad
- Corriente nominal de operación, potencia nominal mecánica de salida, voltaje nominal.
- Potencia nominal
- Velocidad nominal
- Velocidad máxima segura
- Corriente máxima de operación
- Corriente nominal

-Par

#### 4.4 Motor Eléctrico Asíncrono

Los dispositivos a estudiar por el banco de pruebas serán motores eléctricos asíncronos, a continuación se expondrán sus generalidades, características y principios de operación.

Los motores eléctricos asíncronos tienen las siguientes características:

Son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica.

Funciona creando una corriente inducida en un conductor cuando el conductor corta las líneas de fuerza del campo magnético. La combinación de la corriente en el inducido y el campo magnético provoca una fuerza motriz en el rotor del motor.

El motor asíncrono de jaula está constituido por dos elementos principales el estator y el rotor

El estator es la parte fija del motor, generalmente esta hecho de acero al silicio, su fabricación requiere de un laminado para evitar las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault. En el estator se encuentran distribuidas las bobinas del motor, si es el caso de una bobina se trata de un motor monofásico, con dos bobinas se trata de motores bifásicos y finalmente con tres bobinas trifásicos, el número de polos varía según el diseño del motor, principalmente se multiplica por dos cada bobina, sin ser una regla general.

Campo electromagnético giratorio

Se trata de la creación de un campo electromagnético uniforme para impulsar la rotación de un elemento cilíndrico mediante la distribución geométrica apropiada para el número de fases y polos con el que cuenta cada motor a continuación se muestra el diagrama para un motor de tres fases.

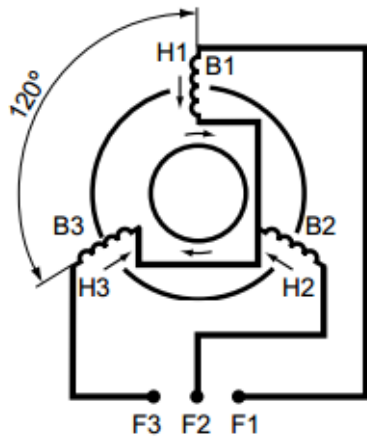


Figura 32 Distribución de bobinas en motor asíncono.

La disposición geométrica de los devanados para este caso obedece una simple regla de equilibrio de fuerzas, al igual que las fuerzas mecánicas, las fuerzas electromagnéticas deben estar uniformemente distribuidas, el caso de un motor se puede ver bidimensionalmente, como es el caso del esquema anterior para finalmente posicionar a distancias iguales cada una de las bobinas, a ciento veinte grados una de otra para ser exactos.

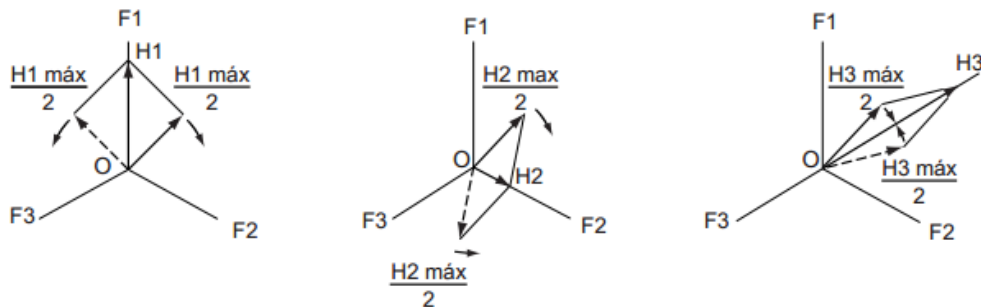


Figura 33 Campos magnéticos dependiendo de la posición

El deslizamiento en un motor eléctrico asíncono es uno de los valores determinantes para establecer las prestaciones de operación. El par motor depende la corriente inducida circulando por las bobinas del motor, y no puede existir si no hay una variación en el flujo de la espira. Por lo tanto lo que hace funcionar este motor es la diferencia de velocidad. La diferencia de velocidad entre la espira y el campo giratorio es la razón por la cual este motor es llamado motor asíncono. La diferencia entre la velocidad de sincronismo ( $N_s$ ) y la velocidad del conductor ( $N$ ) se denominan deslizamiento con la letra  $g$  y se expresa en porcentaje de la velocidad de sincronismo.



$$g = \left[ \frac{N_s - N}{N_s} \right] * 100$$

El rotor está constituido por un apilamiento de láminas delgadas aisladas entre sí mediante un barniz aislante resistente a la humedad y altas temperaturas. Existen dos tipos de rotores para estos motores el de jaula y el de anillos.

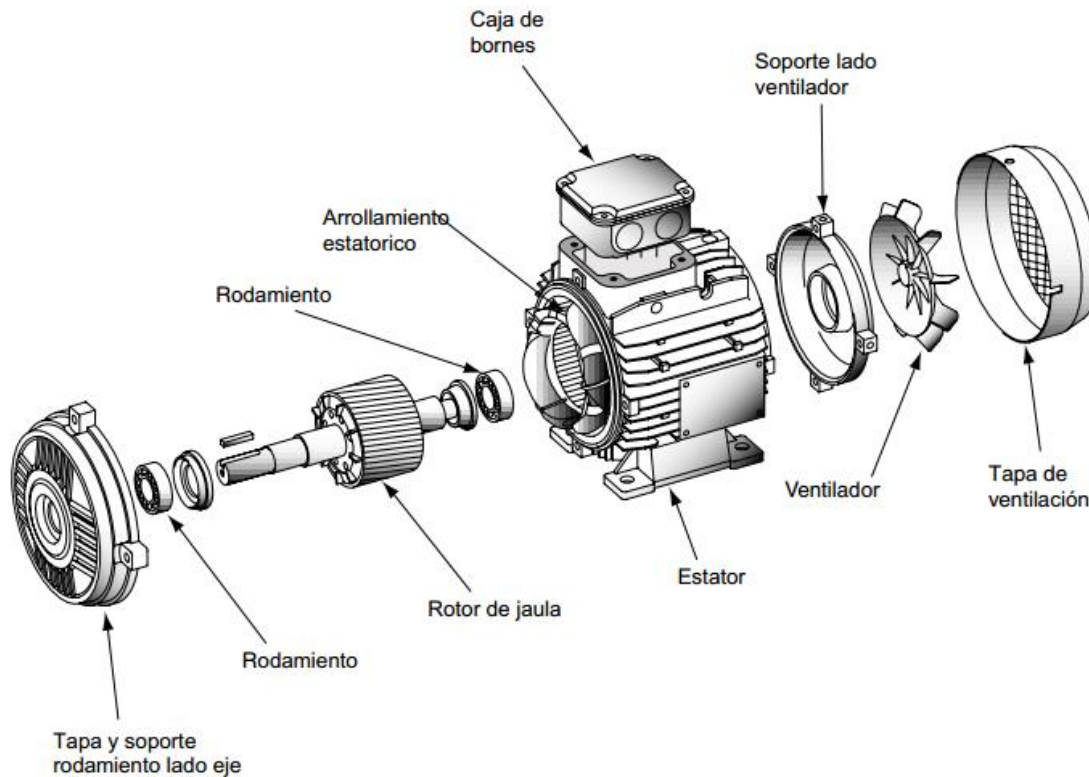


Figura 34 Motor de inducción con rotor tipo jaula

El motor con rotor tipo jaula

Todas las jaulas estan hechas de acero o aluminio y estan compuestas de conductores cortocircuitados entre si mediante la aplicación de aislantes.

Existen tres tipos de rotores de tipo jaula:

El rotor de jaula resistente

El rotor de jaula simple

El rotor de jaula doble

El rotor de jaula resistente tiene una jaula simple donde los conductores estan unidos por medio de anillos de acero inoxidable. Su par de arranque es elevado y a velocidad nominal presenta un

gran deslizamiento, por lo que es bueno para los arranques pero en operación nominal muy ineficiente, por las pérdidas en el rotor.

El rotor de jaula simple en los huecos dispuestos a lo largo del rotor se coloca conductores conectados a una corona metálica, estos conductores desarrollan el par motor generado por el campo magnético como los alabes en una turbina, para que el par sea homogéneo el conductor tiene una inclinación determinada por el deslizamiento particular de cada rotor.

Tiene un par de arranque bajo por lo que la corriente de arranque es muy superior a la nominal, a par nominal tiene un deslizamiento pequeño. Se asocian a convertidores de frecuencia de velocidad variable, con ello se resuelven los problemas de par y corriente de arranque.

El rotor de jaula doble, contiene dos jaulas concéntricas, una exterior de poca sección y gran resistencia y otra interior de mayor sección y menor resistencia.

La razón por la cual se colocan dos jaulas con las características de la jaula resistente y la jaula simple es porque al arranque entra principalmente en acción la jaula resistente brindándole el par de arranque necesario, evitando emplear una elevada cantidad de corriente eléctrica, una vez que alcanza la velocidad nominal entra en operación la segunda jaula que trabaja como jaula simple, mejorando la eficiencia del rotor.

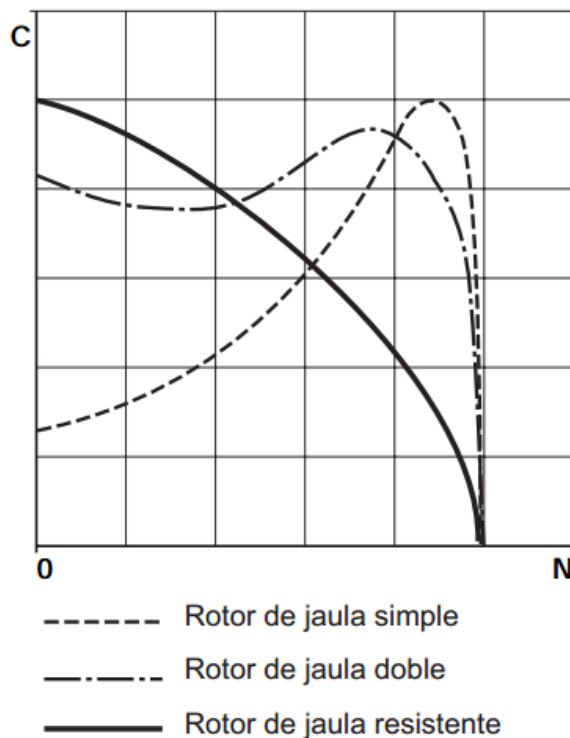


Figura 35 Curvas par velocidad de los diferentes rotores

Motor asíncrono monofásico

Se trata de un motor que difícilmente se encontrará en el ámbito industrial, sin embargo por sus características es fácilmente manufacturable a grandes escalas, no requiere de un sistema de control complejo como el de un motor trifásico, sus prestaciones fueron favorables para resolver las necesidades del mercado doméstico en las décadas pasadas, por lo que rápidamente ganaron terreno en el mercado norteamericano, posteriormente sus productos llegaron a los mercados internacionales.

Compite en volumen con los motores trifásicos sin embargo su potencia y par son menores, también carece de sistemas de control de velocidad electrónico, lo que provoca que tengan un bajo rendimiento.

Sus componentes son el rotor y el estator.

El estator se compone de un número par de polos, sus bobinas se conectan directamente a la red de alimentación monofásica estándar.

El rotor es principalmente de tipo jaula simple.

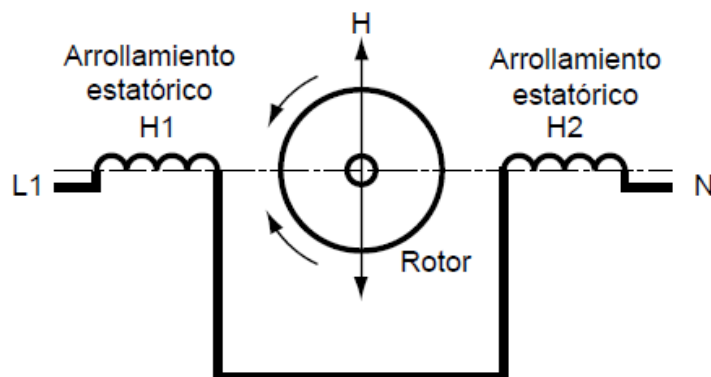


Figura 36 Principio de funcionamiento motor asíncrono monofásico

Considerando al estator dos bobinas conectadas a la red eléctrica L1 (línea) N (neutro), donde la corriente alterna de la línea crea un campo magnético en el rotor, H (campo magnético) que es la superposición de los campos giratorios H1 (de L1) y H2 (de N) ambos de la misma magnitud pero de sentido contrario, razón por la cual se mantienen estáticos. Bajo estas circunstancias el movimiento se ve imposibilitado ya que ambos campos tienen el mismo deslizamiento respecto al rotor y consecuentemente dos pares iguales y opuestos. El rotor no puede iniciar su giro, sin embargo basta cualquier impulso mecánico en el rotor que rompa la inercia de los campos en equilibrio para que uno de ellos adquiera una mayor intensidad y comience a girar el rotor.

Se integra en los motores de este tipo un elemento de arranque generalmente un capacitor o una bobina de arranque, en algunos casos ambos, para realizar este desequilibrio inicial necesario,

posteriormente se desactiva mediante el empleo de interruptores centrífugos que entran en operación al setenta por ciento de la velocidad nominal.

#### Motor asíncrono con escobillas

Es un motor con excelentes propiedades de par de arranque, hasta dos punto cinco veces el par nominal, esto es posible con la integración escobillas de conmutación, granito para lubricación y resistencias eléctricas para compensar las altas cargas mecánicas.

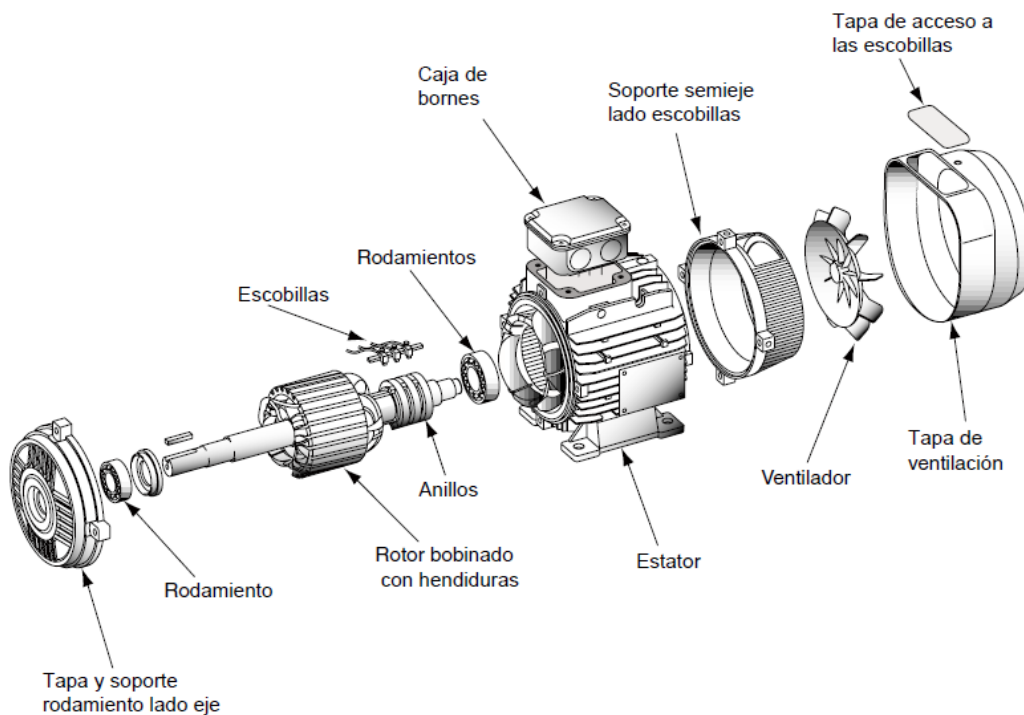


Figura 37 Despiece de motor asíncrono con escobillas

El problema de este motor es la eficiencia, al tener las resistencias de compensación, disipa una gran cantidad de energía en forma de calor. Por otro lado su mantenimiento es costoso y necesario, en el sistema de conmutación por ejemplo el desgaste en las escobillas, en los anillos sujeción y sobre todo en el grafito para su lubricación necesita realizarse periódicamente.

## 4.5 Productos

Actualmente en el mercado existen diferentes compañías especializadas en la construcción de bancos de pruebas para máquinas eléctricas dentro de las que destaca las siguientes marcas, con sus modelos industriales y educativos.

Lucas-nulle®

Compañía alemana que cuenta con una gran diversificación de productos, tiene desde equipos de medición de baja escala como lo son multímetros y amperímetros, hasta estaciones completas de trabajo y laboratorios totalmente equipados.



Figura 40 Laboratorio de máquinas eléctricas

Se ha estudiado el mercado, la forma en la que interactúa el usuario con su producto, resulta posible observarlo en sus diseños, como en el caso del laboratorio mostrado en la imagen, el espacio central tiene una aula convencional de clase para la fase de enseñanza teórica y a los costados se instalan los bancos de pruebas para la realización de experimentos demostrativos que complementen los conocimientos teóricos.



Figura 41 Consola modular de instrumentos electrónicos y eléctricos.

En su apartado dedicado a dispositivos eléctricos se encuentran los bancos de pruebas para motores eléctricos, los sistemas contienen plataformas versátiles con la capacidad para probar motores de corriente directa, motores de corriente alterna y motores a pasos. Sus productos son modulares y cuentan con una gran variedad de accesorios para adaptarse al motor con el que se trabajara. Cuenta con interfaz de usuario y sistemas de procesamiento de datos analógico y digital. El sistema de alimentación especializado para motores de DC y AC.

#### Magtrol®

Los bancos de pruebas Magtrol® cuentan con la producción de sus propios componentes, están dirigidos al segmento de los motores de gama mediana y gama alta, sin embargo cuentan con algunos productos de gama baja, el catalogo proporcionado por la marca asigna este orden dependiendo del par que ejercen los diferentes equipos para los cuales están diseñados.



Figura 42 Banco de pruebas horizontal para motores de baja potencia.

Como se puede observar se emplea un freno de histéresis con dinamómetro eliminando la necesidad de emplear un tercer instrumento de medición que sería un sensor de par para poder determinar las fuerzas resultantes de la acción de rotación del motor eléctrico contra la acción de frenado del freno de histéresis, es necesario evaluar el motor ante estas condiciones ya que las cargas sobre la flecha del motor son las que determinan el comportamiento que presentara en operación el motor, por ejemplo en una lavadora, la cantidad de ropa a desplazar, en una batidora la viscosidad las mezclas y un refrigerador la cantidad de alimentos a enfriar y la temperatura a la que se encuentran.

La influencia Magtrol® en el mercado, marca una tendencia, puesto que son líderes en su área, actualmente cuentan con una especialización clara en sistemas con frenos magnéticos. Donde han sido capaces de explotar sus ventajas y han reducido los problemas que implican los poderosos campos magnéticos.

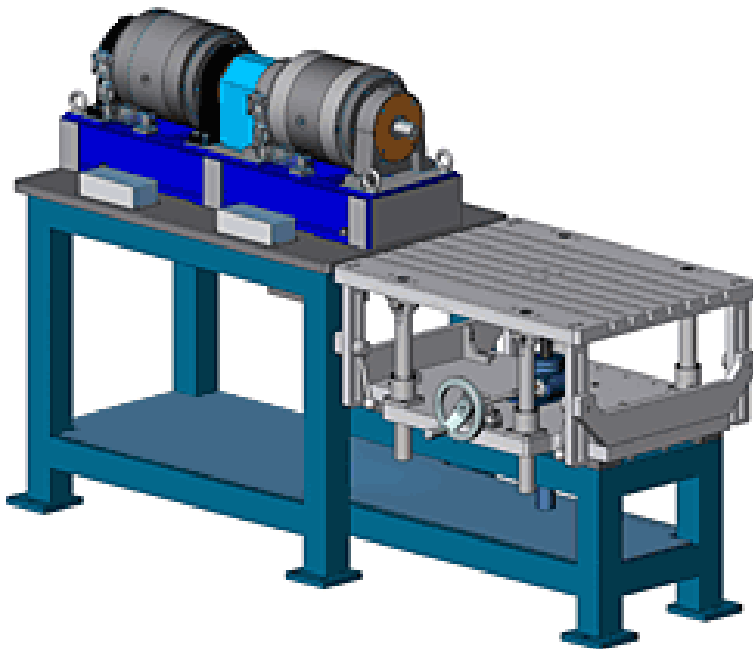


Figura 43 Banco de pruebas Magtrol®

En la imagen anterior podemos observar las características bajo las cuales son principalmente diseñados los bancos de pruebas horizontales, también se puede observar que la bancada está hecha de varios materiales, en las hojas de especificaciones podemos corroborar las suposiciones hechas a primera vista, acero, aluminio, acero con alto contenido de carbono. La mayoría de los bancos emplean metales pesados para mitigar los efectos de vibración.



Figura 44 Banco de pruebas para servomotores

Los equipos más completos cuentan con el sistema de seguridad y equipo de cómputo integrado, con los sistemas de alimentación y versatilidad de movimiento mediante la incorporación de ruedas de desplazamiento con libertad de rotación a 360°.

#### 4.6 Conclusiones de la investigación del producto

No existen bancos de pruebas para motores eléctricos mexicanos, evidentemente es la principal ventaja con la que se cuenta porque se enfrentaría a un mercado libre de competidores, los elementos que integran el banco de pruebas son de difícil adquisición. El precio del producto es elevado, por tal motivo son pocas empresas las que deciden invertir en este tipo de equipos, sin embargo se cuenta con la posibilidad de superar a los productos que actualmente se encuentra en distribución, absorbiendo el costo de diseño es posible adquirir para el banco de pruebas los mejores instrumentos del mercado. Empleando frenos de histéresis con variaciones de cargas muy pequeñas (creado la posibilidad de obtener un mayor número de puntos en las curvas de caracterización del motor eléctrico), sensores a la medida, con los rangos de operación y precisión especiales para el tipo de máquinas con las que se desea trabajar, sistemas de adquisición con



mayor velocidad de muestreo y con múltiples canales para adquirir datos de las variables simultáneamente, estructuras mecánicas especiales para propósito experimental con amortiguamiento de vibraciones, herramientas de sujeción de actuadores (freno de histéresis y motor de inducción) con capacidades para calibración fina, interfaz de usuario, ergonomía y resistencia estructural. Superando uno a uno estos aspectos será posible sobrepasar a los productos que existen en el mercado.

#### 4.7 Análisis de operación industrial

A continuación se realizara un análisis de operación industrial del producto para determinar las condiciones de trabajo del banco de pruebas.

Observaciones de los usuarios

Diseño de formato para evaluación de experiencia del usuario

Para desarrollar un proyecto para un mercado particular como el caso del banco de pruebas, es importante encontrar las oportunidades existentes por la desatención de los productores, por omisión, por descuido, por estancamiento tecnológico, por falta de conocimientos teóricos, o por la imposibilidad de invertir en investigación.

Se diseñó una serie de pruebas a partir de las observaciones de uso del banco de pruebas anterior. Las pruebas de evaluación están en función de los siguientes aspectos:

Ergonomía

Tiempo necesario para realización de cada una de sus operaciones

Cantidad de usuarios necesarios para su correcta operación

Experiencia de usuario

Fuerza necesaria para su operación

Capacitación

Facilidad de uso

Aplicación de evaluación

Para la aplicación de esta serie de pruebas se contó con la participación de integrantes de los diferentes equipos del CDMIT como sujetos de prueba para la evaluación.

Los diferentes participantes en esta prueba tienen conocimientos previos de ingeniería, por consiguiente las pruebas no son del todo concluyentes, sin embargo proveen el panorama necesario para la iteración en el diseño que es propósito de este trabajo.

Se inicia con una explicación general del banco de pruebas, posteriormente la descripción y operación de cada elemento para después realizar una práctica de operación real del banco.

La evaluación concluyó con la aplicación de una entrevista de realimentación donde se desarrollan los temas de experiencia de usuario.

La prueba fue aplicada en el laboratorio de mecánica experimental de CDMIT, cada prueba tuvo una duración aproximada de 2 a 3 horas, este tiempo fue considerado como media desde la concepción de las pruebas de evaluación.

Las entrevistas de realimentación tuvieron una duración de 5 a 10 minutos.

#### 4.8 Resultado del análisis industrial

Los resultados obtenidos de este proceso de identificación de oportunidades fueron los siguientes:

Es difícil de emplear por primera vez por los motivos siguientes: alineación del rotor, carencia de un espacio delimitado en el banco para la realización del proceso de alineación del rotor.

No se cuenta con apoyos para sostenerlos los componentes durante la fase de ensamble, por lo tanto el usuario tiene que cargarlo todo el tiempo hasta su montaje.

No se tienen herramientas para alineación.

No se pueden probar motores de configuración horizontal.

El proceso de calibración del banco es cansado y repetitivo, la práctica determinará el tiempo de la operación, así como el número de iteraciones para lograrlo.

Para algunos sujetos de prueba fue imposible alinear el rotor

No existe puntos de referencia o indicaciones guía para la colocación de elementos

#### 4.9 Conclusiones del análisis industrial

Es necesario realizar una estructura mecánica nueva que incorpore los requerimientos identificados mediante el uso de la metodología de diseño propuesta en este trabajo.

Fue posible determinar las funciones principales a realizar por el banco de pruebas, proporcionando un panorama claro de las acciones necesarias para la obtención de un producto a la medida del cliente.

#### 4.10 Lluvia de ideas

Tomando como elementos fundamentales para diseño la evidencia obtenida mediante el uso del método de diseño descrito en las páginas anteriores es posible determinar una serie de ideas que permitan resolver el reto planteado para el producto.

El proceso consiste en una fase individual donde cada integrante del equipo desarrolla sus propios conceptos, será necesario explicarlos de la forma más clara posible, por tal motivo es frecuente el encontrarse dibujando en esta fase, se realiza una reunión donde se comparten todas las propuestas generadas por los integrantes, se procede con la siguiente fase.

En la fase grupal del ejercicio de lluvia de ideas, se exponen las propuestas generadas individualmente a los integrantes del equipo, cada uno realimenta las propuestas de los compañeros, estableciendo compatibilidades y coincidencias , las ideas con mayor número de coincidencias o aquellas que se complementan de forma factible son las que generalmente tienen mayor potencial.

#### 4.11 Selección de ideas

Se realizó una jerarquización de ideas seleccionando las que ofrecían mayor potencial de realización, para lo que fue necesario establecer parámetros clave: fabricación, costo, versatilidad de uso y mecanismos. Contando con la posibilidad de comparar cada uno de estos parámetros fue posible determinar la idea que contaba con las mayores probabilidades de éxito.

Las ideas seleccionadas fueron las siguientes:

- a) Banco de pruebas fijo al piso
- b) Banco de pruebas fijo al muro
- c) Banco de pruebas con rotación a dos posiciones
- d) Banco de pruebas con rotación a 360° cualquier posición

## Presentación de ideas

### a) Banco de pruebas fijo al piso

Se trata de un dispositivo que cuenta con una bancada provista de elementos mecánicos capaces de sujetarse al piso del edificio donde se instala, el piso donde se instala debe contar con una cimentación especial para transmitir las cargas mecánicas a través suyo. Se emplea principalmente para motores de alta potencia.

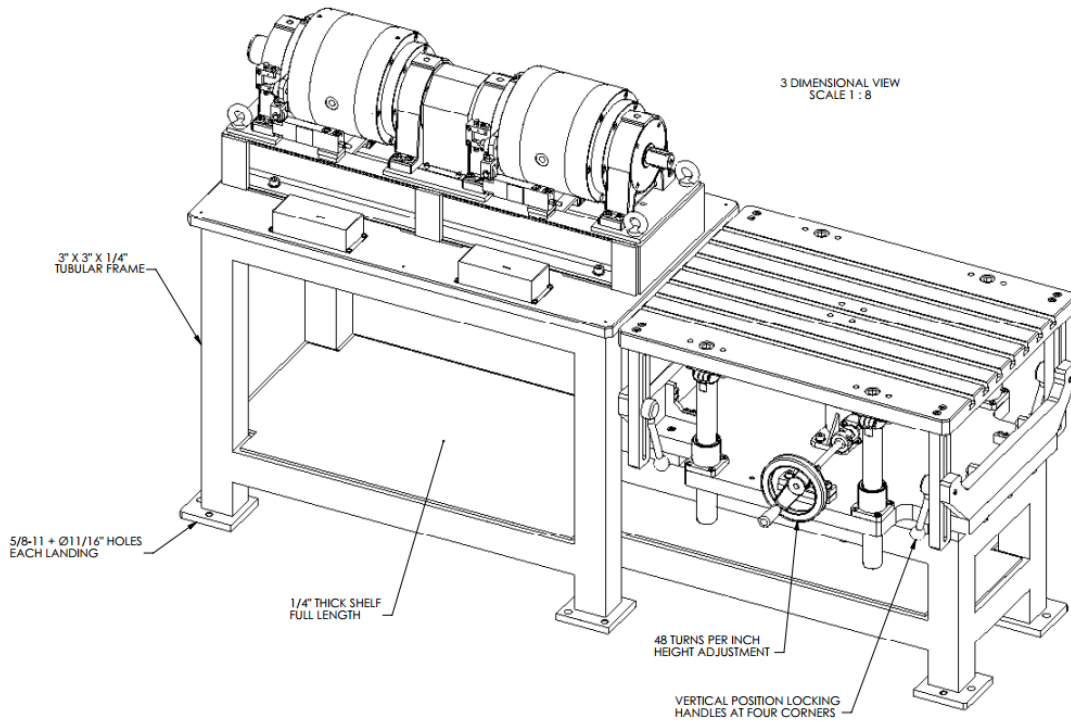


Figura 45 Bancada con barrenos para atornillar a piso

Es posible establecer un criterio de selección de bancadas (estructuras de soporte) mediante la delimitación de las máquinas eléctricas a probar, uno de los principales valores sobre los cuales es posible realizar el diseño de la estructura de soporte es la potencia, la velocidad, y dimensiones de la máquina. Las bancadas a piso se emplean para los motores con altos pares y velocidades, ya que es necesaria una gran fuerza para mantener el motor estable.

Con las características observadas en la mesa de trabajo anterior se propone un diseño similar, que se muestra a continuación.

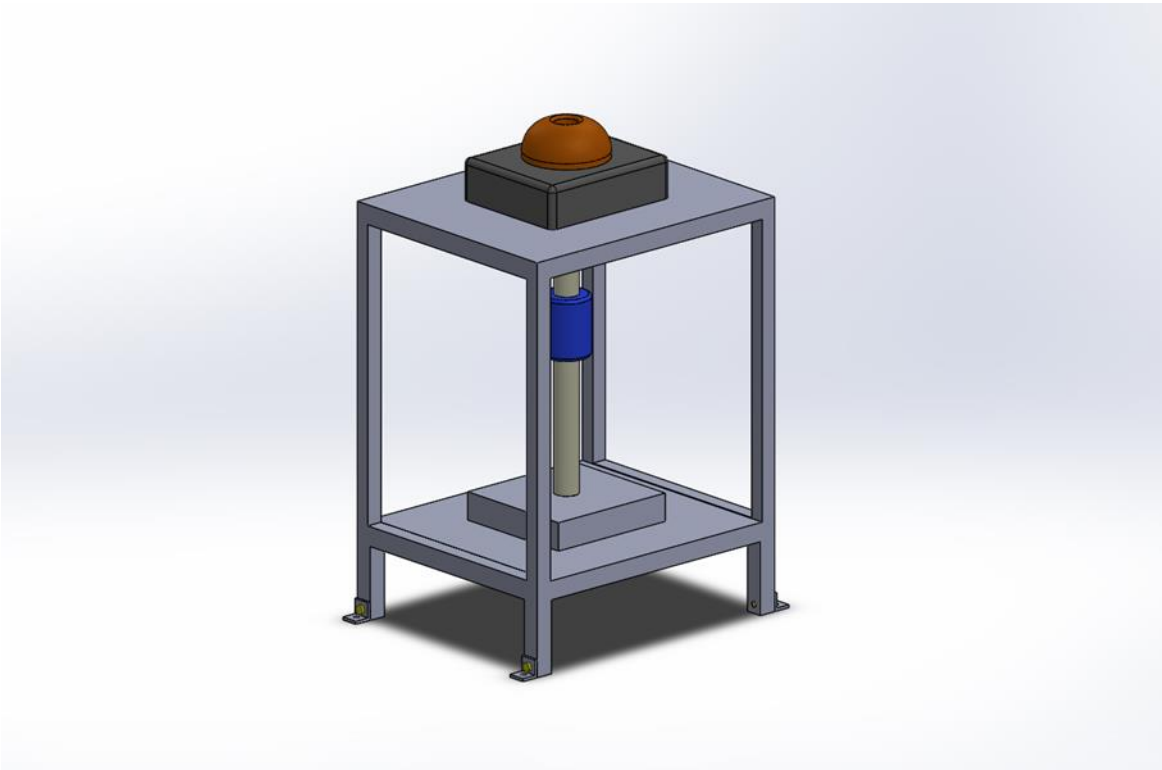


Figura 46 Propuesta banco fijo a piso

b) Banco de pruebas fijo a muro

Cuenta con acoplamientos mecánicos para muros o vigas verticales, dirigiendo las cargas mecánicas al esqueleto estructural del edificio, se emplea para motores de mediana y baja potencia.

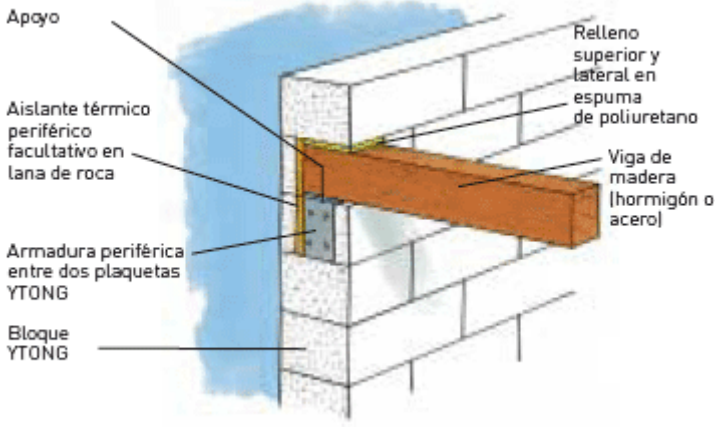


Figura 47 Apoyo a muro para banco fijo

El apoyo en cantiléver es el principio de funcionamiento de este tipo de banco de pruebas, cuenta con los elementos descritos en el gráfico, la armadura periférica es el punto con mayor esfuerzo, por tal motivo los materiales empleados deben tener una elevada resistencia a la compresión y tensión.

Finalmente se elabora una propuesta con este principio de funcionamiento, misma que es posible observar a continuación.

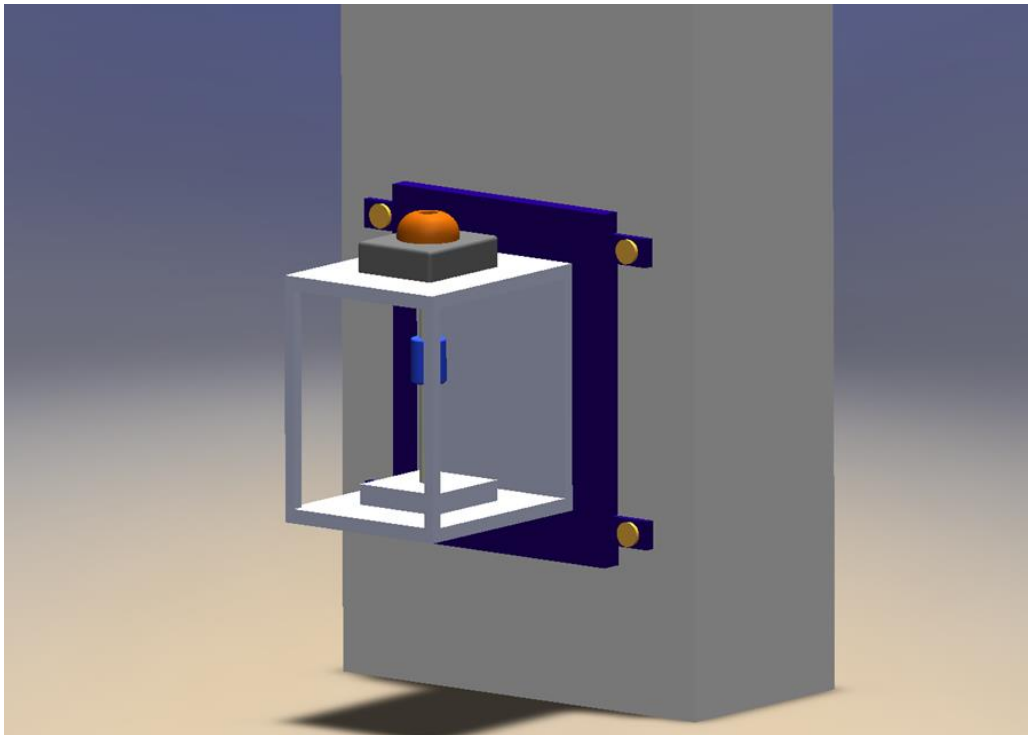


Figura 48 Prototipo banco de pruebas fijo a muro

El banco de pruebas fijo a muro se apoya con facilidad sobre la estructura de soporte de los edificios donde se usa, cuenta con una elevada resistencia y disipación de vibraciones.

En la imagen anterior es posible observar que el banco fijo a muro cuenta con la ventaja de dirigir por la vía más corta la energía mecánica a través del muro, aprovechándolo como parte de la estructura.

c) Banco de pruebas con rotación a dos posiciones

Cuenta con la posibilidad de tomar posición vertical a  $90^\circ$  o posición horizontal a  $0^\circ$  con lo cual es posible realizar pruebas a motores de operación horizontal y vertical sin problemas, el tamaño de la estructura determinara las escalas de motores con los que podrá trabajar. No existe información de empresas que realicen este tipo de banco.



Figura 49 Puente Pegasus en Francia

Como fuente de inspiración para este diseño se tomó el puente Pegasus en Francia que cuenta con la posibilidad de girar  $90^\circ$  para permitir el paso de botes y barcos.

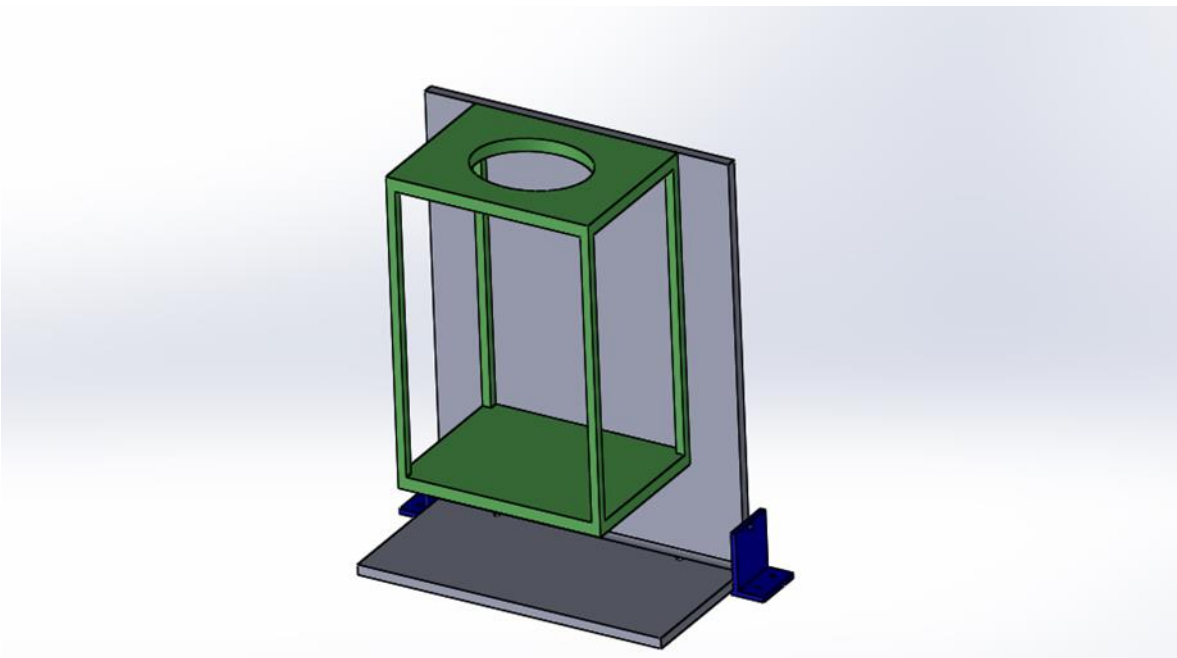


Figura 50 Banco de pruebas con rotación a  $90^\circ$

Finalmente se elabora una propuesta con este principio de funcionamiento, que cuenta con un apoyo en la parte inferior para realizar la rotación, para su operación es necesario emplear amortiguadores para controlar el par en el proceso de rotación.

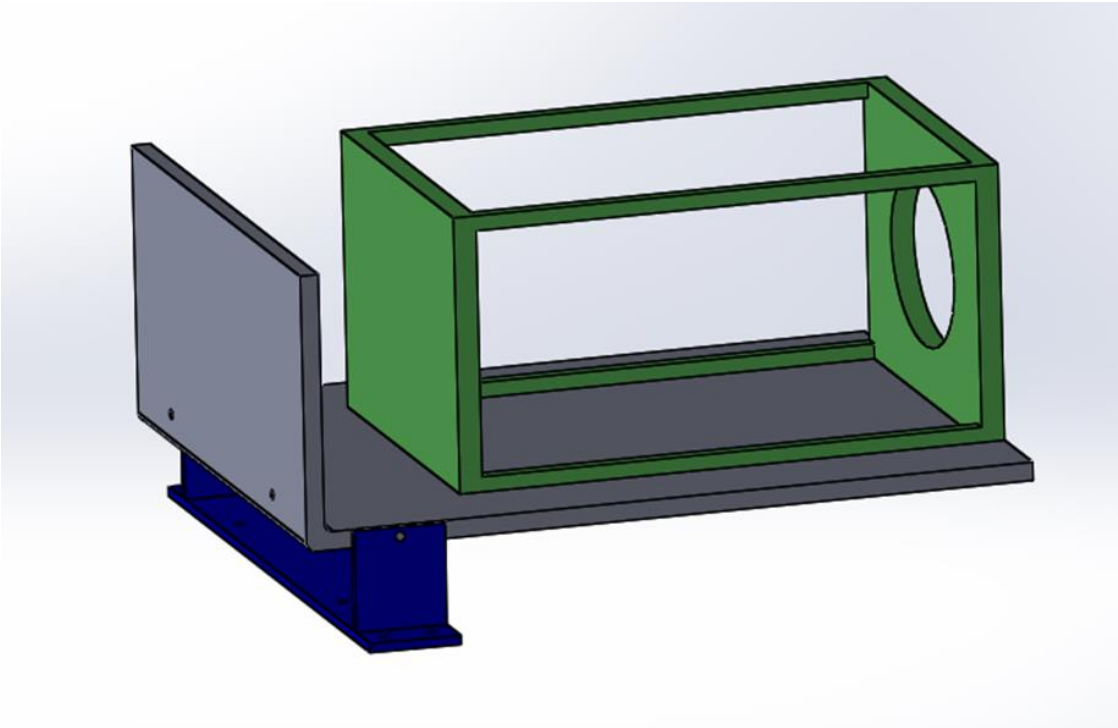


Figura 51 Banco de pruebas en posición horizontal

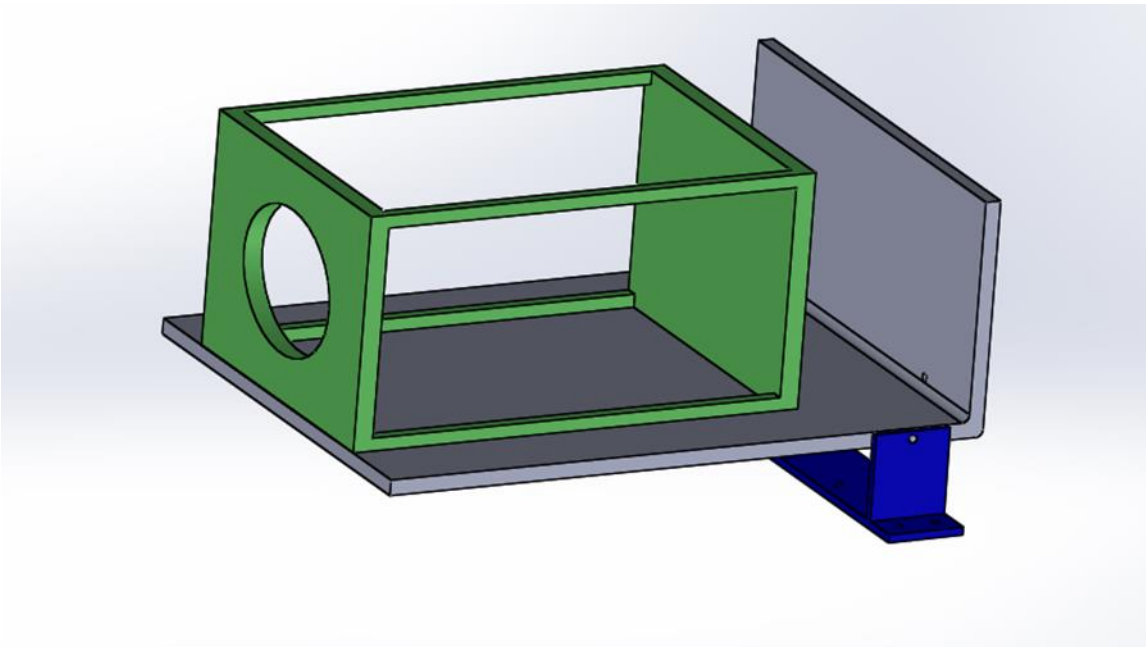


Figura 52 Banco de pruebas posición horizontal



Su principal ventaja es que con este diseño es posible realizar pruebas a motores con posición de operación horizontal y posición de operación vertical.

d) Banco de pruebas con rotación a 360°

Cuenta con un servomotor que permite posicionar el motor a los grados deseados, así como automatizar la rotación, puede contar con electrónica adicional que permita calibrar la posición automáticamente evitando errores humanos, es posible diseñar pruebas de operación en condiciones no convencionales.

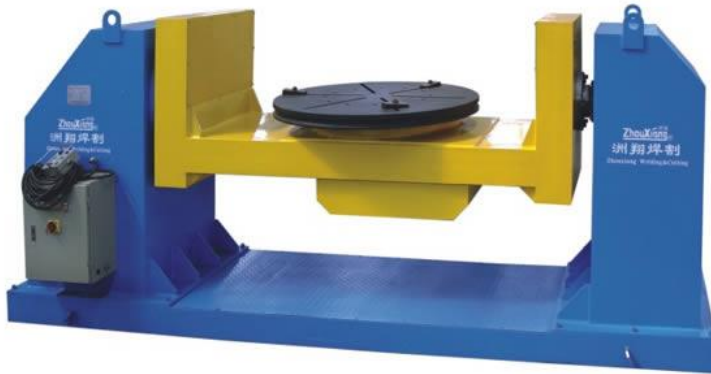


Figura 53 Mesa con rotación a 360° para soldar

La mesa para soldar con libertad de movimiento de rotación emplea el principio de funcionamiento bajo el cual se diseñó esta propuesta. Es un buen ejemplo del empleo del servomotor para el control de posición de los objetos que porta la mesa.

La propuesta estructural para éste tipo de banco es la siguiente.

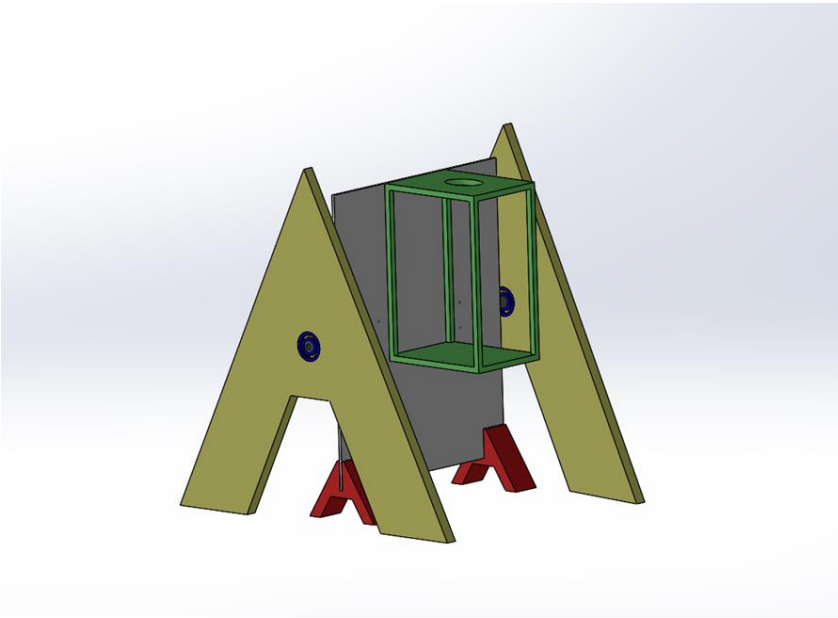


Imagen 54 banco de pruebas con rotación a 360°

La propuesta del banco de pruebas con rotación a 360° en su posición vertical cuenta con dos apoyos rojos para mantener equilibrado el sistema y transmitir la fuerza aplicada sobre el sistema directamente al piso.

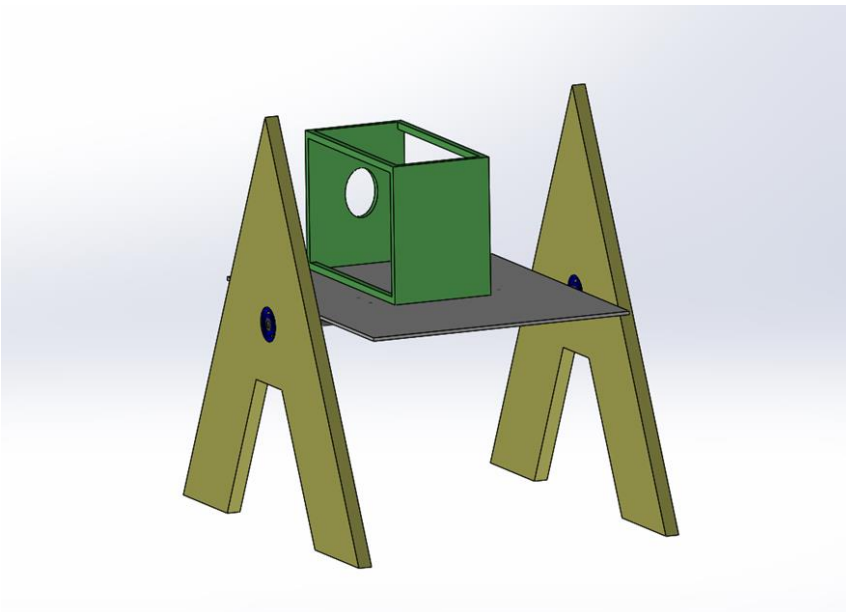


Figura 55 Banco con rotación a 360° en posición horizontal

El diseño presenta una mayor libertad de movimientos, es posible realizar pruebas para ángulos de trabajo diversos.

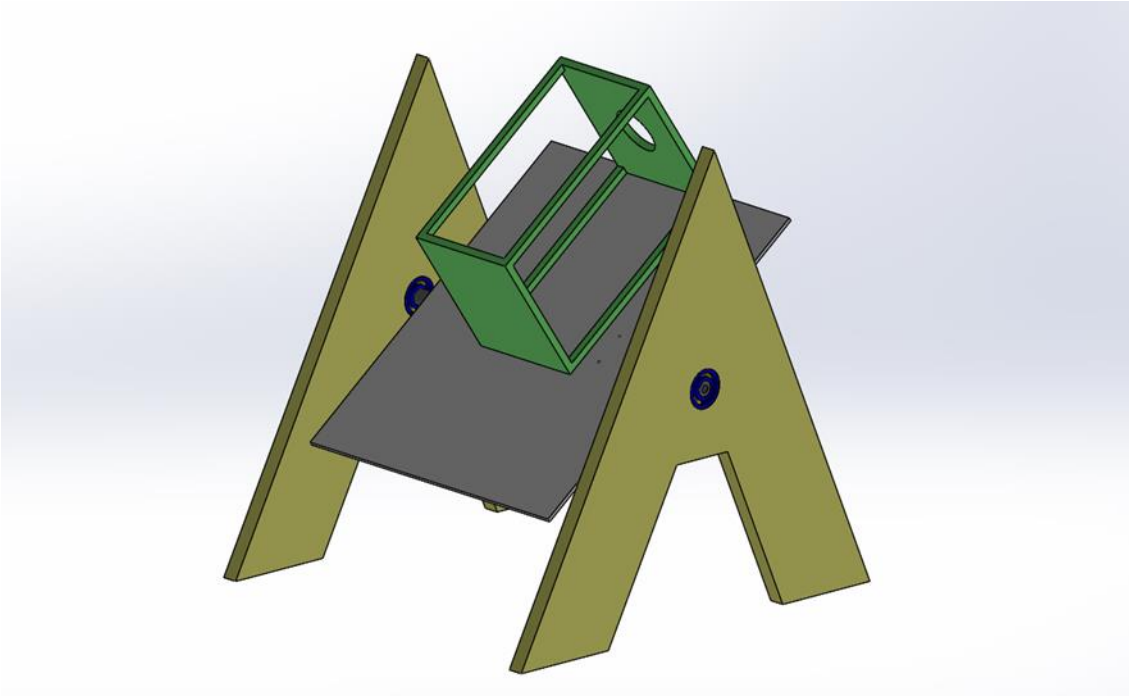


Figura 56 Banco rotacional 360° en posición a 120°

Con este diseño es posible probar las consecuencias de operar el motor en posiciones inadecuadas.

#### 4.12 Realimentación con la empresa colaboradora

Se realizó una reunión con el cliente (empresa colaboradora) para realizar la presentación del proceso de diseño en su etapa inicial, se expusieron las diferentes características de cada una de las propuestas desarrolladas, las herramientas de diseño empleadas, los detalles técnicos, las dificultades a enfrentar en cada uno de los casos, finalmente se tomó una decisión en conjunto y se desarrolló la propuesta seleccionada.

La empresa colaboradora se interesó por el banco de pruebas con rotación a dos posiciones puesto que implica un menor riesgo económico que el de rotación a 360°, menor complejidad en el sistema de control y posibilidad de manufactura en el tiempo solicitado.

Las razones fundamentales por las que el sistema fue seleccionado fueron las posibilidades que ofrece para trabajar motores de operación horizontal, cabe mencionar que son los de mayor diversificación y distribución en el mercado.

Palabras clave

Se realizó un consenso para determinar las características que definen el producto objetivo, las palabras seleccionadas fueron, versatilidad, confiabilidad, seguridad, operatividad y repetitividad, finalmente el diseño preliminar tiene una línea directora mediante la cual consolidar la generación del producto buscado por el cliente.

#### 4.13 Requerimientos

El diseño mecánico del banco de pruebas finalmente tendrá los siguientes requerimientos:

Rotación a dos posiciones

Reducción de niveles de vibración

Calibración de componentes en tres grados de libertad

Facilidad de montaje del motor

Facilidad de montaje de freno

Facilidad de montaje del sensor

Carcasa de seguridad

# Desarrollo del banco de pruebas

## 5 Desarrollo del banco de pruebas

Se determinó que la propuesta a desarrollar sería el banco de pruebas con rotación a dos posiciones, el equipo empezó a trabajar en las diferentes áreas de ingeniería; por una parte los ingenieros especializados en mecánica y manufactura se ocuparon de los detalles estructurales del banco de pruebas, por la otra los especializados en electrónica y control, se enfocaron en las señales e interfaz de usuario.

### 5.1 Trabajo colaborativo

Para poder realizar el trabajo en los tiempos establecidos se creó un plan de trabajo donde se le asignaron tareas de cada uno de los integrantes del equipo.

### 5.2 Tareas de diseño mecánico

Por parte del área de ingeniería mecánica del proyecto se comenzó por dibujar los elementos de la estructura, se definieron las dimensiones principales y las cargas mecánicas sobre cada uno de estos elementos. También se le realizaron pruebas de composición de materiales al motor eléctrico, con ello se pudo obtener su peso y densidad.

### 5.3 Análisis de las líneas de diseño mecánico

#### Rotación del banco de pruebas

Se propuso dotar al banco de pruebas de la capacidad de movimiento en un grado de libertad rotacional para permitir colocar el motor en las posiciones vertical y horizontal respecto a su eje (rotor).

#### Posición a 0°

Básicamente se trata de colocar el banco de pruebas en una posición paralela al piso, permitiendo trabajar con motores de operación horizontal. Algunos ejemplos de este tipo de motores es el motor de lavadora, los motores de mediana y alta potencia en terminales termoeléctricas trabajando como generadores y los motores del metro de la ciudad de México.

## Posición a 90°

El rotor del motor tiene que adquirir una posición vertical, en ésta situación el motor adquirirá una posición paralela a los muros del laboratorio. Los motores eléctricos que funcionan en esta posición se pueden encontrar en diferentes electrodomésticos, como en los refrigeradores, licuadoras y batidoras.

## Vibraciones

### Sistemas de reducción de vibraciones

Es necesario diseñar un sistema para reducir los efectos de vibración provocados por la rotación del motor a 3600 rpm, para este punto se emplean las normas ISO para operación de máquinas rotativas para establecer los niveles de vibración establecidos en este documento, finalmente con la información anterior es posible seleccionar los dispositivos de medición necesarios para el monitoreo del banco de pruebas.

Se cuenta con la documentación de los materiales empleados para la fabricación del banco de pruebas, se conoce la frecuencia natural de vibración del aluminio y acero, y se procede a la selección de los dispositivos anti vibración necesarios para evitar que el sistema mecánico entre en dicha frecuencia.

La velocidad de propagación del aluminio (material predominante empleado en el banco de pruebas) es de 5100 [M/s] por lo tanto es susceptible a las vibraciones de alta frecuencia. Los motores eléctricos operando a 3600 [rpm] generan en operación normal frecuencias cercanas en los materiales del montaje.

### Ergonomía del producto

Realización de los diferentes estudios fisiológicos para determinar la interacción de los operadores con el dispositivo actual. Con especial énfasis en la experiencia del cuerpo humano ante las diferentes tareas que necesitará emplear durante el uso del banco, observando particularmente los problemas que surjan en el proceso. El principal objetivo en este aspecto será evitar lesiones en los usuarios.

Analizando en conjunto todas estas líneas de diseño se realiza un acercamiento al diseño a detalle. Mediante un ejercicio de evaluación rápida se determinan cada una de las soluciones por función.

### Simulación estructural

Se genera la primera propuesta para la mesa y los elementos de soporte de los herramientas. Se trata de las piezas sobre las cuales se aplicará el peso del motor eléctrico y el freno magnético, discriminando el peso del sensor inicialmente.

## Confidencial

Para consulta contactar al  
Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: [areivich@unam.mx](mailto:areivich@unam.mx)

Figura 57 Mesa de pruebas

Procedemos al mallado para superficies con curvaturas por la forma interna de los perfiles de aluminio comercial, ya que de otra forma es imposible para el software realizar el mallado del modelo.



## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería  
Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 58 Mallado del sistema propuesto

La malla generada por SolidWorks® nos muestra características importantes, el tamaño de las mallas es mayor en las partes planas que en las que poseen curvas, es evidente que para el procesamiento de zonas no uniformes la cantidad de elementos debe ser mayor para calcular los cambios que sufre en su superficie.

Se somete el modelo a la carga seleccionada, en este caso de presión y gravedad. Suponiendo las cargas máximas soportadas por cada elemento.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 59 Deformación del sistema mecánico

Finalmente se sabe que los componentes en interacción directa con el motor resisten las cargas a las que son sometidos por lo que se procede a particularizar su estudio al elemento en contacto directo con el motor, la placa y sus soportes. A continuación se desarrolla el estudio de los elementos críticos.

Se realiza una simulación de las cargas principales para determinar en base a ella los materiales y dimensiones del banco de pruebas. Las cargas en cuestión pertenecen al peso de los diferentes elementos a evaluar y el actuador para imprimir carga al motor, en este caso se obtuvo el peso de cada uno de ellos mediante una báscula de precisión, el peso del motor es de 3.893 [kg] y las dimensiones son aproximadamente de 20 [cm] x 20 [cm] x 16 [cm], suficiente para obtener la

densidad del objeto y realizar los cálculos. El punto crítico será en la posición vertical a 90° que dejará el motor en cantiléver, por ello será necesario calcular los apoyos con cargas puntualizadas.

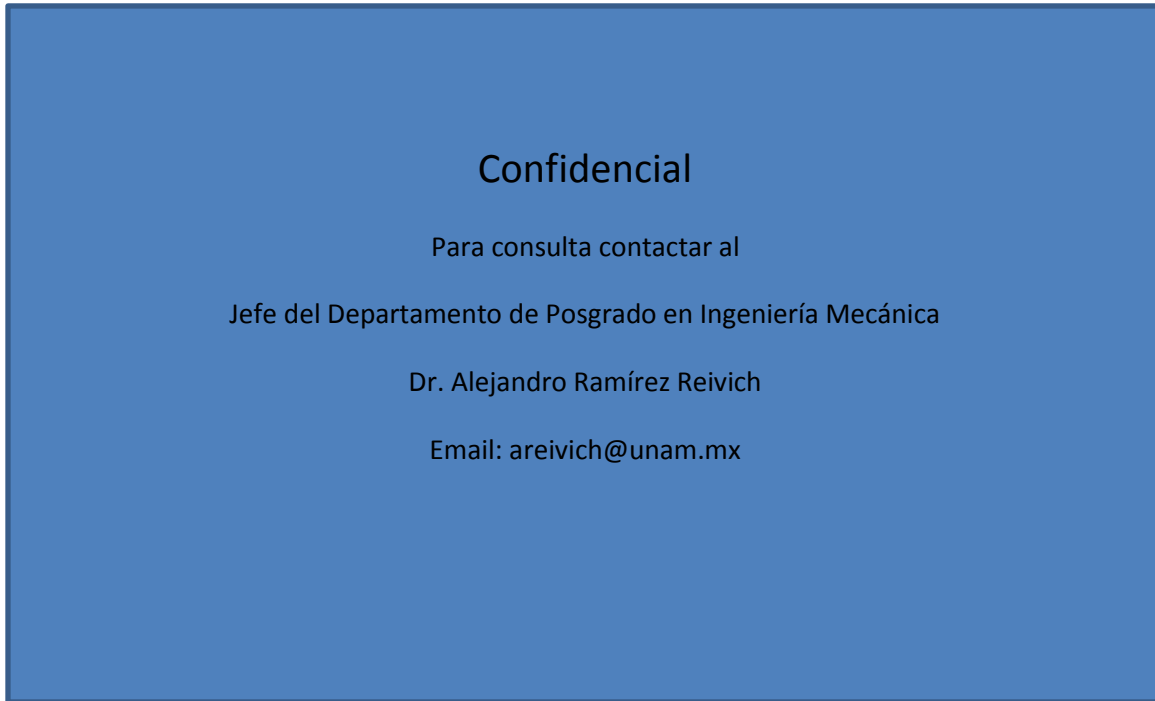


Figura 60 Piezas críticas de la estructura

En la imagen anterior se muestra cómo se colocaron las piezas en contacto con el motor eléctrico, para realizar un análisis de cargas. Al contar con un elevado número de piezas es importante reducir su cantidad, razón por la cual el sistema se ve reducido a las cinco que podemos visualizar.

Al aplicar el análisis de elemento finito tenemos los siguientes resultados.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 61 Estudio de deformación unitaria estática

El resultado del análisis de elemento finito proporciona la información necesaria para seleccionar un material adecuado. En este caso se simuló con aluminio 6061.

Como es posible observar en los resultados del análisis, el aluminio 6061 es capaz de soportar las cargas a las que estará sometida la estructura.

### Diseño mecánico y construcción

Se realiza un pre diseño con miras a fabricación con los efectos de cargas estáticas obtenidos en el paso anterior del desarrollo de la tesis. Para cada posición del banco de pruebas debe ser posible mantener la estabilidad del mismo.

### Control de cada pieza

Para lograr el control de cada pieza es necesario mantener los componentes en su lugar y manejar piezas con alta resistencia a la exposición prolongada de vibraciones, para este propósito se emplean tornillos grado 5 y juntas de neopreno entre las uniones.



Imagen 62 Tornillos Rexroth



Imagen 63 Juntas de neopreno

Para la construcción de la base del banco de pruebas se colaboró con un taller mecánico. Se trabajó con perfil de aluminio de AW 6060 puesto que los cálculos de resistencia del material comprobaron que se trataba del material con las mejores prestaciones mecánicas para nuestra aplicación.

Simulación estructural

Es una herramienta de diseño que permite conocer cómo se comportará la estructura propuesta, también es la evaluación de la configuración de los elementos mecánicos, sus materiales y geometría, ante la acción de una fuerza sobre el sistema.

#### 5.4 Configuración de cargas

Se realizó un prototipo rápido con material reciclado de proyectos anteriores, se le aplicaron cargas mecánicas y se observó la reacción del material, teniendo especial atención en los puntos

donde existió deformación. Después se realizó un análisis de los resultados obtenidos mediante éste método y se determinó el sistema de cargas definitivo.

Empleando perfiles de aluminio AW 6060 con los que se cuenta en el Laboratorio de Mecánica Experimental del CDMIT y accesorios de acoplamiento se construyó el sistema mecánico de evaluación de cargas.

Con el modelo 3D del banco de pruebas y el sistema de cargas definitivo se realizaron análisis estáticos para las diferentes posiciones.

#### Posición vertical

Es la posición crítica de este sistema mecánico, puesto que la línea de acción de la fuerza es paralela al apoyo, se genera un par cuyo valor dependerá de la distancia existente entre el apoyo y la carga.

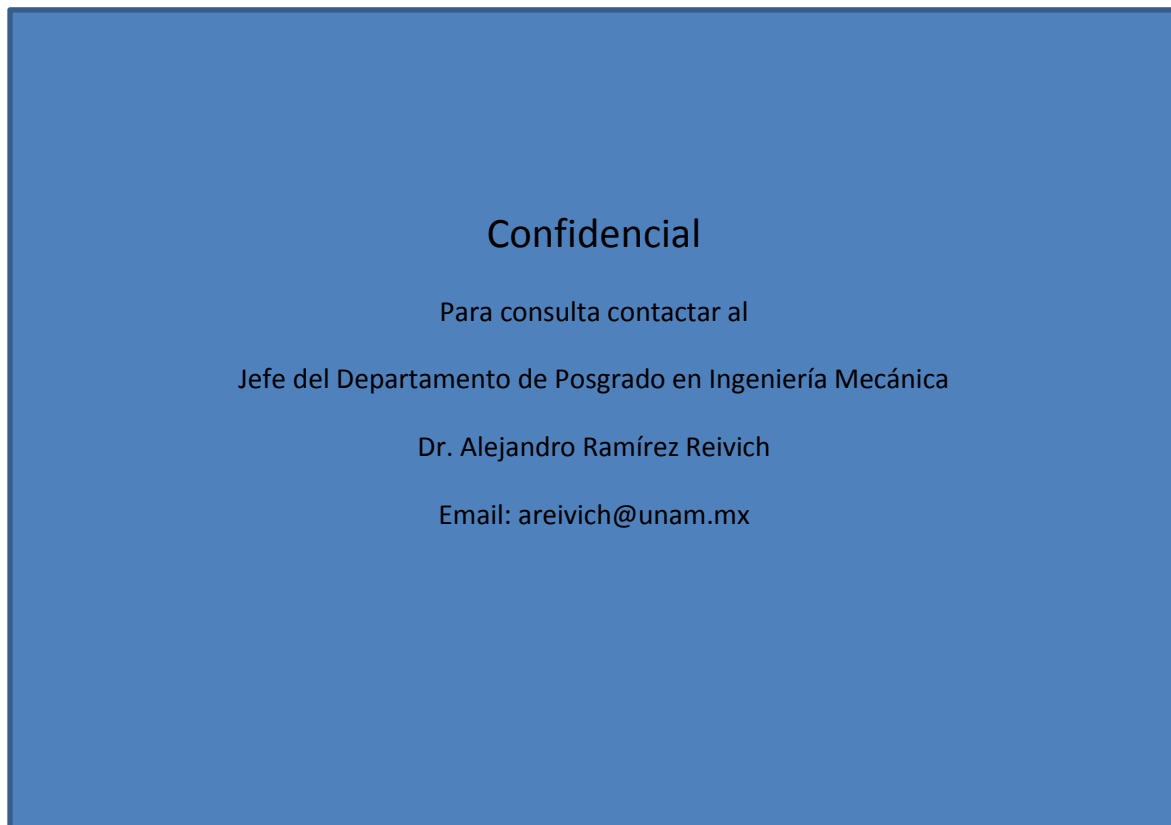


Figura 64 Configuración de cargas con la mesa en posición vertical

Se colocaron las sujeciones en las escuadras dobles y se colocó una carga uniformemente distribuida sobre el herramental de sujeción del motor eléctrico.

### Ventajas

El sistema puede realizar pruebas de motores eléctricos que operen verticalmente sin comprometer la estabilidad estructural del banco.

### Desventajas

Al colocar el motor en cantiléver, los problemas de alineación se agravan, los apoyos son sometidos a mayores esfuerzos convirtiéndolos en puntos críticos del análisis estático.

### Posición horizontal

No representa ningún problema para el banco de pruebas, puesto que las líneas de acción de fuerza de los componentes son perpendiculares al apoyo y no ocasionan ningún par, el sistema está en equilibrio.

Después de comprobar los cálculos mediante experimentación con el prototipo rápido y el análisis estático de esfuerzos se procedió a concretar el diseño final.

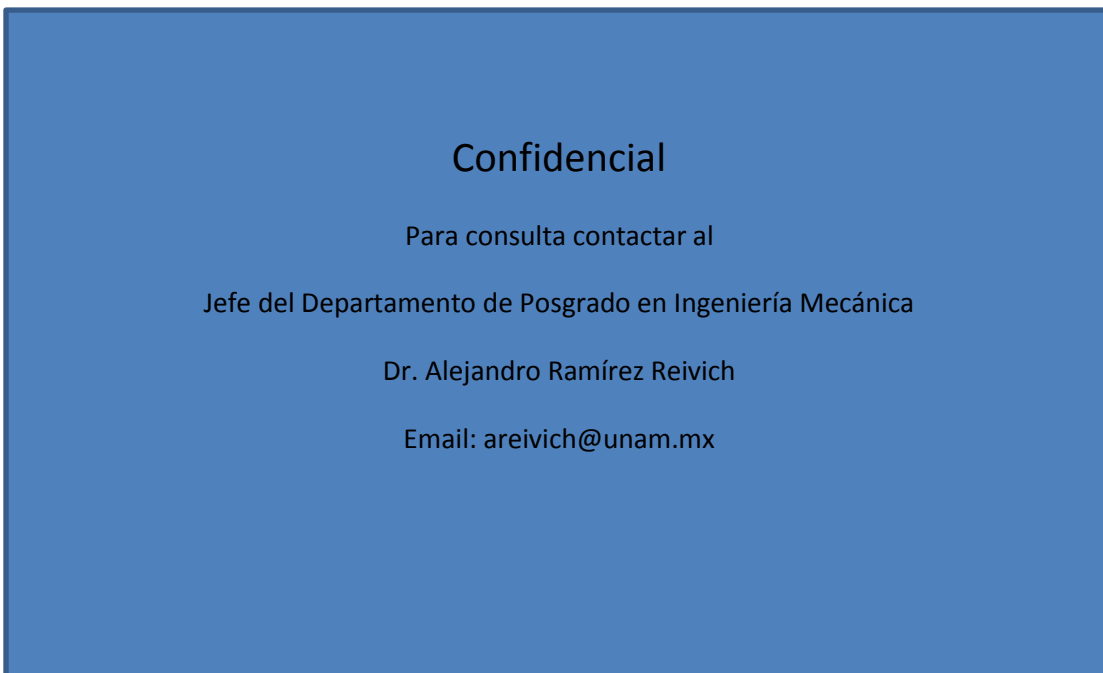


Figura 65 Configuración de cargas posición horizontal de la mesa.

Las sujeciones se colocan en las escuadras dobles y la carga sobre el filo del herramental de acoplamiento del motor.

### Ventajas

Los efectos gravitatorios sobre la carga se reducen porque no hay par, los apoyos se comportan con mayor estabilidad porque se distribuye mejor la carga en el sistema.

## Desventajas

La vibración aumenta considerablemente debido a que el contrapeso del rotor queda sometido al campo de fuerza gravitacional, en una sola dirección hacia el centro de la tierra, provocando una distribución no homogénea en la fuerza de rotación.

## 5.5 Análisis de esfuerzos

Con base en las observaciones obtenidas en el paso anterior, se tomó la decisión de implementar apoyos dobles en las bases de los herramientales de sujeción del motor eléctrico y el freno magnético para incrementar la rigidez estructural de esta parte del banco de pruebas.

Para la posición vertical los resultados del análisis estático de esfuerzos es el siguiente.

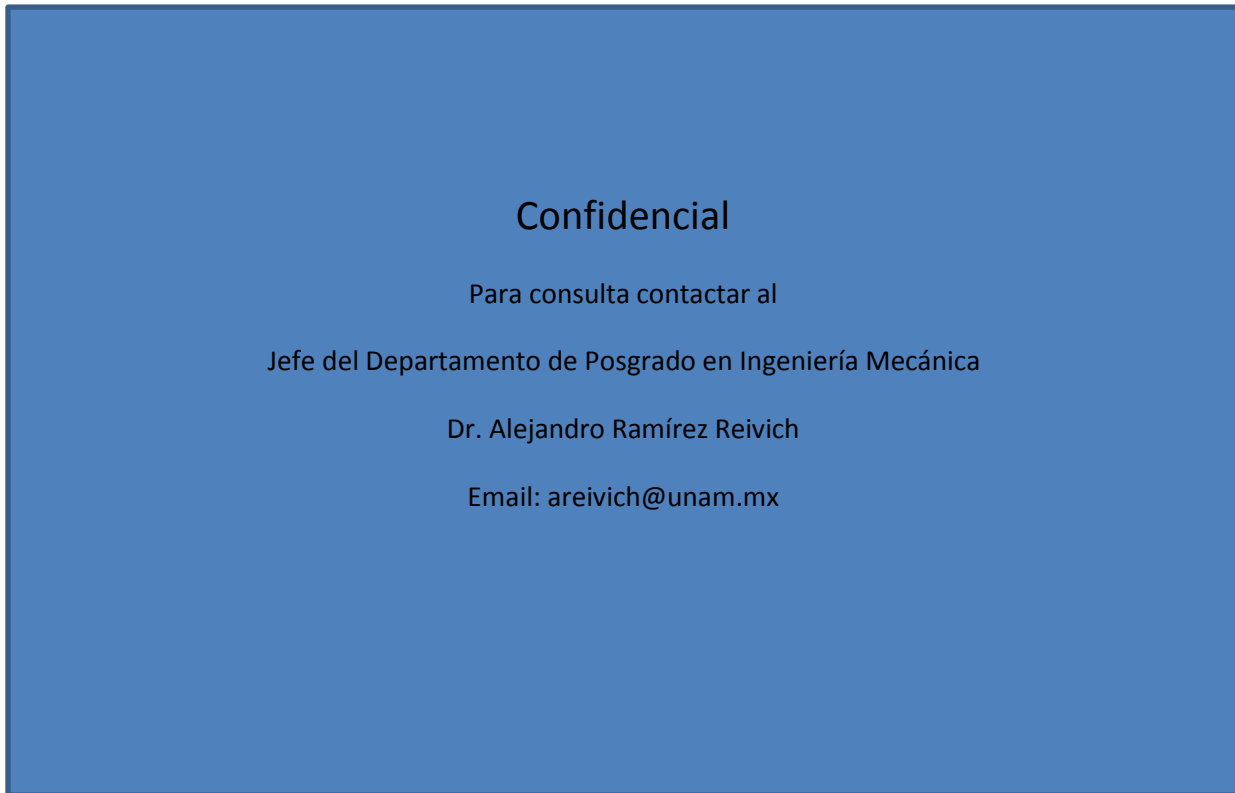


Figura 66 Resultados: análisis sistema vertical

El resultado advierte que el punto crítico del herramientales se encuentra en la parte central y que puede soportar hasta  $1161225.5 \text{ [N/m}^2\text{]}$ . Otro punto importante de análisis es el apoyo entre la escuadra y el perfil de aluminio, que está sometido hasta  $871,001 \text{ [Nm/m}^2\text{]}$  por lo tanto el material es capaz de soportar el peso del motor  $3.789 \text{ [kg]}$  y del freno magnético que es de  $4.592 \text{ [kg]}$  cuya fuerza total no excede los  $100 \text{ [N]}$ .



Para la posición horizontal los resultados del análisis estático de esfuerzos son los siguientes.

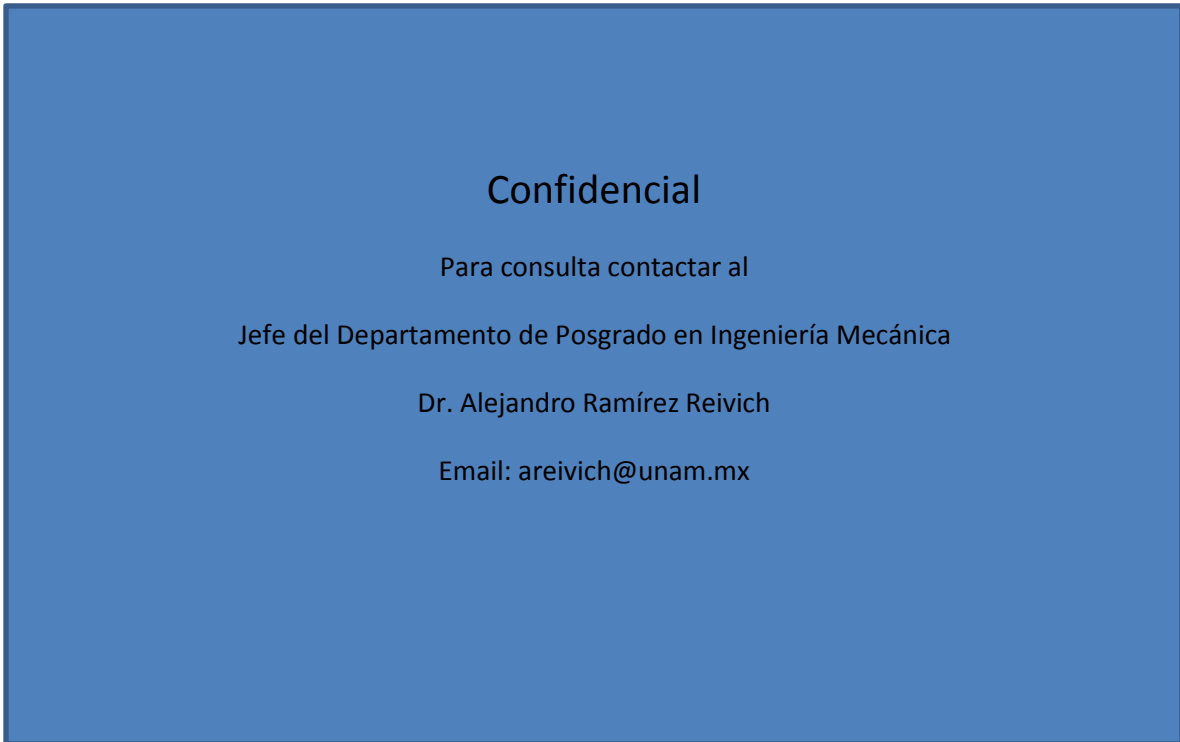


Figura 67 Resultados: análisis sistema horizontal

En los resultados para esta posición es posible observar que la carga mecánica es distribuida con mayor uniformidad, el esfuerzo crítico se encuentra en la sección transversal del herramental y es capaz de soportar hasta 140,448.3 [N/m<sup>2</sup>].

El diseño final del banco de pruebas se muestra a continuación; cuenta con un par de apoyos de acero, que cumplen la función de reforzar la base, están representados en color azul, color emblemático de la UNAM.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 68 Diseño la estructura del banco de pruebas

### 5.6 Prototipo de función crítica (PFC)

Se trabajó con tiempos muy cerrados por lo cual se tomó la arriesgada decisión de comenzar con la manufactura del prototipo funcional de inmediato, con las características determinadas a través del análisis de esfuerzos y el prototipo rápido.

Con el prototipo de función crítica se probaron las principales premisas del proyecto, la función de rotación y la rigidez de la estructura. Una vez resulta esta parte del proyecto fue posible trabajar sobre los detalles de diseño del producto.

También se buscó cumplir con los costos de producción del proyecto, se integraron los materiales, los dispositivos electrónicos y el software necesarios.

Se intentó reducir el costo del producto, buscando concluir con un dispositivo económico y funcional que se pueda colocar en diferentes centros de desarrollo tecnológico de la compañía colaborador.

La construcción del PFC tiene las siguientes características.

Seguridad: Empleo de elementos normalizados para aplicaciones en máquinas rotativas

Simplificación estructural: Manejo inteligente de los esfuerzos presentes.

Puntual: Atención a cada uno de los factores determinantes del diseño del producto de forma clara y concisa.

Para reducir costos de fabricación y horas hombre de trabajo, se colaboró con varios talleres mecánicos y se seleccionó el material con las mejores prestaciones para manufactura, el aluminio.

Si bien el trabajo técnico del taller mecánico tuvo un costo adicional fue compensado totalmente, puesto que el resultado presentó excelentes acabados. De igual forma la garantía otorgada por los colaboradores fue importante para evitar el desperdicio de materiales.

El resultado se muestra con la siguiente imagen.

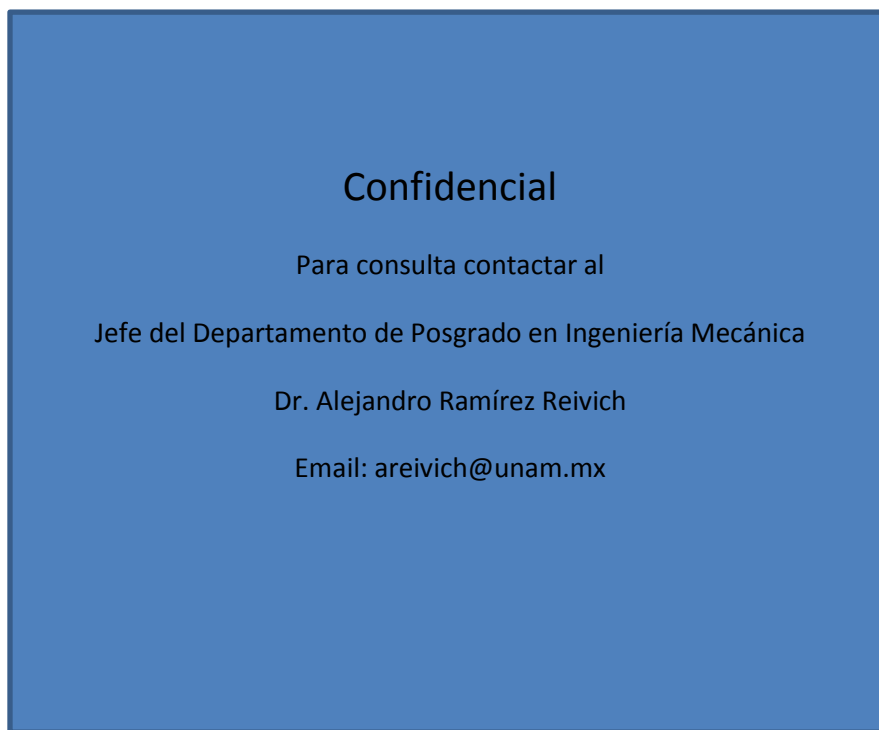


Figura 69 Banco de pruebas con escuadras de unión dobles

## 5.7 Diseño final

Se determinó la dirección final para la conclusión del proyecto, concretando los detalles de los procesos de manufactura a realizar.

Para concluir se trabajó en las instalaciones del taller (CCADET) con la colaboración de su personal técnico, se realizó la supervisión de los cortes por chorro de agua para los herramientas de sujeción del motor y del freno, después se manufacturaron los ejes (flechas) de Nylamid aislantes.

Se realizó el corte del perfil de aluminio para formar el cuadro principal del banco de pruebas, se cortaron y doblaron las láminas de acero, se realizaron los cálculos para la selección de los apoyos para maquinas rotativas mediante el uso del catálogo proporcionado por los distribuidores e igualmente se procedió al cálculo y selección de los amortiguadores.

Los cálculos realizados para la selección de los apoyos con niveladores anti vibración son los siguientes:

$$F = \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Numero de apoyos}}$$

$$F = \frac{110[\text{kg}]}{4}$$

$$F = 27.5[\text{kg}]$$

Fue seleccionando finalmente el modelo A que soporta cargas de hasta 200 [kg] con factores de amortiguamiento para bajas frecuencias en máquinas rotativas.

Una vez resueltos todos los detalles se procedió con el ensamble. Se presentaron los dispositivos con sus respectivos herramientas de enlace y se observó el comportamiento general del banco de pruebas.

Los principales aspectos a resaltar del diseño final son:

#### Ergonomía

Se realiza el análisis de la interacción entre el usuario y los dispositivos a su alrededor, en este caso un estudiante o técnico en un laboratorio para pruebas de motores eléctricos, simulando el Laboratorio de Mecánica Experimental del CDMIT.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 70 CAD laboratorio para pruebas de motores eléctricos.

Gracias al análisis de ergonomía del producto se pudieron establecer las dimensiones óptimas para trabajar cada uno de los elementos de los que está compuesto el banco de pruebas, principalmente la manipulación del motor y el freno magnético (cuyo peso es de 4 [kg] y 5 [kg] respectivamente). Se comprobó que es posible manipular sin problemas estos pesos por la rotación del banco.

El prototipo de función crítica (PFC) demostró que es necesario aumentar la cantidad de apoyos y herramientas de ayuda para facilitar la operación de los dispositivos mecánicos del banco de pruebas.

### Producción

Es necesario trabajar con las mismas tolerancias en todos los talleres con los que se colabora para evitar problemas de compatibilidad.

Evaluar las capacidades de cada taller con el que se realizan trabajos de manufactura determinando críticamente la mejor opción para cada uno de los elementos.

#### Ingeniería del producto

La ingeniería del producto es el punto clave del proyecto donde se realizó el pulido estructural gracias al cual se optimizó el rendimiento del banco de pruebas.

#### Análisis de pruebas

Se realizó la adquisición de datos, para posteriormente realizar los tratamientos necesarios a las señales de muestreo. Se realiza la limpieza de la señal mediante las diversas herramientas de procesamiento de señales, para finalmente interpretar la información generada por el sistema en conjunto. De estas pruebas será importante la variable discreta las que tienen origen mecánico para finalmente determinar la calidad de la integración de los componentes.

#### Procesos

Los procesos de manufactura importantes empleados fueron:

##### Modelado 3D

Se emplearon las diversas herramientas con las que se cuenta en los centros de diseño y manufactura avanzada de la UNAM.

Para modelado 3D se empleó SolidWorks 2013®, Inventor 2014®, y Nx Unigraphics® según las necesidades de cada taller.

Por ejemplo para realizar cortes por chorro de agua es necesario trabajar con extensiones de Autocad® en modelado 2D.

##### Corte por chorro de agua

Se determinó que para realizar los herramentales de sujeción del motor eléctrico es fundamental contar con tolerancia muy cerradas de alrededor del 0.001 [mm] por lo que la mejor opción es el corte por chorro de agua.



Figura 71 Maquina para corte por chorro de agua

En el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) se cuenta con una de estas máquinas, para la realización de herramientas se trabajó en colaboración con los técnicos e ingenieros mecánicos de su taller de manufactura avanzada.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: [areivich@unam.mx](mailto:areivich@unam.mx)

Figura 72 Herramental de sujeción para motor eléctrico

Se trabajó con los aluminios puesto que se trata de un material altamente manufacturable y con los cálculos realizados mediante elemento finito se comprobó que es capaz de soportar la carga mecánica a la cual será sometido.

#### Corte de perfiles de aluminio

La mayor parte del banco de pruebas está formada por perfiles de aluminio, los cuales han sido cortados con herramientas especializadas en el corte de este material.



Figura 73 Cortadora de perfil de aluminio

La calidad del corte en aluminio es determinante en el acoplamiento de los perfiles. La rigidez estructural planteada está sujeta a la calidad de cada corte.



Figura 74 Perfiles cortados

El aluminio cuenta con propiedades particulares de corte, como lo son alta velocidad de corte y lubricación, es un material que se deforma con temperaturas elevadas, la fricción entre el disco y el perfil puede provocar este efecto sino se cuenta con la lubricación adecuada.

#### Termo formado para las cubiertas de protección

El proceso de termo formado se recomienda para piezas cuyo peso es importante mantener lo más reducido posible, puesto que elimina la necesidad de emplear elementos de soporte o forma.



## Pintado

Los soportes de acero se sometieron a un proceso de pintado en color azul, color característico de la Universidad Nacional Autónoma de México, para evitar su oxidación y aumentar su vida útil.

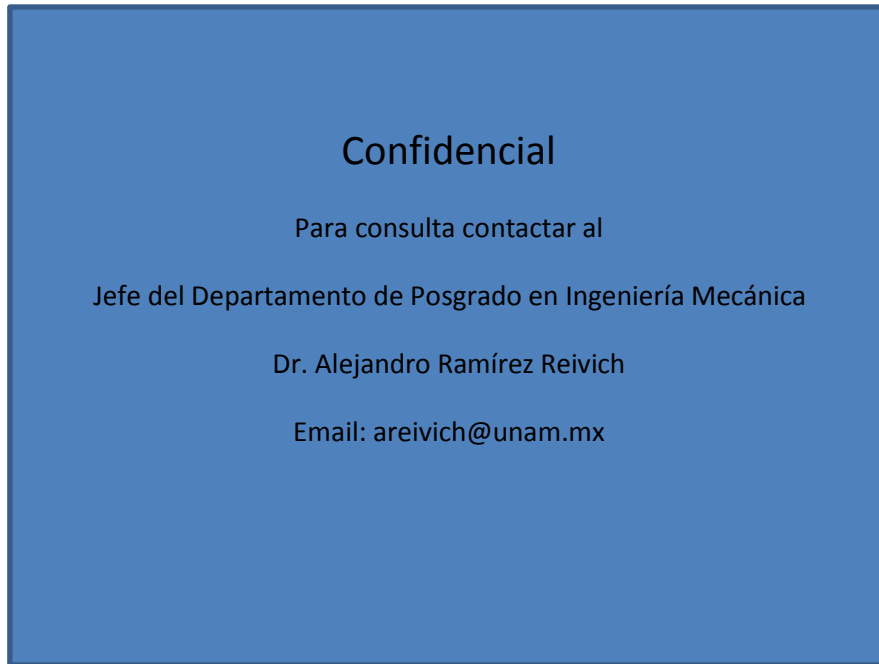


Figura 75 Base sin pintar

La pintura en este caso no solo resulta un capricho estético, al tratarse de acero de alta resistencia cuenta con sus propiedades positivas y negativas, su alto coeficiente de rigidez pero también su fácil oxidación, la pintura solucionara este problema del material.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 76 Bases pintadas

El resultado es sobresaliente, será posible observar el alto coeficiente de reflexión de la pintura seleccionada, especial para condiciones de trabajo exigentes. El pintado incrementa el tiempo de vida considerablemente porque actúa como una protección, en el caso del acero evita su oxidación, aumentando el tiempo de vida del producto.

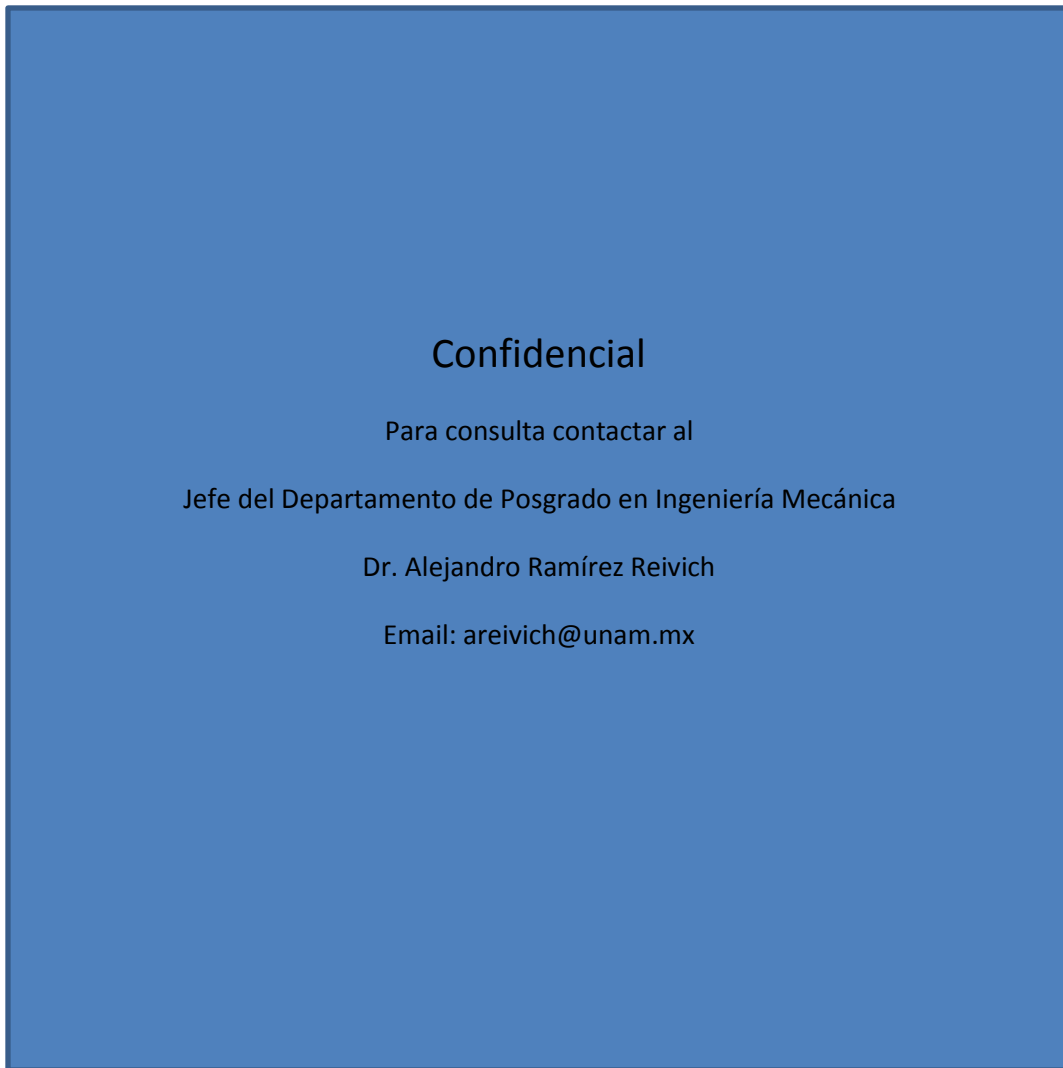


Figura 77 Banco de pruebas Análisis de cargas

Para el cálculo de los amortiguadores se toman en cuenta las ecuaciones de equilibrio estático.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

Se asignan las cargas al sistema y se genera el diagrama de cuerpo libre se necesita conocer la reacción a la cual tiene que responder el amortiguador.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 78 Cargas y apoyos para calcular el amortiguador

Las magnitudes de las fuerzas son las siguientes (en orden de izquierda a derecha) 45 [N], 20[N] y 80 [N]. El soporte que se aprecia se considera de pasador, suponemos un apoyo imaginario con un ángulo de 45° conociendo de antemano que supone una distribución homogénea de la carga, en el extremo opuesto, bajo la fuerza de 80[N], la fuerza en el apoyo será llamada P y es el criterio para la selección del resorte de gas.

Las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$\sum F_x = R_x - P \cos(45) = 0$$

$$\sum Fy = 45[N] + 20[N] + 80[N] - RAy - P\text{Sen}(45) = 0$$

$$\sum MxA = -20[N]0.1[m] - 45[N]0.2[m] - P(0.60[m]) = 0$$

Finalmente resolviendo estas ecuaciones se obtienen los siguientes resultados

$$P = 11.666[N]$$

Fuerza con la cual se podrá seleccionar de las tablas de resortes a gas el que cuente con esta característica.

$$RAx = 8.249[N]$$

La carga en el eje x es poca, por lo tanto será fácil para la estructura soportar su operación sin problemas.

$$RAy = 136.75[N]$$

La carga más importante se presenta sobre el eje de giro como se diseñó, el resultado es satisfactorio por esta parte, puesto que facilita la selección del resorte de gas, que estará sujeto a una carga reducida  $P=11.666[N]$ .

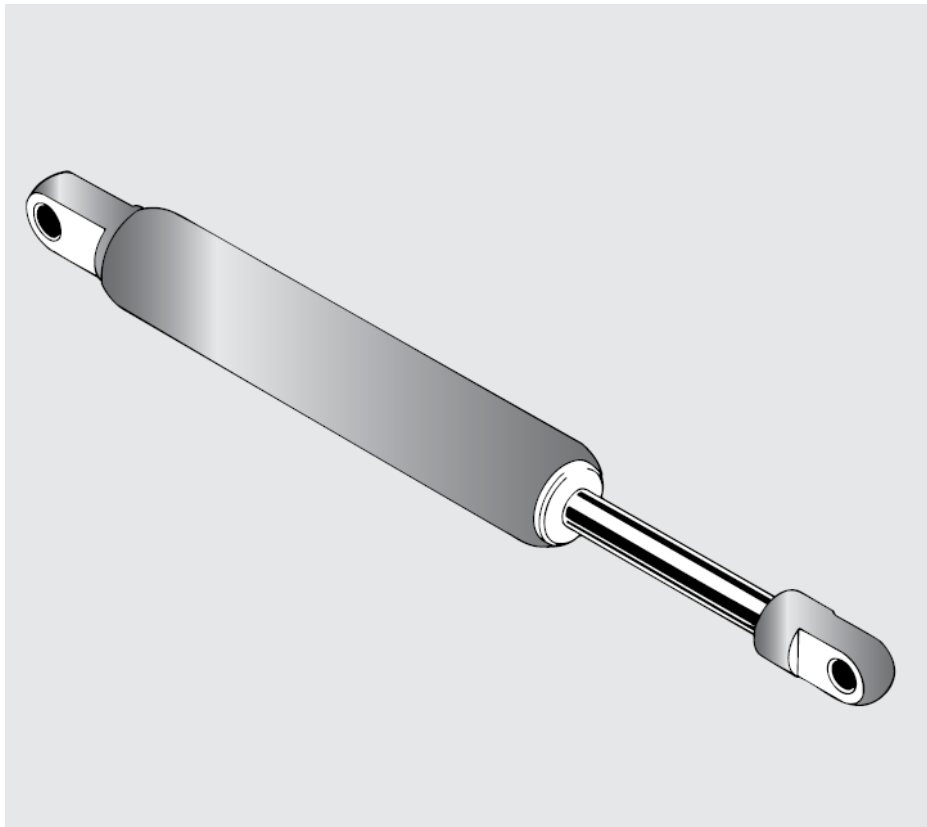


Imagen 79 Amortiguador fijo

Es necesario seleccionar los apoyos de sujeción apropiados, para esta aplicación se emplearon los mostrados en la imagen anterior puesto que permiten un correcto ensamble con el perfil de aluminio.

Datos necesarios	Diámetros				Su ÖDR
	6-20	10-28	14-35	25-69	
∅ K / ∅ Z [mm]	6-20	10-28	14-35	25-69	<input type="text"/>
Carrera máx. [mm]	75	500	1000	1000	<input type="text"/>
Tipo de amortiguación	Puede elegir entre los tipos de amortiguación: <b>1, 2, 3</b>				<input type="text"/>
Medio de amortiguación	aceite	aceite	aceite	aceite	<input type="text" value="aceite"/>
Longitud comprimido (Le)	= longitud extendido - carrera				<input type="text"/>
Longitud extendido (La) Cota F	mín. 2 x carrera + cota F + cota D de las conexiones 82	80	100	220	<input type="text"/>
Conexión en el vástago	GZ, A, G, WG(!), GK (¡Cuidado a la cota D!)				<input type="text"/>
Conexión en el cilindro	GZ, A, G, WG(!), GK (¡Cuidado a la cota D!)				<input type="text"/>
Opciones	<b>6</b> = tubo de protección (La + 20 mm!), <b>8</b> = aceite vegetal				<input type="text"/>
Fuerza de amortiguación máx. [N]	220	1200	1200	7500	<input type="text"/>

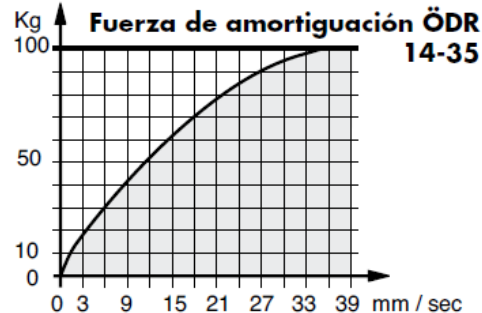
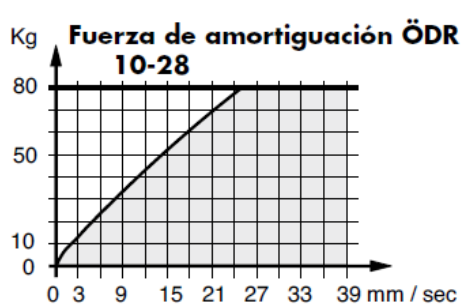


Tabla 2 de datos para selección de amortiguador.

Seleccionamos el amortiguador particularizando los factores mencionados la carrera es de 0.5 [m] y la fuerza máxima de amortiguación será de 100 [N], como medio de amortiguación se emplea aceite, el tipo de amortiguación será el 3 que significa que trabajara en los dos sentidos a compresión y a tracción, el diámetro será de 10 [mm] puesto que existe esta restricción para carreras de hasta 500 [mm] del banco de pruebas.

## Cálculo y selección de acoplamientos

La selección de los coplees se realizó mediante los siguientes criterios:

### Tipos de desalineación

El primero y más común es el axial, se presenta cuando los elementos acoplados tienen planos paralelos pero su flecha no es concéntrica.

El segundo tipo es el radial, la desalineación gira entorno de un eje imaginario fácil de identificar.

El tercero es el angular y se presente cuando existe un ángulo entre los planos de los elementos interconectados.

Finalmente se puede presentar el caso de que la desalineación sea una combinación de los tres casos anteriores. A continuación se muestra una figura con los diferentes tipos de desalineación existentes

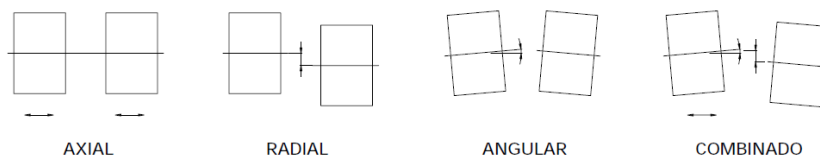


Figura 80 Tipos de desalineación

El cálculo del coplee se realiza mediante la obtención del par desarrollado por la maquina con la que se trabaja.

$$Mt[Nm] = \frac{7026 N [HP] Fs}{n[rpm]}$$

Mt = Momento de torsión

N = Potencia

Fs = Factor de servicio

n = revoluciones por minuto

El factor de servicio se determina obedeciendo las recomendaciones del proveedor descritas en la siguiente tabla.

**FACTORES DE SERVICIO:**

MAQUINA MOTRIZ	DURACION DIARIA DE FUNCIONAMIENTO	FACTOR SEGUN TIPO DE CARGA (máquina conducida)		
		UNIFORME	GOLPES MODERADOS	GOLPES FUERTES
MOTOR ELECTRICO	DE 1-3 HORAS	1	1.5	2
	HASTA 10 HORAS	1.5	2	2.5
	24 HORAS	1.75	2.5	3
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA 4 – 6 CILINDROS	DE 1-3 HORAS	1.5	1.75	2
	HASTA 10 HORAS	1.75	2	2.5
	24 HORAS	2	2.5	3
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA 1 –3 CILINDROS	DE 1-3 HORAS	1.75	2	2.5
	HASTA 10 HORAS	2	2.5	3
	24 HORAS	2.5	3	3.5

Tabla 3 Factor de servicio

El factor de servicio para este caso es el de 1.5 puesto que se trata de un motor eléctrico con golpes moderados, la potencia del motor es de un 1/8 [HP], la velocidad es de 3600 [rpm]. Finalmente al sustituir en la ecuación obtenemos el siguiente resultado.

$$M_t = \frac{7026 * 0.125 * 1.5}{3600} = 0.3659 [Nm]$$

Con el criterio de corrección de desalineación, seleccionamos un coplee para desalineaciones combinadas puesto se trata de un sistema modular que no cuenta con el nivel de restricciones necesarias para seleccionar otro tipo de coplee con características de desalineación axial, radial o angular.



Figura 81 Acoplamiento Ruland® para des alineamiento combinado.



# Construcción

## 6 Construcción

Para la etapa final de construcción se procedió con fabricación e implementación de los últimos elementos necesarios para finalizar el producto.

Se trabajó arduamente en la construcción del sistema de seguridad mecánico, el cableado estructural, la colocación de los diferentes sensores (par, corriente eléctrica, voltaje, velocidad), y cámara termografía.

Se realizó afinación de cortes en piezas de aluminio, machueado en algunos perfiles para ajustar tornillería

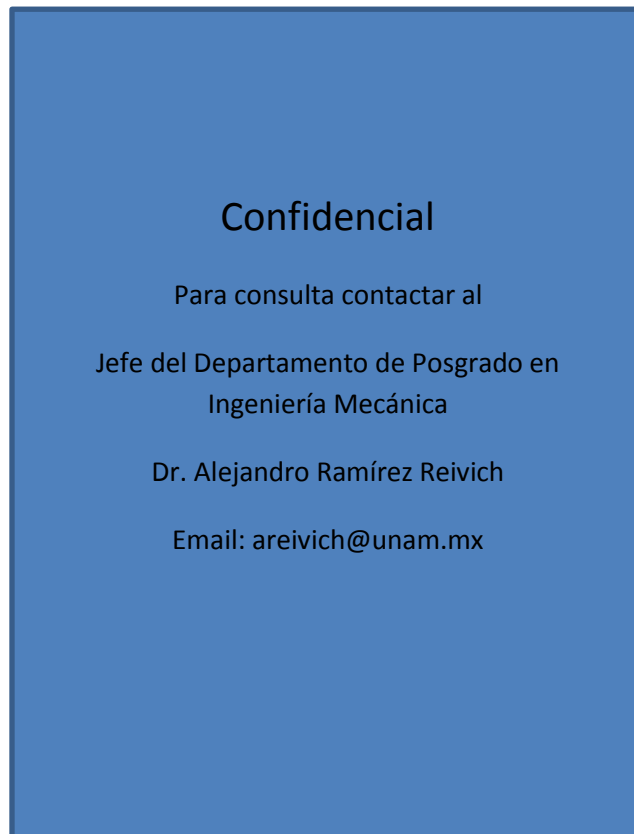


Figura 82 Ajuste de pie de maquina

Se ajustará el nivel de la maquina con los cuatro niveladores con los que cuenta, mismos que poseen propiedades anti vibración para mantener su operación fuera de la frecuencia natural de los componentes mecánicos con los que se construyó el sistema.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería  
Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: [areivich@unam.mx](mailto:areivich@unam.mx)

Figura 83 Banco de pruebas: ajuste de elementos mecánicos y motor eléctrico.

### Accesorios

El ensamble de algunos accesorios necesitó de presentación previa, para ajustes sobre el diseño, tratándose del caso particular de bisagras, seguros y agarraderas

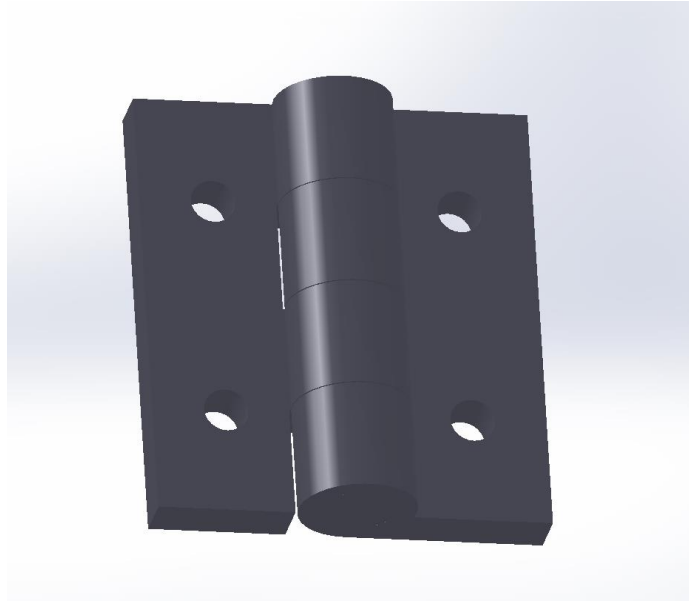


Figura 84 CAD simplificado de la bisagra

Se trata de una pieza de plástico ABS de alta resistencia, para soportar el par generado por el peso de la cubierta protectora, al tratarse un brazo de palanca la carga se concentra en éste elemento, razón por la cual se decidió seleccionarlo.



Figura 85 Bisagra para cubierta de protección

Las bisagras cuentan con una diferencia de espesor entre los perfiles con los que está construido el banco de pruebas, para compensar esta diferencia se colocan elementos de acoplamiento para rectificación, se trata de calzas de aluminio de 10 [mm] de espesor.

## Confidencial

Para consulta contactar al  
Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería  
Mecánica  
Dr. Alejandro Ramírez Reivich  
Email: areivich@unam.mx

Figura 86 Bisagras montada sobre el banco de pruebas

Finalmente con las placas de acoplamiento de aluminio la cubierta de protección queda ensamblada como se muestra en la imagen anterior.

Piezas de policarbonato

La carcasa de protección sufrió deformaciones importantes durante el ensamble, por lo que se recurrió a una iteración de este elemento, proponiendo una carcasa estructurada con elementos de perfil de aluminio para obtener la rigidez necesaria.



Figura 87 Corte de lámina Lexan® 9030

Broche de seguridad

Se presentó sobre el diseño final y colocho el broche de seguridad para asegurar el cerrado de la carcasa del banco de pruebas.

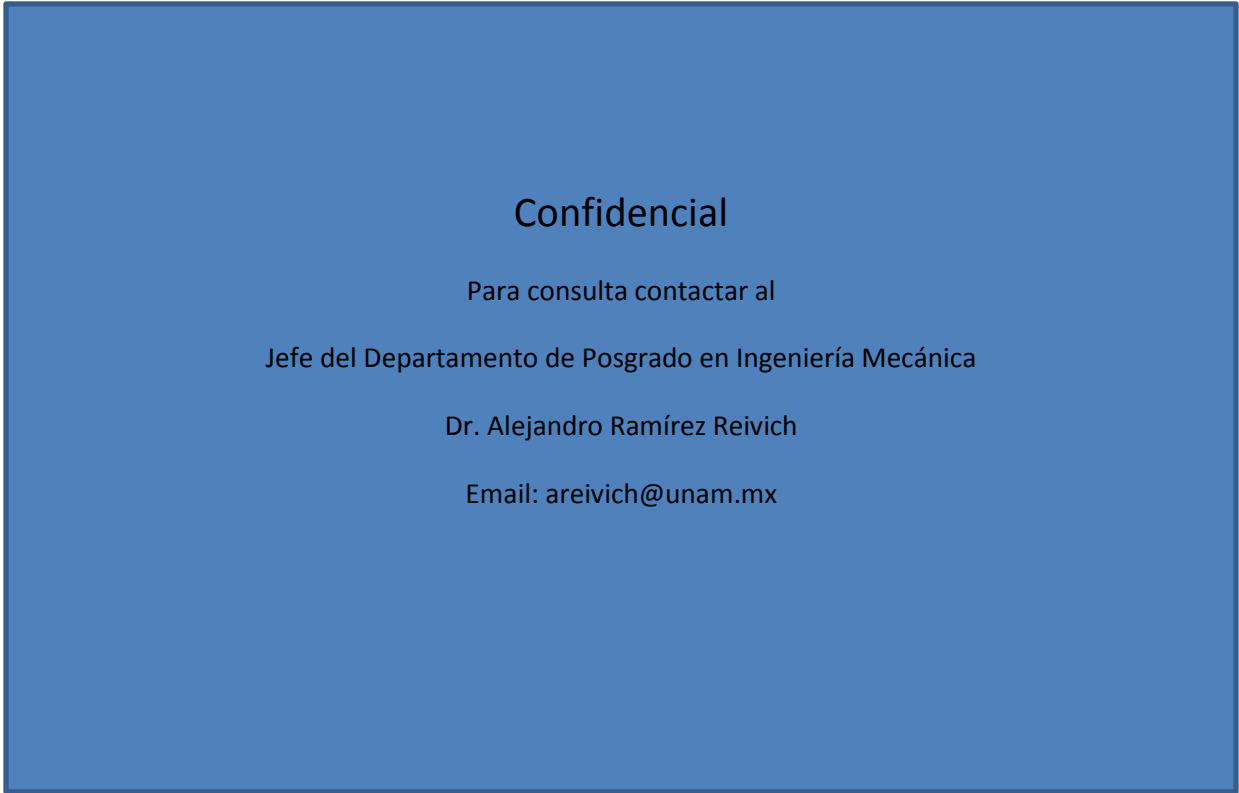


Figura 88 broche de seguridad para la cubierta de protección

La cubierta de protección fue el último componente estructural en ser colocado finalmente la apariencia del banco de pruebas es la siguiente.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 89 Banco de pruebas para motores eléctricos

### Colocación de sensores

Los sensores se colocaron mediante el cableado estructural (diseñado por el equipo de instrumentación) y se conectaron al sistema de adquisición de datos. Posteriormente se inició la adquisición de las señales para realizar las correspondientes pruebas de operación.

## Confidencial

Para consulta contactar al

Jefe del Departamento de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Dr. Alejandro Ramírez Reivich

Email: areivich@unam.mx

Figura 90 Banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos de arranque por capacitor

### 6.1 Presentación

Se realizó la presentación del banco de pruebas para motores eléctrico en dos etapas:

Primera etapa (Laboratorio de Mecánica Experimental del CDMIT).

Presentación técnica con Ingenieros de la empresa colaboradora y especialistas en cada una de las áreas competentes al proyecto. Se trataron los detalles funcionales del producto.

Segunda etapa (en la Torre de Ingeniería)

Reunión con el área administrativa de la empresa colaboradora. En esta reunión se realizó una presentación simplificada con los detalles más relevantes del proyecto.



# Resultados

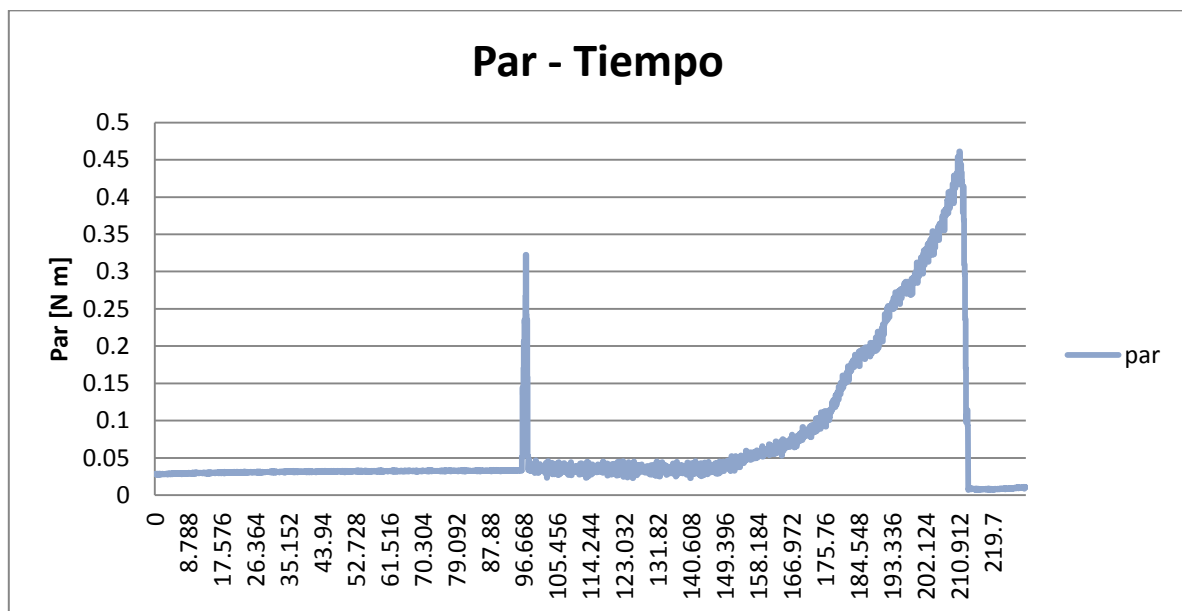
## 7 Resultados

Se realizó una evaluación general al banco de pruebas para motores eléctricos de arranque por capacitor considerando las observaciones realizadas por el cliente y la NOM-014-ENER-2004.

El banco de pruebas cumple con las recomendaciones realizadas en la norma vigente, ya que cuenta con la capacidad de realizar pruebas de caracterización de motores eléctricos en posición horizontal, permitiendo la estandarización de sus resultados.

El ruido por vibración se evaluó con equipo de medición especializado, con lo que se pudo comprobar la reducción de ruido por vibración.

Se logró la obtención de las curvas de caracterización del motor eléctrico monofásico de arranque por capacitor y los resultados son los siguientes.



Grafica 1 Grafica de caracterización del motor eléctrico Par contra Tiempo

Por lo tanto el banco de pruebas para caracterización de motores eléctricos monofásicos de arranque por capacitor logró cumplir los objetivos propuestos.

# Conclusiones

## Conclusiones

El banco de pruebas cumple los requisitos especificados por el cliente, ya que permite el montaje de diversos motores eléctricos por ser completamente modular. Ergonómicamente evita la necesidad de utilizar un espacio ajeno a las instalaciones destinadas para el trabajo con el banco de pruebas y además brinda al cliente la posibilidad de operar los motores en posición vertical u horizontal. El sistema anti vibración reduce el ruido en el proceso de adquisición de datos ya que todos los herramientas de montaje soportan las cargas de los elementos utilizados y los acoplamientos corrigen los diferentes tipos de desalineación presentes en la flecha del motor eléctrico, del sensor de par y del freno de histéresis.

La validez de las pruebas está determinada por la calidad de la integración correcta de los componentes en conjunto con la calibración del sensor. La calibración es el paso final dentro del proceso de ensamble de todo sistema mecánico y es crucial en los resultados que se obtendrán de los experimentos, de no tener un ajuste preciso en cada dispositivo del sistema las lecturas obtenidas de las pruebas por el módulo de adquisición se verán afectadas. La repetitividad del experimento también se ve sumamente comprometida por los errores de calibración puesto que resulta de mayor dificultad cometer siempre el mismo error que realizar una calibración correcta.

Al realizar distintas pruebas se ha comprobado la modularidad del banco de pruebas el cual nos permitió la interacción con distintos componentes en el sistema, desde poleas para calibración del sensor de par rotativo hasta sistemas alternativos para medición de par (como el dispositivo de freno de histéresis con base instrumentada mediante sensores de galgas extensiométricas), debido a la cantidad de grados de libertad disponibles en él.

Resulta necesario comprobar la totalidad de las capacidades del banco de pruebas mediante la implementación de una mayor diversidad de motores eléctricos para poder determinar sus limitaciones de operación reales. Los problemas de los sistemas modulares de multipropósito (posibilidad de integrar diversos dispositivos) son evidenciados en este trabajo de tesis analizando críticamente su operación. Al tener la posibilidad de manipular libremente los accesorios de montaje mediante los grados de libertad disponibles se obtiene como consecuencia una enorme posibilidad de desalineación indeseable en la calibración, por lo tanto se puede concluir que restringir algunos grados de libertad ayudaría en el proceso de calibración significativamente, reduciendo la probabilidad de cometer errores por parte del operador.

La ergonomía del producto no queda plenamente resuelta puesto que al incrementar los niveles de seguridad del banco de pruebas se redujo significativamente la rapidez de acción del operador para poder modificar la posición de los elementos que lo componen. Principalmente para la calibración resulta poco práctico interactuar con la cubierta de protección y los herramientas de sujeción del motor eléctrico, puesto que se trata de un proceso de iteración constante para lograr la correcta operación del motor y la calibración adecuada.

Es importante mencionar que los acoplamientos no sólo se encargan de unir al motor eléctrico con el sensor de par y el freno de histéresis, también se encargan de corregir las diferentes desalineaciones que puede llegar a tener la flecha. Determinar qué tipo de desalineaciones estarán presentes ayuda a nulificar sus consecuencias en las lecturas finales obtenidas por el módulo de adquisición de datos, facilitando el trabajo de procesamiento de señales.

Finalmente cabe resaltar la importancia del análisis de los resultados del procesamiento de señales, es en este campo donde existe la posibilidad de abrir una línea de investigación para la comprensión de los datos adquiridos mediante experimentación, para poder identificar cada uno de los factores que actualmente se encuentran en los datos adquiridos por el sistema y así poder emitir recomendaciones para poder mejorar el desempeño de los motores eléctricos caracterizados.

El principal objetivo de esta tesis es medir la transmisión correcta (con las menores pérdidas) de la energía producida por el motor eléctrico al freno de histéresis para que el sensor de par pueda medir el momento producido en la flecha que une a estos elementos, el cual ha sido cumplido exitosamente con este banco de pruebas para motores eléctricos.

Es importante resaltar la gran labor de las instituciones como medio de enlace con la industria privada, el trabajo en conjunto con ellos ha producido resultados sobresalientes, complementado con la formación práctica el conocimiento teórico obtenido a lo largo de la formación académica.

Finalmente la inversión en desarrollo de tecnología conducirá indudablemente a las empresas e instituciones involucradas a la creación de nuevos productos innovadores y eficientes que se encontrarán en nuestros hogares en un futuro no muy lejano.

# Bibliografía

## Bibliografía y referencias web

1. Ulrich Karl T. Diseño y desarrollo de productos, enfoque multidisciplinario, McGraw-hill, Tercera edición, 2004.
2. Bralla James, Manual de diseño de producto para manufactura, McGraw-hill, primera edición en español, 1993.
3. J.Edward Pope, Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico, McGraw-hill, tercera edición, 2000.
4. Bernard J. Hamrock, Elementos de máquinas, Mcgraw-hill, segunda edición, 2001
5. Budynas, Richard G., Diseño en ingeniería mecánica Shigley, McGraw-Hill, Novena edición, 2012.
6. Bedford, Fowler, Estática mecánica para ingeniería, Addison Wesley, versión en español Jose E. de la Cera, Primera edición, 1996.
7. [www.festo.com](http://www.festo.com)
8. <http://www.perfilesbosch.com.mx>
9. [www.parker.com](http://www.parker.com)
10. [www.metalica.com.mx](http://www.metalica.com.mx)
11. [www.inoxidables.com](http://www.inoxidables.com)
12. <http://www.globalspec.com>
13. <http://www.rohde-schwarz.la>
14. <http://mexico.ni.com>
15. <http://www.omega.com>
16. [www.magtrol.com](http://www.magtrol.com)
17. <http://limac3.fi-c.unam.mx>
18. <http://www.directindustry.es>
19. <http://www.scielo.org.mx>

# Anexos



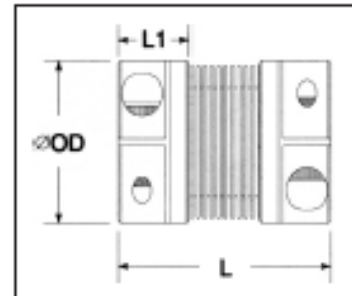
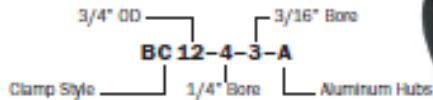
# Anexos

## BC BS STAINLESS STEEL BELLOWS COUPLING INCH DIMENSION SERIES

PART NUMBER		SPECIFICATIONS											
CLAMP STYLE	SET SCREW STYLE	BORE 1 (in)	BORE 2 (in)	OUTER DIAM. OD (in)	LENGTH L (in)	CLAMP SCREW	SET SCREW	HUB WIDTH L1 (in)	STATIC TORQUE (lb-in)	TORSIONAL STIFFNESS (lb-in/Deg)	ANGULAR MISALIGNMENT (Deg)	PARALLEL MISALIGNMENT (in)	AXIAL MOTION (in)
BC10	BS10	2 (.125)	2 (.125)	.590	1.0720	M2	M3	.340	22	72	1.50	.004	.008
		3 (.188)	3 (.188)										
		4 (.250)	4 (.250)										
BC12	BS12	3 (.188)	3 (.188)	.750	1.1875	M2.5	M3	.410	40	120	1.50	.004	.010
		4 (.250)	4 (.250)										
		5 (.313)	5 (.313)										
BC16	BS16	4 (.250)	4 (.250)	1.000	1.3125	M3	M4	.467	60	244	1.50	.004	.012
		5 (.313)	5 (.313)										
		6 (.375)	6 (.375)										
BC21	BS21	5 (.313)	5 (.313)	1.313	1.5625	M3	M4	.590	120	400	1.50	.006	.016
		6 (.375)	6 (.375)										
		8 (.500)	8 (.500)										
BC26	BS26	6 (.375)	6 (.375)	1.625	2.0000	M4	M5	.710	250	550	2.00	.010	.020
		8 (.500)	8 (.500)										
		10 (.625)	10 (.625)										
BC32	BS32	10 (.625)	10 (.625)	2.000	2.3125	M5	M6	.810	400	950	2.00	.010	.020
		12 (.750)	12 (.750)										
		14 (.875)	14 (.875)										
		16 (1.000)	16 (1.000)										

### ORDERING INFORMATION

Choose any bore **b1** and any bore **b2** available in a body size. Part numbers are in the following format with numbers representing inches:



- Note 1** Static torque ratings are at maximum misalignment. To obtain dynamic rating, static ratings should be divided by 2 for non-reversing applications and by 4 for reversing applications.
- Note 2** Hardware is alloy steel with black oxide finish. Parts BS10, BS12, MBS15 and MBS19 have one set screw on each end. BS16, BS21, BS26, BS32, MBS25, MBS33, MBS41 and MBS51 have two set screws 90° apart.
- Note 3** Performance ratings are for guidance only. The user must determine suitability for a particular application.
- Note 4** Couplings supplied with black anodized aluminum hubs. Stainless steel hubs available upon request.
- Note 5** Maximum speed 10,000 RPM.

FOR ENGINEERING INFORMATION, SEE PAGE 5. FOR WARRANTY INFORMATION, SEE PAGE 2.

# STAINLESS STEEL BELLOWS COUPLING

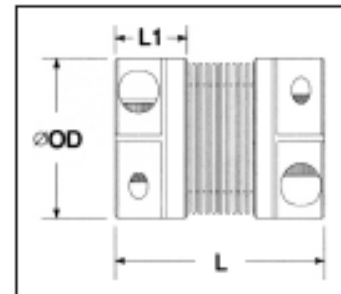
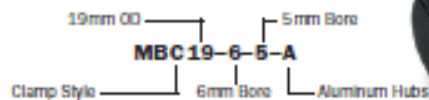
## METRIC DIMENSION SERIES

**MBC**  
**MBS**

PART NUMBER		SPECIFICATIONS											
CLAMP STYLE	SET SCREW STYLE	BORE 1 (mm)	BORE 2 (mm)	OUTER DIAM. OD (mm)	LENGTH L (mm)	CLAMP SCREW	SET SCREW	HUB WIDTH L1 (mm)	STATIC TORQUE (Nm)	TORSIONAL STIFFNESS (Nm/Deg)	ANGULAR MISALIGNMENT (Deg)	PARALLEL MISALIGNMENT (mm)	AXIAL MOTION (mm)
MBC15	MBS15	3	3	15	27.2	M2	M3	8.65	2.5	8	1.50	0.10	0.20
		4	4										
		5	5										
		6	6										
MBC19	MBS19	4	4	19	30.2	M2.5	M3	10.40	4.5	14	1.50	0.10	0.25
		5	5										
		6	6										
		8	8										
MBC25	MBS25	6	6	25	33.3	M3	M4	11.85	6.8	27	1.50	0.10	0.30
		8	8										
		10	10										
		12	12										
MBC33	MBS33	8	8	33	39.7	M3	M4	15.00	13.6	45	1.50	0.15	0.40
		10	10										
		12	12										
		14	14										
MBC41	MBS41	15	15	41	50.8	M4	M5	18.05	28.0	63	2.00	0.25	0.50
		16	16										
		20	20										
		12	12										
MBC51	MBS51	14	14	51	58.7	M5	M6	20.55	45.2	108	2.00	0.25	0.50
		15	15										
		16	16										
		20	20										
		25	25										

### ORDERING INFORMATION

Choose any bore **b1** and any bore **b2** available in a body size. Part numbers are in the following format with numbers representing metrics:



- Note 1** Static torque ratings are at maximum misalignment. To obtain dynamic rating, static ratings should be divided by 2 for non-reversing applications and by 4 for reversing applications.
- Note 2** Hardware is alloy steel with black oxide finish. Parts BS10, BS12, MBS15 and MBS19 have one set screw on each end. BS16, BS21, BS26, BS32, MBS25, MBS33, MBS41 and MBS51 have two set screws 90° apart.
- Note 3** Performance ratings are for guidance only. The user must determine suitability for a particular application.
- Note 4** Couplings supplied with black anodized aluminum hubs. Stainless steel hubs available upon request.
- Note 5** Maximum speed 10,000 RPM.

FOR ENGINEERING INFORMATION, SEE PAGE 5. FOR WARRANTY INFORMATION, SEE PAGE 2.

# Technical Information

## Materials

Bellows: AISI 321 Stainless Steel  
Hubs: 2024 T351 or 7075 T651 Extruded and Drawn Aluminum Bar

## Surface Finish

Hubs: Sulfuric Anodized MIL-A-8625 Type II, class 2

## Hardware

Socket Head Cap Screws: Alloy steel, heat treated. Meet or exceed ASA specification B18.3. Metric hardware meets or exceeds ASA specifications B18.3.1M and ASTM A574M property class 12.9

Forged Socket Set Screws: Alloy steel, heat treated, cup point. Meet or exceed ASA specification B18.3

## Temperature Range

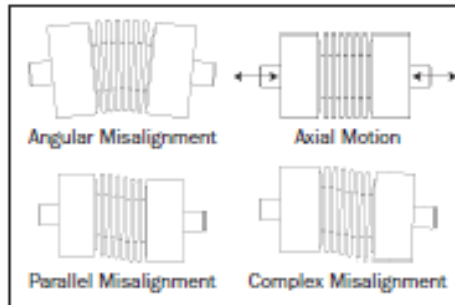
-40° F to 200° F

## Bore Tolerance

+0.002"/-0.000"  
+0.050mm/-0.000mm

## Maximum Speed

10,000 rpm



## Hardware Torque Charts

### TORQUE RATINGS—CLAMP SCREW

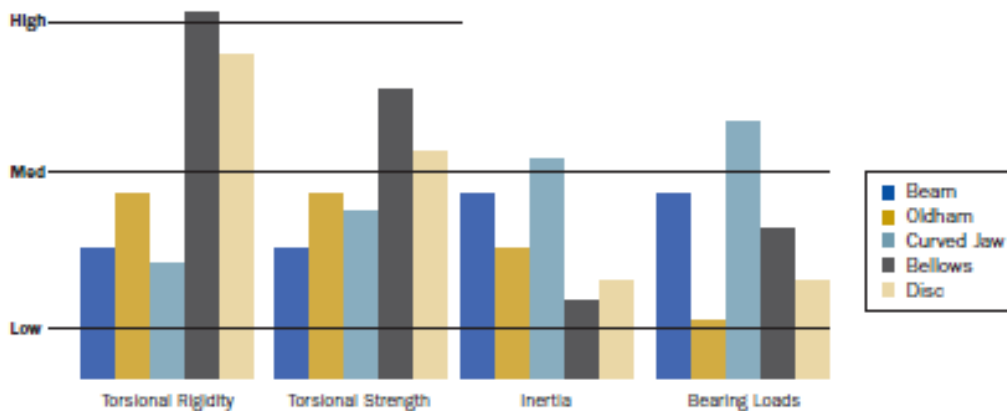
METRIC Clamp Screw	Seating Torque (Nm)	
	ALLOY	304/316/321 STAINL
M2	0.60	0.36
M2.5	1.21	0.73
M3	2.10	1.10
M4	4.60	2.50
M5	9.50	5.40
M6	16.00	9.60

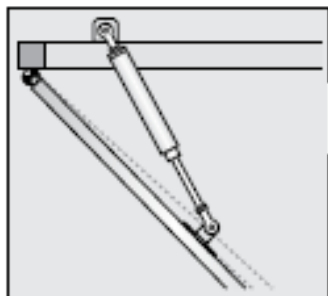
### TORQUE RATINGS—SET SCREW

METRIC Set Screw	Seating Torque (Nm)	
	ALLOY	304/316/321 STAINL
M2.5	0.57	0.44
M3	0.92	0.73
M4	2.20	1.76
M5	4.00	3.20
M6	7.20	5.76

## Installation Instructions

1. Assure that the misalignment between shafts is within the coupling's ratings.
2. Align both hubs of the coupling on the shafts that are to be joined.
3. Fully tighten the screw(s) on one hub to their recommended seating torque (see charts above).
4. Before tightening the screw(s) on the second hub, rotate the coupling by hand to allow it to reach its free length.
5. Tighten the hub on the second shaft such that the misalignment angle remains centered along the length of the coupling and the coupling remains axially relaxed.





### Amortiguadores de aceite ÖDR, montaje fijo, ajustables

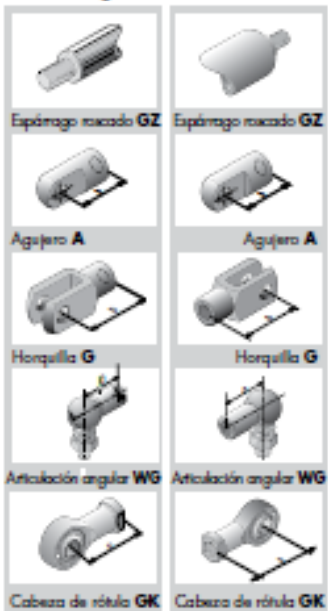
La construcción y la fabricación de los amortiguadores de aceite ÖDR de montaje fijo y ajustables es mucho más complicado que la de los amortiguadores de aceite no ajustables. Pero son siempre la solución óptima, si no es posible definir inequívocamente las fuerzas antes. La fuerza de amortiguación y la velocidad se ajustan exactamente en el lugar para cada aplicación.

De los amortiguadores de aceite, de montaje fijo y ajustables, se producen por defecto cuatro series de diámetros diferentes. El cual se elige depende entre otros de la carrera y de la fuerza de amortiguación necesaria.

### Conexiones

en el vástago

en el cilindro



Dibujos acotados de las conexiones se encuentran en la página 03.031.00.

### Material

Estándar: vástago cromado duro,

cilindro zincado

Ejecución especial: 10-28 y 14-35 completamente en AISI 304 y AISI 316

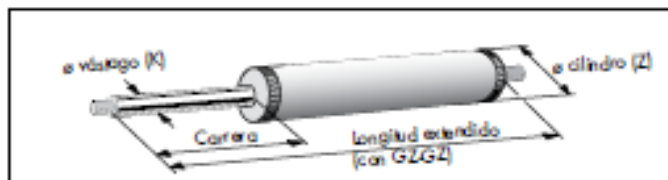
### Tipos de amortiguación

- 1 = sólo en extensión (por tracción)
- 2 = sólo en compresión (por empuje)
- 3 = tanto en extensión como en compresión

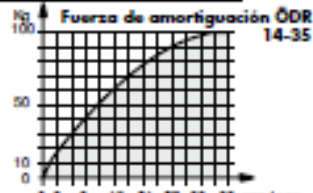
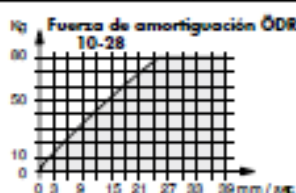
### Como determinar el amortiguador de aceite ÖDR

Con la tabla siguiente es muy fácil determinar su amortiguador de aceite, de montaje fijo, ajustable, si conoce la carrera, la fuerza y las conexiones necesarias. Si quiere otras conexiones que el espárrago roscado GZ, solo debe adicionar la cota D de las conexiones a la cota de la longitud extendido.

Si faltan datos o si necesita ayuda para elegir el amortiguador apropiado, no dude preguntar nuestro servicio técnico.



Datos necesarios	Diámetros				Su ÖDR
	e K / e Z (mm)	6-20	10-28	14-35	
Carrera máx. (mm)	75	500	1000	1000	<input type="text"/>
Tipo de amortiguación	Puede elegir entre los tipos de amortiguación: 1, 2, 3				<input type="text"/>
Medio de amortiguación	aceite	aceite	aceite	aceite	<input type="text"/>
Longitud comprimido (Lc)	= longitud extendido - carrera				<input type="text"/>
Longitud extendido (Le) Cota F	min. 2 x carrera + cota F + cota D de las conexiones	82	80	100	220
Conexión en el vástago	GZ, A, G, WG(!), GK (!)	(!) Cuidado a la cota D!			<input type="text"/>
Conexión en el cilindro	GZ, A, G, WG(!), GK (!)	(!) Cuidado a la cota D!			<input type="text"/>
Opciones	6 = tubo de protección (La + 20 mm), 8 = aceite vegetal				<input type="text"/>
Fuerza de amortiguación máx. (N)	220	1200	1200	7500	<input type="text"/>



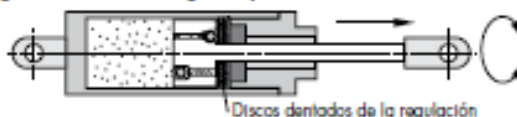


### Indicaciones de montaje Accesorios de fijación

#### ÖDR: Ajuste de la amortiguación

El ajuste de la fuerza de amortiguación de los amortiguadores de aceite, de montaje fijo y ajustables, se hace por regulación de engranaje, como en los amortiguadores de impacto (ver página 03.005.00). Regulación de engranaje estándar: Extraer el vástago tan lejos como posible (ATENCIÓN: Nunca tocar el vástago con unas tenazas. Estas dañarían la superficie y en consecuencia la junta.) Entonces se aumenta o disminuye la amortiguación en girando el vástago. Algunos amortiguadores de aceite se producen con la regulación por el vástago completamente comprimido. Por favor tengan en cuenta la pegatina en el cilindro!

#### Regulación con el vástago completamente extraído



#### Regulación con el vástago completamente comprimido



#### Indicaciones de montaje

La amortiguación empieza solo después de algunos milímetros de carrera.

Generalmente, los amortiguadores de aceite no deben servir de tope final. Recomendamos prever un límite mecánico y separado para las posiciones finales.

#### Accesorios de fijación

Para la fijación de los amortiguadores de aceite, montaje fijo, están disponibles diferentes accesorios de fijación. La selección del soporte depende de las conexiones del amortiguador y del tipo de fijación (lateral/frental). Una selección grande encontrará en el registro Pistones a gas de nuestro catálogo.

## Torque Sensor Series 2000



- Magnetostrictive Torque Sensor
- Bi-directional measurement range from 0 to 500 Nm
- Accuracy class<sup>1</sup> 1
- High tolerable dynamic loads
- High tolerable transverse forces and bending moments
- Maintenance-free operation
- Torque measurements up to 5000 rpm
- Integrated signal conditioning
- Analog output signal

### 1. Short description

With this torque sensor the effective torque on the gauge bar can be measured bi-directionally in real time both at rest and in rotation. The sensor is delivered as a complete unit with corresponding connecting cable and key stones. The transmitting shaft, the contact-free signal pick-up and the analog signal processing are integrated into the sensor structure. The torque sensor is particularly characterized by its low price and high robustness. Therefore the sensor is specially applicable under harsh ambient conditions.

### 2. Model Series 2000

Model Series 2000			Nominal-Torque	Max. load	Rotational Speed [rpm]
Round shaft (Rd)	Square shaft (Sq)	Unit	bidirectional (+/-)	bidirectional (+/-)	Rd/Sq
Ø 8 mm	¼ Inch	[Nm]	2,5	6,0	6000/1000
		[ft-lb]	1,8	3,7	
		[Nm]	6,0	10,0	6000/1000
		[ft-lb]	3,7	7,4	
		[Nm]	7,5	15,0	6000/1000
		[ft-lb]	6,6	11,1	
		[Nm]	17,5	36,0	6000/1000
		[ft-lb]	12,8	26,8	
Ø 14 mm	¼ Inch	[Nm]	75,0	160,0	6000/1000
		[ft-lb]	66,3	110,8	
Ø 18 mm	½ Inch	[Nm]	175,0	360,0	6000/1000
		[ft-lb]	128,0	268,0	
		[Nm]	260,0	360,0	6000/1000
		[ft-lb]	184,3	268,0	
Ø 25 mm	½ Inch	[Nm]	600,0	760,0	6000/1000
		[ft-lb]	388,8	662,8	



# Torque Sensor Series 2000



### 3. Technical Characteristics of the Sensor

No.	Model		Series 2000							
	Accuracy class <sup>1</sup>		1							
		Unit	Value							
1	Linearity deviation incl. hysteresis	%ME*	< ±1,0							
2	Rotational Signal Uniformity (RSU)	%ME*	< ±1,0							
3	Repeatability	%ME*	< ±0,05							
	Output signal in general	Unit	Value							
4	Frequency range, -3dB point, Bessel characteristics	Hz	1000							
5	Analog signal	V	0 ... 5							
6	Signal at torque = Zero	V	= 2,5							
7	Signal at positive nominal torque	V	> 2,5							
8	Signal at negative nominal torque	V	< 2,5							
9	Calibration parameter	mV/Nm	---							
10	Output resistance	Ω	50							
	Effect of Temperature	Unit	Value							
11	Zero point drift over temperature	%/10K	< 1,0							
12	Signal drift over temperature within nominal temperature range <sup>2</sup>	%/10K	< 1,0							
	Power supply	Unit	Value							
13	Supply voltage	VDC	9 ... 12							
14	Current consumption (max.)	mA	10							
15	Start-up peak	mA	< 40							
16	Absolute max. supply voltage	VDC	13							
	General Information	Unit	Value							
17	Degree of protection acc. to EN 60529	IP	50							
18	Reference temperature	°C	+15 ... +35							
19	Operational temperature range	°C	-30 ... +85							
20	Storage temperature range	°C	-30 ... +100							
	Nominal rated torque M (bi-directional)	Nm	2,5	6,0	7,5	17,5	76	176	250	600
21	Weight	Rd	g	386	392	400	685	856	1230	
		Sq		395	401	414	652	754	878	
22	Moment of inertia	Rd	g	597	662	1073	4922	19126	79754	
		Sq		mm <sup>2</sup>	582	648	904	3339	13294	57770

\*ME: related to a full scale measurement range

- The accuracy class implies that taken separately both the linearity deviation as well as the rotational signal uniformity are either lower than or equal to the value of the accuracy class. The accuracy class is not to be identified with the classification following DIN 51309 or EA-10/14.
- The factor of transmission declines linearly up to a maximum of 0,5% / 10K with rising temperature, due to the reduction of the elasticity.

## HB Hysteresis Brakes and MHB Matched Brakes

### FEATURES

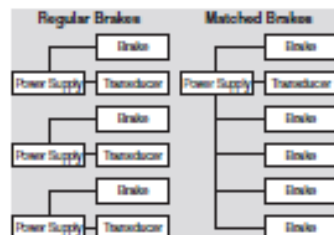
- Torque up to 3500 oz-in
- Speed up to 20,000 rpm
- Power up to 2400 W
- Available in Metric or English dimensions
- Torque independent of speed
- Long, maintenance-free life
- Operational smoothness
- Superior torque repeatability
- Broad speed range
- Excellent environmental stability

### DESCRIPTION

Magtrol pioneered the technology of applying the principles of hysteresis to meet the critical needs for reliable, smooth and adjustable torque control. Magtrol's Hysteresis Brakes produce torque strictly through a magnetic air gap without the use of magnetic particles or friction components. This method of braking provides far superior operating characteristics (smoother torque, longer life, superior repeatability, high degree of controllability, and less maintenance and down time) which make them the preferred choice for precise tension control during the processing of nearly any material, web or strand.

### MATCHED BRAKES

In tension control applications that have multiple webs or multiple strands, it is very desirable to match the tension of each web or strand. This is most commonly attained by using a closed-loop servo control system which controls current to a braking device through the use of dancer arms, follower arms and in-line tension transducers. The problem with such systems is that each web or strand must be individually controlled, increasing the cost and complicating the system with multiple sensors and power supplies.



To solve this problem, Magtrol developed a system to assure that every brake of a given model designation will be matched—at a predetermined torque and current



point—to other brakes of the same model designation. Regardless of material and manufacturing tolerances, each brake is matched at the selected match point to within a tolerance of  $\pm 1\%$ . The maximum deviation in torque from brake to brake at any point along their torque/current curve (from 0 torque up to the selected matched torque point) is less than  $\pm 4\%$ \* of the selected matched torque value. With this level of matching, a system with multiple tension rollers would provide tension consistency within  $\pm 1\%$  if set at the matched point with all brakes receiving the same current. The matched point can be any value between 50% and 100% of rated torque, which allows the brakes to be optimized for specific applications. Unless otherwise specified, all brakes are matched at 100 rpm.

### APPLICATIONS

- Precise control of wire tension during wind, hook and cut operation of high-speed automated winding machines
- Frictionless, non-breakaway force for tensioning materials during slitting and many other material processing operations
- Load simulation applications for life testing on electric motors, actuators, small gas engines, gearboxes, and many other rotating devices and assemblies
- Open-loop control for maintaining precise tension during winding process in transformer and coil winding operations
- Holding of backdriving loads
- Ultimate tension control, regardless of control scheme—dancer roll, follower arm, photo or ultrasonic sensors
- Precise load control and programmed repeatability in fitness machines

\*Contact Magtrol for more information



## Model 5210 Current-Regulated Power Supply

### DESCRIPTION

The 5210 is a current-regulated power supply and display that is designed for use with Magtrol's Hysteresis Brakes and Clutches. With regulated current, torque drift caused by temperature changes within the brake coil is eliminated. The 5210 is a solid-state control that provides smooth application of current from zero to maximum.

The 5210 is available in either 12, 24 or 90 VDC voltages, corresponding to the available hysteresis brake/clutch coil voltage options. Braking power can be controlled manually from either the 10-turn potentiometer and adjustment knob on the front panel, or externally from the 0-5 VDC input when remote operation is desired. An LCD readout conveniently displays the applied braking current.



Dimensions		
Width	7.50 in	190 mm
Depth	9.75 in	245 mm
Height	2.75 in	69 mm

### SPECIFICATIONS

	5210-1	5210-2	5210-3
Brake Voltage	0 to 90 VDC	0 to 24 VDC	0 to 12 VDC
CURRENT RANGES:			
Low Scale	0 to 50 mA	0 to 200 mA	0 to 300 mA
Medium Scale	0 to 150 mA	0 to 500 mA	0 to 750 mA
High Scale	0 to 300 mA	0 to 1000 mA	0 to 1500 mA
Current Regulation	± 1% Full Scale		
Braking Control	10-turn potentiometer (internal) or 0-5 VDC input (external)		
Brake Fuse (5 × 20 mm)	UL/GSA 0.400 A 250V SB IEC 0.315 A 250V T	UL/GSA 1.25 A 250V SB IEC 1.00 A 250V T	UL/GSA 2.00 A 250V SB IEC 1.60 A 250V T
Line Fuse (5 × 20 mm)	120 V: UL/GSA 1.0 A 250V SB 240 V: IEC 0.4 A 250V T		
Power Requirements	100 VA		
Voltage Requirements	120/240 V AC 50/60 Hz		

Last Revised: 2015-10-21 10:33:45.0

## Low-Cost M Series Multifunction Data Acquisition - 16-Bit, 250 kS/s, up to 80 Analog Inputs



- NI recommends high-speed M Series (NI 625x) for 5X faster sampling rates, high-accuracy M Series (NI 623x) for 4X higher resolution, or Industrial M Series (NI 623x) for 60 VDC isolation and superior noise rejection
- 16, 32, or 60 analog inputs at 16 bits, 250 kS/s
- Up to 4 analog outputs at 16 bits, 600 kS/s (8  $\mu$ s full-scale settling time)
- Programmable input range ( $\pm$ 10,  $\pm$ 5,  $\pm$ 1,  $\pm$ 0.2 V) per channel
- Up to 48 TTL/CMOS digital I/O lines (up to 32 hardware-timed at 1 MHz)
- Two 32-bit, 80 MHz counter/timers
- Digital triggering
- X1, X2, or X4 quadrature encoder inputs

### Overview

NI M Series low-cost multifunction data acquisition (DAQ) devices provide optimized functionality for cost-sensitive applications. They have up to 60 analog inputs, 48 digital I/O lines, four analog outputs, two counter/timers, and digital triggering. Low-cost M Series devices have a one-year calibration interval. For better accuracy, faster speeds, and an extended two-year calibration service, consider high-speed and high-accuracy M Series devices.

[Back to Top](#)

### Requirements and Compatibility

#### OS Information

Linux®  
 Mac OS X  
 Windows 2000/XP  
 Windows 7  
 Windows Vista x64/v08

#### Driver Information

NI-DAQmx  
 NI-DAQmx Base

#### Software Compatibility

ANSI C  
 LabVIEW  
 LabWindows/CVI  
 Measurement Studio  
 SignalExpress  
 Visual Basic  
 Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

### Comparison Tables

Family	Bus	Analog Inputs	Analog Input Resolution (bits)	Analog Outputs (AO)	AO Resolution (bits)	Max AO Rate (kS/s)	AO Range (V)	Digital I/O	Correlated (clocked) DIO
NI 6220	PCI, PXI	16	16	-	-	-	-	24	8, up to 1 MHz
NI 6221	PCI, PXI, USB	16	16	2	16	600	$\pm$ 10	24	8, up to 1 MHz
NI 6221 (DT-pri)	PCI	16	16	2	16	600	$\pm$ 10	10	2, up to 1 MHz
NI 6224	PCI, PXI	32	16	-	-	-	-	48	32, up to 1 MHz

# Servo-Tek Products Company, Hawthorne, New Jersey

## DC Tachometer Generator Specification A-7

### 1. ELECTRICAL

**A - Output Voltage:** 2.6  $\pm$  3% volts per 1000 RPM no load at approximately +25 °C.

**B - Internal Resistance:** At +25 °C is approximately 38  $\Omega$ .

**C - Insulation Resistance:** The insulation resistance between either terminal and housing shall be 50 M $\Omega$  minimum when measured with a 500 VDC megger.

**D - Ripple:** The RMS value will not exceed 3% of the DC value at any speed in excess of 40 RPM.

**E - Linearity:** At any speed from 0 to 12,000 RPM is better than 0.1% of the output at 3600 RPM.

**F - Bidirectional Output:** Polarity reversal indicates direction of rotation; output in either direction is held to 0.25% of the nominal output.

**G - Polarity:** No. 1 terminal is positive when direction of rotation is clockwise as viewed from terminal end.

**H - Breakdown Voltage:** Each unit will withstand an AC potential applied for one (1) second between either terminal and housing as follows:

Initial test only: 1250 VDC @ 60 Hz

Subsequent tests: 935 VDC @ 60 Hz

**J - Temperature Coefficient:** The output voltage at +25 °C will not deviate more than 0.01% per °C change over a temperature range of -20 °C to +75 °C.

### 2. ENVIRONMENTAL

**A - Temperature:** (1) Operation -25 °C to +100 °C. \*  
(2) Storage down to -65 °C. \*

**B - Altitude:** Up to 10,000 feet.

\* Consult factory for lower temperature or higher altitude applications.

### 3. INSPECTION

**A - Standard tests:** Performed for the following notes only: 1A, 1C, 1D, 1F, 1G & 1H

**NORMA Oficial Mexicana NOM-014-ENER-2004, Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW a 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Energía.- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-014-ENER-2004, EFICIENCIA ENERGETICA DE MOTORES ELECTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA, MONOFASICOS, DE INDUCCION, TIPO JAULA DE ARDILLA, ENFRIADOS CON AIRE, EN POTENCIA NOMINAL DE 0,180 KW A 1,500 KW. LIMITES, METODO DE PRUEBA Y MARCADO.

La Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, con fundamento en los artículos 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 33 fracciones VIII y IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3 fracción VI inciso c), 34 fracciones XVI, XIX y XXII y 40 del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 1, 2, 3 fracción I y 8 fracciones I y VIII del Decreto por el que se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, como órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía y 1 del Acuerdo por el que se delega en favor del Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, las facultades para presidir el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, así como expedir las Normas Oficiales Mexicanas en el ámbito de su competencia, publicados en el **Diario Oficial de la Federación** el 20 de septiembre y 29 de octubre de 1999, respectivamente, y

#### CONSIDERANDO

Que la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal define las facultades de la Secretaría de Energía, entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promuevan la eficiencia del sector energético;

Que el Programa Nacional de Normalización de 2004 publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de mayo de ese mismo año, contempla la actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-014-ENER-1997, Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, de uso general en potencia nominal de 0,180 a 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos;

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-ENER-2003, Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW A 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado; lo que se realizó en el **Diario Oficial de la Federación** el 1 de noviembre de 2004, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo que lo propuso;

Que durante el plazo de 60 días naturales contados a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público en general para su consulta y que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo, realizándose las modificaciones procedentes;

Que con fecha 17 de marzo de 2005, se publicaron en el **Diario Oficial de la Federación** las respuestas a los comentarios recibidos respecto del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-ENER-2003, Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW A 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado;

Que en la sesión XXXI Ordinaria del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), celebrada el 25 de noviembre de 2004, los miembros del Comité aprobaron por consenso la norma referida, y

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que las normas oficiales mexicanas se constituyen como el instrumento idóneo para la prosecución de estos objetivos, se expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-014-ENER-2004, EFICIENCIA ENERGETICA  
DE MOTORES ELECTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA, MONOFASICOS, DE INDUCCION,  
TIPO JAULA DE ARDILLA, ENFRIADOS CON AIRE, EN POTENCIA NOMINAL  
DE 0,180 kW A 1,500 kW. LIMITES, METODO DE PRUEBA Y MARCADO**

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 31 de marzo de 2005.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, **Carlos Domínguez Ahedo**.- Rúbrica.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-014-ENER-2004, EFICIENCIA ENERGETICA  
DE MOTORES ELECTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA, MONOFASICOS, DE INDUCCION,  
TIPO JAULA DE ARDILLA, ENFRIADOS CON AIRE, EN POTENCIA NOMINAL  
DE 0,180 kW A 1,500 kW. LIMITES, METODO DE PRUEBA Y MARCADO**

**PREFACIO**

La presente Norma Oficial Mexicana fue elaborada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), con la colaboración de los siguientes organismos, instituciones y empresas:

- ASESORIA Y PRUEBAS A EQUIPO ELECTRICO Y ELECTRONICO, S.A. DE C.V.
- ASOCIACION DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, A.C.
- BOMBAS GRUNDFOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA.
- COMPAÑIA DE MOTORES DOMESTICOS, S.A. DE C.V.
- ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACION, A.C.
- FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA.
- INDUSTRIAS IEM, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS.
- MABE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
- MOTORES US DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- POTENCIA INDUSTRIAL, S.A.
- PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA EN EL SECTOR ELECTRICO.
- ROCKWELL AUTOMATION DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- SIEMENS, S.A. DE C.V.
- WEG MEXICO, S.A. DE C.V.



**INDICE**

- 0. Introducción
- 1. Objetivo
- 2. Campo de aplicación
- 3. Referencias
- 4. Definiciones
- 4.1 Dinamómetro
- 4.2 Eficiencia
- 4.3 Eficiencia de prueba
- 4.4 Eficiencia mínima asociada
- 4.5 Eficiencia nominal ( $\eta$ )
- 4.6 Equilibrio térmico a carga plena
- 4.7 Factor de corrección del dinamómetro (FCD)
- 4.8 Motor eléctrico abierto
- 4.9 Motor eléctrico cerrado
- 4.10 Motor eléctrico con capacitor
- 4.11 Motor eléctrico de fase dividida
- 4.12 Motor eléctrico de inducción
- 4.13 Motor eléctrico
- 4.14 Motor eléctrico monofásico
- 4.15 Motor eléctrico tipo jaula de ardilla
- 4.16 Potencia de entrada
- 4.17 Potencia de salida
- 4.18 Potencia nominal
- 4.19 Régimen continuo
- 4.20 Régimen nominal
- 4.21 Régimen de prueba
- 4.22 Torsiómetro
- 5. Clasificación
- 6. Especificaciones
- 6.1 Eficiencia nominal de motores eléctricos monofásicos de inducción
- 6.2 Eficiencia mínima asociada
- 6.3 Determinación de la eficiencia
- 7. Muestreo
- 8. Criterios de aceptación
- 8.1 Placa de datos
- 8.2 Resultados de las pruebas
- 9. Método de prueba
- 9.1 Condiciones de la prueba
- 9.2 Instrumentos de medición y equipo de prueba
- 9.3 Procedimiento de prueba
- 10. Marcado
- 11. Vigilancia
- 12. Evaluación de la conformidad
- 13. Bibliografía
- 14. Concordancia con las normas internacionales
- 15. Transitorios

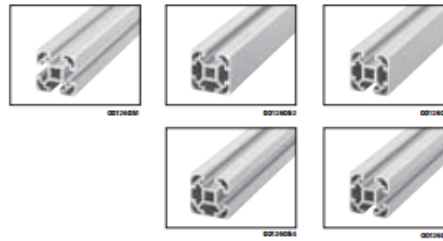
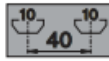
**PROPIEDADES PRINCIPALES DEL NYLAMID®**

PROPIEDADES	NORMA ASTM	UNIDADES	Nylamid "M"	Nylamid "6"	Nylamid "XL"	Nylamid "TS"	NYLAMID "SL"
Densidad	D792	gr/cm3	1.14	1.15-1.16	1.14	1.11	1.14
Dureza Shore-D			80-82	82-84	80-85	74-77	80-82
Absorción de Agua en 24 Horas	D570	%	0.60	0.8-1.4	0.5-1		0.60
Hasta Saturación		% Max	3	6-7	1		3
Temperatura de Servicio	D648	°C	100	120	110		100
Resistencia a la tensión	D638	kg/cm2	720	840-980	810-914	475	720
Resistencia a la compresión	D695	kg/cm2	850	1073	670-810	500	850
Resistencia al aplastamiento		kg/cm2	680	858	850		680
Resistencia a la flexión	D790	kg/cm2	1200	1050-1100	770-1270	110	1200
Resistencia a la torsión		kg/cm2	530	662			530
Resistencia al Impacto	E188	kg/cm2	8.0	5.4	11.8		8.0
Elongación	D638	%	15-30	42	40	7	15-30
Módulo de elasticidad	D638	kg/cm2	24,000	24600-31600	21093-28024	275	24000
<b>Coefficiente de Fricción</b>							
En Seco : Estático					0.14-0.15		0.3-0.4
Dinámico							0.15-0.3

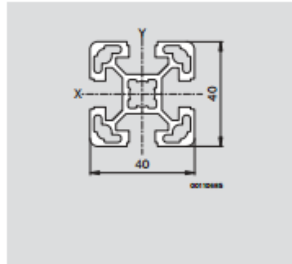
MDSA, Líder en Plásticos de Ingeniería

Profilati • Perfiles • Perfis

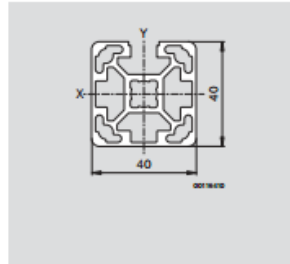
# 40x40L



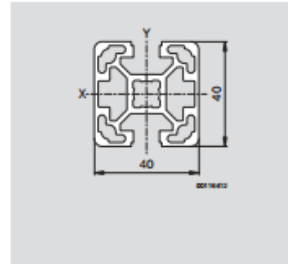
40x40L



40x40L 1N



40x40L 2N



2

40x40L

LE 1 x L = ... mm	3 842 993 120 / ...
M12	3 842 993 121 / ...
M12	3 842 993 122 / ...
M12	3 842 993 123 / ...
D17	3 842 993 124 / ...
D17	3 842 993 125 / ...
D17	3 842 993 126 / ...
D9,8	3 842 993 129 / ...
50 mm ≤ L ≤ 6000 mm	

40x40L 1N

LE 1 x L = ... mm	3 842 993 185 / ...
M12	3 842 993 186 / ...
50 mm ≤ L ≤ 6000 mm	
LE 20 x L = 6070 mm	3 842 529 361

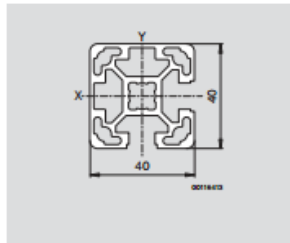
40x40L 2N

LE 1 x L = ... mm	3 842 993 187 / ...
M12	3 842 993 188 / ...
50 mm ≤ L ≤ 6000 mm	
LE 20 x L = 6070 mm	3 842 529 363

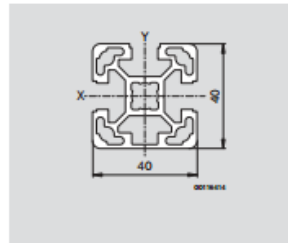
40x40L 2NVS

LE 20 x L = 6070 mm	3 842 529 339
---------------------	---------------

40x40L 2NVS



40x40L 3N

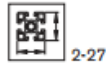
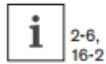


40x40L 2NVS

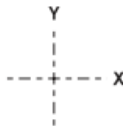










LE 1 x L = ... mm	3 842 993 189 / ...
M12	3 842 993 190 / ...
50 mm ≤ L ≤ 6000 mm	
LE 20 x L = 6070 mm	3 842 529 365

40x40L 3N

LE 1 x L = ... mm	3 842 993 191 / ...
M12	3 842 993 192 / ...
50 mm ≤ L ≤ 6000 mm	
LE 20 x L = 6070 mm	3 842 529 367





		30x60x60	60x60 8N	11x20	15x120	40x40L
						
Momento d'inerzia Momento de inercia Momento de inércia	$I_x$ [cm <sup>4</sup> ] $I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	26,1 26,1	39,7 39,7	0,5 0,1	110,4 2,2	9,0 9,0
Momento di resistenza Momento de resistencia Momento de resistência	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ] $W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	7,5 7,5	13,2 13,2	0,5 0,2	18,4 2,7	4,5 4,5
Superficie del profilato Area del perfil Área do perfil	A [cm <sup>2</sup> ]	8,2	9,8	1,0	9,0	5,6
Massa Masa Massa	m [kg/m]	2,2	2,6	0,3	2,4	1,5
Scanalatura del profilato Ranura del perfil Ranhura do perfil	[mm]					
Pagina Página Página		2-24	2-24	2-25	2-25	2-29

Dati tecnici profilati  
 Datos técnicos perfiles soporte  
 Dados técnicos perfis de escora

EN AW – Al MgSi	Denominazione del materiale secondo DIN EN 573 per i profilati Rexroth Denominación del material según DIN EN 573 para perfiles soporte de Rexroth Designação do material segundo DIN EN 573 para perfis de escora da Rexroth
EN AW – 6060	Numero del materiale secondo DIN EN 573 Número del material según DIN EN 573 Número do material segundo DIN EN 573
$R_m = 250 \text{ N/mm}^2$	Resistenza minima alla trazione (nella direzione di pressione) Resistencia mínima a la tracción (en la dirección de presión) Resistência à tracção mínima (na direcção da prensa)
$R_{p0,2} = 200 \text{ N/mm}^2$	Limite di elasticità 0,2 % (nella direzione di pressione) Limite elástico 0,2% (en la dirección de la presión) 0,2%-Limite de elasticidade (na direcção da prensa)
$A_5 = 10 \%$ $A_{10} = 5 \%$	Allungamento di rottura $A_5$ oppure $A_{10}$ Alargamiento a la rotura $A_5$ o $A_{10}$ Extensão de ruptura $A_5$ ou então $A_{10}$
$E = 70.000 \text{ N/mm}^2$	Modulo di elasticità E Módulo de elasticidad E Módulo de elasticidade E
75 HB	Durezza Brinell Dureza Brinell Dureza Brinell
$\alpha_{(+50...+20 \text{ °C})} = 21,8 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ $\alpha_{(+20...100 \text{ °C})} = 23,4 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$	Coefficiente di dilatazione lineare Coeficiente de dilatación longitudinal Coeficiente de extensão longitudinal