



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES
CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS PARA
INVESTIGACIÓN EN EL PREGRADO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor (es):

Bach. Bonilla Bravo, Orlando Denis

Bach. Monteza Pérez, Hans Guver

Asesor:

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

Línea de Investigación:

Ingeniería de Procesos Productivos

Pimentel – Perú

2019

Bach. Bonilla Bravo Orlando Denis

Bach. Monteza Perez Hans Guver

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de
Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

APROBADO POR:

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Presidente jurado de tesis

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales
Secretario del Jurado de tesis

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva
Vocal del Jurado de tesis

PIMENTEL - 2019

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar a estos tiempos relevantes de mi formación profesional. A mi madre y padre por ser los cimientos más importantes y por demostrarme en cada momento su cariño, amor y apoyo incondicional sin importar los obstáculos presentados en el camino de la vida, A mi abuelita que siempre me infundió los buenos modales, responsabilidad y honradez.

Orlando Denis Bonilla Bravo

A Dios, por permitir llegar a este tiempo importante de vida, por los triunfos y los momentos que la vida me enseñó a valorar cada día más, por guiarme por el buen camino del bien todos los objetivos logrados. A mis padres que ellos son el cimiento fundamental para seguir superando cada día y su apoyo incondicional. A mis hermanos por los buenos alientos y su apoyo.

Hans Guver Monteza Pérez

AGRADECIMIENTO

Estamos plenamente agradecidos con Dios y a nuestras familias por el gran apoyo, cariño, confianza y por la oportunidad de habernos orientado por el camino de la vida e incentivarnos a hacer unos profesionales, además de acompañarnos también en los mejores momentos.

Al Mg. Carlos Alvarado, asesor de este trabajo de grado, por el apoyo, colaboración y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, así mismo al Ing. Juan Carlos Vives Garnique y al Ing. Jorge Olortegui Yume por su valioso apoyo y por su incondicional y desinteresado apoyo.

RESUMEN

En esta tesis de pregrado trata sobre el diseño de un banco ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para investigación en el pregrado con fines de realizar prácticas de vibraciones y equilibrio de rotores.

Los cojinetes magnéticos activos (CMA) se utilizan en muchas aplicaciones de maquinaria de alta velocidad debido a sus ventajas de no tener contacto, desgaste, necesidad de lubricación, capacidad para operar en altas velocidades de rotación. Los cojinetes magnéticos activos radiales representan una solución alternativa a rodamientos mecánicos tradicionales debido a su principio de funcionamiento sin contacto.

El objetivo de esta tesis es diseñar un banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos capaz de soportar velocidades de pruebas máximas de 3600 rpm, que se montará en el laboratorio de Ciencias Térmicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad Señor de Sipán - Chiclayo.

El banco de ensayos consiste en dos rodamientos magnéticos radiales los cuales soportan al eje, dos rotores o mango de laminación para que exista el fenómeno de levitación, un disco que simule el desequilibrio de la masa, un motor para transmitir la potencia y producir la rotación del eje. Por consiguiente, deben instalarse los sensores que permitan recoger la información. Además, el conjunto está soportado por una estructura de aluminio de 1.20 m de largo, 0.50 m de ancho y una altura de 0.80 m.

Palabras clave: Rodamiento magnético activo, mango de laminación, fenómeno de levitación.

ABSTRACT

In this undergraduate thesis is about the design of a bench testing of rotors with magnetic bearings for undergraduate research for the purpose of performing vibration practices and balancing of rotors.

Active magnetic bearings (CMA) are used in many applications of high-speed machinery due to their advantages of no contact, wear, need lubrication, ability to operate at high speeds of rotation. Radial active magnetic bearings represent an alternative solution to traditional mechanical bearings due to their principle of non-contact operation.

The objective of this thesis is to design a rotor test bench with magnetic bearings capable of supporting maximum test speeds of 3600 rpm, which will be mounted in the Thermal Sciences laboratory of the School of Electrical Mechanical Engineering at the Universidad Señor de Sipán – Chiclayo

The test bench consists of two radial magnetic bearings which support the shaft, two rotors or rolling handle so that there is the phenomenon of levitation, a disk that simulates the imbalance of the mass, a motor to transmit power and produce rotation From the axis. Therefore, the sensors that allow collecting the information must be installed. In addition the set is supported by an aluminum structure of 1.20 m long, 0.50 m wide and a height of 0.80 m.

Keywords: Active magnetic bearing, rolling handle, phenomenon of levitation.

INFORMACIÓN GENERAL

SIMBOLOGÍA

$$\mu_0 = \text{Permeabilidad Magnética del Aire} \quad \left[\frac{N}{A} \right]$$

$$L_e = \text{Longitud del eje} \quad [m]$$

$$D_e = \text{Diámetro del eje} \quad [m]$$

$$\rho_s = \text{Densidad del eje} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$L_v = \text{Longitud de la volante} \quad [m]$$

$$D_{ex} = \text{Diámetro exterior de la volante} \quad [m]$$

$$D_{in} = \text{Diámetro interior de la volante} \quad [m]$$

$$L_r = \text{Longitud del rotor} \quad [m]$$

$$l = \text{Longitud del Magneto} \quad [m]$$

$$\theta = \text{Ángulo del polo estator}$$

$$R_j = \text{Radio óptimo del rotor} \quad [m]$$

$$\rho_n = \text{Densidad del rotor} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$g = \text{Espaciamiento de Aire} \quad [m]$$

$$R_r = \text{Radio del eje} \quad [m]$$

$$G = \text{Gravedad} \quad \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Y = \text{Factor de división}$$

$$P_e = \text{Peso del eje} \quad [kg]$$

$$P_r = \text{Peso del roto} \quad [kg]$$

$$P_v = \text{Peso de la volante} \quad [kg]$$

$$F_g = \text{Peso total del eje} \quad [kg]$$

$$A_g = \text{Área del polo estator} \quad [m^2]$$

$$W = \text{Ancho del polo estator} \quad [m]$$

$$N = \text{Número de vueltas}$$

$$D_{er} = \text{Diámetro óptimo del rotor} \quad [m]$$

$$I_0 = \text{Límite de corriente} \quad [A]$$

$$K_i = \text{Relación de Hierro}$$

$$\rho_0 = \text{Densidad de corriente} \quad \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

$$R_p = \text{Radio del polo} \quad [m]$$

$S_w = \text{Área transversal del alambre } [m^2]$

$A_c = \text{Área transversal de la bobina } [m^2]$

$\theta_c = \text{Ángulo de la bobina}$

$R_c = \text{Radio interior del estator } [m]$

$D_{et} = \text{Diametro exterior de polo estator } [m]$

$F = \text{Fuerza } [N]$

$M = \text{Momento } [N.m]$

$I_p = \text{Par de inercia } [kg.m^2]$

INDICE

CAPITULO I	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática.....	2
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Teorías Relacionadas al tema	7
1.3.1. Rotores.....	7
1.3.1.1. Concepto.....	7
1.3.1.2. Tipos de rotores.....	7
A. Rotor rígido.....	7
B. Rotor flexible	8
C. Rotor delgado.....	9
1.3.2. Rodamientos magneticos.....	9
1.3.2.1. Concepto.....	9
1.3.2.2. Principio de funcionamiento.....	9
1.3.2.3. Características.....	11
1.3.2.4. Clasificación de rodamientos magneticos.....	12
A. Cojinetes magnéticos de tres polos:	12
Cojinete Magnético tripolar impulsado por tres amplificadores de potencia:	12
Cojinete Magnético tripolar impulsados por dos amplificadores de potencia:	12
Cojinete Magnético tripolar impulsados por un convertidor trifásico:	13
B. Cojinetes magneticos de cuatro polos.....	13
C. Cojinetes magneticos de seis polos.....	14
D. Cojinetes magneticos de ocho polos.....	15
E. Cojinetes magneticos de 12 polos	16
1.3.3. Diagrama de Campbell	16
1.3.4. Vibración en Máquinas Rotativas.....	17
1.3.4.1. Eje doblado.....	18
1.3.4.2. Resonancia.....	18
Las características para identificar una resonancia son varias:	18
1.3.4.3. Falta de apriete en elementos de unión.....	19
A. Tipo A.....	19

B. Tipo B.	19
C. Tipo C.	19
1.3.4.4. Roce del rotor.	20
1.3.5. Banco de pruebas con rodamientos magnéticos.	20
1.3.5.1. Concepto.	20
1.3.5.2. Componentes.	20
1.3.5.3. Tipos de bancos de pruebas.	21
A. Equipo de prueba de rodamientos magnéticos activos modulares.	21
B. Equipo de banco de pruebas machinery dynamics and control (romadyc). 22	
C. Equipo de motor con cojinete propio.	23
1.3.6. Diseño de banco de prueba para rotores con rodamientos magnéticos. 24	24
1.3.6.1. Cálculo del rotor.	24
A. Radio óptimo del rotor (R_j).	24
B. Peso del rotor.	24
1.3.6.2. Diseño de rodamiento magnético.	25
1.3.6.2.1. Cálculo para el estator.	25
A. Dimensiones del estator.	25
B. Área del polo estator.	25
C. Radio externo del estator.	26
D. Radio del espacio de la bobina.	26
E. Área de vacío entre polos.	26
F. Radio interior del estator.	27
G. Área de sección transversal de la bobina.	28
H. Área transversal del alambre.	28
I. Flujo magnético.	28
J. Fuerza electromotriz.	28
K. Factor de división.	29
1.3.6.3. Cálculo de potencia de motor.	30
1.3.6.4. Diseño de eje a carga estática.	31
1.3.6.5. Diseño de eje a fatiga.	32
1.3.7. Cálculo de evaluación de proyecto.	33
1.3.7.1. Índice de retorno sobre inversión (ROI).	33

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	34
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.	34
1.6. HIPOTESIS.	35
1.7. OBJETIVOS.	35
1.7.1. Obejtivo general.	35
1.7.2. Objetivos específicos.	35
CAPITULO II	37
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.	38
2.2. Población y Muestra.	38
2.3. Variables, Operacionalización.	38
2.3.1. Variables.	38
2.3.1.1. <i>Rodamientos magneticos.</i>	38
A. <i>Parámetros de definición de problema.</i>	38
B. <i>Variables independientes de diseño.</i>	39
C. <i>Variables dependientes.</i>	39
D. <i>Variables intervinientes.</i>	39
PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DE PROBLEMA	41
2.3.1.1.1. CAJA NEGRA.	41
2.3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	42
TABLA N°1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	42
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Valides y Confiabilidad.	45
2.4.1. Técnicas de recolección de datos	45
2.4.1.1. <i>Observación.</i>	45
2.4.1.2. <i>Cuestionario.</i>	45
2.4.1.3. <i>Entrevista.</i>	46
2.4.1.4. <i>Información bibliográfica.</i>	46
2.4.1.5. <i>Análisis de documentos.</i>	46
2.4.1.6. <i>Guía de observaciones</i>	46
2.4.1.7. <i>Cuestionarios</i>	47
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.	47
2.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.	47
2.5. Procedimiento de Análisis de Datos.	48

2.6.	Criterios Éticos.....	48
2.6.1.	Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999.	48
2.6.2.	Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), Ratificado po acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS.....	49
2.7.	Criterios de Rigor Científico.....	50
CAPITULO III		51
III.	RESULTADOS.	52
3.1.	Necesidades de la Universidad Señor de Sipan.	52
3.2.	Recomendaciones de Diseño y Especificaciones de Ingeniería	57
3.2.1.	Recomendaciones de diseño para el banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos.....	57
3.2.2.	Especificaciones de Ingeniería	60
3.3.	Concepto de Diseño Ingenieril y Matriz Ponderada	61
3.3.1.	Concepto de diseño.	61
3.3.2.	Selección de Alternativa Óptima Mediante una Matriz Ponderada..	65
3.4.	Diseño de Configuración.	68
3.4.1.	Alternativas de configuración.....	68
3.4.1.1.	Configuración “A”	68
3.4.1.2.	Configuración “B”.....	69
3.4.1.3.	Configuración “C”.....	69
	Selección de bocetos.	70
3.5.	Dimensionamiento y Materiales Generales del Banco de Ensayos.	71
3.5.1.	Dimensionamiento	71
3.5.2.	Selección de materiales.....	72
3.6.	Cargas de Diseño.	73
3.6.1.	Peso de eje.....	73
3.6.1.1.	<i>Peso de mango de laminación (rotor).</i>	73
3.6.1.2.	<i>Peso de volante.</i>	73
3.6.2.	Cargas en el eje principal.....	74
3.6.3.	Cargas por rodamiento.	75
3.6.3.1.	<i>Fuerzas en eje X y Y.....</i>	76
3.6.3.1.1.	<i>Fuerzas en el eje x.....</i>	76

3.6.3.1.2. Fuerzas en el eje y.....	76
3.7. Diseño Paramétrico.....	77
3.7.1. Diseño paramétrico del rodamiento magnético activo radial.....	77
3.7.2. Diseño paramétrico a través de GUI MATLAB.....	77
3.8. Selección de Componentes.	86
3.8.1. Potencia del motor.....	86
3.8.2. Selección de eje.....	87
3.8.2.1. Cálculo de carga estática.	87
3.8.2.2. Cálculo para el esfuerzo de fatiga.	88
3.8.2.3. Frecuencia natural.....	90
3.8.3. Acople.	94
3.8.4. Sensor y controlador.	95
3.8.4.1. Sensor GP-X3SE.	95
3.8.4.2. Controlador GP-XC.	97
3.8.5. Amplificador de potencia.....	99
3.8.6. Variador de Potencia ACS150 de ABB.....	99
3.8.7. Fuente de poder.	100
3.8.8. Sistema de adquisición de datos.	101
3.8.8.1. Tarjeta de adquisición de datos (NI-9230).	101
3.8.8.2. Carcasa (Chasis cDAQ-9171).	102
3.8.8.3. Acelerómetros (Acelerómetro I, 100mV/g, ICP® (IEPE)).....	103
3.8.8.4. Cables (Cables para Acelerómetros 10 ft w/BNC terminación).	104
3.9. Elaboración de los Planos del Banco de Ensayos de Rotores con Rodamientos Magnéticos.	106
3.10. Análisis Económico.	107
3.11. Discusión de Resultados.....	109
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
4.1. Conclusiones:.....	112
4.2. RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS.	114
ANEXOS	117
ANEXO N°01: Momento flector y fuera cortante	118

ANEXO N°02: Cálculo de la fuerza en el polo 1 y 2.....	120
ANEXO N°03: Cálculo del par de inercia.	120
ANEXO N°04: Propiedades Mecánicas del Acero AISI 304.....	122
ANEXO N°05: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín..	122
ANEXO N°06: <i>Parámetros del factor de confiabilidad.</i>.....	123
ANEXO N°07: Selección de Acople.....	123
Factor de servicio	123
Elementos	124
Potencia de salida – elementos de nitrilo.....	124
Designación.	125
Dimensiones del Acople	125
ANEXO N°08: Encuestas aplicadas a docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipan.....	126
A. ASPECTO DE INFLUENCIA ACADÉMICA E INSTITUCIONAL DEL PRODUCTO.....	126
B. ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA.....	128
C. ASPECTO ECONÓMICO.....	129
ANEXO N°09: Normas Estándar Británicas BS ISO.....	133
ANEXO N°10: Fichas Técnicas	137
ANEXO N°11: Selección del diámetro del alambre	143
ANEXO N°12: Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico en función del número de vueltas en la bobina.....	145
ANEXO N°13: PLANOS DEL BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNETICOS	150
ANEXO N°14. PROGRAMACIÓN DE GUI:.....	159

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ROTOR RÍGIDO.....	7
FIGURA 2. ROTOR FLEXIBLE.....	8
FIGURA 3. ROTOR DELGADO.....	9
FIGURA 4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN COJINETE ELECTROMAGNÉTICO ACTIVO, SUSPENSIÓN DE UN ROTOR EN DIRECCIÓN VERTICAL.....	10
FIGURA 5. ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN ELECTROMAGNÉTICA ACTIVA.	11
FIGURA 6. COJINETE MAGNÉTICO TRIPOLAR IMPULSADOS POR TRES AMPLIFICADORES DE POTENCIA.	12
FIGURA 7. COJINETE MAGNÉTICO TRIPOLAR IMPULSADOS POR DOS AMPLIFICADORES DE POTENCIA.	13
FIGURA 8. COJINETE MAGNÉTICO TRIPOLAR IMPULSADOS POR UN CONVERTIDOR TRIFÁSICO.	13
FIGURA 9. COJINETE MAGNÉTICO DE 4 POLOS.	14
FIGURA 10. COJINETE MAGNÉTICO DE 6 POLOS CON DOS IMANES OPUESTOS CONECTADOS A LA MISMA FASE DEL CONVERTIDOR TRIFÁSICO.....	14
FIGURA 11. COJINETE MAGNÉTICO DE 6 POLOS DE HERRADURA.	15
FIGURA 12. COJINETE MAGNÉTICO HETEROPOLAR DE 8 POLOS.....	15
FIGURA 13. COJINETE MAGNÉTICO HOMOPOLAR DE 8 POLOS.....	16
FIGURA 14. COJINETE MAGNÉTICO DE 12 POLOS.	16
FIGURA 15 DIAGRAMA DE CAMPBELL	17
FIGURA 16 EQUIPO DE PRUEBA PARA ROTOR FLEXIBLE CON COJINETE MAGNÉTICO ACTIVO. FUENTE: SIMÓN, ET AL.2011)	21
FIGURA 17. EQUIPO DE PRUEBA DE RODAMIENTO MAGNÉTICO ACTIVO MODULARES.	22
FIGURA 18. PLATAFORMA DE PRUEBA DE COJINETES MAGNÉTICO ACTIVO.....	23
FIGURA 19. MOTOR CON COJINETE PROPIO.....	23
FIGURA 20 GEOMETRÍA DEL RODAMIENTO MAGNÉTICO	27
FIGURA 21 .CARGAS DE UN COJINETE MAGNÉTICO.	29
FIGURA 22. RODAMIENTO MAGNÉTICO RADIAL	30
FIGURA 23: DIAGRAMA DE FLUJO METODOLÓGICO.....	40
FIGURA 24: CAJA NEGRA DE DISEÑO.	41
FIGURA 25: CONCEPTO DE DISEÑO N°1.	61
FIGURA 26: CONCEPTO DE DISEÑO N°2.	62
FIGURA 27: CONCEPTO DE DISEÑO N°3.	63
FIGURA 28: CONCEPTO DE DISEÑO N°4.	64
FIGURA 29: CONFIGURACIÓN A.	68
FIGURA 30: CONFIGURACIÓN B.	69
FIGURA 31: CONFIGURACIÓN C.	69
FIGURA 32: DIMENSIONAMIENTO GENERAL DEL BANCO.....	71
FIGURA 33: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE.....	74
FIGURA 34: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL RODAMIENTO RADIAL.....	75
FIGURA 35 . DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL RODAMIENTO RADIAL EN EL EJE X. .	76
FIGURA 36. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL RODAMIENTO RADIAL EN EL EJE Y...	77
FIGURA 37. INICIO DE GUI (CARÁTULA).	81

FIGURA 38. RESULTADOS DE VARIABLES DE DISEÑO MEDIANTE GUI - MATLAB.....	82
FIGURA N° 39. RESULTADOS DE VARIABLES DE SOLUCIÓN GUI - MATLAB.....	83
FIGURA 40: MOTOR GLONG ALCO 1HP-TRIFACICO	86
FIGURA 41: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DEL PRIMER MODO USANDO FEA.	91
FIGURA 42: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DEL SEGUNDO MODO USANDO FEA.	92
FIGURA 43: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DEL TERCER MODO USANDO FEA.	92
FIGURA 44: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DEL CUARTO MODO USANDO FEA	93
FIGURA 45: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DEL QUINTO MODO USANDO FEA.	93
FIGURA 46: DIMENSIONES DEL SENSOR GP-X3SE	95
FIGURA 47: DIMENSIONES DEL CONTROLADOR GP-XC	97
FIGURA 48: AMPLIFICADOR DE POTENCIA	99
FIGURA 49: VARIADOR DE FRECUENCIA.....	100
FIGURA 50: FUENTE DE PODER SWITCHING CONMUTADA	100
FIGURA 51: NI-9230	102
FIGURA 52: CHASIS CDAQ-9171	103
FIGURA 53: ACELERÓMETRO I,100M V/G.....	104
FIGURA 54: CABLES PARA ACELERÓMETROS 10 FT W/BNC TERMINACIÓN	104
FIGURA 55. PROPIEDADES DE MECÁNICAS DEL ACERO AISI 304.....	122
FIGURA 56. PARÁMETROS EN EL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DE MARIN.	122
FIGURA 57. PARÁMETROS DEL FACTOR DE CONFIABILIDAD.	123
FIGURA 58. FACTOR DE SERVICIO PARA EL ACOPLE	123
FIGURA 59. TIPO DE ELEMENTO PARA EL ACOPLE	124
FIGURA 60. POTENCIA DE SALIDA DEL ELEMENTO NITRILLO.....	124
FIGURA 61. DESIGNACIÓN DEL ELEMENTO NITRILLO	125
FIGURA 62. DIMENSIONES DEL ACOPLE. PARTE 1.....	125
FIGURA 63. DIMENSIONES DEL ACOPLE. PARTE 2.....	126
FIGURA 64. ENTREVISTA AL ING. ALVARADO SILVA CARLOS ALEXIS	130
FIGURA 65. ENTREVISTA AL ING. VIDARTE MEJIA JOSÉ SAMUEL.....	131
FIGURA 66. ENTREVISTA AL ING. JUAN CARLOS VIVES GARNIQUE	132
FIGURA 67 . BS ISO 14839-1:2002+A1:2010 VIBRACIÓN DE ROTACIÓN MAQUINARIA EQUIPADA CON RODAMIENTO MAGNÉTICO ACTIVOS .PARTE 1: VOCABULARIO	133
FIGURA 68. BS ISO 14839-2:2004 VIBRACIÓN MECÁNICA - VIBRACIÓN DE ROTACIÓN MAQUINARIA EQUIPADA CON RODAMIENTO MAGNÉTICO ACTIVOS .PARTE 2: EVALUACIÓN DE VIBRACIÓN.	134
FIGURA 69. BS ISO 14839-3:2006 VIBRACIÓN MECÁNICA - VIBRACIÓN DE ROTACIÓN MAQUINARIA EQUIPADA CON RODAMIENTO MAGNÉTICO ACTIVOS .PARTE 3: EVALUACIÓN DEL MARGEN DE ESTABILIDAD	135
FIGURA 70: BS ISO 14839-4:2012 VIBRACIÓN MECÁNICA - VIBRACIÓN DE ROTACIÓN MAQUINARIA EQUIPADA CON RODAMIENTO MAGNÉTICO ACTIVOS PARTE 4: LINEAMIENTOS TÉCNICOS	136

FIGURA 71. FICHA TÉCNICA DEL ACELERÓMETRO I, 100M V/G	137
FIGURA 72. FICHA TÉCNICA DEL CHASIS CDAQ-9171.....	138
FIGURA 73. FICHA TÉCNICA DEL SENSOR GP-X3SE Y CONTROLADOR GP-XCOM	139
FIGURA 74. FICHA TÉCNICA DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA	140
FIGURA 75. FICHA TÉCNICA DEL NI-9230.....	141
FIGURA 76. FICHA TÉCNICA DE LA FUENTE DE PODER DC12V/360W/30A	142
FIGURA 77: FICHA TÉCNICA DEL VARIADOR DE POTENCIA ACS150	143
FIGURA 78. FUERZAS GENERADAS POR EL FLUJO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE VUELTAS EN LA BOBINA	145
FIGURA 79. FUERZAS GENERADAS POR EL FLUJO ELÉCTRICO CON UNA BOBINA DE 100 VUELTAS.....	146
FIGURA 80: FUERZAS GENERADAS POR EL FLUJO ELÉCTRICO CON UNA BOBINA DE 300 VUELTAS.....	147
FIGURA 81: FUERZAS GENERADAS POR EL FLUJO ELÉCTRICO CON UNA BOBINA DE 450 VUELTAS.....	148
FIGURA 82: FUERZAS GENERADAS POR EL FLUJO ELÉCTRICO CON UNA BOBINA DE 600 VUELTAS.....	149
FIGURA 83: VISTA GENERAL DEL BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS	150
FIGURA 84. VISTA CON DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DEL BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS.....	151
FIGURA 85. VISTA DE LA ESTRUCTURA BASE	152
FIGURA 86. ESTATOR DEL RODAMIENTO MAGNÉTICO.....	153
FIGURA 87. EJE DEL BANCO DE ENAYOS.....	154
FIGURA 88. VOLANTE DEL BANCO DE ENSAYOS.....	155
FIGURA 89. ROTOR	156
FIGURA 90: CARCASA DEL RODAMIENTO PARTE 1	157
FIGURA 91: CARCASA DEL RODAMIENTO PARTE 2	158

TABLAS

TABLA 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	42
TABLA 2: RESUMEN DE ENTREVISTAS DE NECESIDADES DE LA INSTITUCIÓN.....	53
TABLA 3: RECOMENDACIONES DE DISEÑO EN ASPECTO DE MATERIALES.....	57
TABLA 4: RECOMENDACIONES DE DISEÑO EN EL ASPECTO DE GEOMETRÍA.....	58
TABLA 5: RECOMENDACIONES DE DISEÑO EN EL ASPECTO TÉCNICO.	59
TABLA 6: ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA.	60
TABLA 7: CRITERIOS DE EVALUACIÓN	65
TABLA 8: MATRIZ DE SELECCIÓN PONDERADA DE CONCEPTOS ALTERNATIVOS.	67
TABLA 9: MATRIZ DE SELECCIÓN PONDERADA DE CONFIGURACIÓN	70
TABLA 10: VARIABLES Y VALORES PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO EN MATLAB.....	78
TABLA 11: RESULTADOS DE CÁLCULOS DE VARIABLES DE DISEÑO.....	84
TABLA 12: RESPUESTA DE FRECUENCIA NATURAL DE 5 MODOS USANDO FEA.....	91
TABLA 13: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR GP-X3SE	95
TABLA 14: ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR GP-XC.....	97
TABLA 15: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CABLE 10 FT W/BNC.....	105
TABLA 16: LISTA DE PLANOS	106
TABLA 17: ANÁLISIS ECONÓMICO.	107
TABLA 18: SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE ALAMBRE.....	143

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad Problemática.

La vibración causada por desequilibrio del rotor es uno de los problemas más pertinentes que enfrentan las máquinas rotativas. Por lo tanto, la atenuación de la vibración se ha vuelto muy esencial para mejorar el rendimiento global de este tipo de máquinas. (Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016) .

La mayoría de los usos de los cojinetes magnéticos activos (CMA) se encuentran en aplicaciones industriales. En particular, encuentran su camino en equipos rotatorios de alta velocidad como turbinas, máquinas, herramientas, bombas de vacío o compresores. Además, se usan en dispositivos de almacenamiento de energía basados en volante, en aplicaciones tanto de satélites como de equipos biomédicos. En efecto, Los cojinetes magnéticos tienen muchas ventajas sobre sus convencionales contrapartes como su operación sin contacto, mayormente sin fricción, pueden soportar cargas con velocidades de rotación muy altas, no requieren lubricación, son adecuados para entornos donde excluir la contaminación es la clave, como salas limpias, o donde la lubricación eficiente es un problema, como vacíos profundos. (De Miras, Cédric , Fliess, Samer , & Bonnet, 2013)

En nuestro país el aporte a las investigaciones de los sistemas de levitación magnética es de gran importancia ya que actualmente se está llegando a un gran avance y desarrollo a nivel internacional. Pero aún no se ha alcanzado un desarrollo en la tecnología de rodamientos magnéticos por ello la contribución a esta investigación puede ser sustento para las aspiraciones de grupos de investigación y empresas interesadas en el desarrollo tecnológico del país. (Zapata Sánchez, 2010)

La Universidad señor de Sipán – USS fue fundada hace 19 años a la fecha es una de las universidades líderes en el norte del país, se encuentra en el top 20 del ranking de la universidad del Perú realizado en el 2016. Cuenta con diecinueve carreras profesionales y durante los últimos años el uso de las Aulas Virtuales ha incrementado. Por este motivo, la USS cuenta con el programa USS virtual, un modelo pedagógico innovador de la educación, buscando que nuestros docentes y estudiantes estén a la vanguardia de la tecnología educativa. Se han realizado congresos

nacionales uno de ellos conocido como CONEIMERA, en el cual estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica a nivel nacional se reúnen para competir en distintas disciplinas. A sí mismo, la USS cuenta con diversos laboratorios: entre ellos Circuitos, Automatización, Fluidos, Mecánica de Motores. Una de las más grande bibliotecas reconocida por ser la más equipada del norte del país por la bibliografía física y virtual con la que cuenta, a la que se accede virtualmente desde cualquier parte del mundo.

En los últimos años la Universidad Señor de Sipán, sede Chiclayo se ha interesado en adaptarse a los nuevos estatutos de la Ley Universitaria vigente (Ley N° 30220), Adquiriendo equipos de laboratorio siendo un punto importante en este proceso. Se está optando por una metodología de trabajo que propone el uso de equipos fabricados con recursos y tecnología propia para mejorar la enseñanza y promocionar la investigación científica a bajo costo (Olortegui Yume, 2016).

Esta metodología de trabajo ya viene tomando importancia a nivel mundial en el ámbito académico debido al considerable ahorro en equipos de laboratorios y la promoción de investigación científica a nivel de pregrado y postgrado. (Abu- Mulawh, 2007; Pearce, 2014).

La escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica dentro de sus líneas de investigación considera la implementación del laboratorio de mecánica de vital importancia, especialmente en el área de Diseño Mecánico que comprende materias curriculares, tales como Estática, Dinámica, Resistencia de Materiales, Procesos de Manufactura, Ingeniería de Materiales, Elementos de Máquinas y Diseño de Maquinas.

Para ello se propone el diseño de un prototipo de banco de ensayos para el estudio rotodinámico con rodamientos magnéticos el cual se desarrolla con el propósito de ser utilizado por los profesores y alumnos como herramienta para realizar experimentos y desarrollar nuevos temas de investigación que complementen nuestra formación Profesional.

1.2. Antecedentes.

Simón, E, et al. (2011) en su trabajo sobre “Diseño, Construcción, y Modelado de un Equipo de Prueba para Rotor Flexible con Cojinete Magnético Activo”, describe en detalle el proceso de diseño, construcción y modelado para un equipo de prueba de cojinete magnético de alto rendimiento que tipifica un pequeño compresor centrífugo supercrítico industrial. El objetivo fue encontrar las fuerzas electromagnéticas simuladas al rotor. Estas fuerzas son difíciles de predecir y pueden conducir a una inestabilidad rotodinámica de la maquinaria industrial si no se toman en cuenta adecuadamente, otro objetivo fue la implementación de un controlador adecuado basado en modelos para la validación. Se encontró que el control basado en modelos, en particular la síntesis μ , proporcionó una estabilidad y un rendimiento mejorados en comparación con la ley proporcional integral derivativo (PID). La investigación concluyó que el controlador soportó con éxito el rotor hasta una velocidad de 3200 rpm, proporcionando una plataforma para futuras investigaciones sobre el papel de los algoritmos de control avanzado en la mitigación de la inestabilidad roto dinámica.

Sikanen, E. (2014). En su tesis para optar el grado de Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Lappeenranta – Finlandia desarrolla el “Diseño Mecánico y Análisis de un Equipo de Prueba de Rodamientos Magnéticos Activos Modulares”. Especifica de forma clara el diseño conceptual de un equipo de prueba reconfigurable, el diseño y modelado de un rotor de un motor de inducción de alta velocidad y realiza la documentación del proceso de diseño, centrándose principalmente en el diseño del rotor. Su objetivo fue estudiar la precisión y la funcionalidad del diseño modular para ello corrobora con un estudio analítico y con un modelo 3D un análisis por elemento finitos. En su trabajo se encontró que ambos métodos demostraron ser útiles para diseñar un rotor de alta velocidad. Su enfoque señaló tanto los beneficios como las limitaciones en el modelado analítico simplificado. Por último en su tesis se concluyó que la plataforma de pruebas ofrece capacidades adicionales para llevar a cabo estudios de rodamientos magnético con seguridad haciendo pruebas de desmontaje y para probar métodos de montaje de rodamientos, como el montaje de rodamientos elásticos.

Sayed, I. (2012) en su tesis doctoral en la Universidad Oviedo – España, realiza una “Estimación de la posición y Alternativa de Control de Sistemas de Cojinetes Magnéticos” detalla el análisis y comparación entre las diferentes topologías existentes. En esta investigación se realizó diferentes topologías de cojinetes magnéticos radiales en función del tamaño, pérdidas eléctricas y capacidad de carga. Otro objetivo fue el diseño y control del sistema eléctrico (control PID, P, PI y controlador proporcional resonante PR) tanto para cojinetes de 3 polos y cojinetes de 6 polos de herradura. En la investigación se encontró que el número de polos del cojinete radial varía entre 3, 4, 6 y 8 polos para cojinetes pequeños, 24 o 32 polos para aplicaciones de mayor tamaño. Se concluyó que los cojinetes de 3 y 4 polos proporcionan mejores resultados para el caso de tamaño del rotor pequeños, teniendo en cuenta las restricciones del tamaño, pérdidas eléctricas y fuerza requerida. Por otro lado, los cojinetes de 6 y 8 polos son recomendables para cojinetes de mayor tamaño, por tener menores pérdidas eléctricas. Se concluye también que el controlador Proporcional Resonante (PR) adaptativo proporciona mejores resultados para rechazar perturbaciones periódicas.

Soto, A; Villegas, D (2006) En su investigación de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Simón Bolívar – Venezuela, realizan el “Diseño de una Plataforma de Adquisición de Datos y Control para un Banco de Pruebas de Cojinetes Magnéticos Activos”. Su objetivo fue la elaboración de la plataforma que permite la adquisición de datos y control, para el prototipo de banco de cojinetes magnéticos con el que se dispuso en el Laboratorio de Maquinas de la Universidad Simón Bolívar. En la tesis se encontró que a pesar que solo se pudo controlar un eje debido a la dificultad de sintonización del controlador por medios empíricos, los resultados obtenidos de la fabricación de la plataforma fueron satisfactorios. Por último, se concluye que la plataforma diseñada en el proyecto representó una solución robusta y completa para ser utilizada con sistemas de control más complejos, ya que demostró que es capaz de realizar un control adecuado para manejar la posición del rotor en diferentes condiciones de operación.

Zapata, P (2010) En su tesis para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Pontificia Universidad Católica del Perú presenta el “Diseño e Implementación de Electroimán y Actuator Electrónico Aplicado a un Sistema de Levitación Magnética”.

Su objetivo de la investigación fue diseñar e implementar un electroimán y actuador electrónico por modulación de ancho de pulso (MAP) para un módulo de control de levitación magnética de una esfera metálica. Se encontró que el uso de programas de simulación de circuitos eléctricos permitió poner a prueba el diseño del actuador electrónico, en un entorno virtual, para la verificación de su funcionamiento previo a su implementación. En la investigación se concluye que con el control por PWM, no es posible obtener una relación entre la masa de las esferas y el ciclo de trabajo, puesto que el ciclo de trabajo nunca es estabilizado en un valor determinado, siendo variado por el controlador. Se concluye también que se logró un gran avance con la implementación del módulo de levitación magnética en el Centro de Tecnología Avanzada de Manufactura debido a que sirve como instrumento útil para realizar prácticas experimentales en el campo de control de sistemas, que puede ser tomado con fines educativos y a su vez pueda ser desarrollado para su aplicación a otros sistemas.

Aragón, D (2017) En su tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería Mecatrónica desarrolla un “Sistema de control óptimo para un prototipo de rodamiento magnético activo”. La investigación tuvo como objetivo la operación de suspensión y reducir el uso de aceites contaminantes utilizados en rodamientos mecánicos para preservar los recursos naturales. Otro objetivo mostrado fue que se propuso un algoritmo óptimo con un integrador para controlar el sistema con criterios de regulador cuadrático. Se encontró que el controlador de terminal está diseñado para llevar un sistema cerca de las condiciones deseadas en un tiempo de terminal al tiempo que proporciona un comportamiento de ruta aceptable. También se encontró que un regulador está diseñado para mantener un sistema estacionario dentro de una desviación aceptable de una condición de referencia. Por último, se concluye que el comportamiento del sistema con el control implementado informa alta inestabilidad a bajas frecuencias.

1.3. Teorías Relacionadas al tema

1.3.1. Rotores.

1.3.1.1. *Concepto.* Es un cuerpo capaz de rotar en torno a un punto determinado, generalmente está provisto de un eje, el que se sostiene por medio de descansos. (Moreno Barra, 2006)

1.3.1.2. Tipos de rotores.

A. *Rotor rígido.* Son los rotores que normalmente giran a velocidades por debajo de la primera velocidad crítica. Por lo general este tipo de rotores gira en el orden del 80% de la velocidad crítica. Normalmente el 99% de los rotores industriales son rígidos, en especial los de motores eléctricos, bombas, entre otros que giren a 500, 1000, 1500 RPM como se muestra en la figura N°1.

Pero son peligrosamente fronterizos los ventiladores pues su estructura caracterizada por su esbeltez y liviandad les da una relación ancho diámetro y volumen peso, sugerentemente alta. Por lo tanto los rotores rígidos son más fáciles de balancear, ya que el punto pesado coincide con el sentido de la vibración más alta. (Moreno Barra, 2006)

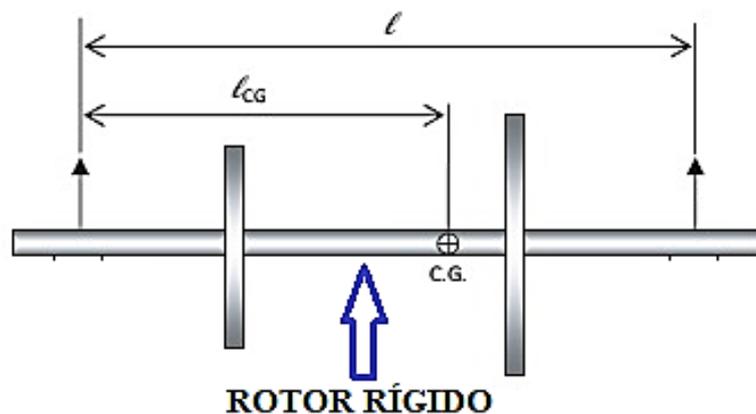


Figura 1. Rotor Rígido.

Fuente: (Gutiérrez Wing & Aguirre Romano, 2011)

B. *Rotor flexible*. Son aquellos cuya velocidad de giro está por sobre la primera frecuencia resonante crítica (figura N°2.), lo cual significa que:

- En partidas y paradas se pasa necesariamente por una de velocidad crítica, la que debe ser reconocida para evitar permanecer en este rango.
- Al pasar por la velocidad crítica se produce un cambio en la manera de vibrar y forma de la flecha del eje del rotor. Por ende la fase de la frecuencia fundamental cambia en 180° .
- Por lo tanto el punto de balanceo ya no coincide con el sentido de mayor vibración. En general muchos rotores de ventiladores, y turbo-maquinaria son flexibles si giran a más de 1000-1200 rpm los primeros y 1500 rpm las segundas. (Moreno Barra, 2006)

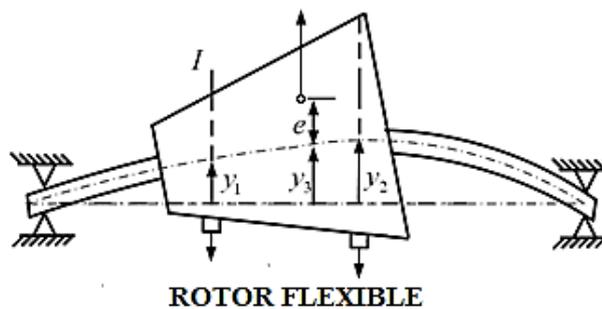


Figura 2. Rotor Flexible.

Fuente: (nptel.ac.in, s.f.)

C. *Rotor delgado*. Es aquel rotor cuyo diámetro es mucho mayor en relación a su largo (ver figura N°3). En general se considera un rotor delgado cuando el largo no supera en un tercio al diámetro. (Moreno Barra, 2006)

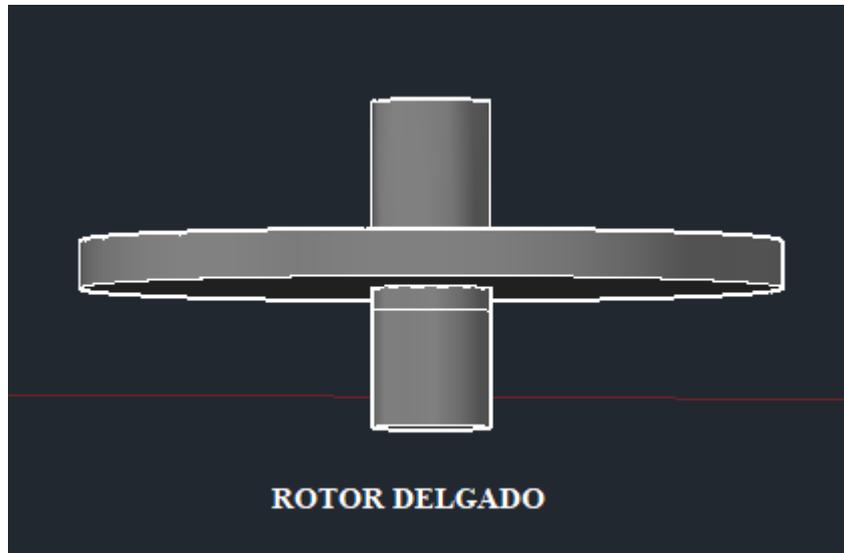


Figura 3. Rotor Delgado.

Fuente: (Propia, 2018)

1.3.2. Rodamientos magnéticos.

1.3.2.1. Concepto. Son aquellos que generan fuerzas a través de campos magnéticos, no producen contacto entre el rodamiento y el rotor, es decir, soportan cargas sin tener fricción o rozamiento. Con esto permite un funcionamiento sin lubricación y desgaste mecánico. Como consecuencia estas propiedades permiten diseños innovadores, altas velocidades, alta densidad de potencia, menos mantenimiento y por lo tanto menos costos. Trabajan en un rango de temperaturas cercanas a $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Schweitzer & Maslen, 2009)

1.3.2.2. Principio de funcionamiento. Se basa en generar fuerzas de campo magnético libres de contacto controlando activamente la dinámica de un electroimán este es el principio que en realidad se usa con mayor frecuencia entre las suspensiones magnéticas.

Un sensor mide el desplazamiento del rotor desde su referencia posición, un microprocesador como controlador deriva una señal de control de la medida, un amplificador de potencia transforma esta señal de control en una corriente de control (ver figura N°4 y 5), la corriente de control genera un campo magnético en los imanes de accionamiento, dando como resultado fuerzas magnéticas de tal manera que el rotor permanece en su posición estacionario. (Schweitzer & Maslen, 2009)

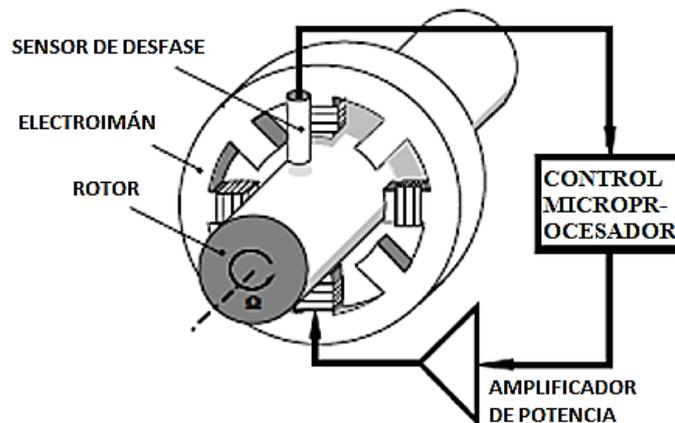


Figura 4. Principio de funcionamiento de un cojinete electromagnético activo, suspensión de un rotor en dirección vertical.

Fuente: (Schweitzer & Maslen, 2009).

La ley de control de la retroalimentación es responsable de la estabilidad del vuelo estacionario, así como también la rigidez y el amortiguamiento de dicha suspensión. Rigidez y la amortiguación se puede variar ampliamente dentro de los límites físicos, y se puede ajustar a los requisitos técnicos. También se pueden cambiar durante la operación. (Gehard Schweiter, 2009)

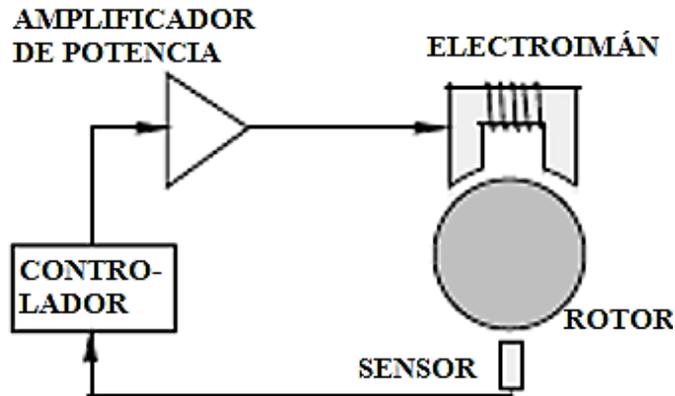


Figura 5. Esquema del principio de funcionamiento de la suspensión electromagnética activa.

Fuente: (Schweitzer & Maslen, 2009)

1.3.2.3. Características.

La propiedad de no tener contacto, y la ausencia de lubricación y el desgaste contaminante permite el uso de tales cojinetes en sistemas de vacío, en salas limpias y estériles, o para el transporte agresivo, y a altas temperaturas.

El espacio entre el rotor y el rodamiento asciende normalmente a algunas décimas de milímetro, pero para aplicaciones específicas puede ser tan grande como 20 mm. En ese caso, por supuesto, el rumbo se vuelve mucho más grande.

Se puede permitir que el rotor gire a altas velocidades. El alto circunferencial velocidad en el rodamiento, solo limitada por la resistencia del material del rotor ofrece la posibilidad de diseñar nuevas máquinas con mayor potencia concentración y de realizar construcciones nuevas.

Entre las ventajas encontramos de la ausencia de sellos de lubricación y de la posibilidad de tener un diámetro de eje mayor (Schweitzer & Maslen, 2009)

1.3.2.4. Clasificación de rodamientos magnéticos.

Una cuestión clave de un sistema de cojinete magnético es diseñar estructuras topológicas razonables, se clasifican de la siguiente manera en cojinetes magnéticos activos de estructura axial y cojinetes magnéticos activos radiales dentro de los radiales tenemos:

A. *Cojinetes magnéticos de tres polos.* De acuerdo con el método de conexión de los devanados y el modo de conducción del CMA radial de 3 polos, se clasifican en:

Cojinete Magnético tripolar impulsado por tres amplificadores de potencia:

Tres amplificadores de potencia se estudian principalmente. Como opuesto al cojinete magnético radial más común con estructura asimétrica, CMA tripolares con solo tres polos para cada rodamiento puede simplificar la estructura del rodamiento y reducir el tamaño del rodamiento en el sistema en gran medida como se muestra en la figura N°6. (Zhang & Zhu, 2017)

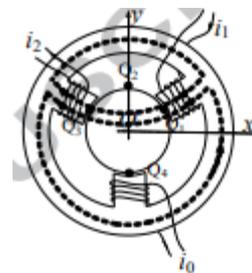


Figura 6. Cojinete Magnético tripolar impulsados por tres amplificadores de potencia.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017).

Cojinete Magnético tripolar impulsados por dos amplificadores de potencia:

Los tres polos están dispuestos de manera radical estructura simétrica en estrella (Y), para una mejor disminución de la potencia de consumo y costo para el CMA de 3 polos impulsado por dos amplificadores de potencia con una estructura "Y", hay dos bobinados envuelto alrededor de los tres polos (Ver figura N°7). Los dos polos

superiores comparten el mismo conjunto de devanados i_2 , aunque en diferentes direcciones. (Zhang & Zhu, 2017)

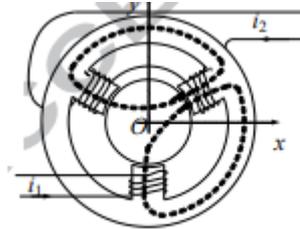


Figura 7. Cojinete Magnético tripolar impulsados por dos amplificadores de potencia.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

Cojinete Magnético tripolar impulsados por un convertidor trifásico:

Si un cojinete magnético puede ser impulsado por un inversor de potencia trifásica, sería cada vez más atractivo. Por lo tanto, si un rodamiento magnético podría diseñarse para usar los módulos de potencia trifásicos, que es el CMA de 3 polos por un inversor trifásico (figura N°8), el costo y la complejidad del apoyo magnético se puede reducir significativamente. (Zhang & Zhu, 2017)

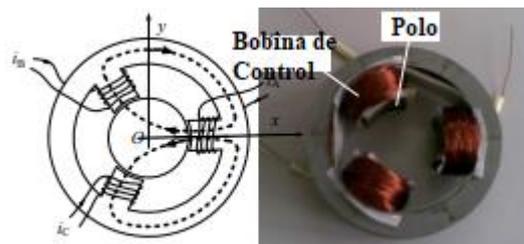


Figura 8. Cojinete Magnético tripolar impulsados por un convertidor trifásico.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

B. *Cojinetes magnéticos de cuatro polos.* La mayoría de los cojinetes magnéticos instalados en la actualidad se basan en cuatro electroimanes (figura N°9), cuyo cojinete magnético más simple es el de 4 polos. (Zhang & Zhu, 2017)

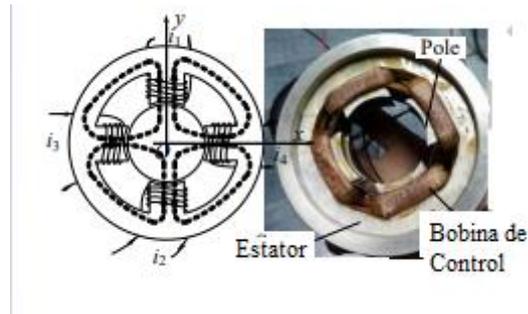


Figura 9. Cojinete magnético de 4 polos.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

C. *Cojinetes magnéticos de seis polos.* La construcción propuesta incluye tres electroimanes como el número mínimo necesario de actuadores necesarios para la suspensión del rotor en el rodamiento. Un número menor de unidades de ejecución y electrónica permite que los circuitos minimicen el tamaño del rodamiento, los costos de producción y consumo de energía. Las desventajas de esta solución corresponden a la región de estabilidad inferior y fuerte no linealidades. El CMA radial de tres bobinas pertenece al cojinete de construcción heteropolar, que consta de tres pares de polos ubicados a 120 grados de distancia. Estos tres electroimanes generan suficientes fuerzas electromagnéticas actuando sobre el rotor para propósitos de suspensión y amortiguación. (Zhang & Zhu, 2017) Se clasifican en:

- Cojinete magnético de 6 polos con dos imanes opuestos conectados a la misma fase del convertidor trifásico (figura N°10).
- Cojinete magnético de 6 polos de herradura (figura N°11).

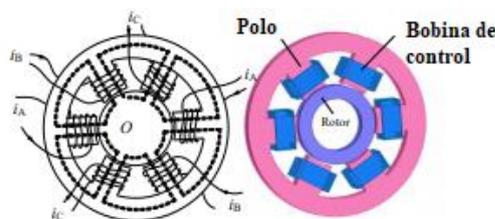


Figura 10. Cojinete magnético de 6 polos con dos imanes opuestos conectados a la misma fase del convertidor trifásico.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

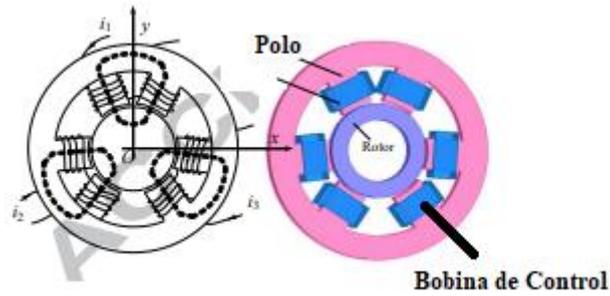


Figura 11. Cojinete magnético de 6 polos de herradura.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

D. *Cojinetes magnéticos de ocho polos.* Los cojinetes magnéticos de 8 polos incluyen el heteropolar (figura N°12), y cojinetes magnéticos homopolares de 8 polos (figura N°13). Las dos estructuras de 8 polos formarán cuatro bucles magnéticos independientes con cuatro bobinas independientes, lo que da como resultado fuerzas magnéticas casi desacopladas en cuatro direcciones. El cojinete magnético heteropolar de 8 polos en la actualidad comúnmente se utiliza en muchas aplicaciones industriales. (Zhang & Zhu, 2017)

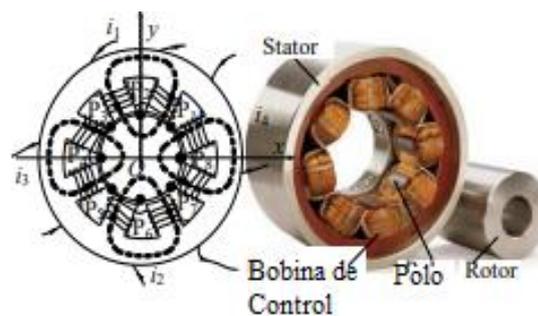


Figura 12. Cojinete magnético heteropolar de 8 polos.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

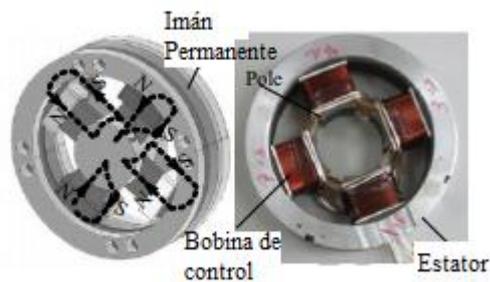


Figura 13. Cojinete magnético homopolar de 8 polos.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

E. *Cojinetes magnéticos de 12 polos.* La disposición de 12 polos prácticamente no muestra efectos de acoplamiento cruzado (Figura N°14). Para cojinetes grandes, los 12 polos no son una desventaja. Sin embargo, para rodamientos más pequeños sería una ventaja tener menos polos. (Zhang & Zhu, 2017)

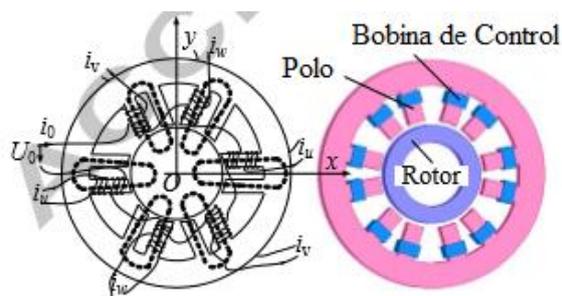


Figura 14. Cojinete magnético de 12 polos.

Fuente: (Zhang & Zhu, 2017)

1.3.3. Diagrama de Campbell

Representa el espectro de respuesta de un sistema en función de su régimen de oscilación. En este diagrama están representados los modos propios de vibración del rotor y la excitación debida al desequilibrio del eje con una frecuencia síncrona (línea color negro). (López Hidalgo, Serrano Cruz2, & Dolz Ruiz, 2014)

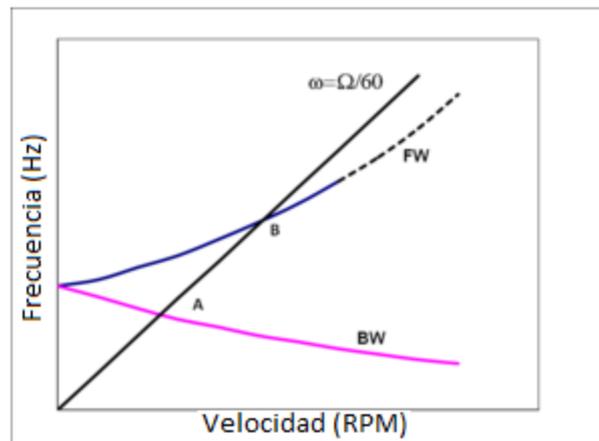


Figura 15 Diagrama de Campbell

Fuente: (López Hidalgo, Serrano Cruz2, & Dolz Ruiz, 2014)

1.3.4. Vibración en Máquinas Rotativas.

Las máquinas rotativas son un grupo de mecanismos diseñados para cumplir una función específica (ej. reductores, bombas, agitadores, etc.). Así, todas las máquinas se componen de una parte generadora de movimiento (motor, biela), y otra parte que se encarga de llevar la energía a todos los mecanismos que la conforman (eje). Principalmente este último, es quien rige el funcionamiento y es la pieza principal, ya que este componente determina la velocidad de giro de la máquina y es el encargado de transmitir las vibraciones a todos los mecanismos presentes como elementos rodantes o rodamientos, ruedas dentadas, acoples y soportes. La velocidad del eje de giro de la máquina, en términos de frecuencia, significa la frecuencia fundamental del sistema y cada mecanismo que forma parte de ella contribuye con una onda sinusoidal cuya frecuencia resulta ser un armónico de la frecuencia fundamental.

La señal de vibración de una máquina es un conjunto de sinusoides superpuestas con diversas amplitudes y frecuencias que implican y determinan un estado general. La amplitud determina la severidad de la vibración y la frecuencia indica el mecanismo vibrante. Luego el malfuncionamiento de una máquina es detectado normalmente por cambios en la vibración.

Un parámetro que resulta indispensable en el análisis de vibraciones es el punto de medida (ubicación del sensor), que puede ser radial (horizontal o vertical), donde el sensor se ubica perpendicular al eje, y axial, donde el sensor se ubica paralelo al eje.

Cada punto de medida permite valorar el nivel de vibración bajo ciertas amplitudes, es decir, una medida axial permite observar un nivel de vibración diferente a una medida radial, y la clasificación de la severidad de vibración depende en gran parte de este parámetro. Las causas de vibración las máquinas rotativas son las siguientes. (García, 2017)

1.3.4.1. Eje doblado. El doblamiento del rotor o del eje representa otro de los principales problemas de vibración. En un ensamble del rotor horizontal, el eje presenta un cierto grado de flexión, debido a la influencia del propio peso, o debido a efectos térmicos. Los problemas de un eje doblado causan una alta vibración en la dirección axial. El problema de torcedura del eje se asimila a un problema de desbalanceo, debido al predominio de la frecuencia de 1X. Por lo tanto, es importante estar seguros que el problema que se genera es torcedura por lo que se requiere realizar pruebas complementarias. (García, 2017)

1.3.4.2. Resonancia. La resonancia ocurre cuando coinciden dos frecuencias, como puede ser la frecuencia de giro de la máquina, o una frecuencia forzada, con la frecuencia natural del sistema dando origen a amplitudes de la vibración grandes. Normalmente la frecuencia de resonancia la genera la velocidad de giro de la máquina, cuando coincide con la frecuencia natural de la base, o de la cimentación, recibe el nombre de resonancia estructural. La mayoría de los problemas de resonancia en máquinas correctamente diseñadas son el resultado de la resonancia de elementos no rotatorios como pedestales, estructuras portantes, pisos, tuberías, vigas, columnas, cubiertas protectoras, etc. Una forma simple de evitar una condición de resonancia es cambiando la velocidad de operación de la máquina, o cambiando la frecuencia natural del sistema o componente. El aumento de la rigidez eleva la frecuencia natural, y el aumento de masa disminuye la frecuencia natural. (García, 2017)

Las características para identificar una resonancia son varias:

- Cambio de fase de 90° con pequeños cambios de velocidad alrededor de la frecuencia de resonancia. Lejos de la zona de resonancia, no existe cambio de fase.
- Existe también grandes cambios de la amplitud de la vibración alrededor de la zona de resonancia.

- Presencia de predominio de la frecuencia, si se trata de una resonancia de tipo estructural, o presencia de la frecuencia de trabajo del elemento y multiplicados por la frecuencia de giro, si se trata de un problema de resonancia inducida, como es el caso del número de alabes de un ventilador multiplicado por la frecuencia de giro.

1.3.4.3. *Falta de apriete en elementos de unión.* Las diferentes formas de manifestarse la falta de apriete en elementos de unión tiene lugar como resultado del deterioro de la condición de ensamblaje de los elementos mecánicos que han excedido las tolerancias de holgura o sencillamente se han aflojado debido a la dinámica de la operación de la máquina. La vibración que caracteriza, en general, a la falta de apriete en elementos de unión, la produce las fuerzas de excitación generadas por otros problemas tales como el desbalance, desalineamiento, excentricidad, problemas en los rodamientos, entre otros. Este problema se clasifica en tres categorías, A, B y C, cada una con su espectro de vibración característico, así como el comportamiento en el análisis de fase. (García, 2017)

- A. *Tipo A.* Es una soltura de la máquina respecto con su base, causada por el debilitamiento estructural de las patas de amarre de la máquina, la placa base, o por una cimentación deteriorada. Para esta clase de problema, la frecuencia que predomina es la frecuencia de giro de la máquina, $1X$, y normalmente tiende a presentar una mayor amplitud en la dirección vertical. Un problema de soltura mecánica tipo A, fácilmente puede confundirse con un problema de desbalanceo. La técnica para diferenciarlo en primera instancia es la prueba de fase.
- B. *Tipo B.* El tipo B es debido a los elementos de amarre, grietas en la estructura o en los asientos de los rodamientos, algunas veces inducidas por diferencias de las longitudes de las patas de amarre, aflojamiento de los tornillos de amarre de la máquina, aumento en la holgura de los cojinetes de apoyo, o por la presencia de una grieta o fisura en el equipo o en la base de apoyo. Este tipo de soltura genera vibración a una frecuencia igual al doble de la velocidad de giro de la máquina.
- C. *Tipo C.* Por último, el tipo C es consecuencia de un ajuste inadecuado entre las partes de los elementos y normalmente provoca la excitación de varias frecuencias armónicas de la velocidad de giro del eje.

1.3.4.4. Roce del rotor. Cuando las partes que giran de una máquina entran en contacto con las partes estacionarias se produce un efecto de fricción. Este tipo de fallo produce un espectro similar al de la soltura mecánica tipo C, sin embargo, cuando se produce el roce de un elemento rotativo de la máquina, predominará la frecuencia 1X ya que el mismo roce produce un desbalanceo. (García, 2017)

1.3.5. Banco de pruebas con rodamientos magnéticos.

1.3.5.1. Concepto. Se utilizan para la experimentación de proyectos de gran auge. Los bancos de pruebas brindan una forma de verificación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, dispositivos computacionales, y otras nuevas tecnologías. Es utilizado para medir las vibraciones y el desequilibrio de rotores.

El banco de ensayos con rodamientos magnéticos surge de la necesidad para eliminar fricción que pueda existir al a ver contacto como lo es en los rodamientos convencionales. Las ventajas de estos bancos que destacan precisamente son la reducción de vibración, pérdida de energía y costo de mantenimiento.

1.3.5.2. Componentes.

- Rotor.
- Un disco
- Soporte final no impulsado del cojinete magnético.
- Soporte impulsado de cojinete magnético.
- Perturbación de tramo medio de cojinete magnético.
- Perturbación de cuarto de tramo de cojinete magnético.
- Impulsor.
- Amplificador y rack de acondicionamiento de señal.
- Estación de trabajo de control.



Figura 16 Equipo de prueba para Rotor Flexible con cojinete magnético activo. Fuente: Simón, et al.2011)

1.3.5.3. Tipos de bancos de pruebas.

A. Equipo de prueba de rodamientos magnéticos activos modulares.

El análisis en este equipo cubre la configuración I, que es la primera de tres configuraciones de diseño próximas en el proyecto de plataforma de prueba reconfigurable. La configuración consiste en dos CMA radiales, un CMA axial y un motor de inducción. Su objetivo principal es estudiar la precisión y la funcionalidad del diseño modular. La configuración II utiliza CMA cónicos que proporcionan soporte tanto radial como axial. Esta configuración consta de los módulos, dos CMA cónicos y un módulo de motor de inducción. La configuración III es un motor sin cojinetes, donde dos CMA radiales y el motor de inducción se combinan en dos estatores que proporcionan tanto el desplazamiento como la suspensión. Este diseño usa soporte CMA axial convencional ver figura N° 17. (Sikanen, 2014).

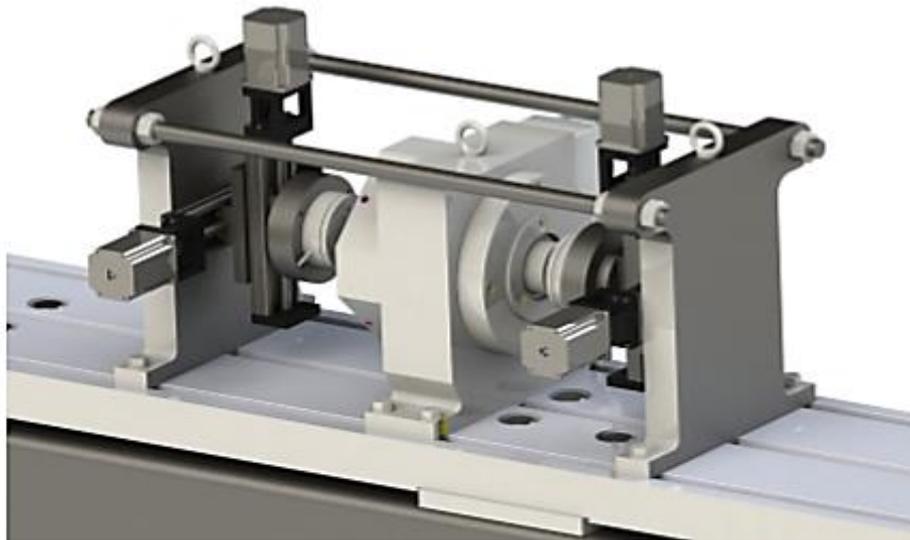


Figura 17. Equipo de prueba de rodamiento Magnético Activo modulares.

Fuente: (Sikanen, 2014)

B. Equipo de banco de pruebas machinery dynamics and control (romadyc).

Esta plataforma de prueba de cojinetes magnéticos multipropósito (cojinete magnético activo) es reconfigurable para representar las características dinámicas de una amplia gama de maquinaria. Tiene 9 ejes controlados magnéticamente, 5 para la levitación magnética estándar y 4 para las excitaciones externas. El equipo está protegido de vibraciones no deseadas por una mesa de aislamiento de vibración de grado óptico. El rotor de la plataforma de prueba es totalmente ajustable con ejes de múltiples diámetros y discos que pueden colocarse en cualquier longitud (figura N°18). El rotor es impulsado por un motor eléctrico de una velocidad de 15,000 RPM que está conectado con un acoplamiento flexible. El equipo de prueba CMA está equipado con una unidad de software de código abierto dSPACE para adquisición de datos, también sirve como un prototipo de control rápido para la implementación de controladores experimentales. Además del dSPACE, el equipo de prueba también está equipado con controladores PID estándar industriales. Los controladores PID permiten la experimentación en situaciones industriales y sirven como punto de referencia para evaluar el controlador experimental.(Romadyc, 2014)

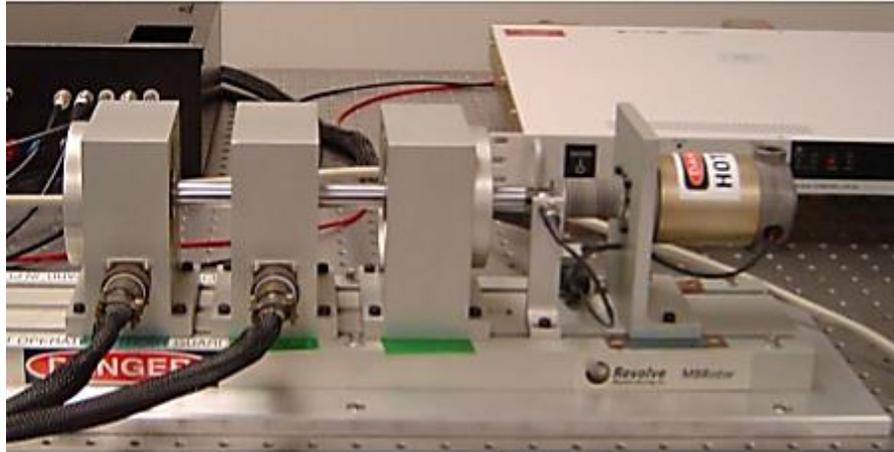


Figura 18. Plataforma de prueba de cojinetes Magnético Activo.

Fuente: (Romadyc, 2014)

C. Equipo de motor con cojinete propio.

Se centra en un motor auto portante, también conocido como motor sin motor, que es función de un motor eléctrico con un cojinete magnéticamente integrado. Esta combinación incluye un único actuador que proporciona levitación y rotación magnéticas simultáneamente (ver figura N°19). Las principales ventajas son una mayor densidad de potencia y la reducción de la longitud del eje, lo que también beneficia el rendimiento roto dinámico. Un servomotor sin contacto consiste en una máquina síncrona de imán permanente con una alta relación de par a inercia. Las características únicas de los servomotores sin cojinetes son la construcción del estator sin ranuras y un principio de funcionamiento completamente de Lorentz que ofrece un diseño más simple y una producción de par más suave (Grochmal & Forbrich, s.f.)

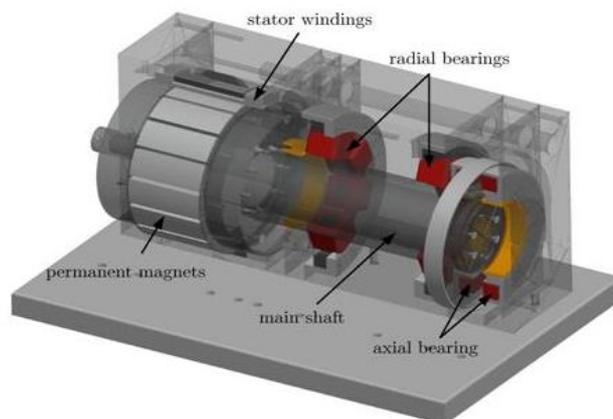


Figura 19. Motor con cojinete propio.

Fuente: (Grochmal & Forbrich, s.f.)

1.3.6. Diseño de banco de prueba para rotores con rodamientos magnéticos.

El primer parámetro a determinar, el cual tiene una fuerte influencia sobre el resto del diseño es la elección de materiales.

1.3.6.1. Cálculo del rotor.

A. *Radio óptimo del rotor (R_j)*. Para calcular el radio óptimo del rotor se hará uso de los siguientes parámetros (Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016)

$$R_j \geq \frac{R_r + 2\gamma g \sin(\theta_p/2)}{1 - 2\gamma \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \quad \text{Ec. (01)}$$

R_r = Radio del eje

γ = Factor de division

g = Espaciamiento de aire

θ_p = Ángulo del polo

B. *Peso del rotor*. Para calcular el peso del rotor se hizo uso de las propiedades del material a utilizar, así mismo se utilizó las dimensiones ya establecidas. (Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016)

$$P_{eje} = \left(\pi \cdot \frac{D_{eje}^2}{4} \cdot L_{eje} \right) \cdot \rho_{eje} \quad \text{Ec. (02)}$$

Depende:

ρ = Densidad del material

D = Diámetro del eje

L = Longitud del eje

1.3.6.2. Diseño de rodamiento magnetico.

1.3.6.2.1. Cálculo para el estator.

A. Dimensiones del estator.

El ancho del estator se calcula con el uso de radio óptimo del rotor, espaciamento de aire y el ángulo del polo. (Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016)

- ANCHO:

$$W = 2(R_j + g) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right) \quad Ec. (03)$$

Donde:

R_j = Radio óptimo de rotor

g = Espaciamento de aire

θ_p = Angulo del polo

- LONGITUD:

Utilizaremos el área del polo estator sobre su ancho

$$L = \frac{Ag}{W} \quad Ec. (04)$$

Donde:

Ag = Área del polo estator

W = Ancho del estator

B. Área del polo estator.

Para esta fórmula utilizaremos la longitud del magneto, diámetro y ángulo del polo estator. (Magnetic Bearings and Bearingless Drives, 2004).

$$A_g = l \left(\pi \cdot D_{er} \cdot \frac{\theta_p}{360} \right) \quad Ec. (05)$$

Donde:

l = Longitud del del rotor

D_{er} = Diámetro exterior del rotor

θ_p = Ángulo del polo estator

C. Radio externo del estator.

Para calcular el radio exterior del estator nos basamos en la suma del radio interno del estator (ver figura N°20), y ancho del estator. (Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016)

$$R_s = R_c + w \quad Ec. (06)$$

R_s = Radio exterior del estator

R_c = Radio interior del estator

W = Ancho del estator

D. Radio del espacio de la bobina.

(Gaurav, Madhurjya Dev , Sivaramakrishnan , & Karuna, 2016)

$$R_c = \frac{A_{coil}}{R_c \tan\left(\frac{\theta_p}{2}\right) - \frac{w}{2}} + R_p \quad Ec. (07)$$

$$R_p = R_r + Ag \quad Ec. (08)$$

A_{coil} = Área de la bobina

θ_p = Angulo del polo

W = Ancho del estator

Ag = Área de aire radial

R_r = Radio del eje

E. Área de vacío entre polos.

En esta ecuación utilizaremos los parámetros ya calculados; diámetro del polo estator espaciamento de aire, ángulo del polo, profundidad de la ranura (figura N°21).

$$A_s = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (D + 2g) \frac{\theta_p}{360} - w + \frac{1}{2} \left(\pi (D + 2g + 2ls) \frac{\theta_p}{360} - w \right) \right] l_s \quad \text{Ec. (09)}$$

$l_s =$ Profundidad de ranura

F. Radio interior del estator.

En la figura N°19 se muestra la geometría de los componentes del rodamiento magnético.

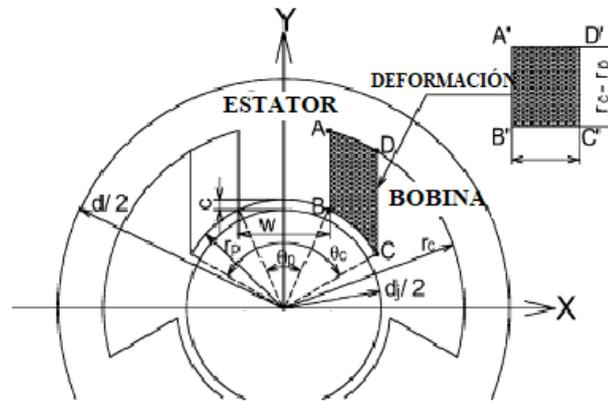


Figura 20 Geometría del rodamiento magnético

Fuente: (Matsuda & Kanemitsu, 2007)

$$r_c = r_p + \frac{2A_c}{[r_p(\theta_c - \theta_p)]} \quad \text{Ec(10)}$$

$$\theta_c = \frac{\theta_p}{k_i} \quad \text{Ec(11)}$$

$r_c =$ Radio interior de estator

$r_p =$ Radio del polo

$A_c =$ Area transversal de la bobina

$\theta_c =$ Angulo de la bobina

$\theta_p =$ Angulo del polo

$k_i = 0 \leq x \leq 1$ Relación de Hierro

G. Área de sección transversal de la bobina.

$$A_c = N \frac{S_w}{k_i} \quad Ec(12)$$

N = Número de vueltas

S_w = Area transversal del alambre

H. Área transversal del alambre.

$$S_w = \frac{I_0}{j_0} \quad Ec(13)$$

j_0 = Densidad de corriente que soporta el alambre

I_0 = Corriente del sistema

I. Flujo magnético.

El efecto del flujo magnético queda expresado en la siguiente expresión. (Maslen, Allaire, Noh, & Sortore, Magnetic Bearing Design for, 1996)

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2g} \quad Ec. (14)$$

μ_0 : Permeabilidad magnética del aire $\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{N}}{\text{A}^2}$

N = N° de espiras

g = Gravedad

I = Corriente

J. Fuerza electromotriz.

La capacidad de carga de un cojinete magnético es la fuerza obtenida con la fuerza magnetomotriz máxima admisible $N \cdot I_{\text{max}}$. (Maslen, Allaire, Noh, & Sortore, Magnetic Bearing Design for, 1996)

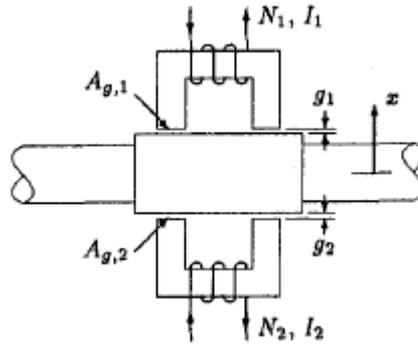


Figura 21 .Cargas de un cojinete magnético.

Fuente: (Maslen, Allaire, Noh, & Sortore, Magnetic Bearing Design for, 1996)

$$F = \frac{B^2 \cdot A_{g,1}}{\mu_0} = \frac{\mu_0 \cdot N_1^2 \cdot I_1^2 \cdot A_{g,1}}{4g_1^2} \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

B = Flujo magnético

$A_{g,1}$ = Area de la cara del polo (un polo)

K. Factor de división.

$$L_{arc} = \theta_p \cdot R_r \quad \text{Ec. (16)}$$

$$L_t = 4 \cdot L_{arc} \quad \text{Ec. (17)}$$

Uniendo la ecuación 13 y 14 tenemos:

$$L_t = 4 \cdot \theta_p \cdot R_r \quad \text{Ec. (18)}$$

$$L_{cir} = 2\pi \cdot R_r \quad \text{Ec. (19)}$$

Con la ecuación 15 y 16 obtenemos el factor de división

$$\gamma = \frac{L_t}{L_{cir}} = \frac{4 \cdot \theta_p \cdot R_r}{2\pi \cdot R_r} = \frac{2\theta_p}{180} = \frac{\theta_p}{90} \quad \text{Ec. (20)}$$

L_{arc} = Longitud de Arco

$L_t = \text{Longitud Total}$

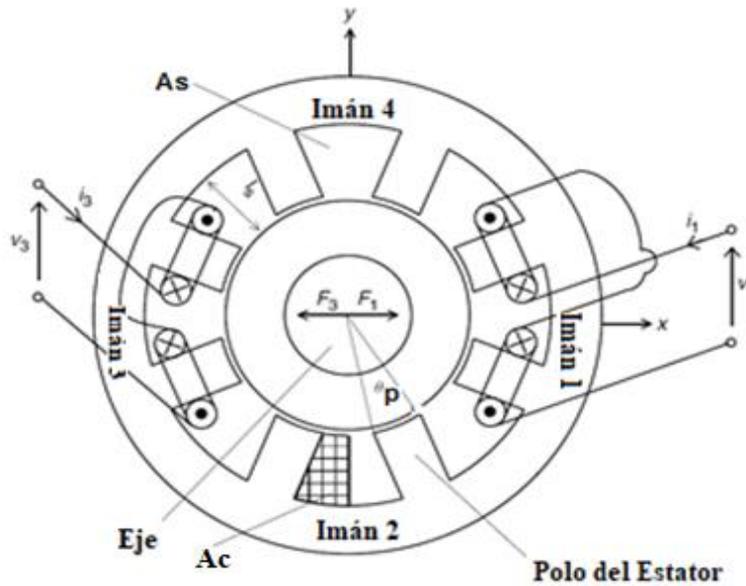


Figura 22. Rodamiento magnético radial

Fuente: (Magnetic Bearings and Bearingless Drives, 2004)

1.3.6.3. Cálculo de potencia de motor.

Para la potencia requerida del motor, primeramente, es necesario calcular el momento de torsión mínimo que es necesario para vencer la fuerza de fricción. (Fortet y otros ,1921).

La ecuación a utilizar es:

$$T = \frac{k \cdot f \cdot d}{2} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

M: Momento de Torsión (KgF.m)

k: Coeficiente de rozamiento del rodamiento

d: Diámetro del eje (mm)

F: Carga que soporta un rodamiento (kg)

P: Potencia requerida

n: Revoluciones por minuto

Con el valor de transmisión de transmisión se calcula la potencia requerida (H) para vencer la fuerza de fricción en los rodamientos.

$$P = \frac{M \cdot \pi \cdot n}{30000} \text{ (Kw)} \quad (\text{Ec. 22})$$

1.3.6.4. Diseño de eje a carga estática.

Se calcularán los esfuerzos a los que está sujeto el eje, los cuales son esfuerzos de flexión y de torsión, expresados por las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \text{Ec. (23)}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde

σ_x : Esfuerzo por flexión (MPa)

τ_{xy} : Esfuerzo por torsión (MPa)

d : Diámetro del eje (mm)

M : Momento flector Máximo (N.mm).

T : Momento Torsor en la sección crítica (N.mm).

De la teoría de la energía de distorsión (Von Mises), se tiene que:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \dots \text{Ec. (25)}$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS} \dots \text{Ec. (26)}$$

Donde

S_y : Resistencia a la fluencia (MPa)

FS : Factor seguridad (Adimensional)

1.3.6.5. Diseño de eje a fatiga.

Para ello se calculará la ecuación de Marín, la cual se determina con la siguiente expresión:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \dots \text{Ec. (27)}$$

Donde:

k_a : Factor de modificación de la condición superficial.

k_b : Factor de modificación del tamaño.

k_c : Factor de modificación de la carga.

k_d : Factor de modificación de la temperatura.

k_e : Factor de confiabilidad

k_f : Factor de modificación de efectos varios.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Además, el límite de resistencia a la fatiga, factor de modificación de la condición superficial y del tamaño se calcula con las siguientes expresiones:

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 Mpa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} \dots \text{Ec. (28)} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} \leq 1400 \text{ Mpa} \end{cases}$$

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec. (29)}$$

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad \text{Ec. (30)}$$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4 \quad \text{Ec. (32)}$$

$$70 \leq T_F \leq 1\,000^\circ \text{ F}$$

$$k_e = 1 - 0.08z_a \quad \text{Ec. (33)}$$

Otro factor importante a determinar cuándo se hace un estudio de fatiga es la concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca (q), para hallar esta se usa la siguiente expresión:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ec. (34)}$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. (35)}$$

$K_f = 1$. Para caso de ejes uniformes, es decir, no ranurados, huecos, etc.

Factor de seguridad utilizando el criterio de ED-Goodman es igual:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} t_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde M_m y M_a son los momentos flexionantes medio y alternante, T_m y T_a son los pares de torsión medio y alternante, y K_f y K_{fs} son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión, respectivamente.

1.3.7. Cálculo de evaluación de proyecto.

1.3.7.1. Índice de retorno sobre inversión (ROI).

El índice de retorno sobre inversión conocido por sus siglas en inglés (ROI) mide la rentabilidad de la empresa con respecto a su inversión.

Se determina mediante la fórmula siguiente:

$$ROI = (\text{Beneficio} - \text{Inversión} / \text{Inversión}) \cdot 100 \quad (\text{Ec. 37})$$

Si el ROI es positivo podemos decir que el proyecto es rentable pues está utilizando eficientemente el capital invertido en la generación de utilidades. Mientras mayor sea el ROI más rentable es considerado el proyecto pues genera más utilidades con menos inversión. (Crecenegocios, La rentabilidad de una empresa, 2015)

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuál es la configuración geométrica y características técnicas de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos capaz de soportar velocidades de pruebas máximas de 3600 rpm?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

En el aspecto institucional, la ejecución de la investigación y la aplicación de este proyecto son de suma importancia para la Universidad Señor de Sipán – Chiclayo y en un futuro para ser aplicado a otros establecimientos educativos que de alguna manera no posean dentro de su infraestructura un laboratorio de Ingeniería vinculado con el área de Diseño de Ingeniería. El provecho se verá reflejado primero en los alumnos de la Universidad Señor de Sipán – Chiclayo, porque tendrán a su disposición el diseño y los planos de una máquina funcional de ensayo, los cuales brindaran a los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica las bases para la construcción de su propio equipo con el cual podrán desarrollar aprendizaje teórico – práctico.

En el aspecto científico, esta investigación se orientará a generar nuevos conocimientos, a constatar aquellos que forman parte del saber y favorecer el proceso didáctico y el desarrollo de la ciencia y tecnología.

En el aspecto académico y con base en el contexto mencionado anteriormente, el proyecto generará medios con los cuales facilitaría el estudios de asignaturas tales como: Ingeniería de materiales, Dinámica, Resistencia de Materiales, Diseño de Elementos de Máquinas, Diseño de Maquinas, Electromagnetismo, Máquinas Eléctricas.

En el aspecto económico, este diseño será menos costoso y más asequible en comparación a las maquinas ofrecidas en el mercado y, por ende representará un ahorro significativo para la universidad.

Para este fin se cuenta con fuentes de información y testimonio; como tesis realizadas, maquinas diseñadas, conocimiento teórico y práctico necesario, los recursos humanos y físicos dentro y fuera de la institución

1.6.HIPOTESIS.

No aplicada a este tipo de investigación.

1.7.OBJETIVOS.

1.7.1. Objetivo general.

Diseñar un banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos capaz de soportar velocidades de pruebas máximas de 3600 rpm para el laboratorio de Ciencias Térmicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo.

1.7.2. Objetivos específicos.

- Identificar las necesidades de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán e incentivar la investigación en el pregrado.
- Generar las especificaciones ingenieriles de la máquina de acuerdo a las necesidades de la institución y recomendaciones de diseño.
- Seleccionar el diseño conceptual que más se ajuste al requerimiento ingenieril establecido utilizando una matriz de ponderados.
- Determinar el diseño de configuración del banco de prueba en función al diseño conceptual seleccionado.
- Realizar el dimensionamiento del banco de pruebas considerando las cargas externas a las cuales se encuentra sometido.

- Realizar un diseño paramétrico de las partes y/o sistemas críticos del banco de ensayos para rotores.
- Selección de componentes.
- Realizar el presupuesto del banco de ensayos y el análisis económico (ROI)

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

II. MATERIAL Y METODOS.

2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

Pre-Experimental.

En esta sección se proponen los pasos de la metodología que se utilizará para diseñar el banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

2.2. Población y Muestra.

No aplicada a este tipo de investigación.

2.3. Variables, Operacionalización.

2.3.1. Variables.

Dado que el proyecto contempla un diseño formal, este debe realizarse de acuerdo a una metodología de diseño acorde. Para ello se hará uso de un esquema de variables adaptado a la literatura de diseño aceptada mundialmente, donde se proponen 4 tipos de variables: Variables de Diseño, Variables de solución, Parámetro de definición del Problema y Variables intervinientes. De acuerdo a estas variables se determinará el funcionamiento del Banco de Ensayos.

Se describe en la sección 1.3.3 al banco de ensayos, el cual será diseñado en el presente proyecto de investigación. Asimismo, se indican sus principales componentes. Para el caso, del rodamiento magnético será diseñado paramétricamente, los otros componentes pueden ser simplemente seleccionados una vez culminado el diseño según la velocidad máxima del banco de ensayo.

2.3.1.1. Rodamientos magnéticos.

A. Parámetros de definición de problema.

- Configuración del N° de polos para el rodamiento magnético
- Revoluciones en Rpm: 3600

B. Variables independientes de diseño.

- Especificaciones Geométricas del rodamiento y el rotor
- Corriente Eléctrica que circula por el conductor.
- Tipo de material del rodamiento (adimensional).
- Tipo de material de los rotores

C. Variables dependientes.

- Densidad flujo Magnético ($T = Wb/m^2$)
- Fuerza de empuje (N).

D. Variables intervinientes.

- Permeabilidad magnética ($\frac{Wb}{A*m}$)

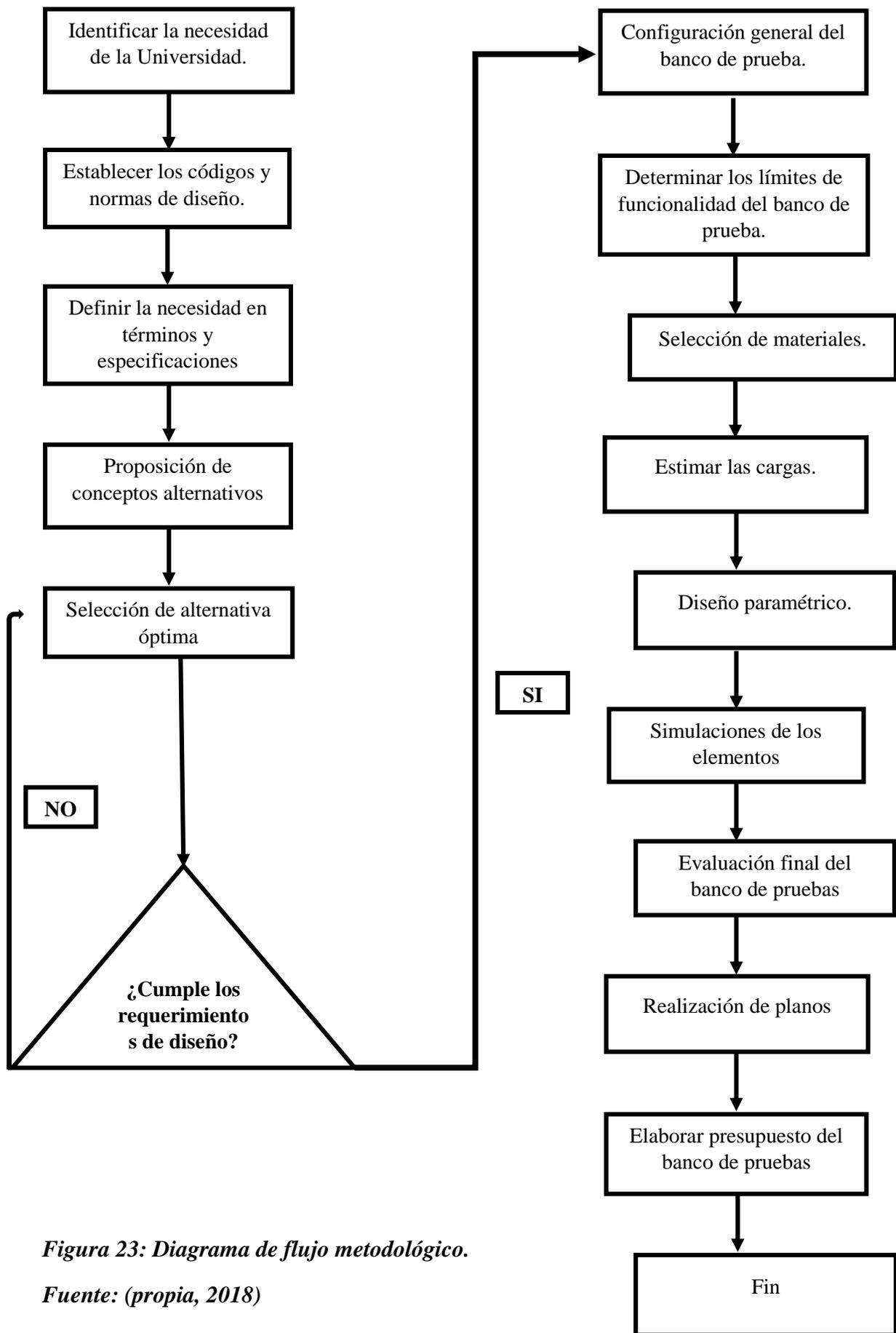


Figura 23: Diagrama de flujo metodológico.

Fuente: (propia, 2018)

2.3.1.1.1. CAJA NEGRA.

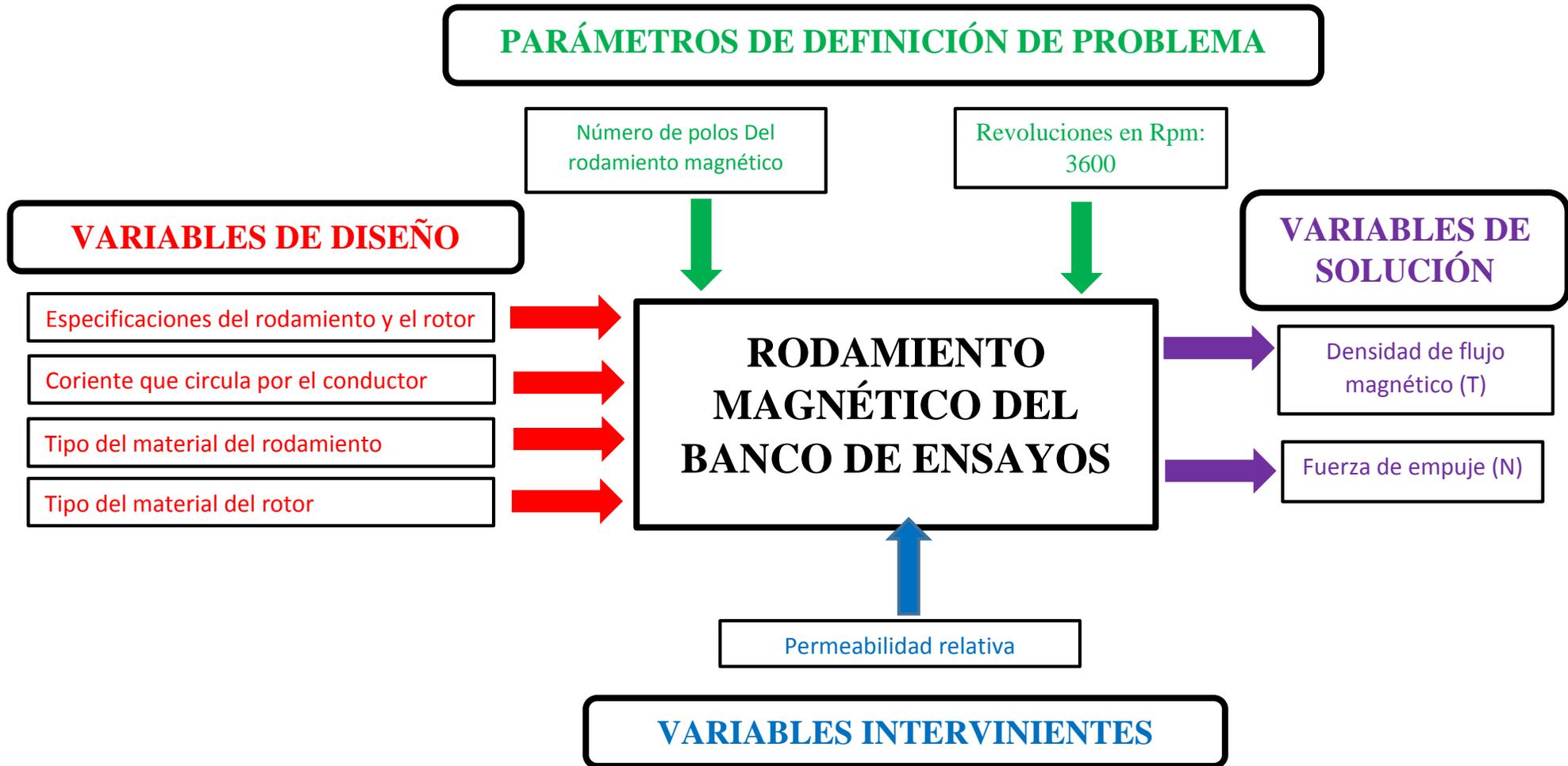


Figura 24: *Caja negra de diseño.*

Fuente: (Propia, 2018)

2.3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Caso	Variables independientes	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Rodamientos magnéticos.	Especificaciones Geométricas del rodamiento y el rotor	Método para explicar tolerancias de fabricación. Se utiliza en dibujos de diseño para especificar la simetría nominal de una pieza y su variación permitida.	Se calcula a través de fórmulas de relaciones geométricas y con ayuda de recomendaciones de diseño.		De razón
	Corriente que circula por el conductor.	Cantidad de electrones que circulan por un material.	Se calcula en base a la densidad magnética y la longitud con respecto a la permeabilidad magnética y el número de espiras	Amperios	De intervalo
	Tipo de material del rodamiento	Compuesto por bobinas y su núcleo de hierro	Establecer materiales que soporten elevadas temperaturas	Material y composición	nominal

	Tipo de material de los rotores	Aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono.	Definir el acero especial, con una alta y considerable resistencia en condiciones de rotación con frecuencias críticas.	Material y composición	nominal
--	---------------------------------	--	---	------------------------	---------

Caso	Variables dependientes	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Rodamientos magnéticos.	Densidad flujo magnético.	Número de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área, en una región de un campo magnético.	Se calcula en base a la relación entre el flujo magnético por unidad de área de una sección normal en dirección del flujo.	$Wb/m^2 = \text{Tesla}$	De intervalo
	Fuerza de empuje	Magnitud vectorial para realizar un trabajo o movimiento.	Se determina en base a la permeabilidad magnética, número de espiras, corriente y la sección, con respecto a la longitud.	Newton	De intervalo

Fuente: Propia

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Valides y Confiabilidad.

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

En este proyecto de investigación se usará técnicas de recolección de datos, con la finalidad de describirlas y saber el estado de sus usos y limitaciones, identificar cuestiones éticas implicadas en la investigación y la manera de garantizar que la información sea propicia para el diseño de banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

2.4.1.1. Observación. La observación es una técnica que consiste en seleccionar de manera sistemática, ver y grabar el comportamiento de los seres humanos, permitiendo determinar los procesos realizados en su funcionamiento, la manera como se está realizando, quien lo hace, cuando se lleva a cabo, cuánto tiempo demora, donde se realiza y porque se realiza la investigación.

Se realiza la visita a la Universidad Señor de Sipán para saber la problemática de la institución, teniendo en cuenta los equipos con la que cuenta, tecnología y todos los parámetros posibles.

A través de la visita se realizará una continua observación a los laboratorios de la Universidad Señor de Sipán, identificando la necesidad existente en el laboratorio de ciencias térmicas.

2.4.1.2. Cuestionario. Los cuestionarios, tal como los consideramos aquí, son instrumentos independientes de la recopilación de datos, que se administrarán de la manera más común ya sea por correo postal, por vía telefónica o en línea. Han sido durante mucho tiempo una de las técnicas de recopilación de datos más populares.

Esta técnica nos permite la recopilación de datos de la problemática del laboratorio de ciencias terminas de la universidad, datos generales y el monitoreo del funcionamiento del laboratorio.

2.4.1.3. *Entrevista.* Una entrevista es una herramienta de recopilación de datos que implica buscar información e interrogantes del banco de ensayos, ya sea de manera individualmente o grupal.

Se mantendrá una audiencia con el representante y el personal encargado del laboratorio, con la finalidad de identificar la problemática y el beneficio del laboratorio de ciencias térmicas de la universidad con el diseño del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

Esta técnica nos permitirá conseguir la información necesaria para el proyecto, se realizará por los estudiantes de la universidad señor de Sipán al personal correspondiente, se ejecutará de manera personal y formalmente (estructurada), con el propósito de tener información actual del banco de ensayos, las preguntas serán enfocadas en la necesidad del laboratorio de la Universidad Señor de Sipán respecto al diseño del banco de ensayos, serán claras y precisas.

2.4.1.4. *Información bibliográfica.* Esta técnica será utilizada para obtener información precisa y referencias, tales como guías para el desarrollo de la tesis, para la recopilación de información se utilizarán diferentes fuentes bibliográficas provenientes de internet, libros, revistas, leyes, tesis, publicaciones científicas, etc., teniendo una adecuada información del diseño de un banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos para estudio en pregrado.

2.4.1.5. *Análisis de documentos.* Esta técnica consiste en analizar los datos existentes en forma de bases de datos para su posterior identificación y recuperación (informes, registros de asistencia, registros financieros, boletines informativos, etc.) Logrando la recopilación de información para el diseño del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

2.4.1.6. *Guía de observaciones.* Las guías de observación las utilizamos para documentar datos relévateles que son observados, para ejecutar una evaluación acorde al tema que se está evaluando. (Banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para estudio en pregrado).

2.4.1.7. *Cuestionarios.* Se realiza cuestionarios para entrevistar a ingenieros del laboratorio que estén relacionados con estudios de banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

- Entrevista
- Encuestas

2.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.

Etapa 1: Elaboración de la entrevista. Se elaborará preguntas a los Ingenieros de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán detallando los datos específicos que necesitamos para un futuro diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

Etapa 2: Determinación del cronograma de la entrevista. Se especifica las fechas para la aplicación de la entrevista a los Ingenieros de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán, los días para la entrevista será un día laboral.

Etapa 3: Ejecución de la entrevista. Se realizará la entrevista a los Ingenieros de las Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica para determinar su grado de satisfacción y opinión para un futuro diseño del banco de ensayos.

Etapa 4: Identificación de las necesidades del laboratorio de ciencias térmicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán. Se identifica las necesidades del laboratorio de ciencias térmicas para ponerlos como dato para un futuro diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

Etapa 5: Recomendaciones de diseño de trabajos anteriores. Se usa recomendaciones de las especificaciones dimensionales y funcionales de los diseños de trabajos

anteriores, para una mejora de un posterior diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

Etapa 6: Normas, Catálogos y libros de máquinas con la misma función. Se utilizarán normas, formulas, catálogos para la selección de algunos componentes y códigos referentes al banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos que sirven como guía para el desarrollo del proyecto.

2.5. Procedimiento de Análisis de Datos.

Para el análisis de datos del proyecto primero, se selecciona las normas y códigos referentes al banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos que sirven como guía para el desarrollo. Segundo, se diseñará los componentes del banco de ensayos por medio del cálculo analítico, a través de la velocidad tangencial, frecuencias críticas, masa del rotor. Criterio de la fuerza de Lorentz, fuerza de reluctancia, criterio de la ley de ampere, densidad de flujo magnético. Tercero, se seleccionarán algunos componentes de acuerdo a las variables de solución obtenidas. Finalmente, se realizarán cálculos matemáticos con la ayuda del software MATLAB y se hará los planos del banco de ensayos en SolidWorks.

2.6. Criterios Éticos.

En este proyecto de investigación los principios que tendremos presente serán la base para nuestros valores como la dedicación, responsabilidad, honestidad. Estará basado por dos documentos fundamentales: Código de Ética del Colegio de Ingenieros (CIP, 1999) y el código de ética de investigación de la universidad señor de Sipán (USS, 2017).

2.6.1. Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999.

Art. 2.- Los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.

Art. 5.- los ingenieros cuidaran que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abusos o dispendio, respetaran y aran respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

2.6.2. Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), Ratificado po acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS

ART. 2º: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

ART. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

2.7. Criterios de Rigor Científico.

En el presente proyecto de investigación se tendrán en cuenta los principios de rigor científico como la generalización, validez, fiabilidad y replicabilidad.

2.7.1. Generalización:

Componente importante del proceso científico, se pretenderá que la información extraída de una encuesta o entrevista este precisamente organizada y realizada.

2.7.2. Validez:

Se considerará atención exacta de escoger variables sobresalientes y que guarden relación al problema de investigación.

2.7.3. Fiabilidad:

Al adquirir las mediciones corresponderán a una metodología meticulosa y científica.

2.7.4. Replicabilidad:

Los reglamentos y técnicas estarán dirigidos a agilizar la repetición de la experiencia con el propósito de alentar la contratación de resultados en proyectos de investigaciones futuras.

CAPITULO III

RESULTADOS

III. RESULTADOS.

3.1. Necesidades de la Universidad Señor de Sipán.

Las necesidades de la empresa se determinaron mediante 4 entrevistas realizadas a los ingenieros de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica encargados de dictar cursos en esta casa de estudios. Las observaciones más resaltantes inferidas de cada respuesta y las entrevistas pueden apreciarse en el Anexo N°08

En la Tabla N° 02 Se resume los resultados de las entrevistas indicándose los aspectos evaluados para un mejor análisis.

Tabla 2: Resumen de Entrevistas de Necesidades de la Institución.

	PREGUNTAS	Vives Garnique Juan Carlos	Alvarado Silva Carlos Alexis	Amaya Checa Luis Manuel	Vidarte Mejía José Samuel
ASPECTO DE INFLUENCIA ACADÉMICA E INSTITUCIONAL	1. Diga usted. ¿Cuáles son las fallas comunes que presentan los rodamientos convencionales?	Fractura de piezas del rodamiento, corrosión, desgaste.	Fractura, fatiga en los elementos, deformación rotacional, corrosión.	Fractura de piezas del rodamiento, corrosión, deformación rotacional.	Fractura de piezas del rodamiento, fatiga, corrosión, desgaste.
	2. En su opinión ¿Cuáles son los factores que pueden ocasionar un fallo prematuro en los rodamientos convencionales?	Montaje incorrecto, insuficiente lubricación, excesiva vibración, sobrecarga	Montaje incorrecto, insuficiente lubricación, excesiva vibración, sobrecarga, desbalance.	Montaje incorrecto, insuficiente lubricación, excesiva vibración	Montaje incorrecto, insuficiente lubricación, excesiva vibración, sobrecarga
	3. Según su experiencia. ¿Cuáles son las consideraciones de fallos que se debe tener en cuenta en el diseño de máquinas rotativas a raíz de causas mecánicas?	Fractura, fatiga, velocidad crítica.	Fatiga.	Fractura.	Fatiga, desbalance de piezas.
	4. En su opinión. ¿Conoce el fenómeno de levitación magnética?	Sí	Sí	Sí	Sí
	5. ¿Cree que la implementación de los rodamientos magnéticos ayudará a compensar las vibraciones mecánicas inherentes en los bancos de ensayos.	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Totalmente

6. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de laboratorios de ensayos para la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con miras al licenciamiento y posterior acreditación?	No	No	No	No
7. ¿Cuán importante es la presencia de un banco de ensayos de rotores dinámicos en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica?	Muy importante	Muy importante	Muy importante	Muy importante
8. ¿Qué provecho en términos académicos e investigación tendría la Universidad al poseer un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos?	Mejorará la aplicación de la teoría de vibraciones y generará mejoras con nuevos estudios de investigación.	Mucho porque los estudiantes estudiarán temas actuales.	Aumentaría el conocimiento académico.	Mucho, para expandir conocimientos académicos de los alumnos.
9. ¿Cree usted que la implementación de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos, sería de gran aporte en la investigación en pre grado para la escuela de ingeniería mecánica	El aporte sería muy bueno para los estudiantes de pregrado. Para el estudio puntual del curso de electromagnetismo, dinámica ya que	Sería una contribución notable, ya que eliminan la fricción, no tiene fallas correctivas, mantenimiento, aumenta la vida útil de la maquina. Para el estudio de los cursos de dinámica,	La aportación del banco de ensayos sería de gran ayuda, para los estudiantes de pregrado. Cursos involucrados notablemente como electromagnetismo, turbomaquinas,	Ayudaría sin duda alguna a los estudiantes de pregrado. Entre los cursos como base que intervienen sería electromagnetismo,

	eléctrica? ¿Que cursos estarían involucrados?	compara lo teorico con lo experimental.	turbomaquinas, electromagnetismo y de investigación.	circutos eléctricos, maquinas eléctricas.	circutos eléctricos, dinámica.
ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA	10. ¿Cuáles piensa usted que serían las dimensiones ideales que debería tener un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para una velocidad máxima de 3200 rpm?	Ancho 1 m, largo 1.5m, altura 0.45 m.	No sabe no opina	No sabe no opina	Rodamiento de diámetro interior de 1” y diámetro exterior de 4 “
	11. Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño de un banco de rotores con rodamientos magnéticos para ensayos demostrativos en el pre-grado?	Costo, facilidad de mantenimiento, sistema de transmisión, control, resistencia.	Costo, facilidad de mantenimiento, control.	No sabe no opina	Facilidad de mantenimiento, facilidad de manejo.
	12. ¿Qué parámetros de ingeniería debería ser capaz de evaluar la máquina?	Revoluciones, nivel de vibración, fuerza electromagnética.	Revoluciones, nivel de vibración, fuerza electromagnética.	Fuerza electromagnética.	Nivel de vibración y buen nivel de estabilidad.

ASPECTO ECONÓMICO	13. ¿Qué rangos de precio considera usted adecuados para construir un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos con recursos propios?	Entre S/. 20,000.00 a S/. 50,000.00 nuevos soles.	Entre S/. 20,000.00 a S/. 50,000.00 nuevos soles.	No sabe no opina	No sabe no opina
----------------------	--	---	---	------------------	------------------

Fuente: Propia

3.2. Recomendaciones de Diseño y Especificaciones de Ingeniería

3.2.1. Recomendaciones de diseño para el banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos

Se realizó una extracción de recomendaciones de diseño de los artículos de investigación de índole mundial que se muestra en la tabla N° 3, 4 y 5.

Tabla 3: Recomendaciones de Diseño en Aspecto de Materiales.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
MATERIALES	Se recomienda que los componentes (el eje, rodamiento magnético activo, y pedestales de soporte), se encuentren montados en una placa de acero grueso sobre un bloque de hormigón grande para proporcionar una base firme.	Simón, E, et al. (2010)
	Se recomienda utilizar para el eje una pieza sólida de acero magnético (aisi), para garantizar la durabilidad mecánica.	Sikanen, E. (2014)
	Se recomienda el diseño del eje del rotor sea hecho de acero, ya que ha aumentado la fatiga en comparación con otros materiales.	Shah, A. (2016)
	Se recomienda que el material de la punta del sensor debe ser similar al material del eje para que exista mejor control.	

Fuente: Propia

Tabla 4: Recomendaciones de Diseño en el Aspecto de Geometría.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
GEOMETRÍA	Se recomienda utilizar un rotor con las siguientes especificaciones: Longitud del eje 800 mm, diámetro de 55 mm, peso 20 kg.	Sikanen, E. (2014)
	Se recomienda utilizar un rodamiento de diámetro interior del estator radial 56 mm, Espacio de aire del rodamiento activo radial 500 μ m.	
	Se recomienda la placa base con una Longitud 2 000 mm	
	Se recomienda utilizar un rotor con las siguientes especificaciones: Longitud del eje 1.23 m, diámetro de 60 mm, peso 44.9 kg. Velocidad de funcionamiento de 14200 rpm	Simón, E, et al. (2010)
	Se recomienda utilizar un rodamiento de diámetro interior del estator radial 60.8 mm.	
	Se recomienda utilizar un rotor con las siguientes especificaciones: Longitud del eje 800 mm, diámetro de 15 mm.	Shah, A. (2016)

	Se recomienda utilizar un rodamiento de diámetro interior del estator radial 57 mm y exterior de 147 mm, espacio de aire del rodamiento activo radial 0.5 mm.	
GEOMETRÍA	Se recomienda utilizar un conductor de alambre de cobre de 0.8 mm de diámetro para el embobinado.	Luc Burdet.(2016)

Fuente: Propia

Tabla 5: Recomendaciones de Diseño en el Aspecto Técnico.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
TÉCNICA	Se recomienda utilizar cuatro rodamientos magnéticos radiales que permite realizar configuraciones de rotor entre cojinetes, permitiendo representar diferentes diseños de turbo maquinaria.	Simón, E, et al. (2010)
	Se recomienda utilizar un rotor de gran longitud para estudios de diferentes tecnologías de sensores, y también hacerlo posible para estudiar los rodamientos de película de fluido hidrodinámico.	Sikanen, E. (2014)

	Se recomienda que el final de la plataforma central del rotor sea insertado y atornillado con un tornillo de máquina largo.	Shah, A. (2016)
--	---	-----------------

Fuente: Propia

3.2.2. Especificaciones de Ingeniería

Una vez analizado las entrevistas realizadas a los docentes de la universidad Señor de Sipan USS (ver tabla N° 2) y recomendaciones de diseño de trabajos realizados sobre este tema, se generará una tabla de ingeniería, (referido en la tabla N° 6) en este se procederá a presentar de forma profesional las características necesarias para el diseño del banco de pruebas con rodamientos magnéticos con sus respectivas unidades y limitaciones. Con el fin de obtener un banco de ensayos que cumpla con las necesidades pedagógicas de los docentes, a continuación, se muestran las subfunciones estudiadas:

Tabla 6: Especificaciones de ingeniería.

SUBFUNCIÓN	CARACTERISTICAS INGENIERILES	UNIDADES	LIMITES
Dimensiones de la maquina	Según escala	m^3	$\leq 0.50 m$ ancho ≤ 1.3 largo ≤ 0.80 alto
Potencia del motor	Capacidad de romper la inercia de todos los componentes del equipo	Hp	$\leq 2 Hp$
Encendido de la maquina	Tiempo de encendido	Segundos	$\leq 3 seg$
Rodamiento Magnético	Clasificación de rodamiento magnético activo.	Adimensional	Radial y Axial
N° de polos	Cantidad óptima para controlar la vibración del eje	Adimensional	3, 4 ,6 ,8
Espaciamiento	Holgura necesaria entre el rodamiento y el eje.	Milímetros	$\leq 0.5 mm$

Velocidad de rotor	Velocidad máxima a la cual girara el eje	RPM	$\leq 3600 \text{ RPM}$
---------------------------	--	-----	-------------------------

Fuente: Propia

3.3. Concepto de Diseño Ingenieril y Matriz Ponderada

3.3.1. Concepto de diseño.

Para la selección del mejor concepto de solucionar el problema que presenta la universidad se generará un mayor número de alternativas capaces de brindar una solución, se escogerá la más óptima mediante una matriz de selección ponderada, para el diseño paramétrico del banco de pruebas de rotores con rodamientos magnéticos.

3.3.1.1. Concepto de diseño N°1.

Este concepto se derivó del modelo por Sikanen (Sikanen, 2014) .Se caracteriza porque el marco principal que sostiene los rodamientos magnéticos, puede alojar de forma segura rodamientos axiales y radiales por separado. La base de apoyo es fácilmente reconfigurable adaptándose a cualquier diseño para garantizar un posicionamiento preciso.

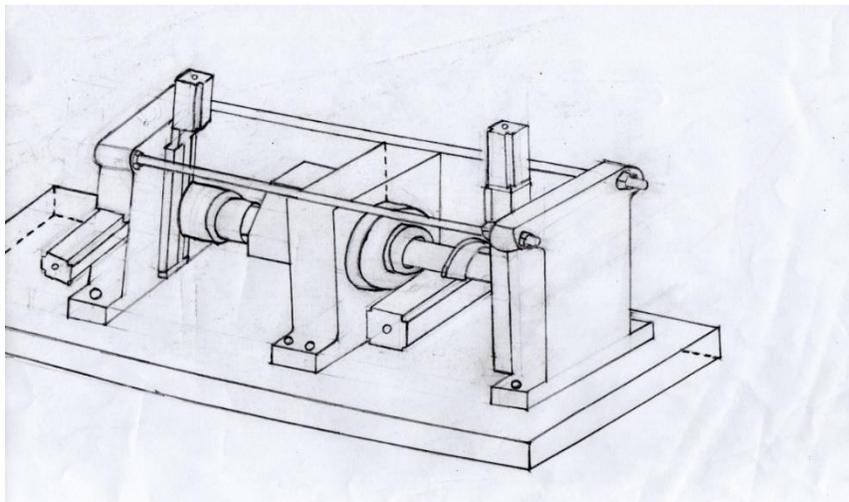


Figura 25: Concepto de diseño N°1.

Fuente: (propia, 2018)

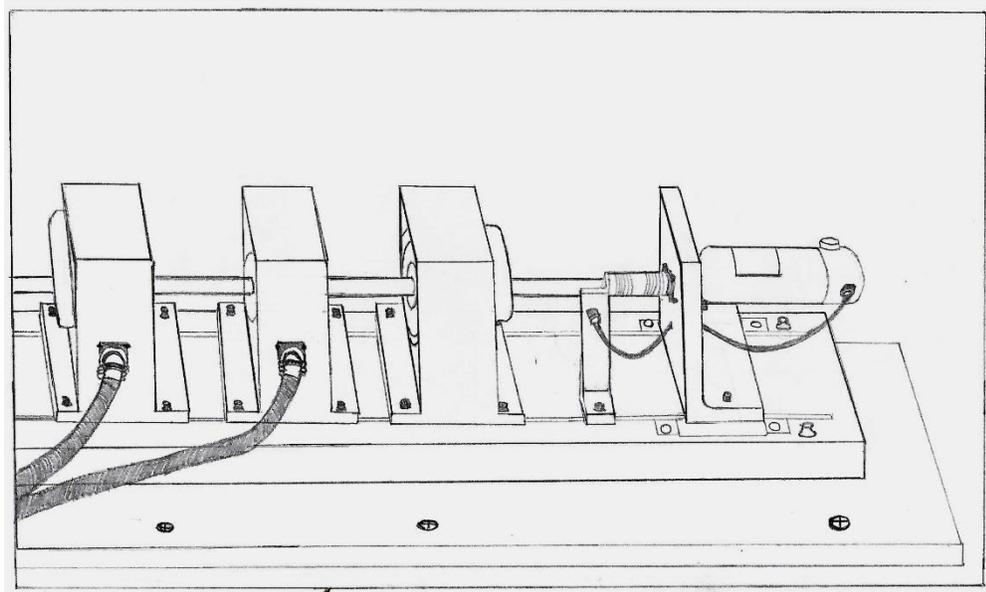
La ventaja para este concepto es su diseño modular. La primera configuración consiste en dos CMA radiales, un CMA axial y un motor de inducción. La segunda

utiliza CMA cónicos que proporcionan soporte tanto radial como axial. La tercera es un motor sin cojinetes, donde dos CMA radiales y el motor de inducción se combinan en dos estatores que proporcionan tanto el desplazamiento como la suspensión.

La desventaja es que tiende a tener problemas de alineación, los componentes electromagnéticos deben ser más grandes para generar la fuerza necesaria para sostener el rotor.

3.3.1.2. Conceptos de diseño N°2.

Este concepto se derivó del modelo creado por Romadyc. (Romadyc, 2014), Se caracteriza por su rotor de la plataforma de prueba ya que es totalmente ajustable con ejes de múltiples diámetros y discos que pueden colocarse en cualquier longitud.



Figura

26: Concepto de diseño N°2.

Fuente: (propia, 2018)

La ventaja para este concepto es el equipamiento con una unidad dSPACE para adquisición de datos, también sirve como un prototipo de control rápido para la

implementación de controladores experimentales además el equipo de prueba también está equipado con controladores PID estándar industriales.

La desventaja que tiene un elevado costo de materiales en el mercado.

3.3.1.3. Conceptos de diseño N°3.

Este concepto se derivó del modelo creado por Grochmal & Forbrich. (Grochmal & Forbrich, s.f.) , se caracteriza por tener un motor eléctrico con un cojinete magnéticamente integrado. Esta combinación incluye un único actuador que proporciona levitación y rotación magnéticas simultáneamente.

Las principales ventajas son una mayor densidad de potencia y la reducción de la longitud del eje, lo que también beneficia el rendimiento roto dinámico.

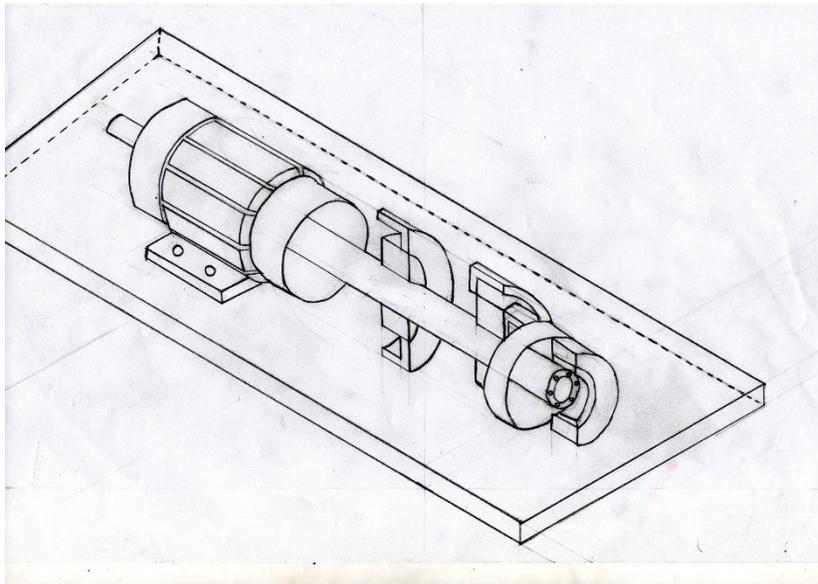


Figura 27: Concepto de diseño N°3.

Fuente: (propia, 2018)

La desventaja principal de este concepto es que solo opera en condiciones de vacío, así mismo un elevado costo de materiales en el mercado.

3.3.1.4. Conceptos de diseño N°4.

Se caracteriza por tener un diseño simple y de fácil operalización, este banco de ensayos permite el fácil manejo de los parámetros mecánicos y eléctricos. Además ayudará a los estudiantes a entender los fenómenos y principios físicos de vibración, electromagnéticos y roto-dinámicos de manera práctica.

Las ventajas son el bajo costo debido a los pocos componentes que lo conforman, es de fácil y rápido montaje y fabricación, control eficiente gracias a su diseño y el equipo tiene menor consumo de energía.

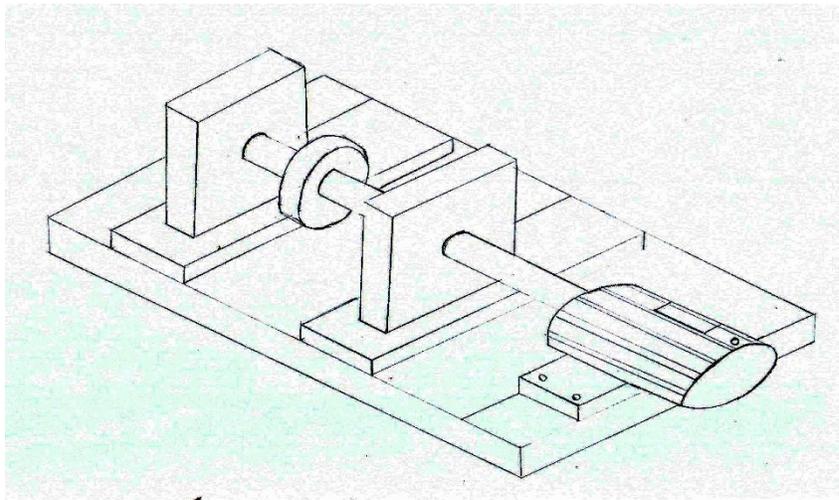


Figura 28: Concepto de diseño N°4.

Fuente: (propia, 2018)

Desventajas de robustez deficiente, limitaciones de estudio por la poca cantidad de componentes que tiene el equipo, no es un equipo modular y solo se hacen estudios en rodamientos magnéticos activos radiales.

Cuenta con una relación de polea, que permite que el motor gire a 3600 rpm para alcanzar la velocidad máxima del rotor.

3.3.2. Selección de Alternativa Óptima Mediante una Matriz Ponderada.

Se escogió la mejor alternativa usando una matriz de selección con atributos ponderados que está basado en la teoría de Eggert, bajo los siguientes criterios de evaluación: modularidad, Manufacturabilidad, montaje, control, diseño y costos (Ver tabla N°7). La matriz de selección ponderada muestra en la primera columna izquierda los criterios de evaluación, los cuales determinaran la alternativa de diseño más óptima. A los criterios se le fue asignando una ponderación según la importancia de cada uno, la puntuación que se asignó a cada alternativa de diseño fue dada de la siguiente manera: Muy malo (1), Malo (2), Regular (3), Bueno (4), Excelente (5) y la puntuación ponderada se obtuvo multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación. Ver tabla N°7 y N°8.

Tabla 7: Criterios de Evaluación

Grado de Satisfacción	Puntuación
Excelente	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Fuente: Propia

Para evaluar el diseño del banco de ensayos se tomaron los criterios de la tabla N° 8. Estos criterios estratégicos a evaluar se definen a continuación:

- Costo: Este criterio permite evaluar el costo que se generaría para poder fabricar esta máquina.
- Modularidad: Permite optimizar el tiempo de construcción de la máquina, debido a que sus partes son transportables, desarmables y reorganizables.
- Manufacturabilidad: Este criterio se encarga evitar errores, evitar contaminación cruzada del producto fabricado con otros productos y garantizar la trazabilidad hacia adelante y hacia atrás en los procesos.
- Montaje: Procedimiento mediante el cual se instala una pieza, para el anclaje definitivo, las que pueden ser o tratarse de piezas de la misma naturaleza, de piezas para unir varios equipos, de iguales o de diferentes materiales y de diferentes formas.
- Control: Este criterio toma en cuenta la medición y el análisis de las variables que intervienen en el funcionamiento de los mecanismos utilizados en esta máquina.
- Diseño: Es la creación de planos necesarios para que las máquinas, las estructuras, los sistemas o los procesos desarrollen las funciones deseadas.

Tabla 8: Matriz de Selección Ponderada de Conceptos Alternativos.

MAQUINAS POR FLEXION ROTATIVA		Concepto N°1		Concepto N° 2		Concepto N°3		Concepto N°4	
CRITERIO	Importancia (%)	Puntuación	Puntuación Ponderada	Puntuación	Puntuación Ponderada	Puntuación	Puntuación Ponderada	Puntuación	Puntuación Ponderada
Modularidad	15	5	0.75	3	0.45	3	0.45	5	0.75
Manufacturabilidad	15	3	0.45	4	0.6	3	0.45	4	0.6
Montaje	15	5	0.75	3	0.45	3	0.45	5	0.75
Control	20	3	0.6	4	0.8	4	0.8	5	0.8
Diseño	20	4	0.8	4	0.8	4	0.8	5	0.8
Costo	15	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75
TOTAL	100	4.1		3.85		3.7		4.45	

Fuente: Propia

3.4. Diseño de Configuración.

Se realizó una serie de bosquejos con la finalidad de encontrar la mejor opción para cumplir con el objetivo de soportar las cargas y esfuerzos a los cuales se encuentran sometidos todos los componentes del banco de ensayos. Para este fin se realizó el diseño de configuración general de la máquina con los diversos tipos de rodamientos, y la aplicación de carga.

Luego a través de una matriz de selección ponderada se escogió la alternativa que cumpla con los requisitos mencionados.

3.4.1. Alternativas de configuración.

3.4.1.1. *Configuración "A"*. En la figura N° 29 se muestra el diseño de la configuración "A" que cuenta con los siguientes componentes: dos rodamientos magnéticos activos radiales (AMBs), volante, eje. Esta configuración da mayor control radial sobre el eje, en cuanto a la carga axial esta es absorbida por el acople del motor.

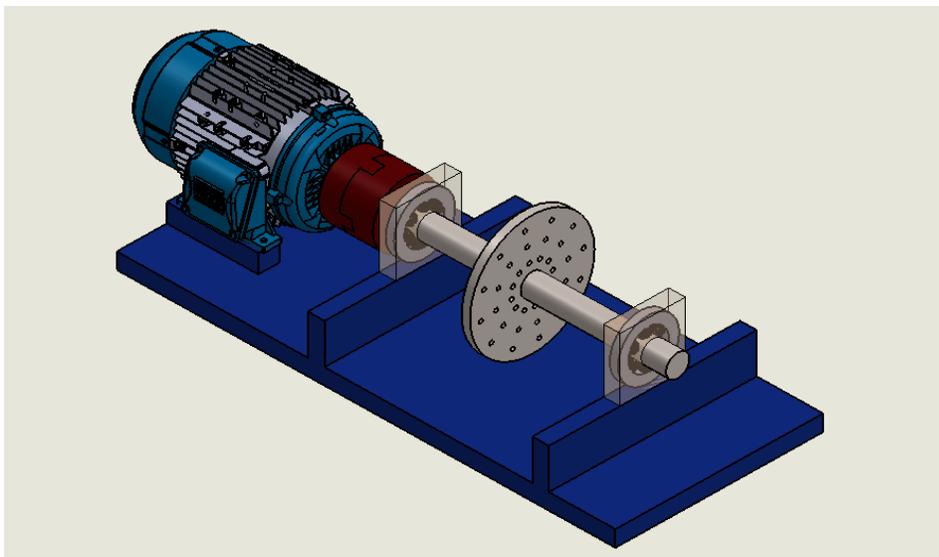


Figura 29: Configuración A.

Fuente: (propia, 2018)

3.4.1.2. *Configuración “B”*. A continuación, se observa en la Figura N° 30 el diseño de la configuración “B”. Cuenta con dos rodamientos magnéticos activos axiales ubicados en la parte extrema del eje, que están ensamblados entre las volantes, para evitar el desplazamiento axial del eje.

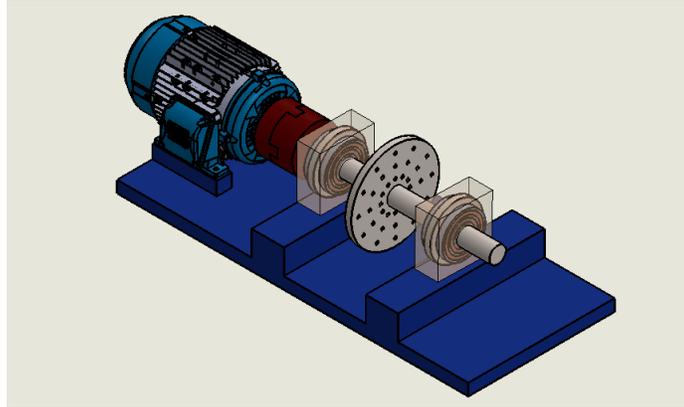


Figura 30: Configuración B.

Fuente: (propia, 2018)

3.4.1.3. *Configuración “C”*. Se muestra la Figura N° 31 de la tercera configuración del banco de ensayos, el cual cuenta con 2 componentes (1 rodamiento magnético activo radial en un extremo del rotor y 1 rodamiento magnético axial en el otro extremo). Con esta configuración se ofrece mayor control de las cargas sobre el eje.

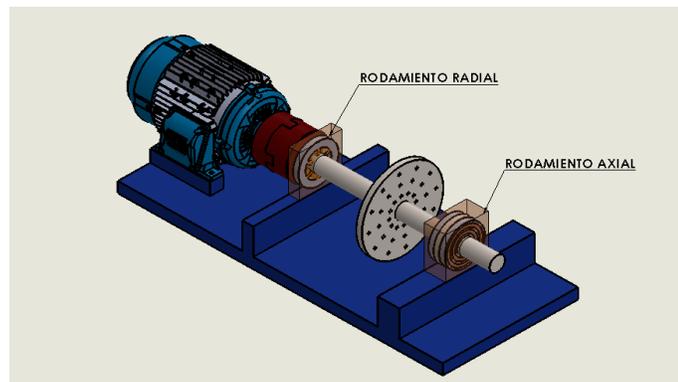


Figura 31: Configuración C.

Fuente: (propia, 2018)

Selección de bocetos.

Tabla 9: Matriz de Selección Ponderada de Configuración

CRITERIO	Peso de importancia (%)	Configuraciones					
		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Puntuación	Puntuación ponderada	Puntuación	Puntuación ponderada	Puntuación	Puntuación ponderada
FUNCIÓN	20	5	1	4	0.8	4	0.8
DISPONIBILIDAD	30	5	1.5	5	1.5	3	0.9
MANUFACTURA	20	4	0.8	3	0.6	3	0.6
ENSAMBLE	30	5	1.5	4	1.2	3	0.9
TOTAL	100	-	4.8	-	4.1	-	3.2

Fuente: Propia

3.5. Dimensionamiento y Materiales Generales del Banco de Ensayos.

3.5.1. Dimensionamiento

Después de elegir el diseño conceptual idóneo para la Máquina de Ensayos de Rotores con Rodamientos Magnéticos, se estableció las medidas generales del banco. Para este dimensionamiento se consideraron las tesis relacionadas al tema, normas de diseño, entrevistas realizadas y el uso del juicio ingenieril (ver Figura 32).

Se tuvieron también en cuenta las siguientes especificaciones:

El banco de ensayos a diseñar no requiere soportar una elevada temperatura de operación debido a que el área de trabajo se encuentra a temperatura ambiente (20 a 30 °C). La estructura debe trabajar en un lugar de superficie plana y en forma estable; en cuanto al aspecto estético debe ser atractivo y adecuado para su aplicación con una excelente ergonomía.

La altura límite de la estructura de la máquina deber ser 0.80 metros, para tener mayor facilidad de operación, montaje y desmontaje. Por otro lado, el ancho es de 0.50 metros y una longitud de 1.20 metros; ideal para posicionar todos los componentes del banco de ensayos.

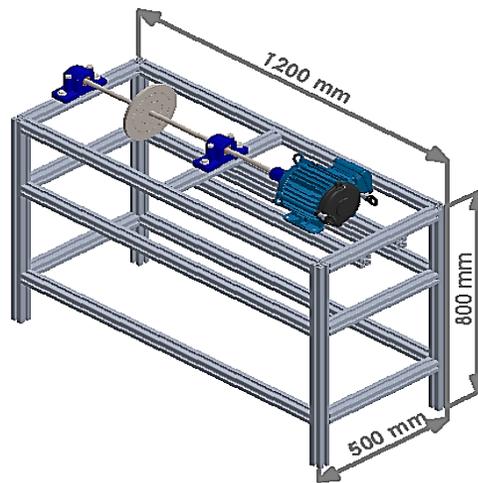


Figura 32: Dimensionamiento general del banco.

Fuente: (propia, 2018)

3.5.2. Selección de materiales.

Después de realizar el dimensionamiento general del Banco de Ensayos, se estableció la selección de materiales de cada componente. Para esto nos basamos de tesis relacionadas al tema, normas de diseño y entrevistas realizadas.

El eje y la volante se eligieron de acero inoxidable 304 por sus buenas propiedades mecánicas, físicas y químicas que lo componen. Además de asegurar una prolongada vida de funcionamiento sin que se corra u oxide.

El material elegido para el estator y el rotor del rodamiento magnético fue de láminas magnéticas (acero al silicio), por las bajas pérdidas de magnetización y consumo eficiente de energía. (Martínez Sarmiento & Ramírez Portero, 2011)

La carcasa seleccionada es hermética para excluir agua y suciedad que caiga verticalmente sobre el dispositivo. El material es acero al carbono A36. Se seleccionó por su buena resistencia mecánica a la tracción, incrementa fragilidad en frío, disminuye la tenacidad y ductilidad.

El material elegido para la bobina del estator es AWG 17 alambre de cobre de 1.15 mm de diámetro que soporta 3.6 amperios (Ver tabla N° 18, en el anexo N° 11).

Se optó por esta selección, de acuerdo a las recomendaciones de diseño de trabajos previos. (LUC BURDET, 2016). Según Burdet selecciona un conductor para el embobinado de 0.8 mm diámetro, para nuestro caso elegimos 1.15 mm de diámetro para mayor confiabilidad.

La estructura para soporte del banco se eligió de aluminio 40x40 perfiles de aluminio anodizado (Modelo: 6063 T5), debido a que los perfiles que existen en el mercado proporcionan tanto un buen anticorrosivo como atractivo estético.

3.6. Cargas de Diseño.

Las cargas de diseño a las que estará sometido el banco de ensayos están dadas por las fuerzas que se necesita para provocar la levitación magnética del rotor, es decir, la fuerza que se aplica al rotor del banco de ensayos.

3.6.1. Peso de eje.

En lo siguiente se muestra el peso total del eje, para ello nos basamos en la Ecuación N°2.

$$P_{eje} = \left(\pi \cdot \frac{D_{eje}^2}{4} \cdot L_{eje} \right) \cdot \rho_{eje}$$
$$P_{eje} = \left(\pi \cdot \frac{0.015^2 \text{ m}^2}{4} \cdot 0.8 \text{ m} \right) \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$P_{eje} = 1.1098 \text{ kg}$$

3.6.1.1. Peso de mango de laminación (rotor).

$$P_{rotor} = \frac{\pi(D_{ex}^2 - D_{in}^2)}{4} \cdot L \cdot \rho_{rotor} \quad \text{Ec. 24}$$
$$P_{rotor} = \left(\pi \cdot \frac{0.0184^2 \text{ m}^2 - 0.015^2 \text{ m}^2}{4} \cdot 0.05 \right) \cdot 7650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$P_{volante} = 0.0213 \text{ kg}$$

3.6.1.2. Peso de volante.

$$P_{volante} = \left(\pi \cdot \frac{D_{ex}^2 - D_{in}^2}{4} \cdot L_{volante} \right) \cdot \rho_{eje} \quad \text{Ec. 25}$$
$$P_{volante} = \left(\pi \cdot \frac{0.2^2 \text{ m}^2 - 0.015^2 \text{ m}^2}{4} \cdot 0.010 \right) \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$P_{volante} = 2.453 \text{ kg}$$

$$P_p = P_{eje} + P_{vol} + 2 * P_{rotor} \quad \text{Ec. 26}$$

$$P_p = 1.1098 + 2.4523 + 2.(0.0213) = 3.6054 \text{ Kg}$$

$$F_p = 35.37 \text{ N}$$

3.6.2. Cargas en el eje principal.

En el siguiente diagrama se muestra todas las cargas que soportará el eje (Figura N°33). Donde F_1 representa la reacción de las cargas en el eje cuyo valor es de 35.37 N, (R_A y R_B) representan las fuerzas que se dan en los puntos de apoyo cuyo valor son de 17.685 N; el cálculo de las reacciones se realizó teniendo en cuenta el diagrama de cuerpo libre. El desarrollo se muestra en el anexo N°1.

$$P_T = P_{eje} + P_{vol} + 2.P_{rotor}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - F_1 = 0 \quad \text{Ec. 37}$$

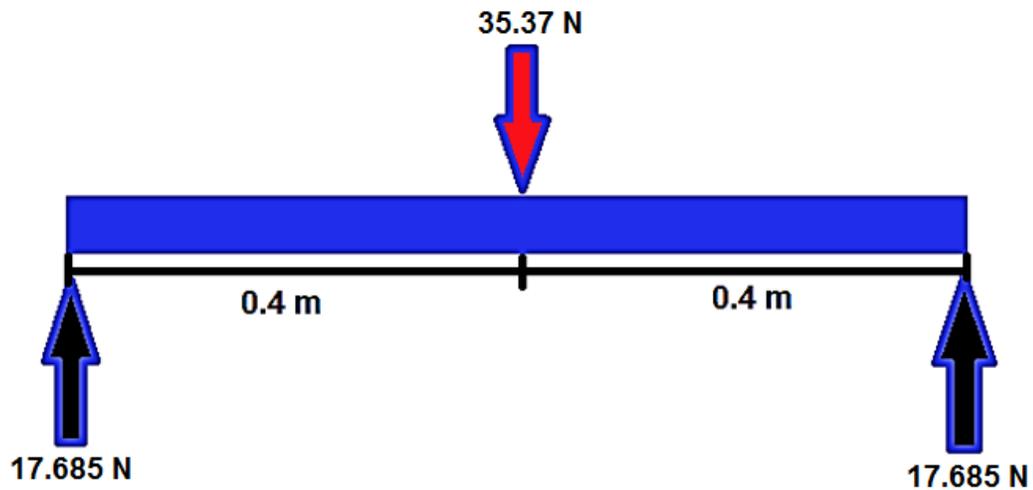


Figura 33: Diagrama de cuerpo libre del eje.

Fuente: Propia.

3.6.3. Cargas por rodamiento.

En el diagrama siguiente se muestra todas las cargas que generará el rodamiento magnético hacia el eje. Donde F_1, F_2, F_3, F_4 representan las reacciones de cada polo magnético. Donde F_3 cuyo valor es de 53.055 N carga necesaria para hacer levitar el eje, F_4 es de 0 N, F_g representa la reacción debido al peso total del rotor cuyo valor es de 53.055 N, el cálculo de las reacciones se realizó teniendo en cuenta el diagrama de cuerpo libre de la figura N° 34.

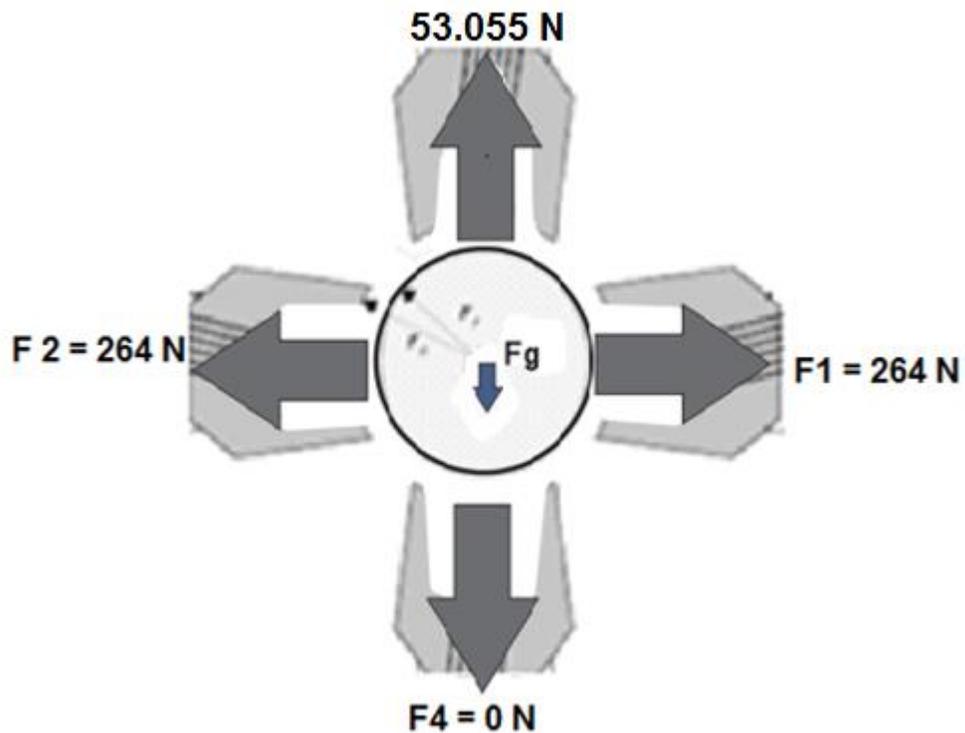


Figura 34: Diagrama de cuerpo libre del rodamiento radial

Fuente: Propia.

$$\begin{aligned}\sum F_X &= 0 \\ F_1 - F_2 &= 0 \\ F_1 &= F_2 \quad \text{Ec. 38}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_Y &= 0 \\ F_3 - F_g - F_4 &= 0\end{aligned}$$

$$F_g = F_3 - F_4 \quad \text{Ec. 39}$$

3.6.3.1. Fuerzas en eje X y Y.

3.6.3.1.1. Fuerzas en el eje x.

Las fuerzas que son necesarias para generar las fuerzas en los polos 1 y 2 se muestran en figura N°35, esta se calculó siguiendo el criterio de momentos de inercia generado por el motor del banco de pruebas, el cálculo se encuentra detallado en el anexo N°2

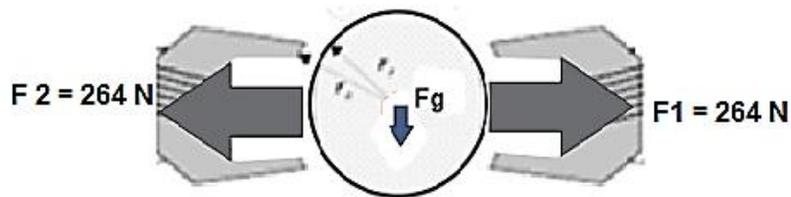


Figura 35 . Diagrama de cuerpo libre del rodamiento radial en el eje x.
Fuente: Propia.

Par de inercia.

Con el objeto de calcular el factor de seguridad del eje y la selección del motor adecuado para el banco de ensayos. Para ello encontramos la inercia de cada componente que forma parte del rotor cuyo valor es de $I_p = 0.0126 \text{ Kg. m}^2$. Para hallar la aceleración angular (α_r) nos basamos en la fórmula de la velocidad dándonos un valor de 53.86. El par de inercia ejercido es de 0.69 N*m. Ver anexo N°3.

3.6.3.1.2. Fuerzas en el eje y.

En la figura N°36 se muestra las cargas en el eje Y.

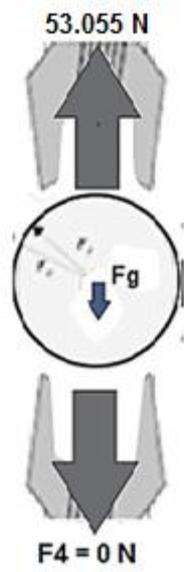


Figura 36. Diagrama de cuerpo libre del rodamiento radial en el eje Y.

Fuente: Propia.

3.7. Diseño Paramétrico.

3.7.1. Diseño paramétrico del rodamiento magnético activo radial.

Después de determinar las cargas de Diseño y estudiar la influencia de las Variables de Diseño en concordancia con las Variables de Solución de la Figura N° 24 (Caja Negra de Diseño), se realiza el análisis paramétrico del rodamiento magnético activo radial. Se tiene como parámetros de definición de Problema el número de polos del mismo (4 polos) y las revoluciones (3600 rpm). Se toman como variables de diseño las especificaciones geométricas y material del rodamiento, el rotor, eje y volante.

3.7.2. Diseño paramétrico a través de GUI MATLAB.

En la tabla N°10 se muestran los valores asignados a cada variable de diseño paramétrico. Mediante las ecuaciones (N° 1, 5, 12 y 39). Se obtiene las ecuaciones N° 40, 41 y 42; que facilitaron la parametrización. A continuación, se elaboró una Interface Gráfica de Usuario (GUI) en MATLAB para agilizar el diseño paramétrico.

$$F_g = \frac{\mu_0 * N_3^2 * I_3^2 l_3 \left(2\pi \left(\frac{R_r + 2\gamma g \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)}{1 - 2(\gamma) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \right) * \frac{\theta_p}{360} \right)}{4g_{03}^2} - \frac{\mu_0 * N_4^2 * I_4^2 l_4 \left(2\pi \left(\frac{R_r + 2\gamma g \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)}{1 - 2(\gamma) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \right) * \frac{\theta_p}{360} \right)}{4g_{04}^2} \quad \text{Ec. 40}$$

Asumiendo que el número de vueltas para todos los polos es igual $N = N1 = N2 = N3 = N4$; la geometría de los polos es igual $l = l_1 = l_2 = l_3 = l_4$; la holgura es igual para todos los casos $g = g_{01} = g_{02} = g_{03} = g_{04}$. Obtenemos:

$$F_g = \frac{\mu_0 * N^2 * I_3^2 l_3 \left(2\pi \left(\frac{R_r + 2\gamma g \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)}{1 - 2(\gamma) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \right) * \frac{\theta_p}{360} \right)}{4g^2} - \frac{\mu_0 * N^2 * I_4^2 l_4 \left(2\pi \left(\frac{R_r + 2\gamma g \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)}{1 - 2(\gamma) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \right) * \frac{\theta_p}{360} \right)}{4g^2} \quad \text{Ec. 41}$$

Factorizando y Despejando el número de vueltas (Fg)

$$F_g = \frac{N^2 * \mu_0 * l \left[\left(2\pi \left(\frac{R_r + 2\gamma g \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)}{1 - 2(\gamma) \sin\left(\frac{\theta_p}{2}\right)} \right) * \frac{\theta_p}{360} \right) (I_4^2 - I_3^2) \right]}{4g^2} \quad \text{Ec. 42}$$

Tabla 10: Variables y Valores para el Diseño Paramétrico en Matlab.

		VARIABLES	UNIDADES	VALORES
Parámetros de Definición del Problema		Número de polos del rodamiento magnético.		4
		Velocidad de rotación	rpm	3600
Variables de Diseño	Parámetros Geométricos	Longitud del eje	m	0.8
		Diámetro del eje	m	0.015
		Longitud de la volante	m	0.01

		Diámetro exterior de la volante	m	0.2
		Diámetro interior de la volante y rotor	m	0.015
		Longitud del rotor	m	0.05
		Longitud del magneto	m	0.05
		Angulo del polo estator	°	25
		Relación de hierro	adim	0.5
		Límite de corriente del sistema	A	2
		Densidad de corriente	A/m^2	3.6
		Radio del polo	m	0.0086
	Variables de Entrada	Permeabilidad del aire	$T \cdot m/A$	$4\pi * 10^{-7}$
		Gravedad	m/s^2	9.81
		Densidad del eje y volante	Kg/m^3	7850
		Densidad del rotor	Kg/m^3	7650
	Variables de Diseño	Factor de división	Adim	A determinar
		Diámetro óptimo del rotor	m	A determinar
		Peso del eje	Kg	A determinar
		Peso del rotor	Kg	A determinar
		Peso de la volante	Kg	A determinar
		Peso total del eje	N	A determinar
		Área del polo estator	m^2	A determinar

		Ancho del polo estator	m	A determinar
		Área transversal del alambre	m^2	A determinar
		Área transversal bobina	m^2	A determinar
		Ángulo de la bobina	°	A determinar
		Radio interior del estator	m	A determinar
		Radio exterior del estator	m	A determinar
Variables de Solución		Fuerza en el polo 1	N	A determinar
		Fuerza en el polo 2	N	A determinar
		Fuerza en el polo 3	N	A determinar
		Fuerza en el polo 4	N	A determinar
		Número de vueltas	Adim	A determinar
		Intensidad en polo 1	A	A determinar
		Intensidad en polo 2	A	A determinar
		Intensidad en polo 3	A	A determinar
		Intensidad en polo 4	A	A determinar

Fuente: propia

La pantalla de presentación de esta GUI se puede observar en la Figura N° 37. En esta figura muestra la portada de la Interface Gráfica de Usuario, denominada “Diseño de un Banco de Ensayos de rotores con Rodamientos Magnéticos para Investigación en Pregrado”. Cuenta con un atajo que nos lleva al diseño paramétrico.



Figura 37. Inicio de GUI (Carátula).

Fuente: Propia.

Los resultados del cálculo de las variables de diseño y variables de solución se muestran en la tabla N° 10. También se puede observar los resultados de la GUI correspondiente (ver Figura 38 y 39). La figura 38 Muestra dos atajos, el atajo calcular para determinar las variables de diseño y el atajo parámetros de solución nos lleva a las variables de solución. En la figura N°39 existe un atajo calcular para establecer las variables de solución.

La programación de la GUI, se muestra en el anexo N°14

En el anexo N°12 se muestra gráficas de fuerzas generadas por el flujo eléctrico para distintos número de vueltas (100; 300; 450; 600)

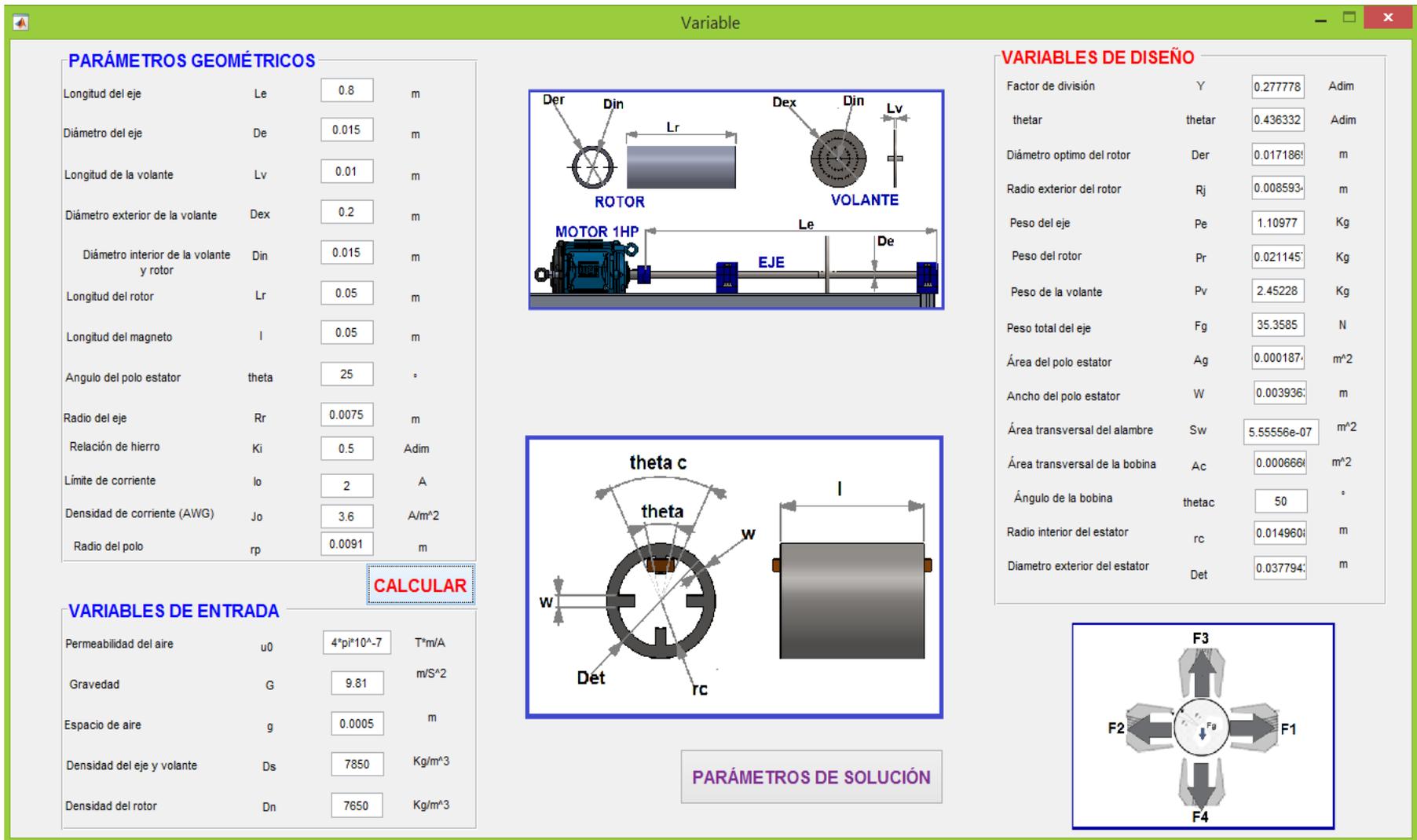


Figura 38. Resultados de variables de diseño mediante GUI - MATLAB.

Fuente: Propia.

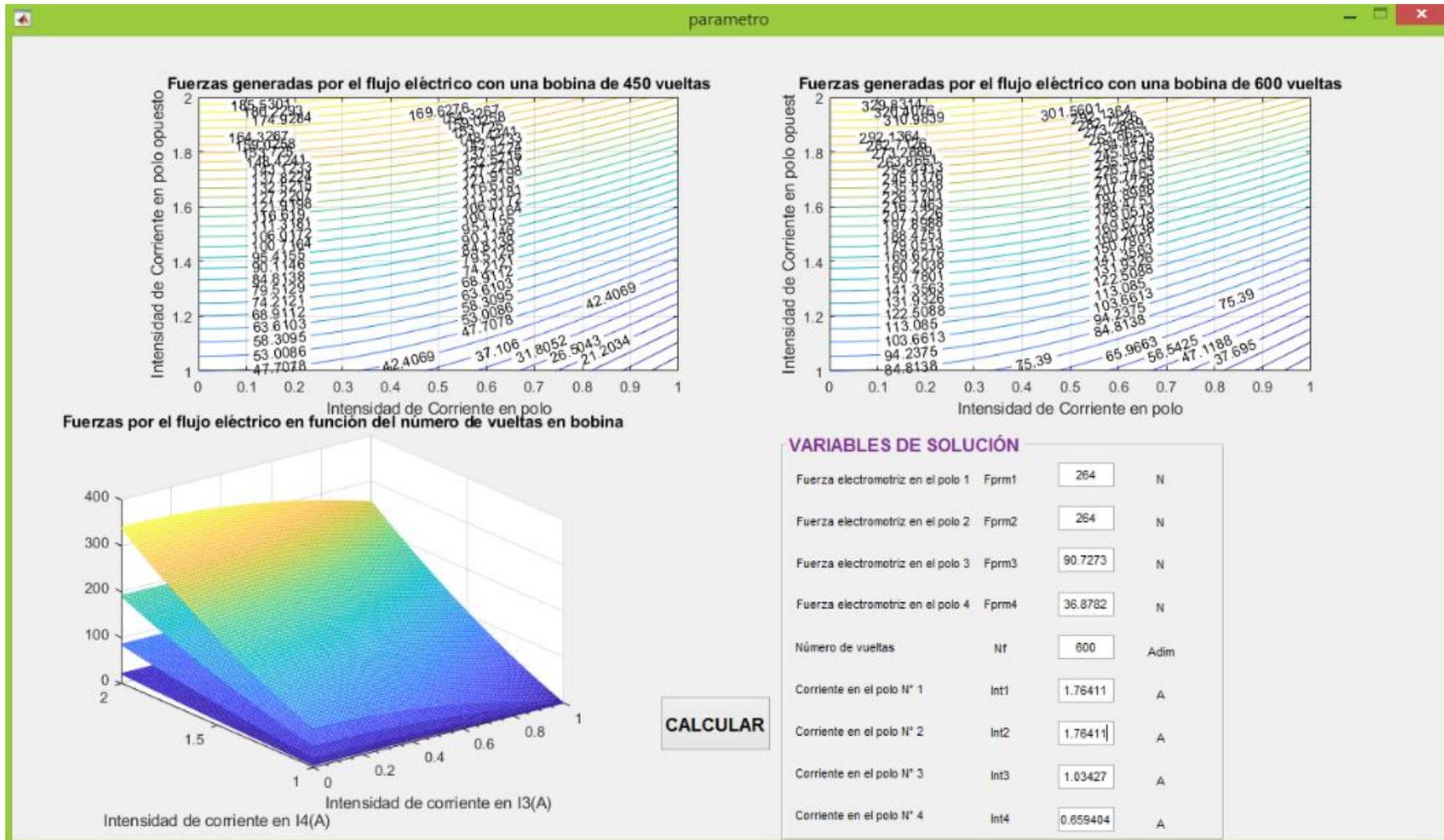


Figura N° 39. Resultados de variables de solución GUI - MATLAB.

Fuente: Propia

Tabla 11: Resultados de Cálculos de Variables de Diseño.

		VARIABLES	UNIDADES	VALORES
Parámetros de Definición del Problema		Número de polos del rodamiento magnético.		4
		Velocidad de rotación	rpm	3600
Variables de Diseño	Parámetros Geométricos	Longitud del eje	m	0.8
		Longitud de la volante	m	0.01
		Diámetro exterior de la volante	m	0.2
		Diámetro interior de la volante, rotor y eje	m	0.015
		Longitud del rotor	m	0.05
		Longitud del magneto	m	0.05
		Angulo del polo estator	°	25
		Relación de hierro	adim	0.5
		Límite de corriente del sistema	A	2
		Densidad de corriente	A/m^2	3.6
	Radio del polo	m	0.0086	
	Variables de Entrada	Permeabilidad del aire	T*m/A	$4\pi * 10^{-7}$
		Gravedad	m/s^2	9.81
		Densidad del eje y volante	Kg/m^3	7850
		Densidad del rotor	Kg/m^3	7650
	Variables de Diseño	Factor de división	Adim	0.278
		Diámetro óptimo del rotor	m	0.0172

		Peso del eje	Kg	1.1098
		Peso del rotor	Kg	0.021
		Peso de la volante	Kg	2.452
		Peso total del eje	N	35.36
		Área del polo estator	m^2	0.000187
		Ancho del polo estator	m	0.0039
		Área transversal del alambre	m^2	$5.56 * 10^{-7}$
		Área transversal bobina	m^2	0.00067
		Ángulo de la bobina	°	50
		Radio interior del estator	m	0.015
		Diámetro exterior del estator	m	0.038
Variables de Solución		Fuerza en el polo 1	N	264
		Fuerza en el polo 2	N	264
		Fuerza en el polo 3	N	90.7273
		Fuerza en el polo 4	N	36.8782
		Número de vueltas	Adim	600
		Intensidad en polo 1	A	1.76411
		Intensidad en polo 2	A	1.76411
		Intensidad en polo 3	A	1.03427
		Intensidad en polo 4	A	0.659404

Fuente: propia

3.8. Selección de Componentes.

3.8.1. Potencia del motor.

Para determinar la potencia ideal del motor de nuestro banco de ensayos nos basamos en la fórmula de la ecuación N°19.

$$P = \frac{M * n * \pi}{30000} = \frac{0.68 * 3600 * \pi}{30000}$$

$$P = 0.26 \text{ kW}$$

Para convertir la potencia en HP tenemos:

$$1\text{HP} = 0.746 \text{ kW}$$

Entonces la potencia de nuestro motor que generará el movimiento es 0.349 HP. Aproximando a catálogos de motores Glong Alco elegimos un motor de 1HP, con velocidad máxima de 3600 rpm.



Figura 40: Motor Glong Alco 1HP-Trifacico

Fuente: (Mercado Libre, s.f.)

3.8.2. Selección de eje.

3.8.2.1. *Cálculo de carga estática.* Para calcular el esfuerzo por flexión nos basamos de la ecuación N° 20, como se muestra en lo siguiente. Donde M es el momento máximo, el cálculo se muestra en el anexo N°1.

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3}$$
$$\frac{32(7.074)}{\pi \cdot (0.015^3)} = 21.35 \text{ Mpa}$$

De igual manera para el esfuerzo por torsión nos basamos de la ecuación N° 21, reemplazamos valores. Donde T es el torque o par de inercia, el desarrollo de este se muestra en el anexo N°3.

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3}$$
$$\tau = \frac{16 (0.68)}{\pi (0.015)^3} = 1.03 \text{ Mpa}$$

Remplazando estos valores en la teoría de la energía de distorsión (Von Mises) de la ecuación N° 22 se obtiene:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma' = \sqrt{21.501^2 + 3(1.03)^2}$$
$$\sigma' = 21.42 \text{ Mpa}$$

Finalmente encontramos el factor de seguridad utilizando la ecuación N° 23 y usando acero AISI 304 con un esfuerzo de fluencia de 215 MPa ver en anexo N° 4.

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{215}{21.42} = 10.04$$

El resultado del factor de seguridad por carga estática es (FS = 10.04), para el eje brinda gran confiabilidad al diseño.

3.8.2.2. *Cálculo para el esfuerzo de fatiga.* Se necesita obtener un factor de seguridad alto que respalde la confiabilidad del material del eje basándonos en propiedades físicas de este mismo. Para ello utilizamos la fórmula de la ecuación N° 24, límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica (Ecuación de MARIN)

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

Para calcular el factor de modificación de la condición superficial k_a , nos basamos de la ecuación N° 26.

El acero AISI 304 tiene un esfuerzo último de $S_{ut} = 505 \text{ MPA}$ (ver anexo 4)

Los valores de a y b se encuentran en la figura N° 56 del apartado del anexo N°5, para un acabado superficial maquinado o laminado en frío.

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

$$k_a = 4.51(505)^{-0.265} = 0.865$$

Factor de modificación del tamaño.

Para ello se determina mediante la ecuación N° 27. De acuerdo a los límites de diámetro $2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$.

$$k_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24(15)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.93$$

Factor de modificación de la carga.

Se realizó mediante la ecuación N° 28, asumiendo este factor por flexión.

$$k_c = 1 \text{ el valor asume por flexión}$$

Factor de modificación de temperatura.

Nos basamos de la ecuación N°29, Para el factor de temperatura tenemos que cuando la temperatura de funcionamiento supere los 100 °C o 200 °F.

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4$$

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3}) * 200 - 0.115(10^{-5}) . 200^2 + 0.104(10^{-8}). 200^3 - 0.595(10^{-12}). 200^4$$

$$k_d = 1.023$$

Factor de confiabilidad.

Se determina con la ecuación N° 30. La variación de transformación Z_a se obtiene de la figura N° 57, del anexo N° 6 a un 50 % de confiabilidad.

$$k_e = 1 - 0.08Z_a$$

$$k_e = 1 - 0.08(0)$$

$$k_e = 1$$

Factor de modificación de efectos varios.

Se toma este valor debido a que es un eje uniforme y no existe corrosión.

$$k_f = 1$$

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Nos basamos de la ecuación N°25, El acero AISI 304 tiene un esfuerzo último de $S_{ut} = 505 \text{ MPA}$ (ver anexo 4).

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 (505) = 252.5 \text{ Mpa}$$

Reemplazando los valores de los factores ya calculados en la ecuación de Marin obtenemos S_e

$$S_e = 0.865(0.93)(1)(1.023)(1)(1)(252.5)$$

$$S_e = 206.59 \text{ Mpa}$$

Así mismo calculamos el factor de seguridad, utilizando el criterio de ED-Goodman la ecuación N°33.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} t_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.015)^3} \left[4 \left(\frac{(1)(7.074)}{206.59(10^6)} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1)0}{226.9(10^6)} \right)^2 + 4 \left(\frac{(1)0}{215(10^6)} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1)1.98}{215(10^6)} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$n = 9.59$$

Como se puede ver el factor de seguridad es mayor que la unidad, entonces las dimensiones tomadas del eje son las adecuadas para una posterior construcción.

3.8.2.3. *Frecuencia natural.* La técnica de análisis de elementos finitos (FEA) es una técnica muy importante para identificar el comportamiento de los modos de vibración de un eje. Para nuestro caso se realizó 5 modos de vibrar a diferentes frecuencias (Ver tabla N°12), mediante el software de solidwork (figura N° 41, 42, 43, 44 y 45).

Tabla 12: Respuesta de Frecuencia Natural de 5 Modos Usando FEA.

N° de modo	Frecuencia (Rad/seg)	Frecuencia (Hertz)	Período (Seg)
1	413.07	65.742	0.015211
2	852.65	135.7	0.007369
3	1040.2	165.55	0.0060406
4	1638.1	260.72	0.0038356
5	3070.9	488.75	0.002046

Fuente: propia

A. *Primer modo.* En la presente figura se muestra el primer modo de vibrar del eje de nuestro banco de ensayos, el cual está sometido a una frecuencia de 65.742 Hz.

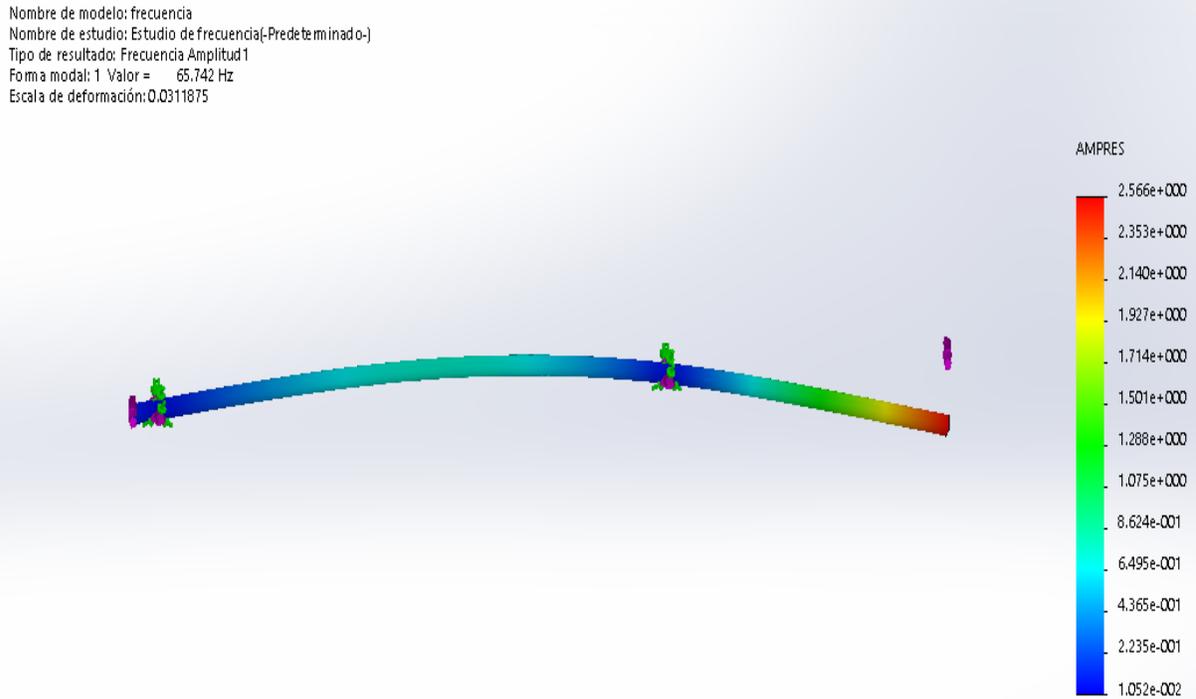


Figura 41: Respuesta de frecuencia natural del primer modo usando FEA.

Fuente: propia

B. *Segundo modo*. En la presente figura se muestra el segundo modo de vibrar del eje de nuestro banco de ensayos, el cual está sometido a una frecuencia de 135.7 Hz.

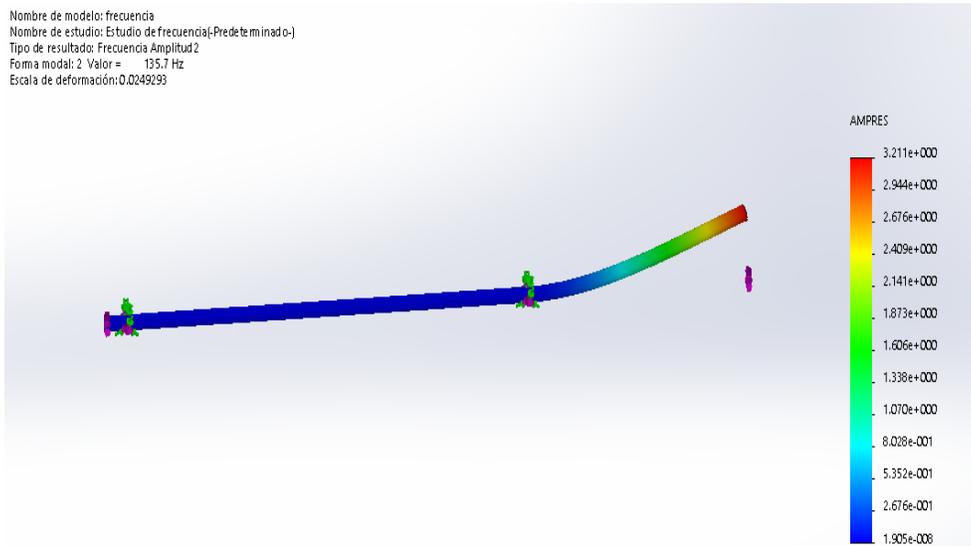


Figura 42: Respuesta de frecuencia natural del segundo modo usando FEA.

Fuente: propia

C. *Tercer modo*. En la presente figura se muestra el tercer modo de vibrar del eje de nuestro banco de ensayos, el cual está sometido a una frecuencia de 165.55 Hz.

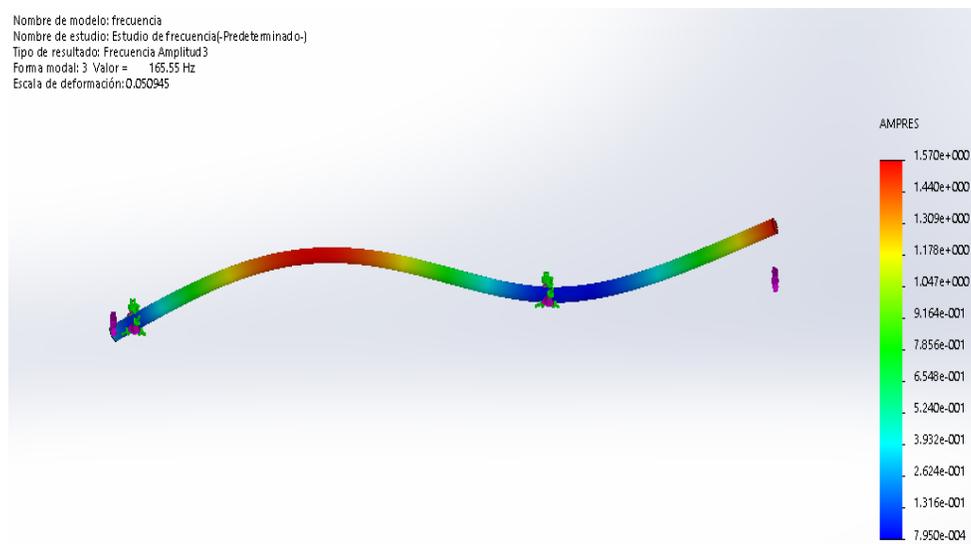


Figura 43: Respuesta de frecuencia natural del tercer modo usando FEA.

Fuente: propia

D. *Cuarto modo*. En la presente figura se muestra el cuarto modo de vibrar del eje de nuestro banco de ensayos, el cual está sometido a una frecuencia de 260.72 Hz.

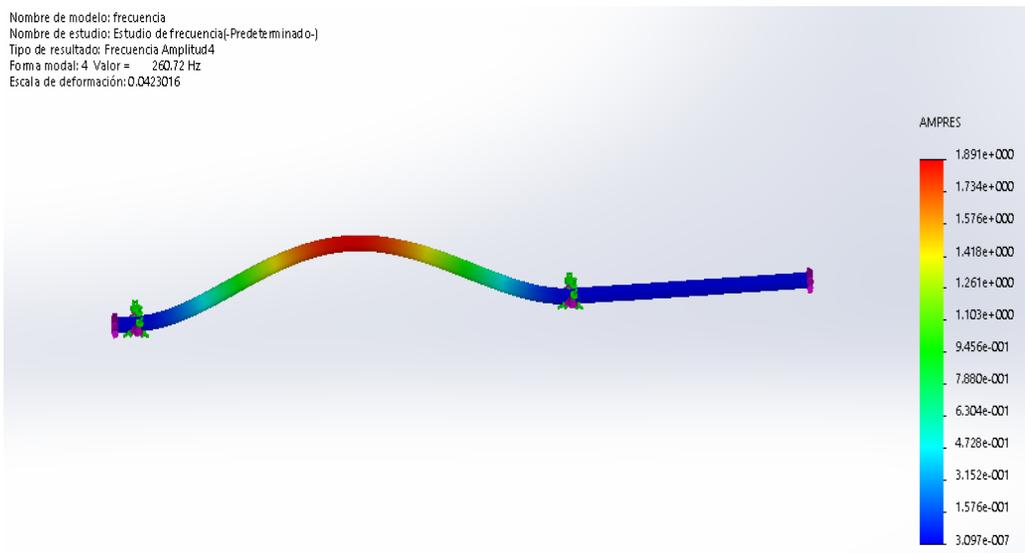


Figura 44: Respuesta de frecuencia natural del cuarto modo usando FEA

Fuente: propia

E. *Quinto modo*. En la presente figura se muestra el quinto modo de vibrar del eje de nuestro banco de ensayos, el cual está sometido a una frecuencia de 488.75 Hz.

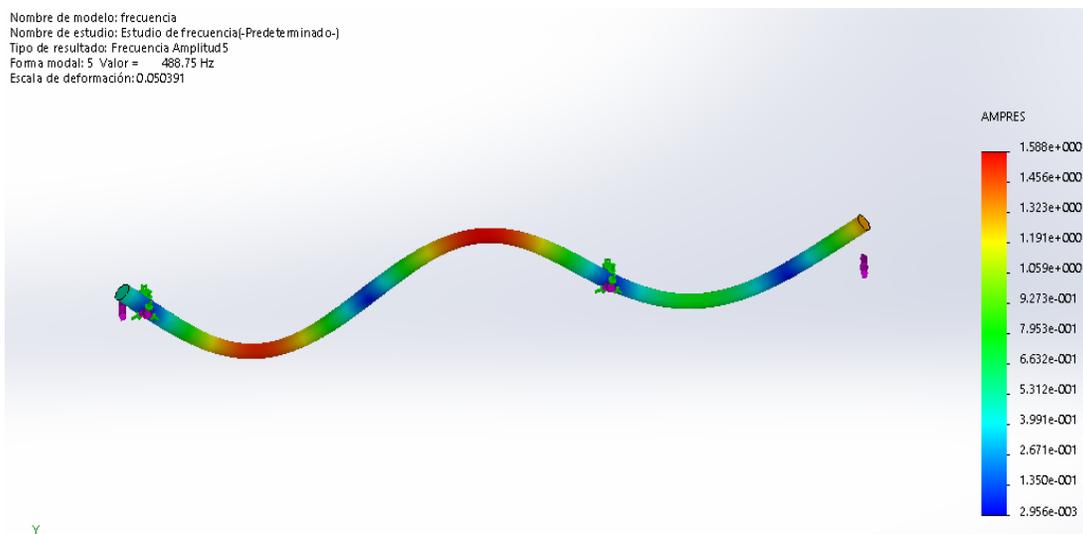


Figura 45: Respuesta de frecuencia natural del quinto modo usando FEA.

Fuente: propia

3.8.3. Acople.

EL acople seleccionado es de la marca SKF, se eligió un acoplamiento de mandíbula debido a que brindan una solución económica para aplicaciones de potencia estándar, absorbiendo cargas de choque moderadas y vibraciones leves. Para su selección se tuvo en cuenta lo siguiente:

3.8.3.1. Factor de servicio. Para la selección del acople se determinó el factor de servicio requerido. Para nuestro caso el factor de servicio es de 0.8. Ver anexo N°7.

3.8.3.2. Potencia de diseño. Posteriormente se calculó la potencia de diseño multiplicando la potencia nominal de operación por el factor de servicio ($P_D = 0.746 \text{ kW} * .8 = 0.59 \text{ kW}$).

3.8.3.3. Tamaño del acoplamiento. Para ello utilizamos la tabla del anexo N°7 para un elemento de nitrilo que cumple a nuestras condiciones, luego ver la tabla de potencias de salida en el anexo N°7, buscando a una velocidad de 500 rpm el primer valor de potencia que se acerca a 0.59 kW requerido en la potencia de diseño es 0.62 kW. Por ello, se puede utilizar un elemento de nitrilo con un acoplamiento de mandíbula de tamaño 075.

3.8.3.4. Designación y Dimensiones. De acuerdo a lo anterior la designación de un elemento de nitrilo con un acoplamiento de mandíbula de tamaño 075, se muestra en el anexo N°7. De igual manera sus dimensiones se muestran en la tabla del mis anexo.

3.8.4. Sensor y controlador.

3.8.4.1. *Sensor GP-X3SE.* La selección del sensor para medir el desplazamiento del eje se realizó por medio de recomendaciones de tesis revisadas, donde el adecuado para controlar es el sensor GP-X3SE (Sensor de desplazamiento de tipo de corriente de Foucault de alta precisión) Ver figura N° 46. Se utiliza para medir el movimiento radial o axial. Se monta a través de, o al lado de, una tapa de cojinete y observa el movimiento del eje en relación con su posición de montaje.

La serie GP-X está hecha para todo tipo de objetos de detección de hierro estándar. El gráfico a continuación describe las discrepancias de salida que se producen al detectar diferentes tipos de metales. En la tabla N° 13 se muestra sus especificaciones técnicas.

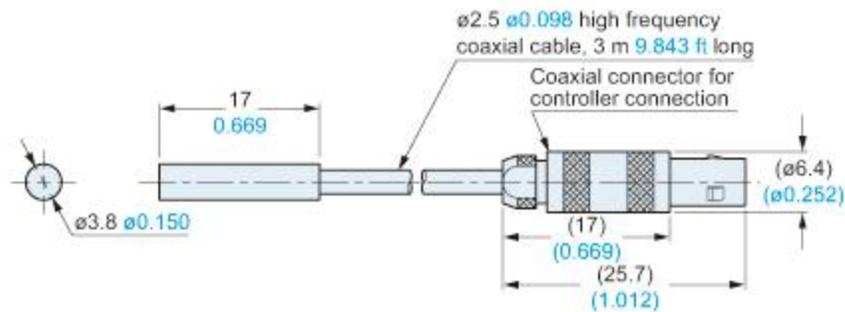


Figura 46: Dimensiones del sensor GP-X3SE

Fuente: (AUTOMATION CONTROLS, 2018)

Tabla 14: Especificaciones del Sensor GP-X3SE

Artículo	Especificaciones
Tipo	GP-X3SE
Rango de detección	De 0 a 0,8 mm 0 a 0,031 pulg

Temperatura ambiente	-10 a +55 °C +14 a +131 °F, Almacenamiento: -20 a +70 °C -4 a +158
Objeto de detección	Acero inoxidable (SUS304) / Chapa de hierro [Acero al carbono laminado en frío (SPCC)] 60 x 60 x t 1 mm 2.362 x 2.362 x t 0.039 in
Resistencia a la tensión	250 V CA durante un minuto. entre todos los terminales de alimentación conectados entre sí y el recinto
Resistencia de aislamiento	de 20 MΩ, o más, con megger de 250 V CC entre todos los terminales de alimentación conectados entre sí y la carcasa
Resistencia a la vibración	de 10 a 150 Hz de frecuencia, 0.75 mm 0.030 en amplitud en las direcciones X, Y y Z durante dos horas cada una
Cable	Cable coaxial de alta frecuencia con conector, 3 m 9.843 pies de largo
Peso neto	40 g aprox.
Entrada externa	Corriente de entrada: 9 mA o menos Voltaje de funcionamiento: voltaje ON 17 V o más (entre +24 V y entrada) Tensión de desconexión 4 V o menos (entre +24 V y entrada) Impedancia de entrada: 5 kΩ aprox.
Temperatura ambiente	De 0 a +50 °C +32 a +122 (No se permite condensación de rocío)
Almacenamiento	De 0 a +50 °C +32 a +122 °F

Resistencia a la vibración	de 10 a 55 Hz de frecuencia, 0,75 mm 0,030 en doble

3.8.4.2. Controlador GP-XC.

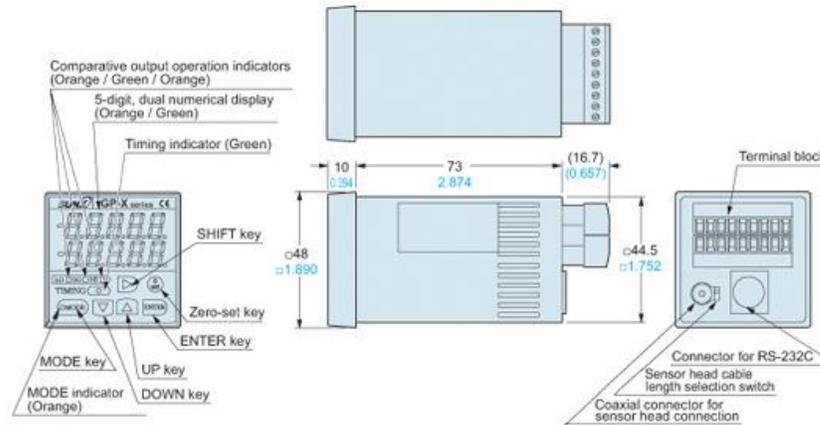


Figura 47: Dimensiones del controlador GP-XC

Fuente: (AUTOMATION CONTROLS, 2018)

Tabla 15: Especificaciones del Controlador GP-XC.

Artículo	Especificaciones
Tipo	GP-XC
Tensión de alimentación	24 V DC \pm 10% Rizado P-P 10% o menos
Objeto de detección estándar	Acero inoxidable (SUS304) / Chapa de hierro [Acero al carbono laminado en frío (SPCC)] 60 x 60 x t 1 mm 2.362 x 2.362 x t 0.039 in
Consumo de corriente	150 mA o menos.
Frecuencia de muestreo	40 kHz (25 μ s)

Características de temperatura	0.07% F.S./°C o menos
Resultados comparativos (HI, GO, LO)	<p>Transistor colector abierto NPN</p> <p>Corriente máxima del sumidero: 100 mA</p> <p>Voltage Voltaje aplicado: 30 V DC o menos (entre salida comparativa y 0 V)</p> <p>Voltage Voltaje residual: 1,6 V o menos (a una corriente de sumidero de 100 mA)</p> <p>0.4 V o menos (a 16 mA corriente de sumidero)</p>
Entrada externa	<p>Entrada foto acoplador</p> <p>Corriente de entrada: 9 mA o menos</p> <p>Voltaje de funcionamiento: voltaje ON 17 V o más (entre +24 V y entrada)</p> <p>Tensión de desconexión 4 V o menos (entre +24 V y entrada)</p> <p>Impedancia de entrada: 5 kΩ aprox.</p>
Temperatura ambiente	De 0 a +50 °C +32 a +122 (No se permite condensación de rocío)
Almacenamiento	De 0 a +50 °C +32 a +122 °F
Resistencia a la vibración	de 10 a 55 Hz de frecuencia, 0,75 mm 0,030 en doble

3.8.5. Amplificador de potencia

Se necesitan varios amplificadores de potencia, ya que el controlador digital no puede generar suficiente corriente para impulsar la alta inductancia de las bobinas AMB. Los amplificadores de transconductancia de conmutación se utilizan para convertir el voltaje de salida del controlador a una corriente que controla los CMA. Los amplificadores de conmutación analógicos Copley Controls 413CE en un bus de 75 VCC y con una salida de corriente continua de 15A (pico 30A) se utilizan para los CMA de soporte (figura N°48). Fuente Mushi 2010. En la figura N° 74 del anexo N° 10 se muestra sus especificaciones técnicas.



Figura 48: Amplificador de Potencia

Fuente: (Controls, 2015)

3.8.6. Variador de Potencia ACS150 de ABB

Este variador se ha diseñado para ser incorporado en una amplia variedad de máquinas como mezcladores, cintas transportadoras, bombas o ventiladores o en cualquier lugar en que se emplee un motor de velocidad fija y se requiera un motor de velocidad variable. Los variadores de potencia ABB satisfacen los requisitos de los fabricantes de equipos originales, de los fabricantes de maquinaria y de los cuadristas. Los convertidores son fáciles de seleccionar y proporcionan una gama de características integradas de serie que incluyen control PID, chopper de frenado, teclado fijo y potenciómetro de control de velocidad. (ABB, 2019). En la figura N°77 del anexo N° 10 se muestra su ficha técnica.

Características:

- Conexión de red Rango de potencia y tensión Monofásica, 200 a 240 V \pm 10% 0,37 a 2,2 kW (0,5 a 3 CV) Trifásica, 200 a 240 V \pm 10% 0,37 a 2,2 kW (0,5 a 3 CV) Trifásica, 380 a 480 V \pm 10% 0,37 a 4 kW (0,5 a 5 CV)
- Envolverte IP20
- Interfaz de usuario y potenciómetro integrados
- Frecuencia 48 a 63 Hz
- Conexión del motor Tensión Trifásica, de 0 a Usupply Frecuencia 0 a 500 Hz



Figura 49: Variador de Frecuencia

Fuente: (ABB, 2019)

3.8.7. Fuente de poder.

En la figura N°50 se muestra la Fuente De Poder Switching Conmutada Transformador 12v 30amp. En la figura N° 76 del anexo N° 10 se muestra las especificaciones técnicas de la fuente de poder.



Figura 50: Fuente de poder Switching Conmutada

Fuente: (Segura me, 2018)

Usos y aplicaciones:

- Ideal para iluminaciones led
- Instalaciones de Cámaras de seguridad
- Equipos de Cómputo

Características Generales:

- AC Input Seleccionable
- Protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobre temperatura y sobretensiones de entrada y salida
- Indicador led de encendido
- Ventilación por ventilador interno
- Estructura de fabricación metálica de alta resistencia

Características Técnicas:

- Rango de entrada de corriente seleccionable 220v - 110v
- Rango de salida de corriente 12v
- Amperaje de salida 30 amp
- 360 Watts

3.8.8. Sistema de adquisición de datos.

3.8.8.1. Tarjeta de adquisición de datos (NI-9230). El NI 9230 es un módulo de adquisición de señal dinámica C Series 3-canal para hacer mediciones industriales desde piezoeléctrico electrónico integrado (IEPE) y sensores no IEPE con sistemas NI CompactDAQ o NI CompactRI. (Figura N° 51)

El NI-9230 también es compatible con sensores TEDS inteligentes. El NI-9230 incorpora acoplamiento de AC/DC seleccionable por software, detección abierta/en corto IEPE y acondicionamiento de señales IEPE. En la figura N°75 del anexo N° 10 se muestra sus especificaciones técnicas.

El canal de entrada mide las señales simultáneamente. Cada canal también tiene filtros anti-aliasing integrados que ajustan automáticamente su velocidad de muestreo.

Cuando es usado con software de NI, este módulo ofrece funcionalidad de procesamiento para monitoreo de condición como análisis de frecuencia y rastreo de orden. (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)



Figura 51: NI-9230

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

3.8.8.2. *Carcasa (Chasis cDAQ-9171)*. El cDAQ-9171 es un chasis USB CompactDAQ energizado por bus, diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor. (Ver figura N°52).

El chasis brinda la sencillez de conexión rápida del USB a sus medidas eléctricas y de sensores.

También controla la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre los módulos de E/S de la Serie C y un servidor externo. Puede usar este chasis con una combinación de módulos de E/S de la Serie C para poder realizar diversas medidas de E/S analógica, E/S digital y temporizador.

El cDAQ-9171 también tiene cuatro temporizadores de uso general de 32 bits a los que puede acceder a través de un módulo digital de la Serie C instalado y temporizado por hardware en aplicaciones que utilizan codificadores de cuadratura, medidas de ancho de pulso (PWM), conteo de eventos, generación de tren de pulsos y medidas

de período o frecuencia. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2018). En la figura N° 72 del anexo N° 10 se muestra sus especificaciones técnicas



Figura 52: Chasis cdaq-9171

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

3.8.8.3. *Acelerómetros (Acelerómetro I, 100mV/g, ICP® (IEPE))*. NI ofrece tres acelerómetros para completar sus aplicaciones de análisis de vibración. Estos han sido probados y verificados para usarse con dispositivos NI PXIe-4464, NI PXIe-4499, NI 9232, NI 9234 y USB-4431. Ver figura N° 53.

Los acelerómetros industriales 784175-01 y 780985-01 son ideales para instalaciones permanentes y el 784176-01 es ideal para recolección de datos basada en rutas.

Tiene dos opciones de cable diferentes para estos sensores. El cable para acelerómetro industrial IMI (780984-01) está disponible con terminación BNC, la cual es ideal para el NI PXIe-4464, NI PXIe-4499, NI 9234 y USB-4431. El cable PCB 052 con terminación plana funciona con el módulo adquisición de señal dinámica NI 9232. (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.). En la figura N° 71 del anexo N°10 se muestra sus especificaciones técnicas del acelerómetro.



Figura 53: Acelerómetro I,100m V/G

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

3.8.8.4. *Cables (Cables para Acelerómetros 10 ft w/BNC terminación).* Cable de par trenzado blindado de dos conductores con cubierta de poliuretano, 10 pies, MIL de 2 zócalos de empuje con arranque ambiental a BNC. Como se muestra en la figura N° 54.

- Número de conductores: 2
- Tipo de cable: Conductor múltiple - Blindado
- Tipo de conector: MIL-C-5015
- Estilo del conector: BNC
- Diámetro de la cubierta del cable: 0.25 in (6.35 mm)



Figura 54: Cables para Acelerómetros 10 ft w/BNC terminación

Fuente: (PCB PIEZOTRONICS MTS SYSTEMS CORPORATION, 2016)

Tabla 16: Especificaciones Técnicas de Cable 10 ft w/BNC

ESPECIFICACIONES	
Número de conductores	2
Estilo de cable	Conductor Multi - Blindado
Modelo de conector (lado del sensor)	Bota ambiental
Estilo del conector (lado del sensor)	MIL-C-5015
Tipo de conexión (lado del sensor)	2 pines
Método de acoplamiento (lado del sensor)	Empuja
Estilo del conector (terminación)	BNC
Rango de temperatura	-50 a 121 ° C
Capacidad	118 pF / m
Diámetro de la chaqueta del cable	6,35 mm
Material de la chaqueta del cable	Poliuretano
Color de la chaqueta del cable	Negro
Estilo de conductor	Trenzado - 19 hilos 32 AWG
Material del conductor	Cobre estañado

Diámetro del conductor (20 AWG)	1.02 mm
Tipo de escudo sobre paquete	Trenza: 90% de cobertura mínima
Material de escudo sobre paquete	Cobre estañado
Radio de curvatura (mínimo)	63.5 mm
Peso	61.85 g / m
Tamaño – Longitud	3.048 m

3.9. Elaboración de los Planos del Banco de Ensayos de Rotores con Rodamientos Magnéticos.

Los planos del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos, se ubican en el Anexo N°13. En la Tabla N°16 se enumeran la lista de todos los planos con sus respectivas ubicaciones.

Tabla 17: Lista de Planos

Número de plano	Nombre	Anexo N°13
BER-A2-001	Vistas Generales	Figura 80
BER-A2-002	Explotado	Figura 81
BER-A3-003	Estructura Soporte	Figura 82
BER -A4-004	Estator del rodamiento	Figura 83
BER -A4-005	Eje	Figura 84
BER -A4-006	Volante	Figura 85
BER -A4-007	Rotor	Figura 86
BER -A4-008	Carcasa del Rodamiento	Figura 87 - 88

Fuente: Propia

En el Anexo N°13 se muestra los planos más a detalle del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos.

3.10. Análisis Económico.

3.10.1. Inversión.

En la tabla N°17 se realiza una descripción de cada uno de los componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos con sus respectivos costos, para tener una idea general del precio total de lo que llega a costar la máquina con recursos propios.

3.10.2. Beneficio.

En el mercado actual un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos se encuentra bordeando un precio de EUR16460.20 (tipo de cambio: S/3.84, por lo tanto el precio en nuevo soles es de S/. 63286.57) En consecuencia al fabricar la máquina con recurso se obtiene un beneficio de S/. 43740.36 Soles.

$$ROI = \frac{BENEFICIO - INVERSIÓN}{INVERSIÓN}$$

$$ROI = \frac{43740.36 - 19546.21}{19546.21}$$

$$ROI = 1.23$$

Tabla 18: Análisis Económico.

MATERIA PRIMA			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	Eje Acero AISI 304 de 15 mm de diámetro x 800 mm de longitud	1	S/. 26.20
2	Volante Acero AISI 304 20 cm de diámetro x 1 cm de longitud	1	S/. 67.55
3	Rotor de Acero al silicio	2	S/. 13.32

4	Estator de Acero al silicio	2	S/. 26.39
5	Carcasa de acero al carbono	2	S/. 763.48
6	Angulo 40x40 mm corner bracket	44	S/. 290.4
7	Perfil 40 x 40 mm	14.16 m	S/ 680.00
MONTO TOTAL MATERIA PRIMA			S/. 1867.34
COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL
7	Sensor GP-X3SE	4	S/. 5764.54
8	Controlador GP-XC	1	S/. 1680.87
9	Amplificador de potencia	2	S/. 3488.44
10	Tarjeta de adquisición de datos (NI-9230)	1	S/2664.75
11	Carcasa (Chasis cDAQ-9171)	1	S/. 988.38
12	Acelerómetro I, 100mV/g, ICP	2	S/. 1033.6
13	Cables para Acelerómetros 10 ft w/BNC	2	S/. 377.913
14	Motor Eléctrico trifásico de 1 Hp de 3600 rpm	1	S/. 195.00
15	Fuente de poder conmutada DC12V/360W/30A	1	S/. 142.41
MONTO TOTAL DE COMPONENTES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS			S/. 16335.83

ACCESORIOS			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL
16	Pernos para el ángulo corner bracket M8 x16 mm, tuerca y arandela	88	S/. 301.4
17	Pernos para carcasa del estator M10 x 55 , tuerca y arandela	4	S/. 25.28
18	Pernos para base M10 x 30	4	S/. 22.8
19	Acople de mordaza SKF L075	1	S/. 53.92
MONTO TOTAL DE ACCESORIOS			S/. 403.4
MONTAJE E INSTALACIÓN			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL
21	Ingenierio Mecánico electricista	1	S./ 450.00
22	Ingenierio electronico	1	S./ 430.00
23	Asistente de Ingenieria	1	S./ 60.00
MONTO TOTAL DE MONTAJE E INSTALACIÓN			S./ 940.00
TOTAL			19546.21

3.11. Discusión de Resultados

El banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos realizará pruebas de ensayo de rotores debido que cuenta con dos rodamientos magnéticos activos radiales (AMBs), una volante, un motor Glong Alco de 1HP con velocidad máxima de 3600 rpm, un sistema de adquisición de datos y un eje, esta configuración da mayor control radial sobre el eje tiene bajo costo debido a los pocos componentes que lo conforman, es de fácil y rápido montaje y fabricación, control eficiente gracias a su diseño y el equipo tiene menor consumo de energía. Comparado con la maquina contruida en

Finlandia (Sikanen, 2014) cuenta con un marco principal que sostiene los rodamientos magnéticos, se pueden alojar rodamientos axiales y radiales por separado. La desventaja de este es que tiende a tener problemas de alineación, los componentes electromagnéticos deben ser más grandes para generar la fuerza necesaria para sostener el rotor.

El banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos es considerado un gran aporte para los estudiantes de investigación en pregrado en Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad Señor de Sipán , ya que involucra cursos tales como electromagnetismo, turbomáquinas, circuitos eléctricos, maquinas eléctricas.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones:

Todos nuestros objetivos planteados se llegaron a cumplir de manera satisfactoria como se describe a continuación:

- Para iniciar con el diseño de la máquina fue fundamental determinar las necesidades que presentan los estudiantes de la Escuela de Ingeniería mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán con respecto al banco de ensayos para incentivar la investigación en el pregrado se realizó entrevistas a 4 cuatro docentes.
- Se propuso y evaluó 4 conceptos y 3 configuraciones alternativas que cumplan con los requisitos ingenieriles establecidos, se seleccionó a través de una matriz de selección ponderada para evaluar mediante criterios de costo, modularidad, manufacturabilidad y montaje
- Se determinó las dimensiones y materiales generales del banco de ensayos mediante tesis relacionadas al tema, normas de diseño y entrevistas realizadas.
- Para estimar las cargas de diseño se tuvo en cuenta las cargas de diseño a las que estará sometido el banco de ensayos, es decir, las fuerzas que se necesitan para provocar la levitación magnética del eje.
- Realizó un diseño paramétrico de los sistemas críticos del banco de ensayos (rodamiento magnético activo radial), a través del software matlab teniendo en cuenta las variables de diseño en concordancia con las variables de solución.
- Para la selección de cada componente del banco de ensayos se tuvo en cuenta los componentes que lo conforman: la potencia del motor se seleccionó a través del par de inercia debido a las distintas cargas del eje. Para el diseño del eje se tuvo gran consideración que se realizó el análisis de carga estática, el análisis de falla por fatiga y los modos de vibrar para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina.

- Se elaboró los planos generales del banco de ensayos de acuerdo a las medidas establecidas en el diseño paramétrico.
- Por consiguiente se realizó el presupuesto del banco de ensayos y el análisis económico (ROI), el cual se obtuvo que el proyecto es rentable puesto que el índice de retorno sobre la inversión salió positivo, es decir, se está utilizando eficientemente el capital invertido en la generación de utilidades.

4.2. RECOMENDACIONES

- El banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos fue diseñada para soportar velocidades de pruebas máximas de 3600 rpm, sin embargo se puede realizar un cálculo para que esta velocidad sea superior y aplicarla en ejes de mayor volumen.
- En el banco hacer uso de un rodamiento magnético activo radial y uno axial para que el eje soporte cargas pesadas sin poder desplazarse con respecto a su base.
- Al simular es óptimo la colocación de varios discos para evaluar distintos rotores y determinar los parámetros deseados.

REFERENCIAS.

- Colegio de Ingenieros del Perú. (1999). *Código de Etica del Colegio de Ingenieros del Perú*. Tacna.
- (2004). En A. T.fukao, & O. M.Oshima, *Magnetic Bearings and Bearingless Drives*.
- ARAGÓN AYALA, D. E. (2017). *OPTIMAL CONTROL FOR A PROTOTYPE OF AN ACTIVE MAGNETIC BEARING SYSTEM*. Lima: Pontificia Univeridad Católica del Perú.
- AUTOMATION CONTROLS*. (30 de SEPTIEMBRE de 2018). Obtenido de <https://www3.panasonic.biz/ac/ae/fasys/measurement/measurement/gp-a/characteristic/index.jsp>
- Bernal Calderón, F. A., & Cortés Navarrete, D. F. (2007). *Simulación de un banco de pruebas para análisis de vibraciones*.
- Budynas, R., & Keitch Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Octava Edición.
- Conrad, G. (1998). Rotor dynamic testing and control with active magnetic bearings. *ETH Library*.
- Controls, C. C. (2015). COPLEY BRUSH MOTOR SERVO DRIVE.
- Corpwolf.com. (Mayo de 2018). *SERVICIO DE DISEÑO MECÁNICO*. Obtenido de <http://corpwolf.com/sitio/producto/disenio-mecanico-2/>
- Crecenegocios. (2015). *La rentabilidad de una empresa*. Obtenido de <https://www.crecenegocios.com/la-rentabilidad-de-una-empresa/>
- De Miras, J., Cédric, J., Fliess, M., Samer, R., & Bonnet, S. (2013). Active magnetic bearing: A new step for model-free. 7449-7454.
- Dirección de Investigación. (2017). *Código de Ética de Investigación de la USS*. Chiclayo.
- filetrig.com. (03 de Octubre de 2016). *MATLAB R2015a*. Obtenido de <http://www.filetrig.com/2016/10/matlab-r2015a-free-download-32-bit/>
- Fuente de alimentación conmutada. (2018). *Led Box*.
- Gaurav, K., Madhurjya Dev, C., Sivaramakrishnan, N., & Karuna, K. (2016). Design and Analysis of a Radial Active Magnetic Bearing for. 810-816.
- Grochmal, T., & Forbrich, C. (s.f.). *Self Bearing Motor*. Obtenido de <https://www.ualberta.ca/engineering/research/groups/applied-nonlinear-controls-lab/research/research-projects/self-bearing-motor>
- Group, S. (Junio de 2015). SKF Couplings Flex. .
- Gutiérrez Wing, E. S., & Aguirre Romano, J. E. (15 de ENERO de 2011). Balanceo de rotores rígidos sin emplear rodados de prueba. *Sbcieo*, 195-205. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812011000200002

- Koichi , M., Kanemitsu , Y., & Kijim, S. (2007). Optimal Number of Stator Poles for Compact Active Radial.
- Larsonneur, R. (1990). Design and control of active magnetic bearing systems for high. *ETH Library*.
- Maslen, Allaire, Noh, & Sortore. (1996). Magnetic Bearing Design for.
- Maslen, Allaire, Noh, & Sortore. (1996). Magnetic Bearing Design for.
- Matsuda, K., & Kanemitsu, Y. (2007). En *Optimal Number of Stator Poles for Compact Active Radial Magnetic Bearings*.
- Mercado Libre*. (s.f.). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-419486349-motores-electricos-1hp-trifasico-3500rpm-glong-alco-_JM?quantity=1
- Moreno Barra, L. A. (2006). *BALANCEO DINAMICO DE SISTEMAS ROTATIVOS*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Mushi, S. E., Zongli, L., & Allaire, P. E. (2012). Design, Construction, and Modeling of a Flexible Rotor Active Magnetic Bearing Test Rig. 1170-1182.
- Mushi, S., & Lin, Z. (2010). DESIGN, CONSTRUCTION AND MODELING OF A FLEXIBLE ROTOR ACTIVE.
- NAHUEL GOMEZ , S. (2016). *Diseño Mecánico conceptual de rotores para centrifugas*. Mendoza argentina .
- Nahuel Gomez, S. (2016). *DISEÑO MECÁNICO CONCEPTUAL DE ROTORES PARA CENTRIFUGAS*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- NATIONAL INSTRUMENTS*. (s.f.). Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/support/model.ni-9230.html>
- NATIONAL INSTRUMENTS*. (2018). Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/support/model.cdaq-9171.html>
- nptel.ac.in. (s.f.). *Dynamic Balancing of Rotors*. Obtenido de <http://nptel.ac.in/courses/112103024/module13/lec3/1.html>
- Pastor Duran, L., & Rubio Garcia, H. (2015). *Prototipo de un rodamiento magnético activo*.
- PCB PIEZOTRONICS MTS SYSTEMS CORPORATION*. (JULIO de 2016). Obtenido de <http://www.pcb.com/products.aspx?m=052AE010AC>
- Programasvirtualespc.net. (2018). *SolidWorks 2018 SP3.0*. Obtenido de <https://www.programasvirtualespc.net/disenio/solidworks-2018-sp1-0-espanol-multilenguaje-software-cad-modelado-mecanico-2d-3d/>
- Rohde-schwarz.com. (s.f.). *MATLAB example application*. Obtenido de https://www.rohde-schwarz.com/us/applications/mobile-realtime-i-q-streaming-application-card_56279-4801.html

- Romadyc. (2014). *Banco de Prueba Romadyc*. Obtenido de <http://academic.csuohio.edu/romadyc/facilities/general-amb-test-rig.html>
- Sayed Mahmoud, I. E. (2012). *Estimación de la posición y Alternativa de Control de Sistemas de Cojinetes Magnéticos*. Gijón: Universidad de Oviedo.
- Schweitzer, G., & Maslen, E. H. (2009). *Magnetic Bearings*. New York: Springer.
- Segura me. (2018). Obtenido de <https://www.securame.com/fuente-de-alimentacion-transformador-12v-30a-p-185.html>
- Sikanen, E. (2014). *MECHANICALDESIGNANDANALYSISOFMODULARACTIVE MAGNETICBEARINGTESTRIG*. Finlandia: Lappeenranta University of Technology.
- Soto, A., & Villegas, D. (2006). *Diseño de una Plataforma de Adquisición de Datos y Control para un Banco de Pruebas de Cojinetes Magnéticos Activos*. Venezuela: Universidad Simón Bolívar.
- Valores normalizados cables A.W.G. (s.f.). Obtenido de <http://www.profesormolina.com.ar/electromec/tabla.htm>
- Zapata Sánchez, P. M. (2010). *Diseño e implementación de electroimán y actuador electrónico aplicado a un sistema de levitación magnética*. Lima: Creative Commons.
- Zhang, W., & Zhu, H. (2017). Radial Magnetic Bearings: An Overview. *Physics*, 1-14.

ANEXOS

ANEXO N°01: Momento flector y fuera cortante

$$\sum F = 0$$

$$R_A + R_B = 35.37$$

$$\sum M_A = 0$$

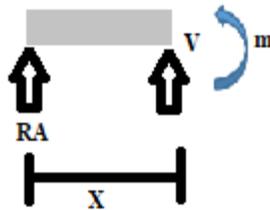
$$-35.37(0.4) + 0.8R_B = 0$$

$$R_B = 17.685$$

$$R_A = 17.685$$

Sección 1:

$$0 \leq x \leq 0.4$$



$$\sum F = 0$$

$$R_A + V = 0$$

$$V = -17.685$$

$$\sum M = 0$$

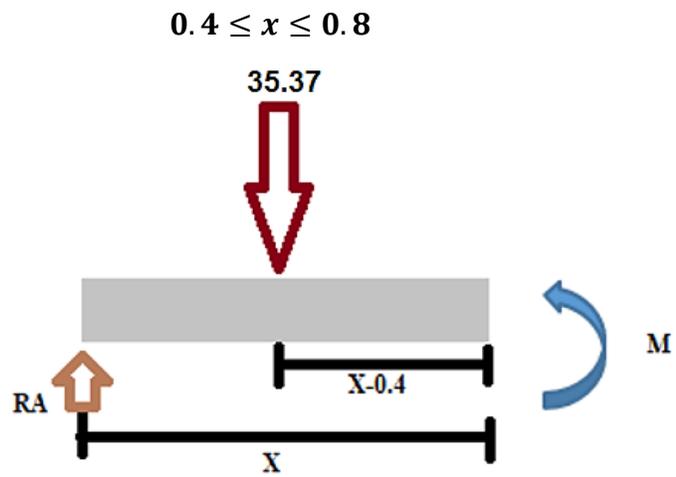
$$-R_A(x) + M = 0$$

$$M = 17.685x$$

$$x = 0.4$$
$$x = 0$$

$$M = 7.074 \text{ N.M}$$
$$M = 0$$

Sección 2:



$$\sum F = 0$$

$$R_A - 35.62 + v = 0$$

$$v = 35.37 - 17.685$$

$$v = 17.685N$$

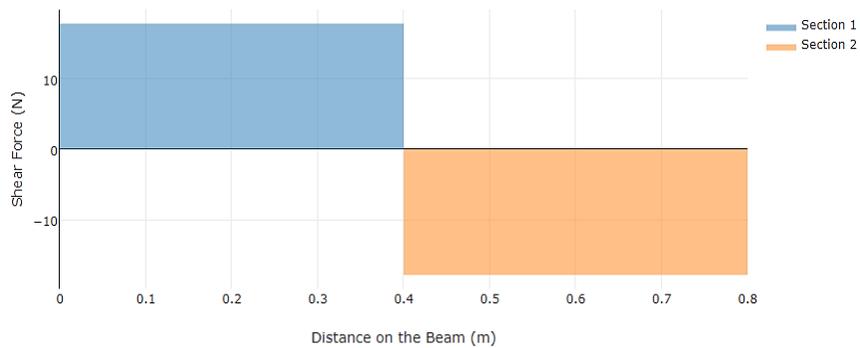
$$\sum M = 0$$

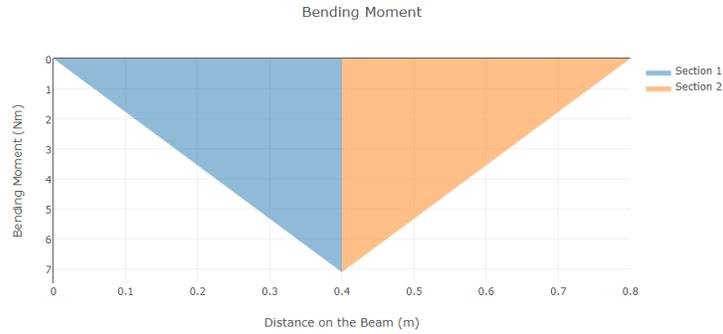
$$-R_A \cdot X + 35.62(X - 0.4) + M = 0$$

$$M = 17.685X - 35.37(X - 0.4)$$

$$X = 0.4 \quad M = 7.074N \cdot m$$

$$X = 0.8 \quad M = 0$$





$$M = 7.074 \text{ N.m}$$

ANEXO N°02: Cálculo de la fuerza en el polo 1 y 2.

$$t = \frac{P \cdot 63000}{n \cdot \pi}$$

$$t = \frac{0.746 \text{ kw} \cdot 63000}{3600 \text{ rpm} \cdot \pi} = 1.98 \text{ Nxm}$$

$$M = F \cdot r_{eje}$$

$$F = \frac{M}{r_{eje}} = \frac{1.98 \text{ N.m}}{0.0075 \text{ m}} = 264 \text{ N}$$

ANEXO N°03: Cálculo del par de inercia.

$$M_i = I_p \cdot \alpha_r$$

$$I_p = I_{eje} + I_v + 2I_{rotor} + I_{ac}$$

$$I_{eje} = \frac{m}{2} \cdot (r_1^2)$$

$$I_{eje} = \frac{1.1098}{2} \cdot (0.0075^2) = 3.1213 \cdot 10^{-5} \quad \text{kg.m}^2$$

$$I_v = \frac{m}{2} \cdot (r_1^2 + r_2^2)$$

$$\frac{2.4523}{2} \cdot (0.0075^2 + 0.1^2) = 0.0123 \quad \text{kg.m}^2$$

$$I_{rotor} = \frac{m}{2} \cdot (r_1^2 + r_2^2)$$

$$\frac{0.0213}{2} \cdot (0.0075^2 + 0.0086^2) = 1.387 \cdot 10^{-6} \quad \text{kg.m}^2$$

$$I_{ac} = \frac{m}{2} \cdot (r_1^2 + r_2^2)$$

$$\frac{0.22}{2} \cdot (0.012^2 + 0.0445^2) = 0.000234 \quad \text{kg.m}^2$$

$$I_p = 0.0126 \text{ kg.m}^2$$

Para la aceleración angular nos basamos en la fórmula de la velocidad.

$$w_f = w_0 \cdot \alpha t$$

$$w = 0 \text{ Entonces:}$$

$$w_f = \alpha t$$

$$\alpha_r = \frac{w_f}{t} = \frac{\text{rpm} \cdot \frac{\pi}{30}}{t}$$

$$\alpha_r = \frac{\text{rpm} \cdot \pi}{30t}$$

$$\alpha_r = \frac{\text{rpm} \cdot \pi}{30t} = \frac{3600 \cdot \pi}{30 \cdot (7)}$$

$$\alpha_r = 53.86$$

Luego reemplazamos valores para calcular el par de inercia.

$$M_i = I_p \cdot \alpha_r$$

$$M_i = (0.0126)(53.86)$$

$$M_i = 0.68 \quad \text{N.m}$$

$$M_i = \text{torque}$$

ANEXO N°04: Propiedades Mecánicas del Acero AISI 304.

Physical Properties	Metric
Density	8.00 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	123
Hardness, Knoop	138
Hardness, Rockwell B	70
Hardness, Vickers	129
Tensile Strength, Ultimate	505 MPa
Tensile Strength, Yield	215 MPa
Elongation at Break	70 %
Modulus of Elasticity	193 GPa
Poissons Ratio	0.29
Shear Modulus	77.0 GPa
Izod Impact 	150 J
	@Temperature -195 °C
	150 J
	@Temperature 21.0 °C
Charpy Impact	325 J

Figura 55. Propiedades de mecánicas del acero AISI 304.

Fuente: (matweb.com).

ANEXO N°05: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 56. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.

Fuente: (Budinas,R & Nisbett, K; 2008).

ANEXO N°06: Parámetros del factor de confiabilidad.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_c	Factor de confiabilidad k_c
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 57. Parámetros del factor de confiabilidad.

Fuente: (Budinas,R & Nisbett, K; 2008).ANEXO

ANEXO N°07: Selección de Acople

Factor de servicio

	Tipo de unidad de motriz	Horas de servicio por día					
		Motores eléctricos y turbinas de vapor			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas		
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16
Liviano	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7.5 kW)	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5
Medio	Agitadores/Mezcladores (excluidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7.5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugas). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0
Pesado	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, punzonadoras, tijeras, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5
Muy pesado	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0

Figura 58. Factor de Servicio para el acople

Fuente: (Group, 2015)

Elementos

Tipo	Rango de temperatura (°C)	Desalineación		Factor de potencia
		Angular °	Paralela mm	
Nitrile	-40 - 100	1	0,38	1
Urethane	-35 - 70	1	0,38	1,5
Hytrel®	-50 - 120	0,5	0,38	3

Figura 59. Tipo de elemento para el acople

Fuente: (Group, 2015)

Potencia de salida – elementos de nitrilo

Velocidad	Tamaño del acoplamiento									
	50	70	75	90	95	100	110	150	190	225
RPM										
50	0,018	0,030	0,06	0,10	0,14	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5
100	0,037	0,060	0,12	0,20	0,27	0,6	1,1	1,6	2,1	2,9
200	0,074	0,121	0,25	0,40	0,54	1,2	2,2	3,1	4,2	5,9
300	0,110	0,181	0,37	0,60	0,81	1,7	3,3	4,7	6,3	8,8
400	0,147	0,242	0,50	0,80	1,08	2,3	4,4	6,3	8,4	11,7
500	0,184	0,302	0,62	1,01	1,35	2,9	5,5	7,9	10,5	14,7
600	0,221	0,363	0,75	1,21	1,62	3,5	6,6	9,4	12,6	17,6
700	0,257	0,423	0,87	1,41	1,89	4,1	7,7	11,0	14,7	20,5
720	0,265	0,435	0,90	1,45	1,95	4,2	7,9	11,3	15,1	21,1
800	0,294	0,483	1,00	1,61	2,16	4,6	8,8	12,6	16,8	23,5
900	0,331	0,544	1,12	1,81	2,43	5,2	9,9	14,1	18,8	26,4
960	0,353	0,580	1,20	1,93	2,59	5,6	10,6	15,1	20,1	28,1
1000	0,368	0,604	1,25	2,01	2,70	5,8	11,0	15,7	20,9	29,3
1200	0,441	0,725	1,50	2,41	3,24	7,0	13,2	18,8	25,1	35,2
1400	0,515	0,846	1,74	2,81	3,78	8,1	15,4	22,0	29,3	41,1
1440	0,529	0,870	1,79	2,90	3,89	8,4	15,8	22,6	30,2	42,2
1600	0,588	0,967	1,99	3,22	4,32	9,3	17,6	25,1	33,5	46,9
1800	0,662	1,088	2,24	3,62	4,86	10,4	19,8	28,3	37,7	52,8
2000	0,735	1,208	2,49	4,02	5,40	11,6	22,0	31,4	41,9	58,6
2200	0,809	1,329	2,74	4,42	5,94	12,8	24,2	34,6	46,1	64,5
2400	0,882	1,450	2,99	4,83	6,48	13,9	26,4	37,7	50,3	70,4
2600	0,956	1,571	3,24	5,23	7,02	15,1	28,6	40,8	54,5	76,2
2800	1,029	1,692	3,49	5,63	7,56	16,2	30,8	44,0	58,6	82,1
2880	1,059	1,740	3,59	5,79	7,78	16,7	31,7	45,2	60,3	84,4

Figura 60. Potencia de Salida del Elemento Nitrillo

Fuente: (Group, 2015)

Designación.

Tamaño	Maza tipo L
035	PHE L035HUB
050	PHE L050HUB
070	PHE L070HUB
075	PHE L075HUB
090	PHE L090HUB
095	PHE L095HUB
100	PHE L100HUB
110	PHE L110HUB
150	PHE L150HUB
190	PHE L190HUB
225	PHE L225HUB

Figura 61. Designación del Elemento Nitrillo

Fuente: (Group, 2015)

Dimensiones del Acople

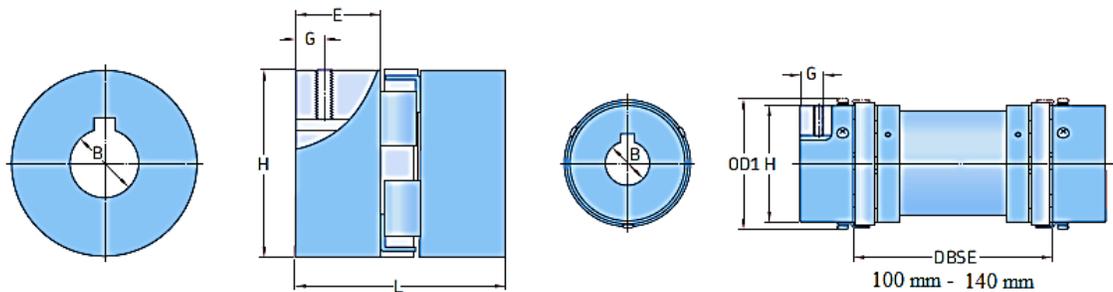


Figura 62. Dimensiones del Acople. Parte 1

Fuente: (Group, 2015)

Tamaño	Dimensiones								Tornillo de fijación	Masa aproximada +	Velocidad Máx
	B		OD	OD1*	L	E	H	G			
	Pilot	Max	mm	mm	mm	mm	mm	mm		kg	RPM
035	3,20	9,5	15,9	-	20,6	6,7	15,9	-	-	0,03	31000
050	6,35	14,0	27,5	-	44,0	16,0	27,5	6,5	M6	0,05	18000
070	6,35	19,0	35,0	-	51,0	19,0	35,0	9,5	M6	0,12	14000
075	6,35	24,0	44,5	-	54,0	21,0	44,5	9,0	M6	0,22	11000
090	6,35	24,0	54,0	-	54,0	21,0	54,0	8,7	M6	0,28	9000
095	11,11	28,0	54,0	64	64,0	25,0	54,0	11,0	M8	0,31	9000
100	12,70	35,0	65,0	77	89,0	35,0	65,0	11,0	M8	0,75	7000
110	15,87	42,0	84,0	97	108,0	43,0	84,0	19,0	M10	1,50	5000
150	15,87	48,0	96,0	112	115,0	45,0	96,0	22,0	M10	2,40	4000
190	19,05	55,0	115,0	130	133,0	54,0	102,0	22,0	M12	3,50	3600
225	19,05	60,0	127,0	143	153,0	64,0	108,0	29,0	M12	4,50	3600

Figura 63. Dimensiones del Acople. Parte 2

Fuente: (Group, 2015)

ANEXO N°08: Encuestas aplicadas a docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipan

A. ASPECTO DE INFLUENCIA ACADÉMICA E INSTITUCIONAL DEL PRODUCTO.

Pregunta N° 01:

Diga usted. ¿Cuáles son las fallas comunes que presentan los rodamientos convencionales?

De acuerdo a las personas entrevistadas, se determinó que las fallas comunes que presentan los rodamientos convencionales son: Fractura de piezas del rodamiento, fatiga en los elementos, deformación rotacional, desgaste, corrosión.

Pregunta N° 02:

En su opinión ¿Cuáles son los factores que pueden ocasionar un fallo prematuro en los rodamientos convencionales?

Según los participantes los factores que pueden ocasionar un fallo prematuro en los rodamientos convencionales son: montaje incorrecto, Insuficiente o inadecuada lubricación, excesiva vibración, sobrecarga.

Pregunta N° 03

Según su experiencia. ¿Cuáles son las consideraciones de fallos que se debe tener en cuenta en el diseño de máquinas rotativas a raíz de causas mecánicas?

En su mayoría coincidieron con fractura, fatiga, velocidad crítica.

Pregunta N° 04

En su opinión. ¿Conoce el fenómeno de levitación magnética? Explique sus aplicaciones.

Los entrevistados respondieron de manera afirmativa a esta pregunta, justificando que con el fenómeno de levitación magnética se evita la fricción entre componentes.

Pregunta N° 05

¿Cree que la implementación de los rodamientos magnéticos ayudará a compensar las vibraciones mecánicas inherentes en los bancos de ensayos. Fundamente su respuesta.

Según los participantes los rodamientos magnéticos ayudarán totalmente a compensar las vibraciones mecánicas inherentes en los bancos de ensayos. Debido a que estos mismos permiten realizar balance de masas.

Pregunta N° 06

¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de laboratorios de ensayos para la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con miras al licenciamiento y posterior acreditación? Especifique.

Tres de los entrevistados respondieron que no. Un entrevistado respondió de manera afirmativa especificando proyecto de implementación de rodamientos magnéticos pasivos (resolución vicerrectorado de investigación).

Pregunta N° 07

¿Cuán importante es la presencia de un banco de ensayos de rotores dinámicos en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica? Fundamente su respuesta.

De acuerdo a las personas entrevistadas la presencia de un banco de ensayos de rotores dinámicos en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica es muy importante para el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes.

Pregunta N° 08

¿Qué provecho en términos académicos e investigación tendría la Universidad al poseer un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos?

En su mayoría los entrevistados coincidieron que los alumnos estudiarían temas actuales de investigación y así mejorar la aplicación de la teoría de vibraciones.

Pregunta N° 09

¿Cree usted que la implementación de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos, sería de gran aporte en la investigación en el pre grado para la escuela de ingeniería mecánica eléctrica? ¿Que cursos estarían involucrados?

De acuerdo a las personas entrevistadas repondieron que totalmente ayudaría en la investigación a los estudiantes de pregrado de ingeniería mecánica eléctrica. En los cursos involucrados hicieron mención de electromagnetismo, dinámica, maquinas eléctrica, circuitos electricos, turbomaquinas.

B. ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA.

Pregunta N° 10

¿Cuáles piensa usted que serían las dimensiones ideales que debería tener un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para una velocidad máxima de 3200 rpm?

Un entrevistado respondió que las dimensiones adecuadas sería 1*1.5*0.45m ancho, largo y alto respectivamente. Otro de los entrevistados respondió dimensiones del rodamiento con diámetro interior de 1" y diámetro exterior de 4".

Pregunta N° 11

Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño de un banco de rotores con rodamientos magnéticos para ensayos demostrativos en el pre-grado?

En su mayoría coincidieron con facilidad de mantenimiento, costo, control, resistencia.

Pregunta N° 12

¿Qué parámetros de ingeniería debería ser capaz de evaluar la máquina?

Los entrevistados respondieron que los parámetros de ingeniería debería ser capaz de evaluar la máquina son revoluciones, nivel de vibración, fuerza electromagnética.

C. ASPECTO ECONÓMICO.

Pregunta N° 13

¿Qué rangos de precio considera usted adecuados para construir un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos con recursos propios?

Dos de los entrevistados coincidieron que el precio más adecuado para construir un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos con recursos propios estaría entre S/. 20,000.00 a S/. 50,000.00 nuevos soles. Los otros dos no opinaron.

FORMATO DE ENTREVISTA PARA DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – ELÉCTRICA RESPECTO AL DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS PARA INVESTIGACIÓN EN PREGRADO.

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombres: Alvarado Silva Carlos Alexis
Cargo: Docente Tiempo Completo - Jefe Taller Ciencias Taller.
Profesión: Ing. Mecánico
Empresa: Universidad Nacional de Trujillo

ENTREVISTADOR

Apellidos y Nombres:

Universidad:

Escuela:

Tesis: "Diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para investigación en pregrado".



Figura 64. Entrevista al Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis

Fuente: Propia

FORMATO DE ENTREVISTA PARA DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – ELÉCTRICA RESPECTO AL DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS PARA INVESTIGACIÓN EN PREGRADO.

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombres: VIDARTE MEJIA JOSE SAMUEL.
Cargo: JEFE DE PRACTICAS.
Profesión: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.
Empresa: USS.

ENTREVISTADOR

Apellidos y Nombres:

Universidad:

Escuela:

Tesis: “Diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para investigación en pregrado”.

Figura 65. Entrevista al Ing. Vidarte Mejia José Samuel

Fuente: Propia

FORMATO DE ENTREVISTA PARA DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – ELÉCTRICA RESPECTO AL DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNÉTICOS PARA INVESTIGACIÓN EN PREGRADO.

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombres: *VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS*

Cargo: *DOCENTE*

Profesión: *INGENIERO MECÁNICO*

Empresa: *UNIV. SEÑOR DE SIPÓN*

ENTREVISTADOR

Apellidos y Nombres:

Universidad:

Escuela:

Tesis: “Diseño de un banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos para investigación en pregrado”.



DNI: 41524559
JUAN CARLOS VIVES GARNIQUE
INGENIERO MECÁNICO
Reg. CIP. N° 147403

Figura 66. Entrevista al Ing. Juan Carlos Vives Garnique

Fuente: Propia

ANEXO N°09: Normas Estándar Británicas BS ISO

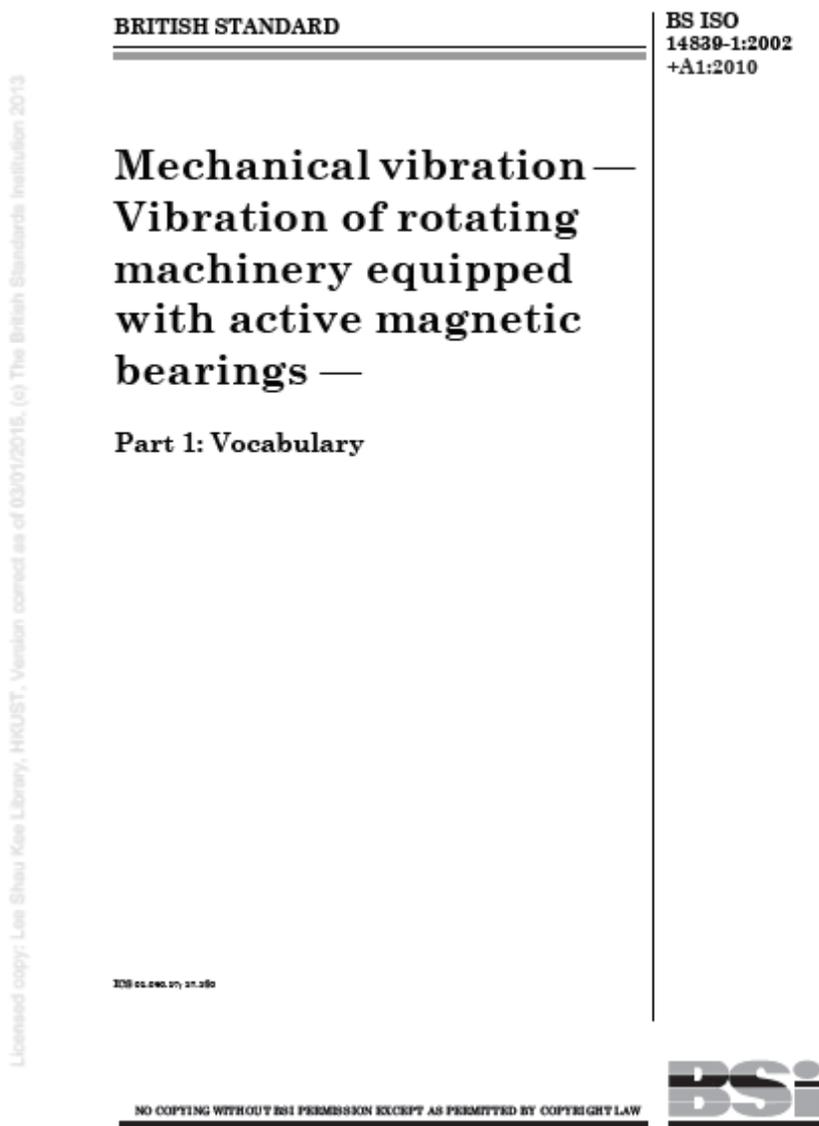


Figura 67 . BS ISO 14839-1:2002+A1:2010 Vibración de rotación maquinaria equipada con rodamiento magnético activos .Parte 1: Vocabulario

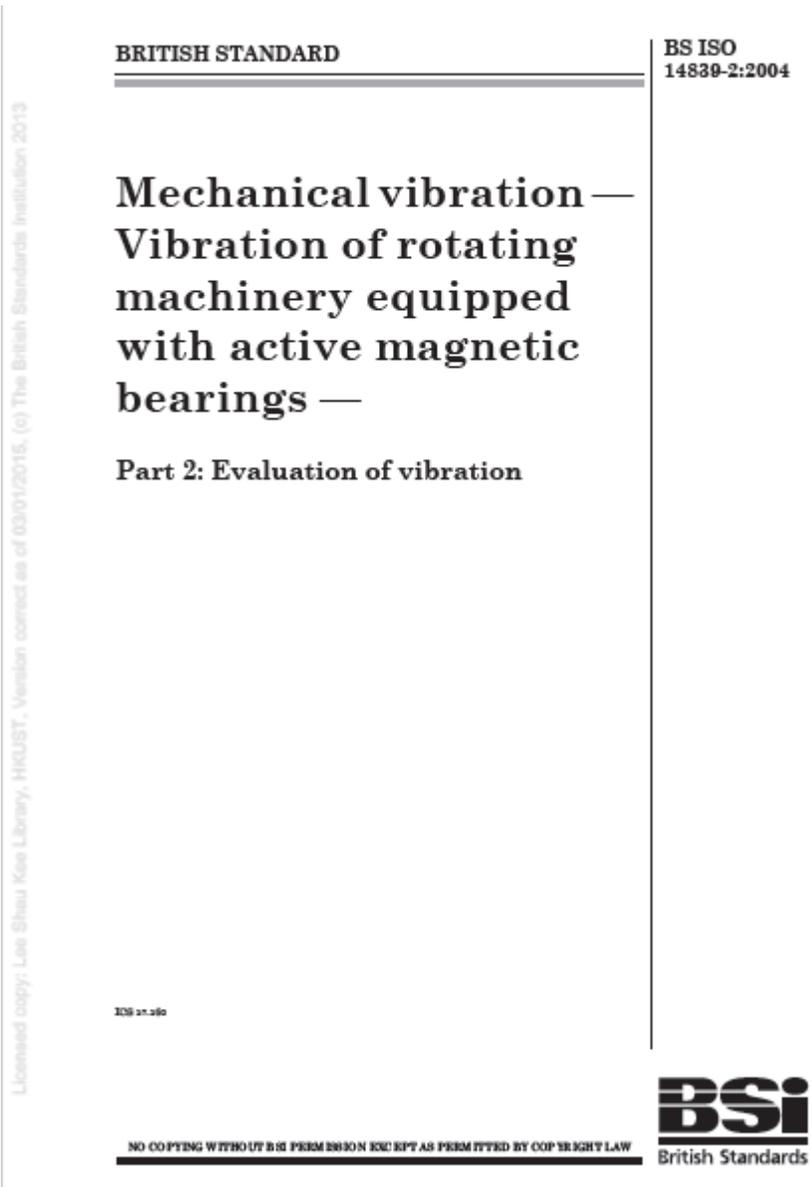


Figura 68. BS ISO 14839-2:2004 Vibración mecánica - Vibración de rotación maquinaria equipada con rodamiento magnético activos .Parte 2: Evaluación de vibración.

BRITISH STANDARD

BS ISO
14839-3:2006

Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings —

Part 3: Evaluation of stability margin

ICS 11.300

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW

BSi
British Standards

Figura 69. BS ISO 14839-3:2006 Vibración mecánica - Vibración de rotación maquinaria equipada con rodamiento magnético activos **.Parte 3: Evaluación del margen de estabilidad**



Mechanical vibration
— Vibration of rotating
machinery equipped with
active magnetic bearings
Part 4: Technical guidelines

bsi.

...making excellence a habit™

Figura 70: BS ISO 14839-4:2012 Vibración mecánica - Vibración de rotación maquinaria equipada con rodamiento magnético activos Parte 4: Lineamientos técnicos

ANEXO N°10: Fichas Técnicas

Model Number 603C01	INDUSTRIAL ICP® ACCELEROMETER		Revision: H ECN #: 25657	
Performance	ENGLISH	SI	OPTIONAL VERSIONS	
Sensitivity(± 10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s²)	Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.	
Measurement Range	± 50 g	± 490 m/s²	EX - ATEX or ATEX and CSA Hazardous Area Approval	
Frequency Range(± 3 dB)	30 to 600,000 cpm	0.5 to 10,000 Hz	Hazardous Area Approval EEx ia IIC T4, -40°C to +121°C, II 1 G	
Resonant Frequency	1500 kcpm	25 kHz	Hazardous Area Approval CI I, Div I, Groups A, B, C, D, CI II, Div I, Groups E, F, G, CI III, Div I	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	350 µg	3434 µm/s²	Hazardous Area Approval Exia IIC T4, AExia IIC, T4	
Non-Linearity	± 1 %	± 1 %	Hazardous Area Approval CI I, Div 2, Groups A, B, C, D, ExnL IIC T4, AExnA IIC T4	
Transverse Sensitivity	≤ 7 %	≤ 7 %	Hazardous Area Approval EEx nL IIC T4, -40°C to +121°C, II 3 G	
Environmental			M - Metric Mount	
Overload Limit(Shock)	5000 g pk	49,050 m/s² pk	Supplied Accessory : Model M081A61 Mounting Stud 1/4-28 to M6 X 1 (1)	
Temperature Range	-65 to +250 °F	-54 to +121 °C	TO - Temperature Output	
Temperature Response	See Graph	See Graph	Temperature Output Range	
Enclosure Rating	IP68	IP68	Temperature Output Range	
Electrical			Temperature Scale Factor	
Settling Time(within 1% of bias)	≤ 2.0 sec	≤ 2.0 sec	Temperature Scale Factor	
Discharge Time Constant	≥ 0.3 sec	≥ 0.3 sec	Electrical Connector	
Excitation Voltage	18 to 28 VDC	18 to 28 VDC	Electrical Connections(Pin A)	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	Electrical Connections(Pin B)	
Output Impedance	<150 ohm	<150 ohm	Electrical Connections(Pin C)	
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC	Temperature Output	
Spectral Noise(10 Hz)	8 µg/√Hz	78.5 (µm/s²)/√Hz	Size - Height	
Spectral Noise(100 Hz)	5 µg/√Hz	49.1 (µm/s²)/√Hz	Weight	
Spectral Noise(1 kHz)	4 µg/√Hz	39.2 (µm/s²)/√Hz		
Electrical Isolation(Case)	>10⁸ ohm	>10⁸ ohm		
Physical				
Size (Hex x Height)	11/16 in x 1.65 in	18 mm x 42.2 mm		
Weight	1.8 oz	51 gm		
Mounting Thread	1/4-28 Female	No Metric Equivalent		
Mounting Torque	2 to 5 ft-lb	2.7 to 6.8 N-m		
Sensing Element	Ceramic	Ceramic		
Sensing Geometry	Shear	Shear		
Housing Material	Stainless Steel	Stainless Steel		
Sealing	Welded Hermetic	Welded Hermetic		
Electrical Connector	2-Pin MIL-C-5015	2-Pin MIL-C-5015		
Electrical Connection Position	Top	Top		
<p>Notes:</p> <p>[1] Typical.</p> <p>[2] Conversion Factor 1g = 9.81 m/s².</p> <p>[3] The high frequency tolerance is accurate within ±10% of the specified frequency.</p> <p>[4] Zero-based, least-squares, straight line method.</p> <p>[5] 1/4-28 has no equivalent in S.I. units.</p> <p>[6] See PCB Declaration of Conformance PS023 or PS060 for details.</p>				
<p>SUPPLIED ACCESSORIES:</p> <p>Model 081A40 Mounting Stud</p> <p>Model ICS-2 NIST-traceable single-axis single-point amplitude response calibration at 6000 cpm (100 Hz) (1)</p>				
Entered:	Engineer:	Sales:	Approved:	Spec Number:
Date: 1/29/07	Date: 1/31/07	Date: 1/31/07	Date: 1/31/07	13145
<p>IMI SENSORS</p> <p>A PCB PIEZOTRONICS DIV.</p> <p>3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043</p>			<p>Phone: 800-959-4464</p> <p>Fax: 716-684-3823</p> <p>E-Mail: imi@pcb.com</p>	

Figura 71. Ficha técnica del Acelerómetro I, 100m V/G

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

Table 1. NI offers chassis with a breadth of bus, size, and rugged options to meet different application requirements.

Models	Bus Connectivity	Slot Count	TSN Synchronization Enabled	Built-In Trigger	Operating Temperature Range
cDAQ-9171	USB 2.0	1			-20 °C to 55 °C
cDAQ-9174	USB 2.0	4		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9178	USB 2.0	8		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9179	USB 3.0	14		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9181	Ethernet	1			0 °C to 55 °C
cDAQ-9185	Ethernet	4	•	•	-40 °C to 70 °C
cDAQ-9189	Ethernet	8	•	•	-40 °C to 70 °C
cDAQ-9191	Wi-Fi	1			0 °C to 55 °C

Detailed View of cDAQ-9189

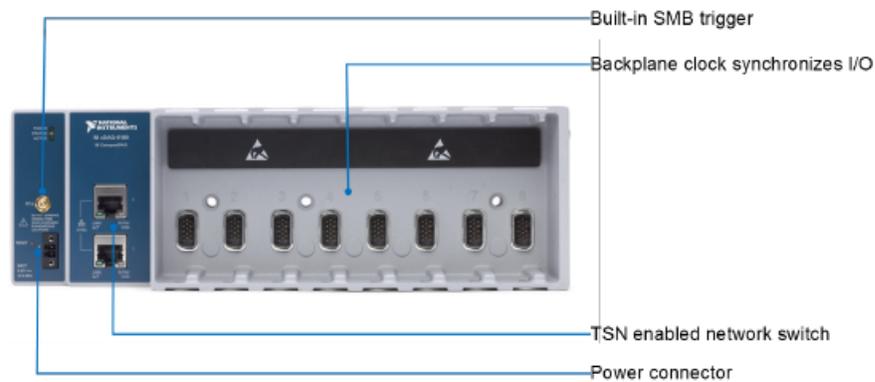


Figura 72. Ficha técnica del Chasis cdaq-9171

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

SPECIFICATIONS

Sensor heads

Item	Type Model No.	Non-threaded type			Threaded type		
		For 0.8 mm 0.031 in sensing	For 1 mm 0.039 in sensing	For 2 mm 0.079 in sensing	For 2 mm 0.079 in sensing	For 5 mm 0.197 in sensing	For 10 mm 0.394 in sensing
		GP-X3SE	GP-X5SE	GP-X8S	GP-X10M	GP-X12ML	GP-X22KL
Sensing range (Note 2)		0 to 0.8 mm 0 to 0.031 in	0 to 1 mm 0 to 0.039 in	0 to 2 mm 0 to 0.079 in	0 to 2 mm 0 to 0.079 in	0 to 5 mm 0 to 0.197 in	0 to 10 mm 0 to 0.394 in
Standard sensing object		Stainless steel (SUS304) / Iron sheet [Cold rolled carbon steel (SPCC)] 80 x 80 x t 1 mm 2.382 x 2.382 x t 0.039 in					
Temperature characteristics (Note 3)		0.07 % F.S./°C or less					
Environmental resistance	Pollution degree	3 (Industrial environment)					
	Protection	IP67 (IEC), IP67G (Note 6)					
	Ambient temperature	-10 to +55 °C +14 to +131 °F, Storage: -20 to +70 °C -4 to +158 °F					
	Ambient humidity	35 to 85 % RH, Storage: 35 to 85 % RH					
	Voltage withstandability	250 V AC for one min. between all supply terminals connected together and enclosure					
	Insulation resistance	20 MΩ, or more, with 250 V DC megger between all supply terminals connected together and enclosure					
	Vibration resistance	10 to 150 Hz frequency, 0.75 mm 0.030 in amplitude in X, Y and Z directions for two hours each					
Material	Shock resistance	500 m/s ² acceleration (50 G approx.) in X, Y and Z directions five times each					
	Enclosure	Stainless steel (SUS303)			Brass (Nickel plated)		
	Cable protector	PP					
	Sensing part	ABS	PAR	ABS	PA		
Cable		High frequency coaxial cable with connector, 3 m 9.843 ft long (Note 4)					
Cable extension		Extension up to total 10 m 32.808 ft is possible with the optional cable.					
Net Weight (Note 5)		40 g approx.	40 g approx.	40 g approx.	50 g approx.	45 g approx.	80 g approx.
Accessories		Nut: 2 pcs., Toothed lock washer: 1 pc.					

- Notes: 1) Where measurement conditions have not been specified precisely, the conditions used were an ambient temperature of +20 °C +68 °F.
 2) The sensing range is specified for the standard sensing object.
 3) This value represents 20 to 80 % of the maximum sensing distance when combining the sensor head and the controller.
 4) For the flexible cable type, please contact our office.
 5) The given weight of the threaded type sensor head is the value including the weight of the nuts and the toothed lock washer.
 6) If using the sensor in an environment where cutting oil droplets splatter, the sensor may be deteriorated due to added substances in the oil. Please check the resistivity of the sensor against the cutting oil you are using beforehand.

BCD output unit

Item	Model No. GP-XBCD
Current consumption	20 mA or less
Outputs (5 digits BCD, Polarity indication, VALID)	N-channel MOSFET open drain <ul style="list-style-type: none"> • Maximum sink current: 50 mA • Applied voltage: 30 V DC or less (between output and GND) • Residual voltage: 1 V or less (at 50 mA sink current)
Hold input	Non-voltage contact or NPN open-collector transistor input <ul style="list-style-type: none"> • Low: 0 to 1 V • High: Open
Material	Enclosure: ABS
Weight	Net weight: 30 g approx.
Accessory	Mounting bracket [Stainless steel (SUS304)]: 1 pc.

Controller communication unit

Item	Model No. GP-XCOM
Current consumption	5 mA or less
Material	Enclosure: ABS
Weight	Net weight: 20 g approx.
Accessory	Mounting bracket [Stainless steel (SUS304)]: 1 pc.

Note: Each GP-XCOM is connected using a link cable for controller communication units (SL-F□, optional).
 When GP-XCOM is used, controllers cannot communicate if their software versions are not compatible (Ver. 1.06 or earlier version with Ver 2.00 or later version).
 Check the software version and use the correct combination.

Figura 73. Ficha técnica del Sensor GP-X3SE y Controlador GP-XCOM

Fuente: (AUTOMATION CONTROLS, 2018)

- FIBER SENSORS
- LASER SENSORS
- PHOTO-ELECTRIC SENSORS
- MICRO PHOTO-ELECTRIC SENSORS
- AREA SENSORS
- DEPTH LIGHT CURTAIN / SAFETY COMPONENTS
- PRESSURE / FLOW SENSORS
- INDUCTIVE PROXIMITY SENSORS
- PARTICULAR USE SENSORS
- SENSOR DEVICES
- SMALL WIRE-LEAVING UNITS
- WIRE-LEAVING SYSTEMS
- MEASUREMENT SENSORS
- STATIC CONTROL DEVICES
- LASER MARKERS
- PLC
- HUMAN MACHINE INTERFACES
- ENERGY MANAGEMENT SOLUTIONS
- FA COMPONENTS
- MACHINE VISION SYSTEMS
- UV CURING SYSTEMS
- Selection Guide
- Laser Diode
- Visual Diode
- Control Diode

Models 412CE, 413CE, 421CE, 422CE, DC Brush Servo Amplifiers

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Test conditions: 25°C ambient, Load = 200µH. In series with 1 Ω, +HV = maximum normal value

MODEL	412	413	421	422
OUTPUT POWER				
Peak power	±20A @ ±80V	±30A @ ±80V	±10A @ ±170V	±20A @ ±170V
Peak time	1 sec at peak power or 2 secs. after polarity reversal			
Continuous power	±10A @ ±80V	±15A @ ±80V	±5A @ ±170V	±10A @ ±170V
OUTPUT VOLTAGE				
	Ro = 0.2	Ro = 0.15	±Vout = ±HV*(0.97) - (Ro)*(Io) Ro = 0.4	Ro = 0.2
LOAD INDUCTANCE				
Selectable with components on header socket: 200 µH to 40mH				
BANDWIDTH				
(Small signal, -3dB, freq)	Current mode: Voltage-feedback mode:	3kHz with 200µH load at maximum supply voltage, varies with load inductance and RH20, CH18 values 200Hz max.		
PWM SWITCHING FREQUENCY				
25kHz				
REFERENCE INPUT				
Differential, 100K between inputs, ±20V maximum				
GAINS				
Input differential amplifier	X1 (Volt / Volt)			
PWM transconductance stage	Ipeak / 6V (I peak = peak rated output current; 6V measured at Current Ref J2-9 or Current Monitor J2-8)			
LOGIC INPUTS				
Input voltage range	0 to +24V			
Logic threshold voltage (LO to HI transition)	2.5V (Schmitt trigger inputs with hysteresis)			
/Enable (S1 off, S1 on reverses logic)	LO enables amplifier, HI disables (50ms delay to enable, <1ms to disable)			
/POS enable, /NEG enable (S1 off, S1 on reverses logic)	LO enables POSitive/NEGative output currents, HI inhibits (<1ms delay)			
/Reset	LO resets latching fault condition, ground for self-reset every 50 ms.			
Input resistance	10K pull-up to +5V, R-C filters to internal logic			
DIP SWITCHES				
S1: Enab LO/HI	S1 OFF: ground enables, open or +5V inhibits (/Enable, /Pos & /Neg enable)			
	S1 ON : open or +5V enables, ground inhibits (/Enable, /Pos & /Neg enable)			
S2: Integrator ON/OFF	S2 ON: torque mode (integrator off, flat-gain), OFF: velocity mode (integrator on, tachometer mode)			
POTS				
Ref Gain	Attenuates Ref input from x1 to 0; controls overall amplifier gain (amps / volt, rpm / volt, or volts / volt)			
Tach Gain	Tach feedback gain: sets basic rpm / volt ratio; also used as IR comp feedback control			
Loop Gain	Servo preamp DC gain: increases amps / volt gain in torque mode; controls bandwidth in velocity mode			
Integ Freq	Integrator frequency control: not used in torque mode; controls stiffness and speed stability in velocity mode			
Balance/Test	Use to set output current or rpm to zero. RH9 = 10 MΩ for Balance function, RH8 = 100kΩ for Test function			
LOGIC OUTPUTS				
+Fault (Normal)	HI = Overtemp OR output short OR power NOT-OK, OR NOT-Enabled; LO = Operating normally AND enabled;			
HI output voltage	2.4V min at -5.2 mA max., +6V maximum			
LO output voltage	0.5V max at 5.2 mA max.			
INDICATORS (LED's)				
Normal	Green: ON = Amplifier Enabled AND Normal (power OK, no output shorts, no overtemp)			
Power OK	Green: ON = Power OK (+HV >22V AND (+HV <32V for 41x, <185V for 42x, <230V for 432))			
Fault	Red: ON = Output short-circuit or over-temperature condition			
MONITOR OUTPUTS				
Current Monitor (motor or load current)	±6V @ ±Ipeak (1kΩ, 33nF R-C filter)			
Current Ref (current demand signal to pwm stage)	±6V @ demands ±Ipeak			
Voltage Monitor (load voltage at output terminals)	Vout / 10 (412, 413), Vout / 20 (421, 422, 423, 432), Bandwidth = 200 Hz			
DC POWER OUTPUTS				
±5VDC @ ±5 mA				
PROTECTIVE FEATURES				
Output short circuit (output to output, output to ground)	Latches unit OFF**			
Overtemperature	Latches unit OFF at 70°C on heatplate **			
Undervoltage shutdown @ <22V	<22V	<22V	<22V	<22V
Overvoltage shutdown @ >92V	>92V	>92V	>185V	>185V
** Latching faults will self-reset when power is cycled off/on and every 50ms if /Reset input is wired to ground				
POWER REQUIREMENTS				
DC power (+HV)	24-80VDC (412, 413), 24-180VDC (421, 422, 423), 24-225VDC (432) Transformer isolated from power mains			
Watts minimum	2.5W	2.7W	2.5W	3W
Watts @ Icont	25W	41W	20W	54W
THERMAL REQUIREMENTS				
Storage temperature range: -30 to +85°C; operating temperature range: 0 to 70°C baseplate temperature				
Thermal resistance (baseplate to ambient): 2.7°C/W (no heatsink, no fan), 1.6°C/W (heatsink no fan), 1°C/W (no heatsink + fan), 0.4°C/W (heatsink + fan)				
Notes: 1. Heatsink optional (add "H" to model number) 2. Fan = forced air over unit @ 400 linear feet/minute				
MECHANICAL				
Amplifier case size	3.28 x 5.09 x 1.43 in. (83.3 x 129.3 x 36.3 mm.)			
Heatsink	Adds 1.50 in. (38.1 mm) to amplifier 1.43 in. dimension. Same length as amp.			
Weight	0.59 lb (0.27 kg.) for amplifier alone; heatsink adds 0.78 lb. (0.35 kg)			
CONNECTORS				
J1 (Power & motor): 5 position compression-connector; Phoenix MKDS 3; maximum wire gauge AWG 12 (4 mm ² solid or 2.5 mm ² stranded) wire.				
J2 (signal): Molex 22-01-3187 housing with 08-50-0114 pins (16 required)				



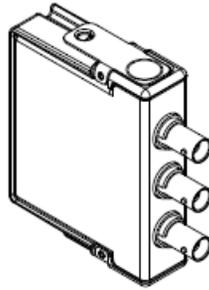
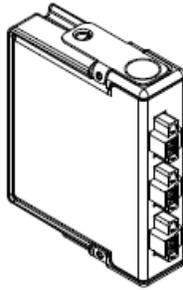
Figura 74. Ficha técnica del Amplificador de Potencia

Fuente: (Controls, 2015)

DATASHEET

NI 9230

3 AI, ± 30 V, 24 Bit, 12.8 kS/s/ch Simultaneous



- Screw-terminal or BNC connectivity
- Software-selectable AC/DC coupling
- Software-selectable IEPE signal conditioning (0 mA or 4 mA)
- Smart TEDS sensor compatibility
- 60 VDC, CAT I, channel-to-earth isolation

The NI 9230 is a 3-channel C Series dynamic signal acquisition module for making industrial measurements from integrated electronic piezoelectric (IEPE) and non-IEPE sensors with NI CompactDAQ or NI CompactRIO systems.

	Kit Contents	<ul style="list-style-type: none">• NI 9230• NI 9230 Getting Started Guide
	Accessories	<p>Required</p> <ul style="list-style-type: none">• EMI suppression ferrite (782802-01) (for screw terminal) <p>Recommended</p> <ul style="list-style-type: none">• NI 9971 Backshell Kit (for screw terminal)



Figura 75. Ficha técnica del NI-9230

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f.)

Ficha técnica

Fuente de alimentación conmutada DC12V/360W/30A

LED BOX®



Fuente de alimentación conmutada DC12V/360W/30A

Fuente de alimentación conmutada con voltaje de entrada seleccionable 110-AC ó 230V-AC, voltaje de salida ajustable $\pm 10\%$, dimensiones reducidas, refrigeración de la fuente por convección natural y protección contra sobrecargas y sobretensiones.

[Ver ficha online](#)



Figura 76. Ficha técnica de la fuente de poder Dc12V/360W/30A

Fuente: (Fuente de alimentación conmutada, 2018)

Datos técnicos

Conexión de red	
Rango de potencia y tensión	Monofásica, 200 a 240 V ± 10% 0,37 a 2,2 kW (0,5 a 3 CV) Trifásica, 200 a 240 V ± 10% 0,37 a 2,2 kW (0,5 a 3 CV) Trifásica, 380 a 480 V ± 10% 0,37 a 4 kW (0,5 a 5 CV)
Frecuencia	48 a 63 Hz
Conexión del motor	
Tensión	Trifásica, de 0 a $U_{máx}$
Frecuencia	0 a 500 Hz
Capacidad de carga continua (par constante a una temperatura ambiente máx. de 40 °C)	Intensidad de salida nominal I_{sn}
Capacidad de sobrecarga (a una temperatura ambiente máx. de 40 °C)	En uso en trabajo pesado: 1,5 x I_{sn} durante 1 minuto cada 10 minutos En arranque 1,8 x I_{sn} durante 2s
Frecuencia de conmutación	4 kHz
Por defecto	4 kHz
Seleccionable	4 a 16 kHz, con incrementos de 4 kHz
Tiempo de aceleración	0,1 a 1800 s
Tiempo de deceleración	0,1 a 1800 s
Frenado	Chopper de frenado integrado como estándar
Método de control del motor	Control escalar U/f
Límites ambientales	
Temperatura ambiente	-10 a 40 °C (14 a 104 °F), no se permite escarcha, 50 °C (122 °F) con un 10% de derrateo
Altitud	
Intensidad de salida	Intensidad nominal disponible de 0 a 1000 m (0 a 3281 ft) reducida un 1% cada 100 m (328 ft) por encima de 1000 a 2000 m (3281 a 6562 ft)
Humedad relativa	Por debajo del 95% (sin condensación)
Grado de protección	IP20 / armario NEMA 1 opcional
Color del armario	NCS 1502-Y, RAL 9002, PMS
Reactancias	
Reactancias de entrada CA	Opción externa. Para reducir la TDH en cargas parciales y cumplir con la norma EN 61000-3-2.
AC output chokes	Opción externa. Para obtener cables de motor más largos.
Conexiones de control programables	
Una entrada analógica	
Señal de tensión	0 (2) a 10 V, $R_{in} > 312$ k Ω
Señal de intensidad	0 (4) a 20 mA, $R_{in} = 100$ Ω
Valor de referencia del potenciómetro	10 V ± 1% max.
Resolución	10 mA, R < 10 k Ω
Precisión	0.1% ± 2%
Tensión auxiliar	24 V DC ± 10%, max. 200 mA
Cinco entradas digitales	12 a 24 V CC con alimentación interna o externa, PNP y NPN, serie de impulsos 0 a 16 kHz
Impedancia de entrada	2,4 k Ω
Una salida de relé	
Tipo	NO + NC
Tensión máxima de conmutación	250 V AC/30 V DC
Intensidad máxima de conmutación	0.5 A/30 V DC; 5 A/230 V AC
Intensidad máxima continua	2 A rms
Cumplimiento de normativas del producto	
Directiva Europea sobre Baja Tensión 2006/95/CE, con suplementos	
Directiva Europea sobre Maquinaria 2006/42/CE	
Directiva Europea CEM 2004/108/CE, con suplementos	
Sistema de control de calidad ISO 9001	
Sistema medioambiental ISO 14001	
Certificaciones UL, cUL, CE, C-Tick y GOST R	
Cumple la directiva RoHS	

Figura 77: Ficha técnica del Variador de Potencia ACS150

Fuente: (ABB, 2019)

ANEXO N°11: Selección del diámetro del alambre

Tabla 19: Selección del diámetro de alambre

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58

Fuente: (Valores normalizados cables A.W.G, s.f.)

ANEXO N°12: Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico en función del número de vueltas en la bobina

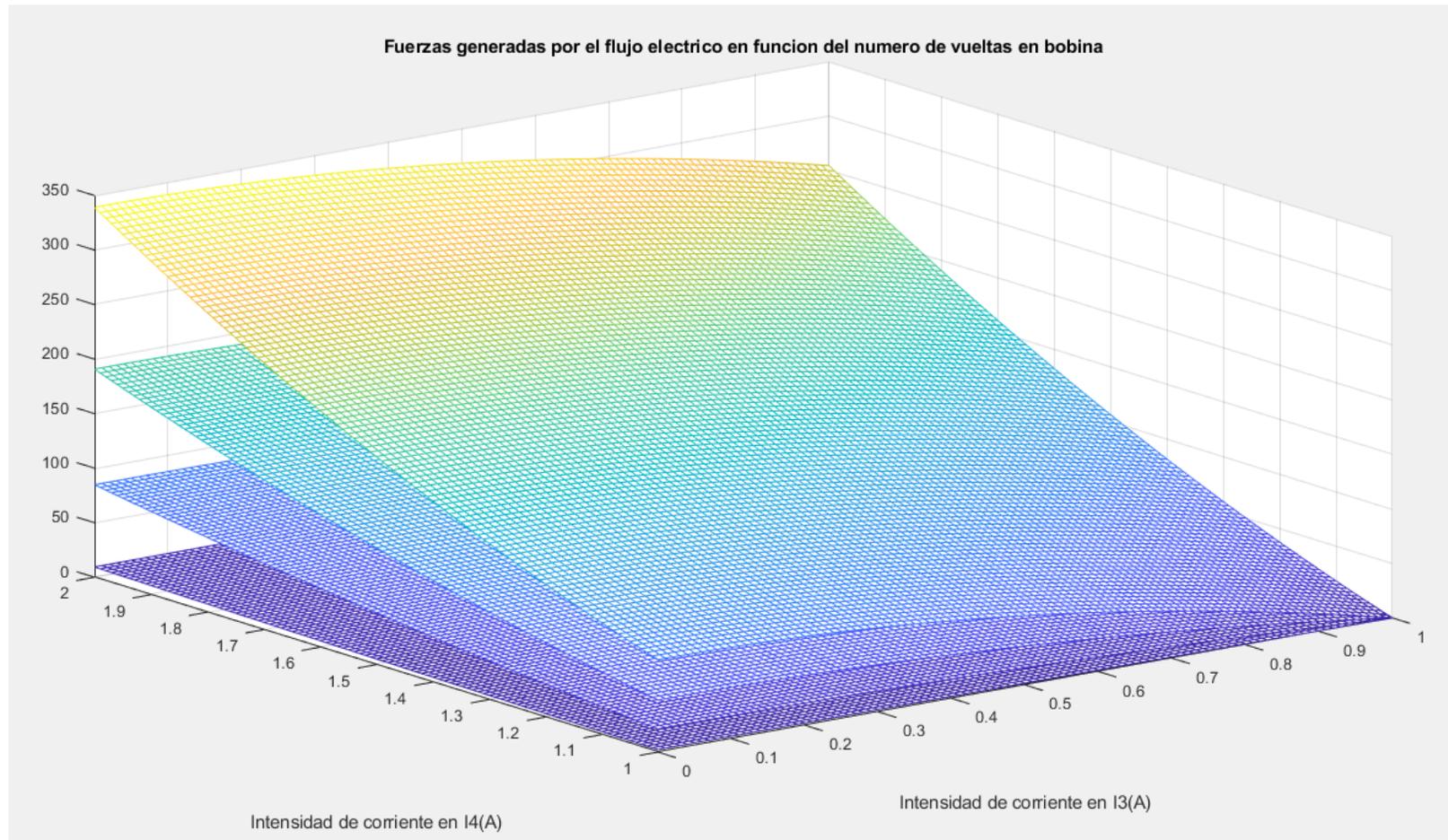


Figura 78. Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico en función del número de vueltas en la bobina

FUENTE: PROPIA

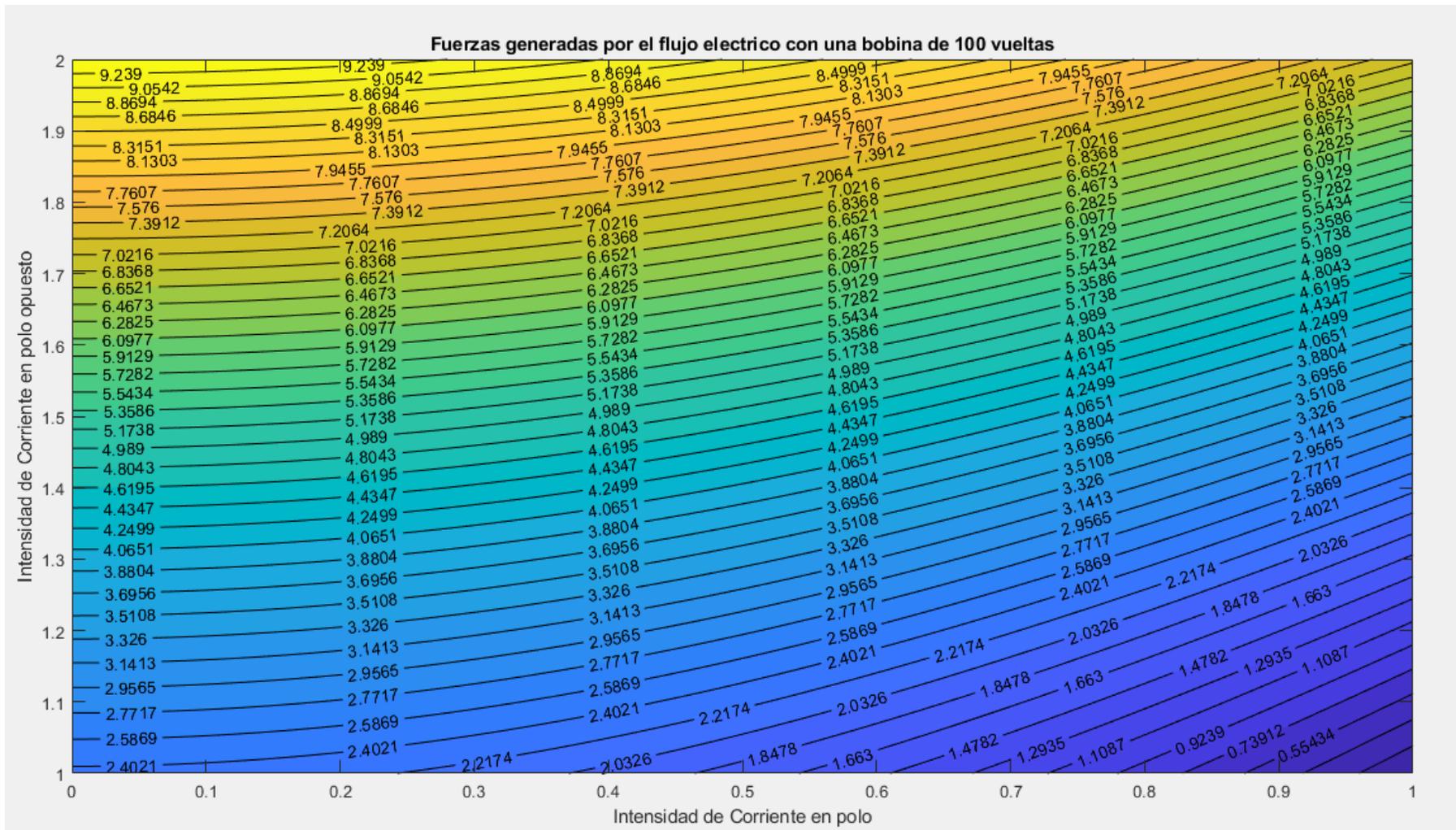


Figura 79. Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico con una bobina de 100 vueltas

FUENTE: PROPIA

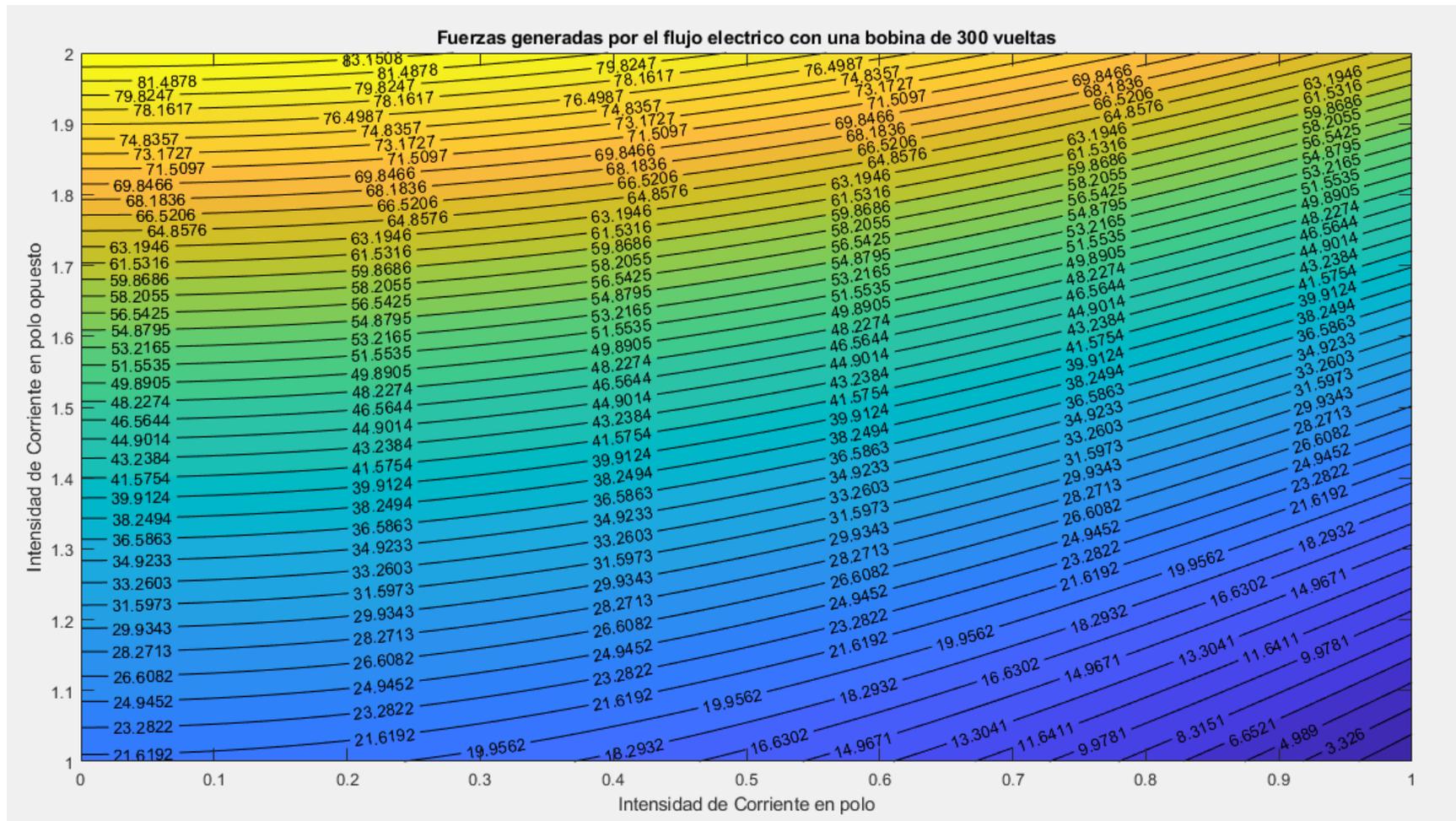


Figura 80: Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico con una bobina de 300 vueltas

FUENTE: PROPIA

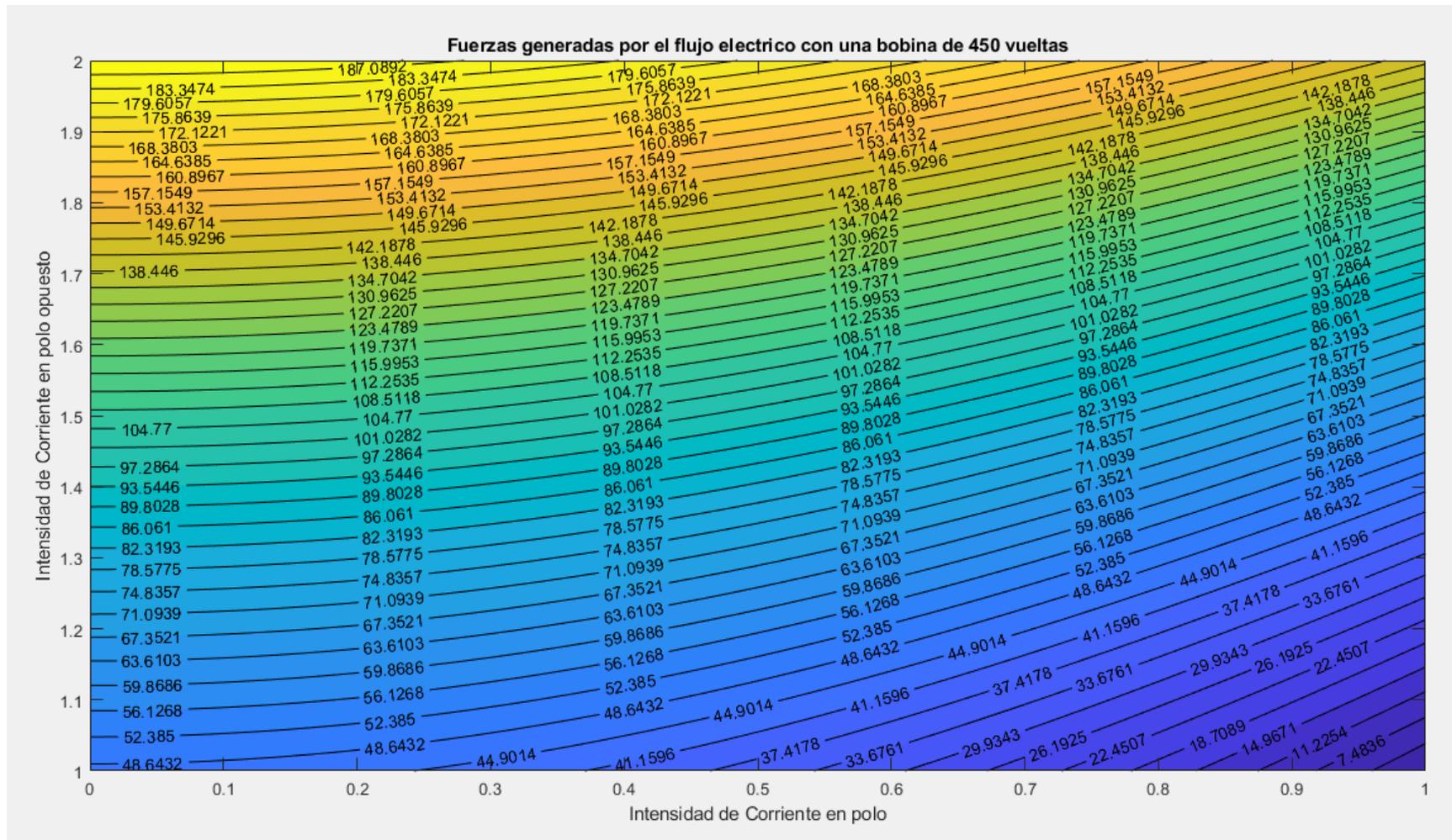


Figura 81: Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico con una bobina de 450 vueltas

FUENTE: PROPIA

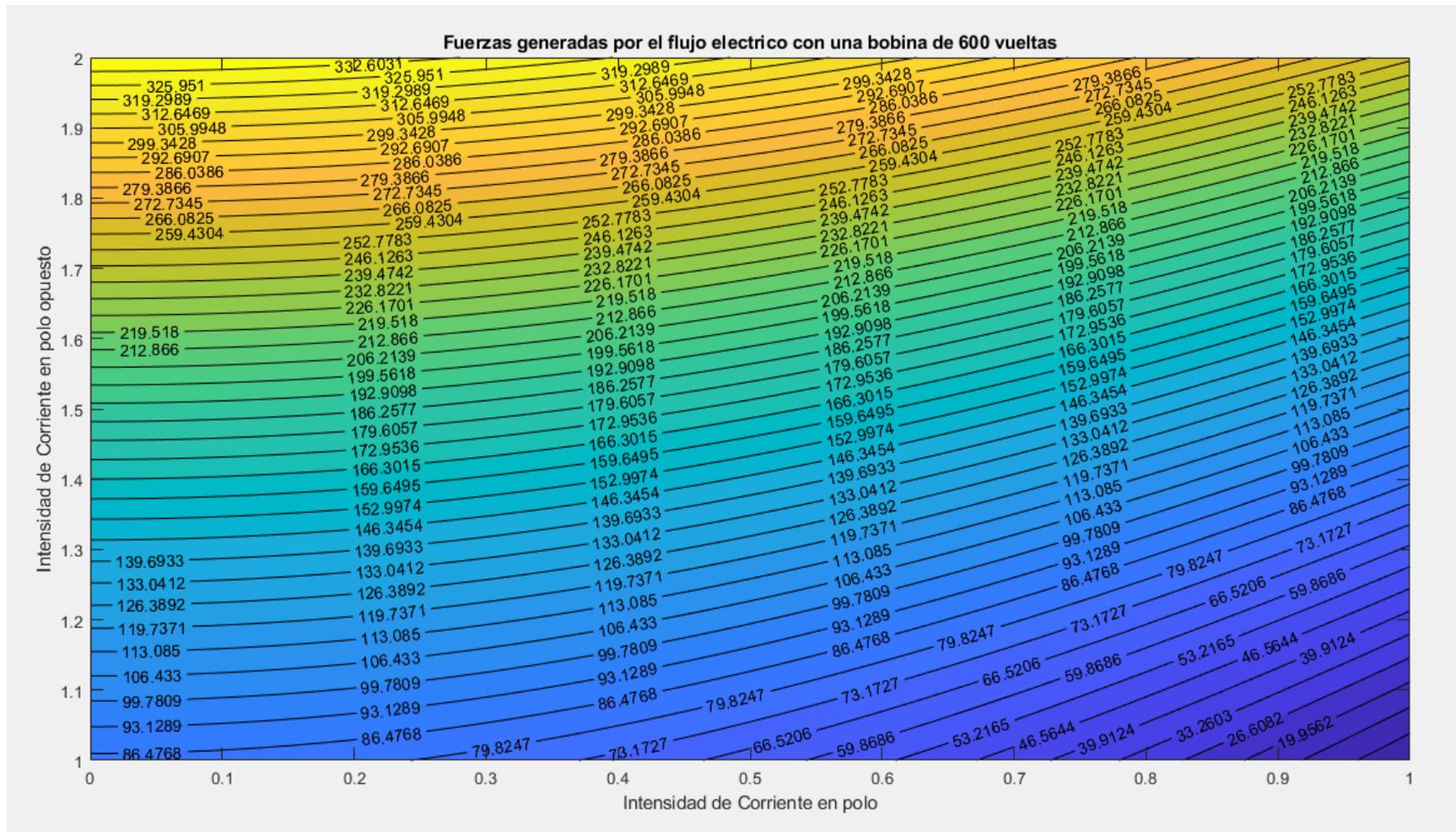


Figura 82: Fuerzas Generadas por el flujo eléctrico con una bobina de 600 vueltas

FUENTE: PROPIA

ANEXO N°13: PLANOS DEL BANCO DE ENSAYOS DE ROTORES CON RODAMIENTOS MAGNETICOS

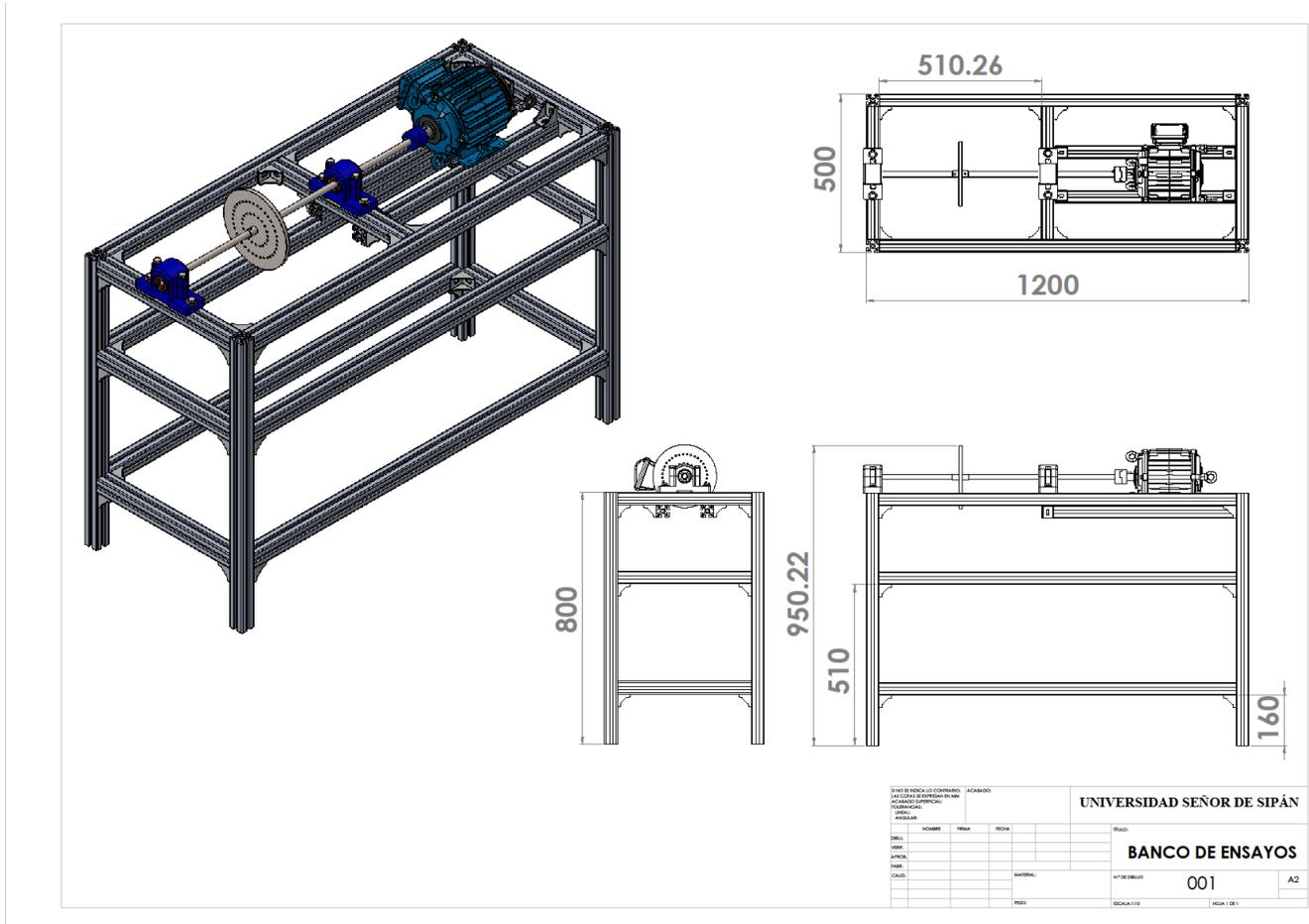


Figura 83: Vista General del Banco de Ensayos de rotores con Rodamientos Magnéticos

FUENTE: PROPI

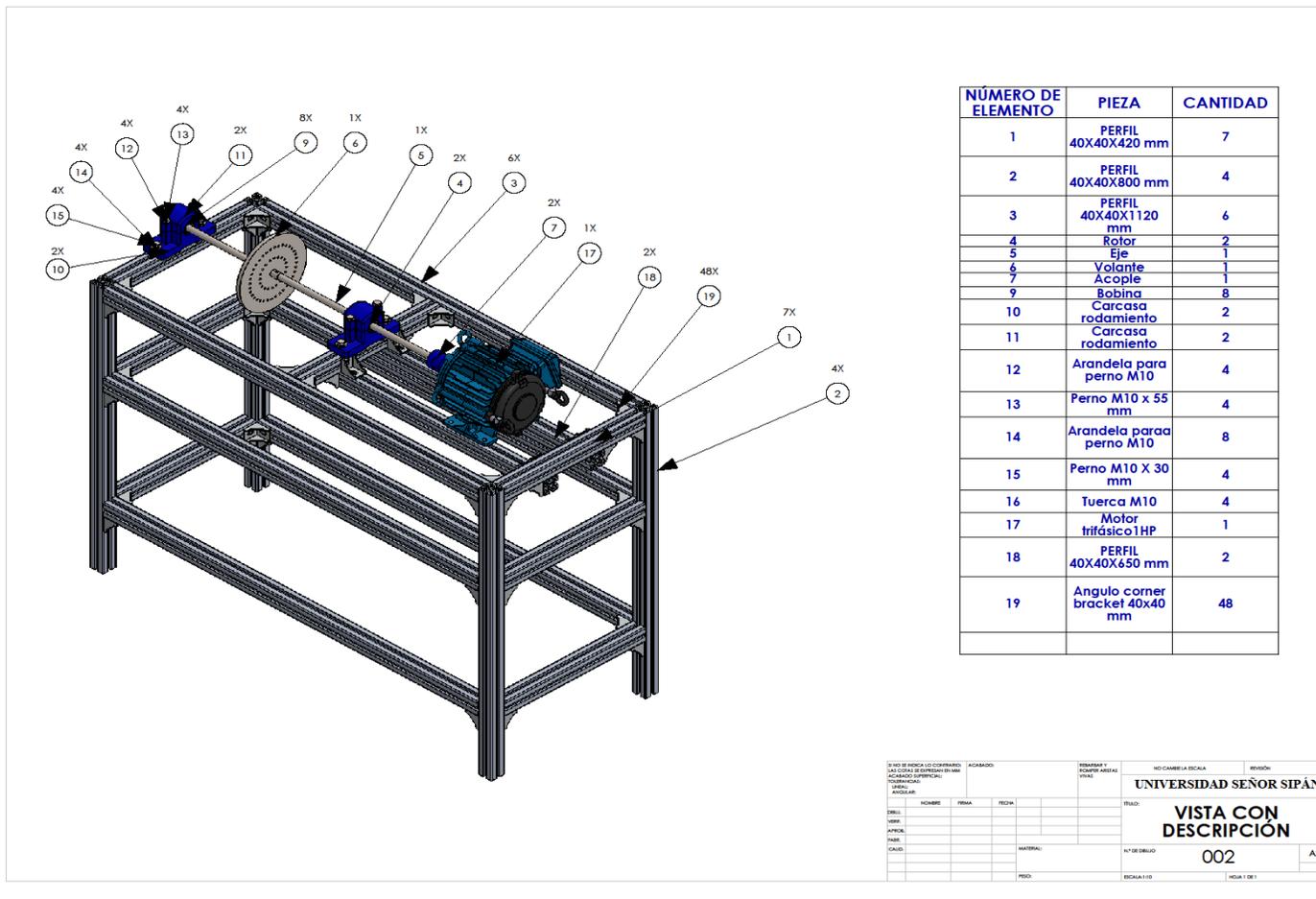


Figura 84. Vista con descripción de elementos del banco de ensayos de rotores con rodamientos magnéticos

FUENTE: PROPIA

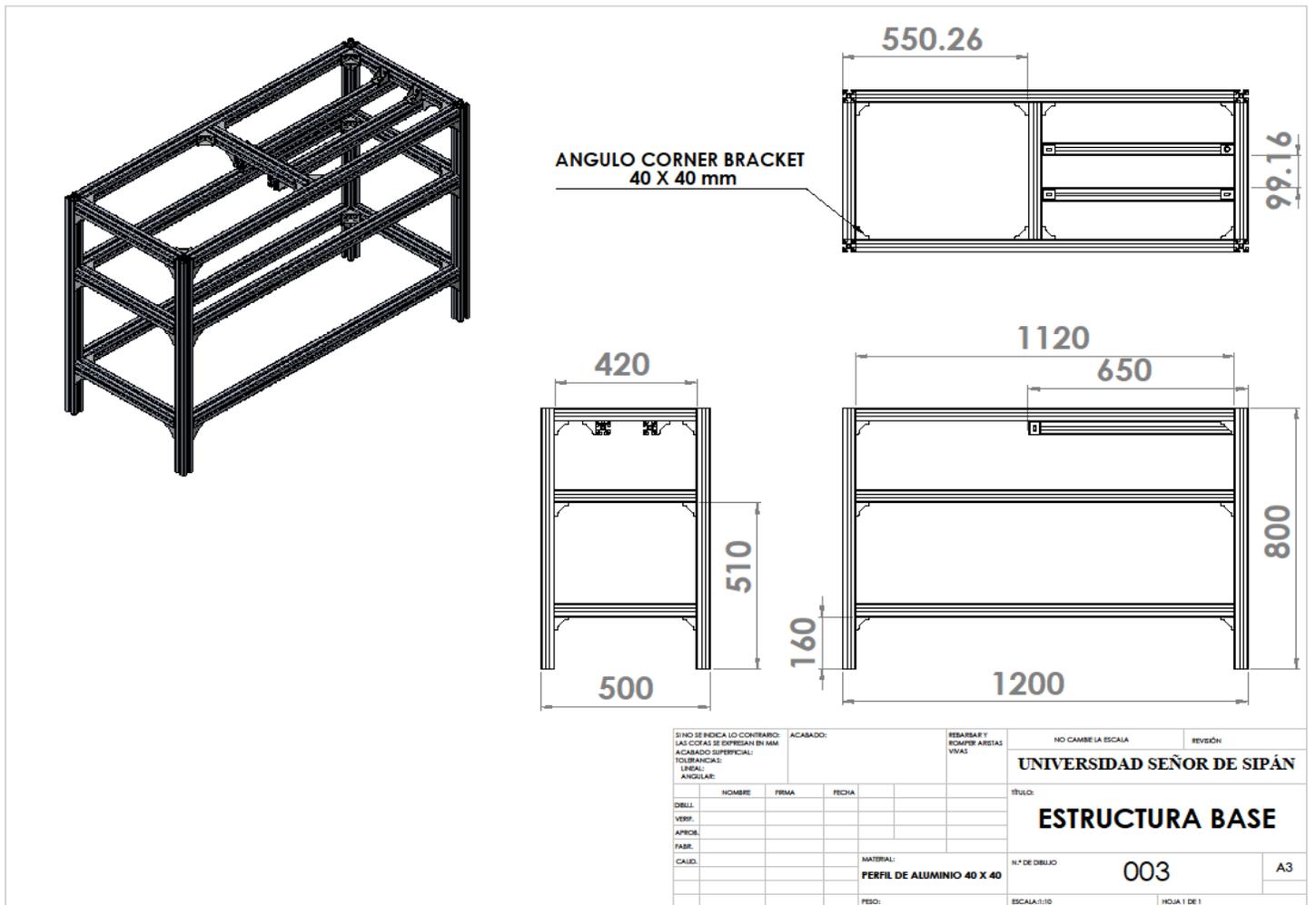
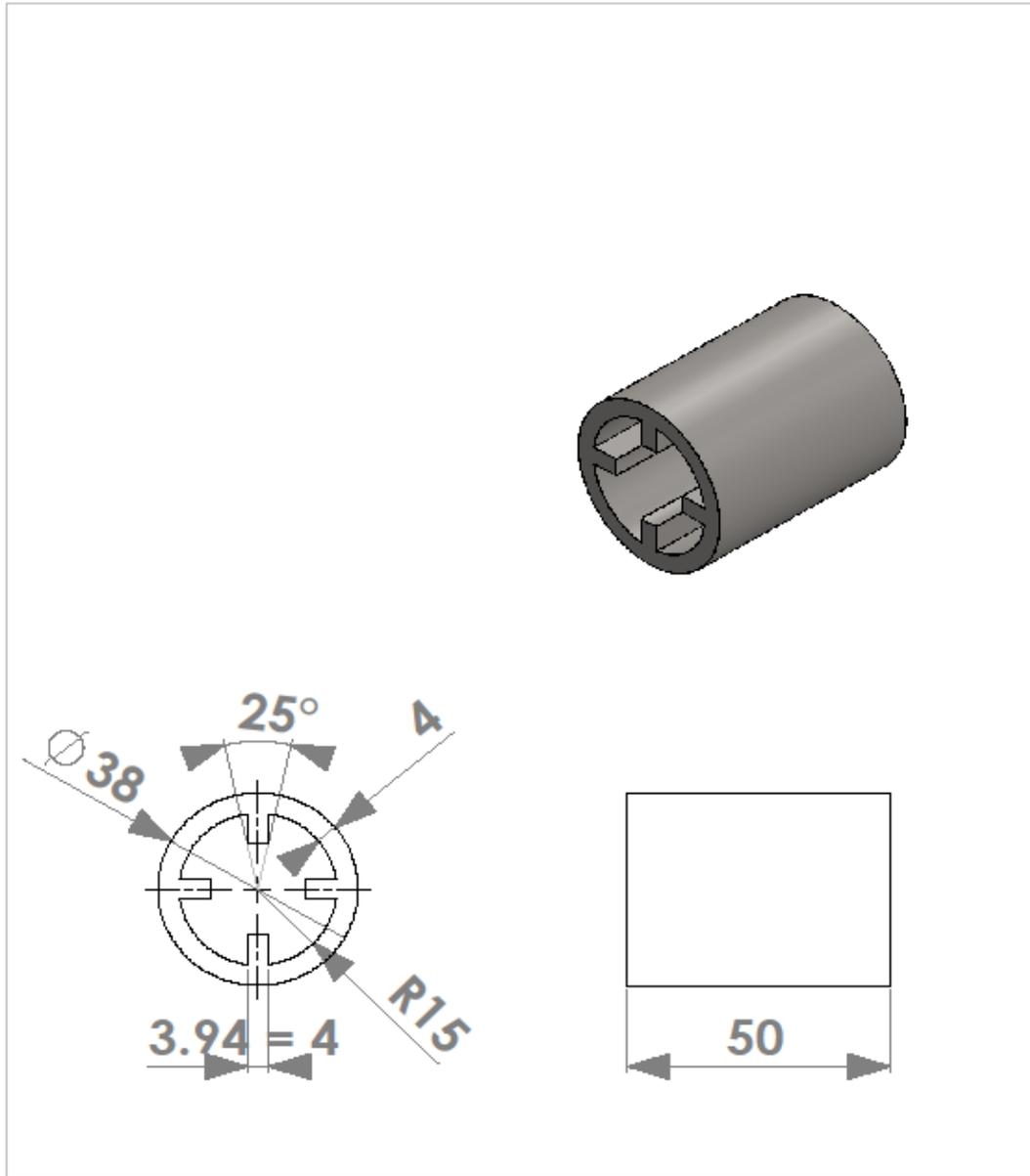


Figura 85. Vista de la Estructura Base

FUENTE: PROPIA



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	
						TÍTULO:	
						ESTATOR DEL RODAMIENTO	
NOMBRE: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	A4
				ACERO AL SILICIO		004	
				PESO:		ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

Figura 86. Estator del Rodamiento Magnético

Fuente: Propia

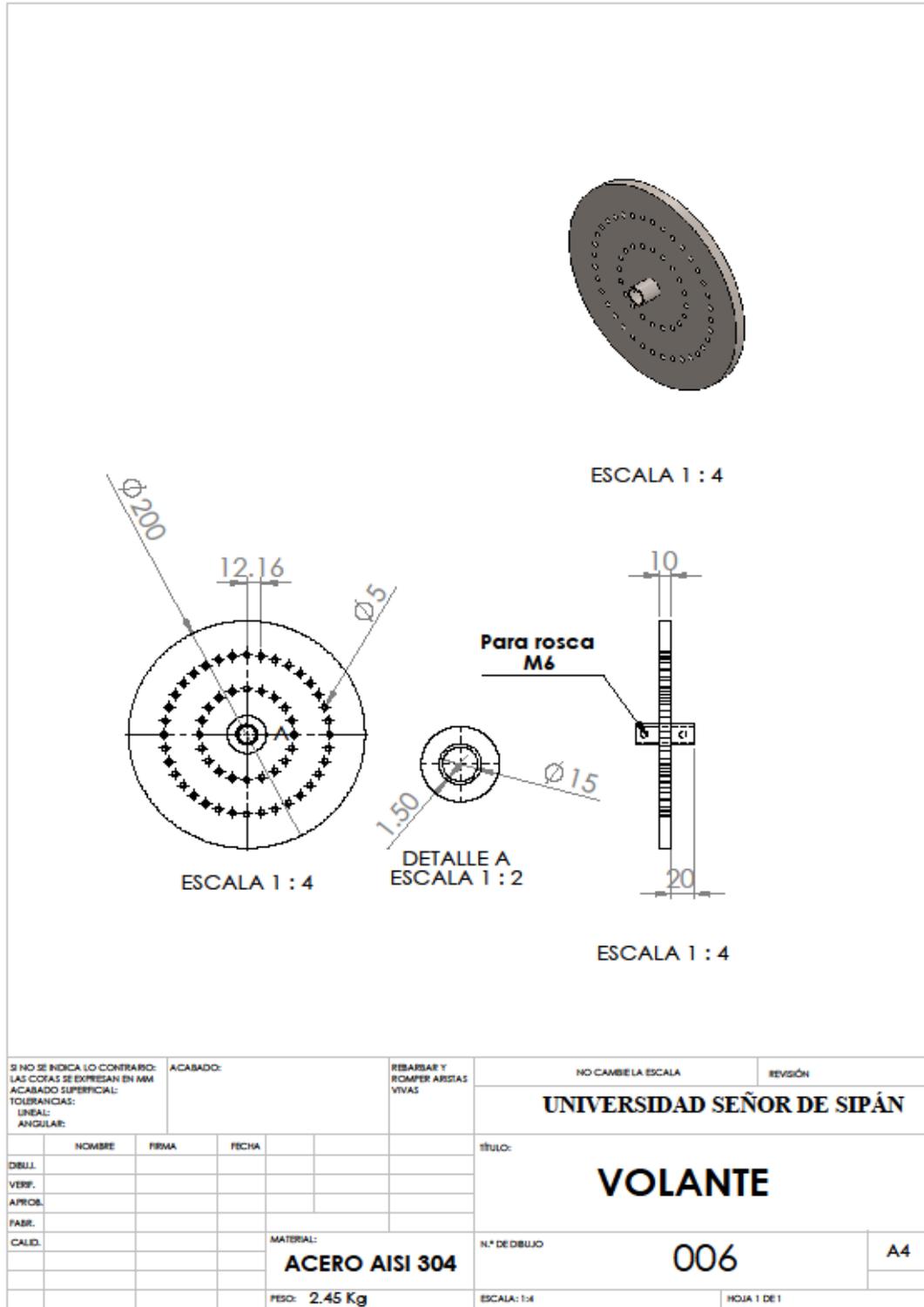


Figura 88. Volante del banco de ensayos

Fuente: Propia

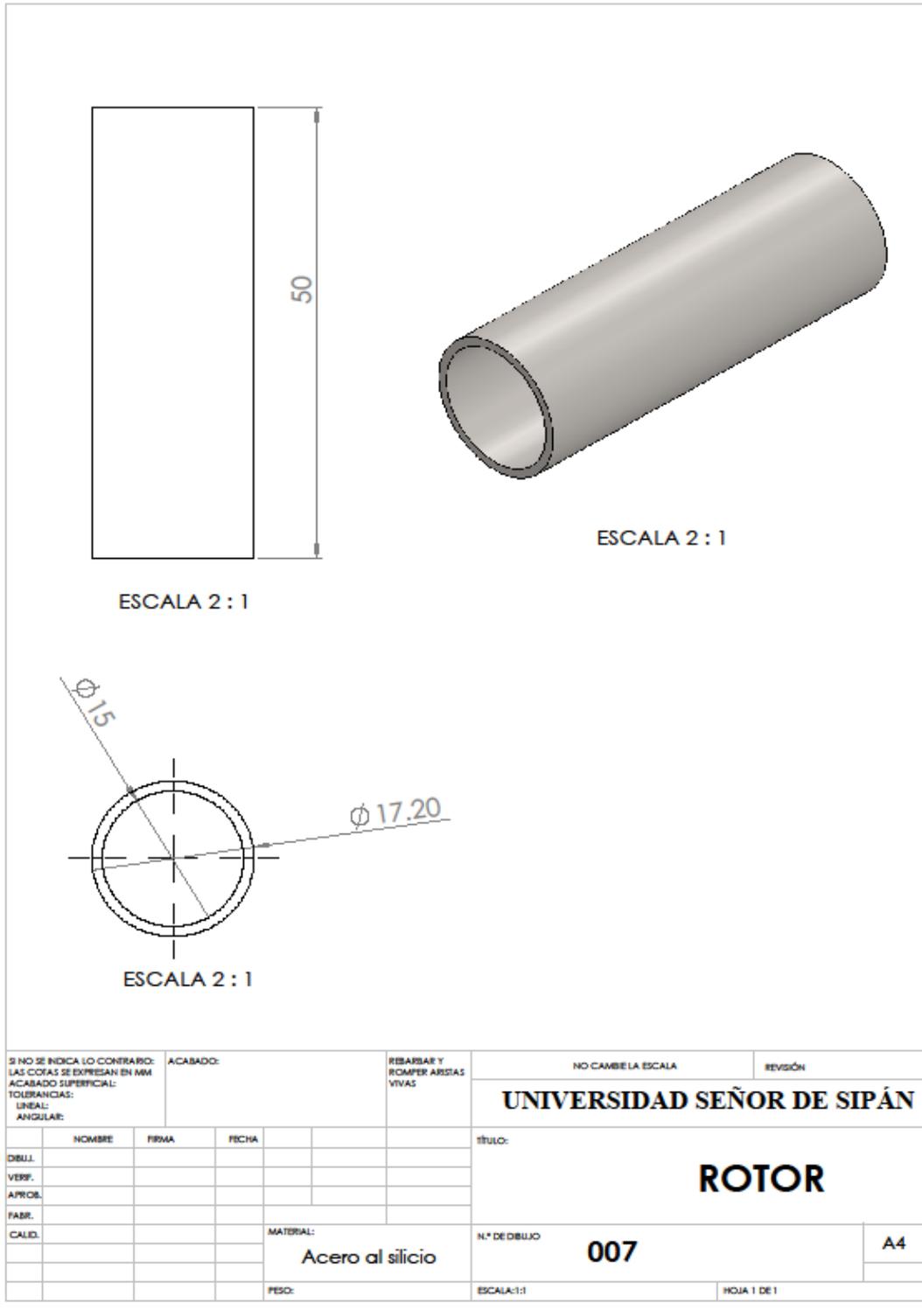


Figura 89. Rotor

Fuente: Propia

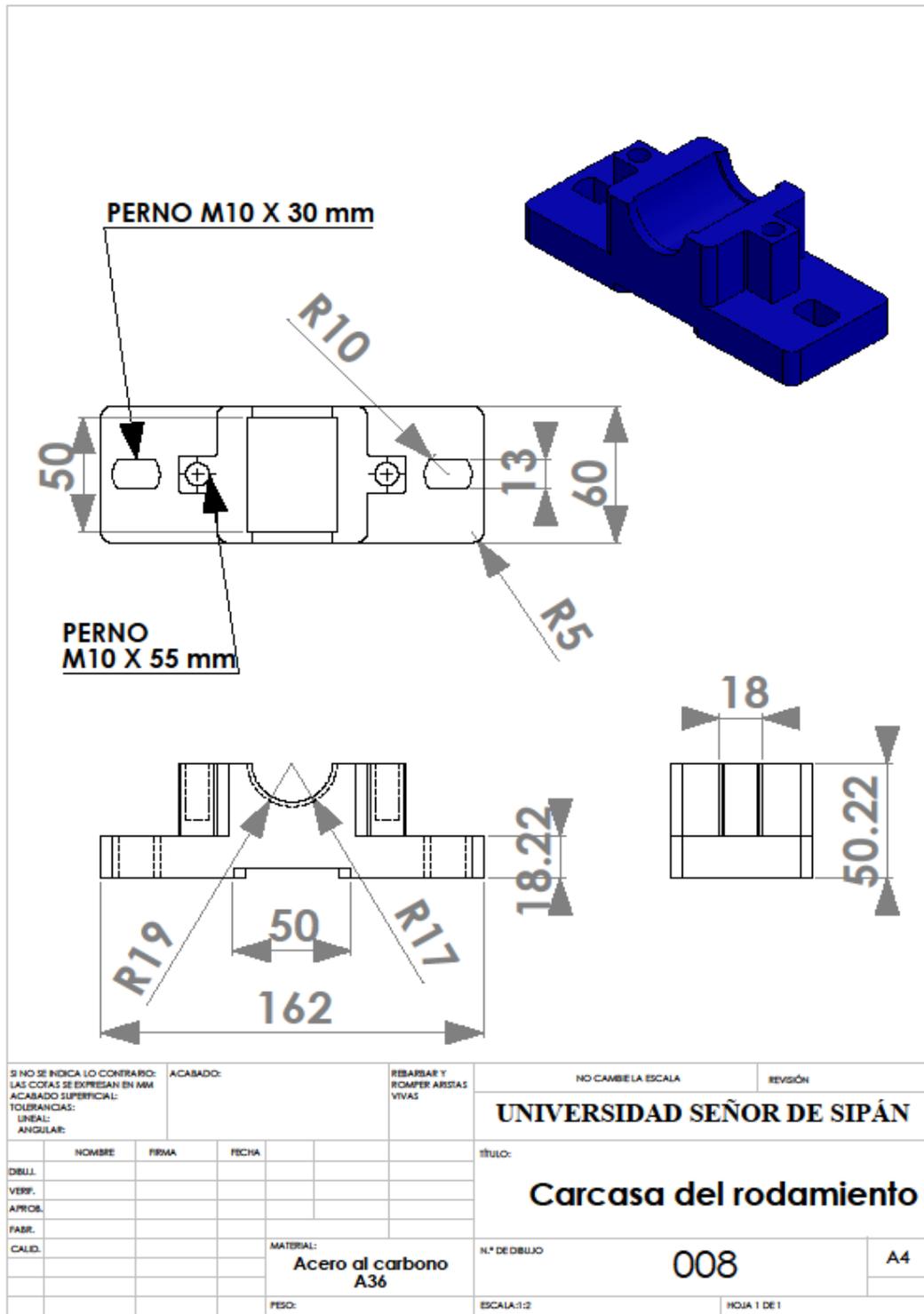
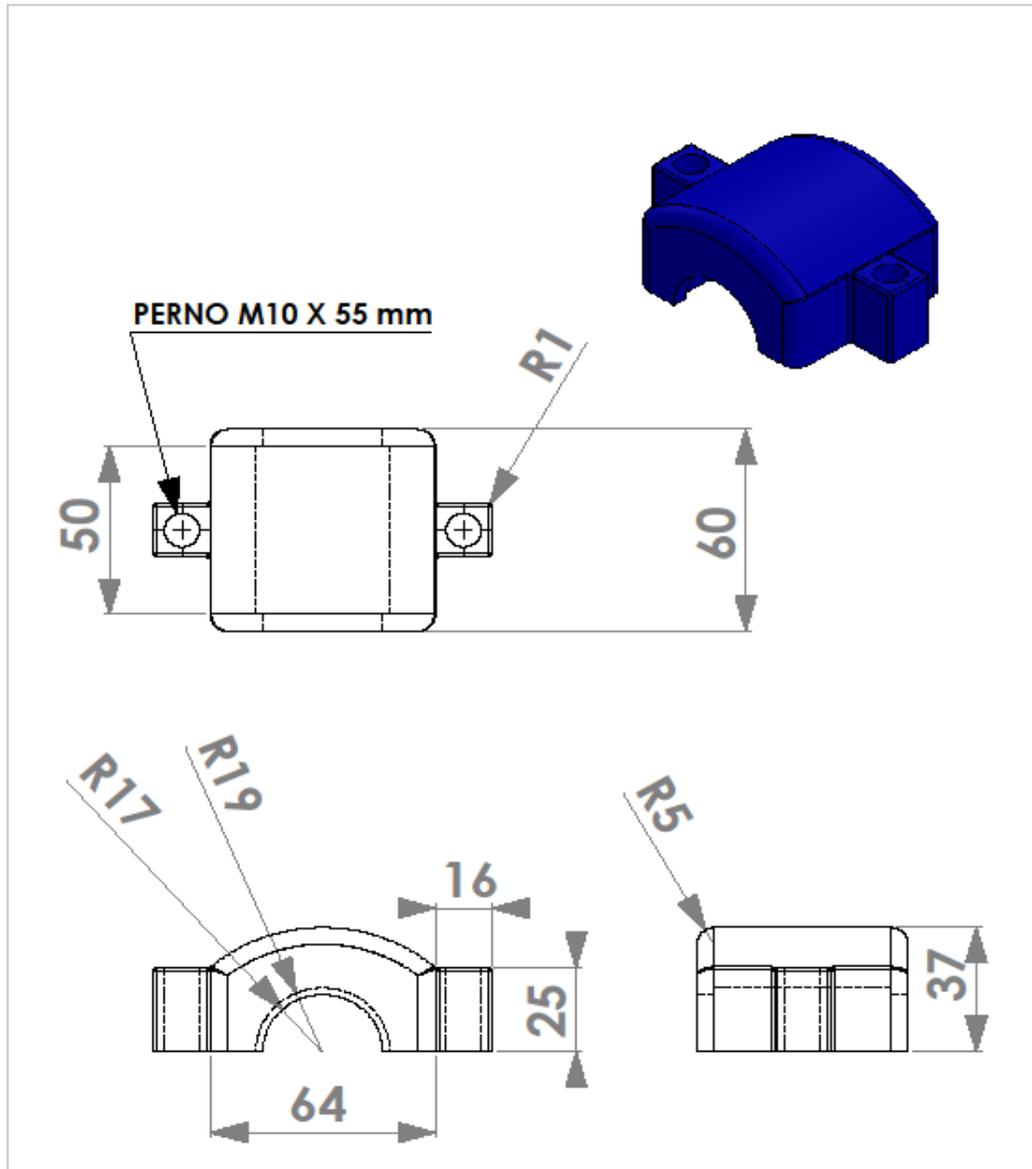


Figura 90: Carcasa del Rodamiento Parte 1

Fuente: Propia



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				UNIVERSIDAD SEÑOR DE SSPÁN	
				CARCASA DEL RODAMIENTO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	A4
VERIF.				008	
APROB.				ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1
FABR.					
CALID.					
			MATERIAL: Acero al carbono A36		
			PESO:		

Figura 91: Carcasa del Rodamiento Parte 2

Fuente: Propia

ANEXO N°14. PROGRAMACIÓN DE GUI:

FORMULAS:

```
% DISEÑO PARAMETRICO DE RODAMIENTO MAGNETICO
% Por: Bonilla Bravo Denis y Monteza Pérez Hans
% Fecha: 24-10-18
%
%-----
clc, clear, close all
% INGRESO DE DATOS
u0 = 4*pi*10^-7; % (N/A^2) permeabilidad magnetica del aire
Le = 0.80; % (m) longitud del eje
De = 0.015; % (m) diámetro del eje
Ds = 7850; % (kg/m^3) densidad del eje y volante
Lv = 0.010; % (m) longitud de la volante
Dex = 0.2; % (m) diámetro exterior de la volante
Din = 0.015; % (m) diámetro interior de la volante y rotor
Lr = 0.05; % (m) longitud el rotor
Dn = 7650; % (kg/m^3) densidad del rotor
g = 0.0005; % (m) espaciamiento de aire
l = 0.05; % (m) longitud del magneto
theta = 25; % (°) ángulo del polo estator
Rr = 0.0075; % (m) Radio del eje
G = 9.81; % (m/s^2) gravedad
% ECUACIONES
Y = (theta/90);
thetar = theta*pi/180;
Der = 2*((Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-2*Y*sin(thetar/2))); %
Diámetro óptimo del rotor
Rj = Der/2; % (m) Radio exterior del
rotor
Pe = (pi*De^2)/4)*Le*Ds; % (Kg) peso del eje
Pr = (pi*((Der^2-Din^2)/4)*Lr)*Dn; % (kg) peso del rotor
Pv = (pi*((Dex^2-Din^2)/4)*Lv)*Ds; % (kg) peso de la volante
Fg = (Pe+2*Pr+Pv)*G; % (kg)Peso total del eje
Ag = l*(pi*Der*theta/360); % (m^2) área del polo estator
W = 2*(Rj+g)*sin(thetar/2); % (m) ancho del polo estator

I4 = 0:0.01:1;
I3 = 1:0.01:2;
[x,y] = meshgrid(I3,I4);
N = [100 300 450 600];
figure(1)
for i = 1:length(N)
    Ft = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2)))*N(i)^2/(4*g^2);
    mesh(y,x,Ft)
    hold on
    xlabel('Intensidad de corriente en I3(A)')
    ylabel('Intensidad de corriente en I4(A)')
    title('Fuerzas generadas por el flujo electrico en funcion del
numero de vueltas en bobina')
    %legend('Bobina de 150 vueltas','Bobina de 300 vueltas','Bobina
de 400 vueltas','Bobina de 500 vueltas')
```

```

end
hold off
grid on
Ft1 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(1)^2/(4*g^2);
figure(2)
subplot(2,2,1)
contour(y,x,Ft1,45,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
100 vueltas')
Ft2 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(2)^2/(4*g^2);
subplot(2,2,2)
contour(y,x,Ft2,45,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en I4')
ylabel('Intensidad de Corriente en I3')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
450 vueltas')
Ft3 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(3)^2/(4*g^2);
subplot(2,2,3)
contour(y,x,Ft3,45,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en I4')
ylabel('Intensidad de Corriente en I3')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
400 vueltas')
Ft4 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(4)^2/(4*g^2);
subplot(2,2,4)
contour(y,x,Ft4,45,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en I4')
ylabel('Intensidad de Corriente en I3')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
600 vueltas')
%
%
figure(3)
contourf(y,x,Ft1,50,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
100 vueltas')
figure(4)
contourf(y,x,Ft2,50,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
300 vueltas')
figure(5)
contourf(y,x,Ft3,50,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
450 vueltas')

```

```

figure(6)
contourf(y,x,Ft4,50,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
600 vueltas')
figure(2)
[X,Y] = ginput(2);
y=X;
x=Y;
Int3 = x(1)
Int4 = y(1)
Int2 = x(2)
Int1 = x(2)
Nf = N(4)
Fprm1 = (u0*Nf^2*Int1^2*Ag)/(2*g^2)
Fprm2 = (u0*Nf^2*Int2^2*Ag)/(2*g^2)
Fprm3 = (u0*Nf^2*Int3^2*Ag)/(2*g^2)
Fprm4 = (u0*Nf^2*Int4^2*Ag)/(2*g^2)

% set(handles.edit28,'String',X*Y/1000)
% set(handles.edit44,'String',(X*Y/1000)/(nm*0.01))
% set(handles.edit45,'String',((X*Y/1000)/(nm*0.01))*fs*1.34102)

```

PARÁMETROS:

```

function varargout = parametro(varargin)
% PARAMETRO MATLAB code for parametro.fig
%     PARAMETRO, by itself, creates a new PARAMETRO or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = PARAMETRO returns the handle to a new PARAMETRO or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     PARAMETRO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in PARAMETRO.M with the given input
arguments.
%
%     PARAMETRO('Property','Value',...) creates a new PARAMETRO or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before parametro_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to parametro_OpeningFcn via
varargin.
%

```

```

%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows
only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help parametro

% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Dec-2018 12:30:05

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @parametro_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @parametro_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before parametro is made visible.
function parametro_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to parametro (see VARARGIN)

% Choose default command line output for parametro
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes parametro wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = parametro_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit6 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit7 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit8 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit9 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% INGRESO DE DATOS
u0 = 4*pi*10^-7; % (N/A^2) permeabilidad magnetica del aire
Le = 0.80;      % (m) longitud del eje
De = 0.015;    % (m) diámetro del eje
Ds = 7850;     % (kg/m^3) densidad del eje y volante
Lv = 0.010;    % (m) longitud de la volante
Dex = 0.2;     % (m) diámetro exterior de la volante
Din = 0.015;   % (m) diámetro interior de la volante y rotor
Lr = 0.05;     % (m) longitud el rotor
Dn = 7650;     % (kg/m^3) densidad del rotor
g = 0.0005;   % (m) espaciamento de aire
l = 0.05;     % (m) longitud del magneto
theta = 25;   % (°) ángulo del polo estator
Rr = 0.0075;  % (m) Radio del eje
G = 9.81;    % (m/s^2) gravedad

```

```

% Calculos
Y = (theta/90);
thetar = theta*pi/180;
Der = 2*((Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-2*Y*sin(thetar/2)));
Rj = Der/2;
Pe = ((pi*De^2)/4)*Le*Ds;
Pr = (pi*((Der^2-Din^2)/4)*Lr)*Dn;
Pv = (pi*((Dex^2-Din^2)/4)*Lv)*Ds;
Fg = (Pe+2*Pr+Pv)*G;
Ag = 1*(pi*Der*theta/360);
W = 2*(Rj+g)*sin(thetar/2);

% RESULTADOS
I4 = 0:0.01:1;
I3 = 1:0.01:2;
[x,y] = meshgrid(I3,I4);
N = [150 300 450 600];
% figure(1)
axes(handles.dibujo2)
grid on
for i = 1:length(N)
    Ft = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2)))*N(i)^2/(4*g^2);
    mesh(handles.dibujo2,y,x,Ft)
    set(handles.dibujo2,'XMinorTick','on')
    hold on
    xlabel('Intensidad de corriente en I3(A)')
    ylabel('Intensidad de corriente en I4(A)')
    title('Fuerzas por el flujo eléctrico en función del número de
vuelatas en bobina')
    %legend('Bobina de 150 vueltas','Bobina de 300 vueltas','Bobina
de 400 vueltas','Bobina de 500 vueltas')
end
hold off
grid on
axes(handles.dibujo1)
% Ft1 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2)))*N(1)^2/(4*g^2);
% subplot(2,2,1)
% contour(y,x,Ft1,25,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
450 vueltas')
% grid on
% Ft2 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2)))*N(2)^2/(4*g^2);
% subplot(2,2,2)
% contour(y,x,Ft2,25,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
600 vueltas')
% grid on

```

```

Ft3 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(3)^2/(4*g^2);
subplot(2,2,1)
contour(y,x,Ft3,35,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
title('Fuerzas generadas por el flujo eléctrico con una bobina de
450 vueltas')
grid on
Ft4 = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(4)^2/(4*g^2);
subplot(2,2,2)
contour(y,x,Ft4,35,'ShowText','on')
xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuest')
title('Fuerzas generadas por el flujo eléctrico con una bobina de
600 vueltas')
grid on
% for i = 1:length(N)
%     Ft = (u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2)))/(1-
2*Y*sin(thetar/2))*(theta/360))*(x.^2-y.^2))*N(i)^2/(4*g^2);
%     mesh(y,x,Ft)
%     hold on
%     xlabel('Intensidad de corriente en I3(A)')
%     ylabel('Intensidad de corriente en I4(A)')
%     title('Fuerzas generadas por el flujo electrico en funcion
del numero de vueltas en bobina')
%     %legend('Bobina de 150 vueltas','Bobina de 300
vueltas','Bobina de 400 vueltas','Bobina de 500 vueltas')
% end
% hold off
% grid on
%
%
%figure(3)
% contour(y,x,Ft1,70,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
150 vueltas')
% grid on
%figure(4)
% contour(y,x,Ft2,70,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
300 vueltas')
% grid on
%figure(5)
% contour(y,x,Ft3,70,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
400 vueltas')
% grid on
%figure(6)

```

```

% contour(y,x,Ft4,70,'ShowText','on')
% xlabel('Intensidad de Corriente en polo')
% ylabel('Intensidad de Corriente en polo opuesto')
% title('Fuerzas generadas por el flujo electrico con una bobina de
500 vueltas')
% grid on
%
%figure(2)
[X,Y] = ginput(2);
y=X;
x=Y;
Int3 = x(1);
Int4 = y(1);
Int2 = x(2);
Int1 = x(2);
Nf = N(4);
Fprm1 = (u0*Nf^2*Int1^2*Ag)/(2*g^2);
Fprm2 = (u0*Nf^2*Int2^2*Ag)/(2*g^2);
Fprm3 = (u0*Nf^2*Int3^2*Ag)/(2*g^2);
Fprm4 = (u0*Nf^2*Int4^2*Ag)/(2*g^2);
set(handles.edit1,'String',Fprm1)
set(handles.edit2,'String',Fprm2)
set(handles.edit3,'String',Fprm3)
set(handles.edit4,'String',Fprm4)
set(handles.edit5,'String',Nf)
set(handles.edit6,'String',Int1)
set(handles.edit7,'String',Int2)
set(handles.edit8,'String',Int3)
set(handles.edit9,'String',Int4)

```

VARIABLES:

```

function varargout = Variable(varargin)
% VARIABLE MATLAB code for Variable.fig
%     VARIABLE, by itself, creates a new VARIABLE or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = VARIABLE returns the handle to a new VARIABLE or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     VARIABLE('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%     function named CALLBACK in VARIABLE.M with the given input
arguments.
%
%     VARIABLE('Property','Value',...) creates a new VARIABLE or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are

```

```

%       applied to the GUI before Variable_OpeningFcn gets called.
An
%       unrecognized property name or invalid value makes property
application
%       stop. All inputs are passed to Variable_OpeningFcn via
varargin.
%
%       *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%       instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Variable

% Last Modified by GUIDE v2.5 02-Dec-2018 12:39:33

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Variable_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Variable_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Variable is made visible.
function Variable_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Variable (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Variable
handles.output = hObject;
rgb1 = imread('Imagen.PNG');
axes(handles.axes1)
imshow(rgb1)
rgb2 = imread('ESTATOR.PNG');
axes(handles.axes2)
imshow(rgb2)
rgb3 = imread('rodamiento.PNG');
axes(handles.axes3)

```

```

imshow(rgb3)
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Variable wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Variable_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit6 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit7 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit11 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit12 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit13 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit14 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit15 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit15 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit16 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit17 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit18 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit19 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit20 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit22 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit22 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit23_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit23 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit23 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit23 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit23_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit23 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit24_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit24 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit24 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit24_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit25_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit25 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit25 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit25_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

function edit26_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit26 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit26 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit26 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit26_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit26 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit27_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit27 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit27 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit27 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit27_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit27 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit28_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit28 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit28 as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit28 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit28_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit28 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit29_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit29 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit29 as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit29 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit29_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit29 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%DATOS
u0 = get(handles.edit1, 'String');
Le = get(handles.edit2, 'String');
De = get(handles.edit3, 'String');
g = get(handles.edit4, 'String');
Ds = get(handles.edit5, 'String');
Lv = get(handles.edit12, 'String');
Dex = get(handles.edit13, 'String');
Din = get(handles.edit14, 'String');
Lr = get(handles.edit15, 'String');
Dn = get(handles.edit16, 'String');
l = get(handles.edit17, 'String');
theta = get(handles.edit18, 'String');
Rr = get(handles.edit19, 'String');
G = get(handles.edit20, 'String');
u0 = str2double(u0);
Le = str2double(Le);
De = str2double(De);
g = str2double(g);
Ds = str2double(Ds);
Lv = str2double(Lv);
Dex = str2double(Dex);
Din = str2double(Din);
Lr = str2double(Lr);
Dn = str2double(Dn);
l = str2double(l);
theta = str2double(theta);
Rr = str2double(Rr);
G = str2double(G);
% Calculos
Y = (theta/90);
thetar = theta*pi/180;
Der = 2*((Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-2*Y*sin(thetar/2)));
Rj = Der/2;
Pe = ((pi*De^2)/4)*Le*Ds;
Pr = (pi*((Der^2-Din^2)/4)*Lr)*Dn;
Pv = (pi*((Dex^2-Din^2)/4)*Lv)*Ds;
Fg = (Pe+2*Pr+Pv)*G;
Ag = l*(pi*Der+theta/360);
W = 2*(Rj+g)*sin(thetar/2);
I4 = 0;
I3 = 15;
N = sqrt(((4*g^2)*Fg)/(u0*(1*((2*pi)*(Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-2*Y*sin(thetar/2)))+(theta/360))*(I3^2-I4^2)))
F3 = (u0*N^2*I3^2*Ag)/(2*g^2)
% RESULTADOS
set(handles.edit22, 'String', Y);
set(handles.edit23, 'String', thetar);
set(handles.edit24, 'String', Der);
set(handles.edit25, 'String', Rj);

```

```

set(handles.edit30, 'String',Pe);
set(handles.edit31, 'String',Pr);
set(handles.edit32, 'String',Pv);
set(handles.edit33, 'String',Fg);
set(handles.edit34, 'String',Ag);
set(handles.edit35, 'String',W);

function edit30_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit30 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit30 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit30 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit30_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit30 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit31_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit31 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit31 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit31 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit31_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit31 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit32_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit32 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit32 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit32 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit32_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit32 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit33_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit33 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit33 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit33 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit33_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit33 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit34_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit34 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit34 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit34 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit34_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit34 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit35_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit35 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit35 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit35 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit35_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit35 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit36_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit36 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit36 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit36 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit36_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit36 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit37_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit37 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit37 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit37 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit37_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit37 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit38_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit38 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit38 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit38 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit38_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit38 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit39_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit39 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit39 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit39 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit39_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit39 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit40_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit40 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit40 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit40 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit40_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit40 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit41_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit41 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit41 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit41 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit41_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit41 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit42_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit42 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit42 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit42 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit42_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit42 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit43_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit43 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit43 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit43 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit43_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit43 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit44_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit44 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit44 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit44 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit44_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit44 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit45_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit45 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit45 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit45 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit45_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit45 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit46_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit46 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit46 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit46 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit46_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit46 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
u0 = get(handles.edit1, 'String');
Le = get(handles.edit2, 'String');
De = get(handles.edit3, 'String');
g = get(handles.edit4, 'String');
Ds = get(handles.edit5, 'String');

```

```

Lv = get(handles.edit12, 'String');
Dex = get(handles.edit13, 'String');
Din = get(handles.edit14, 'String');
Lr = get(handles.edit15, 'String');
Dn = get(handles.edit16, 'String');
l = get(handles.edit17, 'String');
theta = get(handles.edit18, 'String');
Rr = get(handles.edit19, 'String');
G = get(handles.edit20, 'String');
Ki = get(handles.edit53, 'String');
Io = get(handles.edit54, 'String');
Jo = get(handles.edit55, 'String');
rp = get(handles.edit56, 'String');
u0 = str2double(u0);
Le = str2double(Le);
De = str2double(De);
g = str2double(g);
Ds = str2double(Ds);
Lv = str2double(Lv);
Dex = str2double(Dex);
Din = str2double(Din);
Lr = str2double(Lr);
Dn = str2double(Dn);
l = str2double(l);
theta = str2double(theta);
Rr = str2double(Rr);
G = str2double(G);
Ki = str2double(Ki);
Io = str2double(Io);
Jo = str2double(Jo);
rp = str2double(rp);
% Calculos
Y = (theta/90);
thetar = theta*pi/180;
Der = 2*((Rr+2*Y*g*sin(thetar/2))/(1-2*Y*sin(thetar/2)));
Rj = Der/2;
Pe = ((pi*De^2)/4)*Le*Ds;
Pr = (pi*((Der^2-Din^2)/4)*Lr)*Dn;
Pv = (pi*((Dex^2-Din^2)/4)*Lv)*Ds;
Fg = (Pe+2*Pr+Pv)*G;
Ag = l*(pi*Der*theta/360);
W = 2*(Rj+g)*sin(thetar/2);
Sw = (Io/Jo)/1000000;
Ac = (600*Sw)/Ki;
thetac = theta/Ki;
rc = rp+(2*Ac/(rp*(thetac-theta)));
Det = 2*rc+2*W;
% RESULTADOS
set(handles.edit22, 'String', Y);
set(handles.edit23, 'String', thetar);
set(handles.edit24, 'String', Der);
set(handles.edit25, 'String', Rj);
set(handles.edit30, 'String', Pe);
set(handles.edit31, 'String', Pr);
set(handles.edit32, 'String', Pv);
set(handles.edit33, 'String', Fg);

```

```

set(handles.edit34, 'String',Ag);
set(handles.edit35, 'String',W);
set(handles.edit47, 'String',Sw);
set(handles.edit48, 'String',Ac);
set(handles.edit52, 'String',thetac);
set(handles.edit50, 'String',rc);
set(handles.edit51, 'String',Det);

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
parametro
close('Variable')

function edit47_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit47 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit47 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit47 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit47_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit47 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit48_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit48 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit48 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit48 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit48_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit48 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit50_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit50 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit50 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit50 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit50_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit50 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit51_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit51 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit51 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit51 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit51_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit51 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit52_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit52 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit52 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit52 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit52_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit52 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit53_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit53 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit53 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit53 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit53_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit53 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit54_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit54 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit54 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit54 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit54_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit54 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit55_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit55 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit55 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit55 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit55_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit55 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit56_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit56 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit56 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit56 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit56_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit56 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```