



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

AUTOR: JOSÉ PATRICIO VACA SOLÍS

**TEMA: BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE
DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES**

DIRECTOR: ING. JUAN CASTRO

CODIRECTOR: ING. LEÓNIDAS QUIRÓZ

LATACUNGA, ABRIL 2014



UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS-ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, José Patricio Vaca Solís

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado " **BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES**", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Por lo que se puede afirmar que este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril del 2014

José Patricio Vaca Solís
C.I 1804544342



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Juan Castro (DIRECTOR)

Ing. Leónidas Quiróz (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES”**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas, en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Siendo este un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza/aprendizaje y a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autoriza José Patricio Vaca Solís que entregue al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Abril del 2014.

Ing. Juan Castro
DIRECTOR

Ing. Leónidas Quiróz
CO DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, José Patricio Vaca Solís

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, para que publique en la biblioteca virtual de la institución el trabajo denominado **“BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES”**, en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que hemos desarrollado bajo nuestra exclusiva autoría.

Latacunga, Abril del 2014.

José Patricio Vaca Solís
C.I. 1804544342

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, a pesar que no te encuentres físicamente, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi Padre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, y darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado apoyándome y brindándome todo tu amor, por todo esto te agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

José Patricio Vaca Solís

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi Padre, quien más que un buen Padre ha sido mi mejor amigo, me ha consentido y apoyado en lo que me he propuesto y sobre todo ha sabido corregir mis errores. Además que me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos

José Patricio Vaca Solís

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICADO.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
1. EL SISTEMA DE FRENO.....	1
1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEM.....	3
1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENOS DE DISCO.....	4
1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL FRENO DE TAMBOR.....	4
1.1.3 FRENO TIPO DE TAMBOR INTERNO DE EXPANSIÓN...5	5
1.1.4 FRENO DE TAMBOR EXTERNO DE CONTRACCIÓN.....	6
1.1.5 FRENOS DE CINTA.....	7
1.1.6 DISCO DE EMPUJE.....	7
1.1.7 DISCO CÓNICO.....	8
1.2 MATERIALES DE FABRICACIÓN.....	9
1.2.1 DISCOS DE FRENOS.....	9
1.2.1.1. LAS FIBRAS.....	10
1.2.1.2. LAS CARGAS MINERALES.....	10
1.2.1.3. COMPONENTES METÁLICOS.....	11
1.2.1.4. LOS LUBRICANTES DE COEFICIENE.....	11

1.2.1.5.	LOS MATERIALES ORGÁNICOS	11
1.2.1.6.	LOS ABRASIVOS	12
1.2.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PASTILLAS	12
1.2.3	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TAMBOR	12
1.2.4	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ZAPATAS	13
1.3	DESCRIPCIÓN DEL DISCO.....	14
1.3.1	PARTES DEL DISCO DE FRENO.....	14
1.3.1.1	LA BANDA	15
1.3.1.2	FIJACIÓN.....	16
1.3.1.4	LA CAMPANA	16
1.3.1.5	FILTRO TÉRMICO.....	16
1.3.1.6	DISCO VENTILADO	17
1.3.1.7	COLOCACIÓN DEL DISCO VENTILADO	18
1.4	UTILIZACIÓN DE LOS FRENOS EN LOS VEHÍCULOS...19	
1.4.1	FRENO DE DISCO	19
1.4.1.2.	EL ESTRÉS MECÁNICO.....	20
1.4.1.3.	CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA	22
1.4.1.4	SISTEMA DE REGLAJE.....	23
1.4.1.5	REGULACIÓN CON JUNTA DE HERMETISMO.....	24
1.4.1.6	REGULACIÓN MEDIANTE PERNO Y MANGUITO	25
1.4.1.7	PASTILLAS DE FRENO	29
1.4.1.7.1	UNDERLAYER (SUBCAPA).....	32
1.4.1.7.2	EL SOPORTE.....	32
1.4.1.7.3	ANTIRRUIDOS.....	33
1.4.1.7.4	SONOROS.....	35
1.4.1.7.5	LUMINOSO.....	35
1.4.2	FRENOS DE TAMBOR.....	36
1.4.2.1	COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS DE TAMBOR...38	
1.4.2.1.1	EL TAMBOR.....	38
1.4.2.1.2	FRENOS DE ESTACIONAMIENTO.....	38
1.4.2.1.3	CILINDRO AUXILIAR O CILINDRO DE RUEDA.....	39

1.4.2.1.4	ZAPATA.....	40
1.4.2.1.5	RESORTES DE RECUPERACIÓN.....	40
1.4.2.1.6	AJUSTADOR DE FRENOS.....	40
1.4.2.2.	TIPO DE FRENOS DE TAMBOR.....	41
CAPÍTULO II.....		42
2.	ESTUDIO DINÁMICO DE LOS FRENOS.....	42
2.1	FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN EN EL FRENADO....	42
2.1.1	FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN LOS NEUMÁTICOS.	44
2.1.1.1	PLANO DE LA RUEDA.....	46
2.1.1.2	CENTRO DE LA RUEDA	46
2.1.1.3	CENTRO DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO	46
2.1.1.4	FUERZA LONGITUDINAL (DE TRACCIÓN O FRENADO) F_x ...	46
2.1.1.5	FUERZA LATERAL F_y	46
2.1.1.6	FUERZA NORMAL F_z	47
2.1.1.7	MOMENTO DE VUELCO M	47
2.1.1.8	MOMENTO DE RESISTENCIA A LA RODADURA M	47
2.1.1.9	MOMENTO AUTOLINEANTE M	47
2.1.1.10	ANGULO DE DERIVA O DE DESLIZAMIENTO.....	47
2.1.1.11	ANGULO DE CAÍDA Γ	48
2.1.2.	FUERZA DE FRENADO.....	48
2.1.2.1	PRINCIPIOS FÍSICOS	49
2.1.3	COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA.	51
2.1.4	DESLIZAMIENTO	53
2.1.5	ACCIONES AERODINÁMICAS.....	54
2.1.6	RESISTENCIA AL AVANCE	56
2.1.7	RESISTENCIA DEL MOTOR Y TRANSMISIÓN.	57
2.2.	CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA.....	59
2.2.1	FRENADO DE VEHÍCULOS DE DOS EJES.....	59
2.2.1.1	BLOQUEO DEL EJE TRASERO	62
2.2.1.2	BLOQUEO DEL EJE DELANTERO	64

2.2.1.3	DESLIZAMIENTO TRANSVERSAL.....	65
2.3	REPARTO ÓPTIMO DE LAS FUERZAS DE FRENADO.....	68
2.3.1	REPARTOS DE CARGAS EN EL VEHÍCULO.....	71
2.4.	EL MECANISMO DE FRICCIÓN.....	74
2.4.1	FUERZA DE FRICCIÓN ESTÁTICA.....	75
2.4.2	FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA O DINÁMICA.....	75
2.5	FUERZAS DE ROZAMIENTO	78
2.5.1	DIAGRÁMA DE FUERZAS DE ROZAMIENTO EN EL DISCO...	78
2.5.2	TAMBOR.....	79
CAPÍTULO III.....		81
3.	ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROBLEMA.....	81
3.1.	METODOLOGÍA DE LA EXTRACCIÓN DE TECNOLOGÍA....	81
3.2.	PRINCIPIO DE TRANSFERENCIA Y DISIPACIÓN DE CALOR.	85
3.2.1	ENERGÍA DISIPADA EN LOS DISCOS DE FRENO.....	85
3.2.2	CONDUCCIÓN	87
3.2.3	CONVECCIÓN	87
3.2.4	RADIACIÓN	87
3.3	TRANSMISIÓN DE CALOR.....	90
3.3.1	FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN PARA PLACAS....	90
3.3.2	PROBLEMAS A CAUSA DE LA TEMPERATURA	91
3.3.2.1	FADING.....	91
3.3.2.2	JUDDER	92
3.3.2.2.1	EL JUDDER “FRÍO”.....	92
3.3.2.2.2	JUDDER “CALIENTE”	93
3.3.3	DESGASTES PREMATUREOS	94
3.3.4	PULLING.....	95
3.3.5	PASTILLAS CRISTALIZADAS	96

CAPÍTULO IV	98
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES	98
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL BANCO DE PRUEBAS	98
4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS EMPLEADO	100
4.2.1 PASTILLAS.....	100
4.2.2 CONDUCTOS Y LATIGUILLOS	100
4.2.3 PINZA DE FRENO	101
4.2.4 BOMBA DE FRENO.....	102
4.2.5 SERVOFRENO DEL SISTEMA DE FRENOS.....	103
4.2.6 FRENOS DE TAMBOR.....	104
4.2.6.1 PLATO DE TAMBOR DE FRENO.....	104
4.2.6.2 TAMBOR DE FRENO.	105
4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO.....	106
4.3.1 FACTOR DE SEGURIDAD.....	107
4.4. INTRODUCCIÓN A LOS TRANSDUCTORES, SENSORES..	109
4.4.1 SENSOR	109
4.4.2 TRANSDUCTOR	109
4.4.3 CAPTADOR	110
4.4.4 TERMOPAR.....	110
4.4.5 TERMOPAR K.....	110
4.4.5.1 LÍMITES DE ERROR DE LA TERMOCUPLA.	112
4.4.6 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL	112
4.4.7 AMPLIFICADORES DE TERMOPAR MONOLÍTICOS	113
4.4.7.1 INTERPRETACIÓN DE TENSIONES DE SALIDA AD595	113
4.4.7.2 CONEXIÓN DE TERMOPAR TIPO K CON ARDUINO.....	114
4.4.8 SENSOR DE PRESIÓN SPKT0013R0.....	115

4.5	ARDUINO	116
4.5.1	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS	117
4.5.2	LABVIEW INTERFAZ PARA ARDUINO.....	119
4.5.3	ESTRUCTURA BÁSICA DEL PROGRAMA ARDUINO.....	120
4.5.3.1	FUNCIONES	120
4.5.3.2	VARIABLES	121
4.5.3.3	TIPOS DE DATOS	121
4.5.3.4	TRUE / FALSE y HIGH/LOW.....	122
4.5.3.5	INPUT/OUTPUT.....	123
4.6	SENTENCIAS CONDICIONALES.....	123
4.6.1	ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES Y ANALÓGICAS	123
4.6.1.1	FUNCIÓN PINMODE (PIN, MODE).....	123
4.6.1.2	FUNCIÓN DIGITALREAD (PIN).....	124
4.6.1.3	FUNCIÓN DIGITALWRITE (PIN, VALUE)	124
4.6.1.4	FUNCIÓN ANALOGREAD (PIN).....	124
4.6.1.5	FUNCIÓN ANALOGWRITE (PIN, VALUE)	125
4.6.1.6	FUNCIONES DE TIEMPO Y MATEMÁTICAS.....	125
4.6.1.7	FUNCIONES DE GENERACIÓN ALEATORIA.....	126
4.6.1.8	PUERTO SERIE.....	126
4.7	CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.....	128
4.7.1	CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA	128
4.7.2	CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD	130
4.8	PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.....	133
4.8.1	PANTALLA DE PRESENTACIÓN	133
4.8.2	EXPORTACIÓN DE DATOS A EXCEL.....	141
4.8.3	TEMPERATURA DISCO Y PASTILLA	144
CAPÍTULO V.....		146
5.	ANÁLISIS FINAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS....	146
5.1	PRUEBAS DE LABORATORIO EN EL BANCO DE FRENOS....	146
5.1.1	GRÁFICA DE VELOCIDAD DEL DISCO DE FRENO.....	147

5.1.2	GRÁFICA DE FUERZA APLICADA AL DISCO DE FRENO	148
5.1.3	GRÁFICA DE LA TEMPERATURA DEL DISCO DE FRENO.....	149
5.1.4	GRÁFICA DE LA TEMPERATURA DE LA PASTILLA.....	150
5.1.5	PANTALLA GRAFICADORA DE LOS CUATRO SENSORES.....	152
5.2	GUÍA DE LABORATORIO DE PRÁCTICAS DIRIGIDAS.....	153
5.3	DESARROLLO DE FÓRMULAS UTILIZADAS	154
5.4	MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	163
5.4.1	LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD PARA MANEJO DEL BANC.	164
5.4.2	PROCEDIMIENTO SEGURO DE MEDIOS DE TRABAJO.....	166
5.4.3	LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DEL BANCO DE FRENO...	167
CAPÍTULO VI.....		168
6.	TABULACIÓN DE DATOS DE LA SIMULACIÓN.....	168
6.1	PRIMERA PRUEBA	168
6.2	SEGUNDA PRUEBA.....	174
6.3	TERCERA PRUEBA.....	180
CAPÍTULO VII.....		184
7.1	CONCLUSIONES.....	184
7.2	RECOMENDACIONES.....	185
7.3	BIBLIOGRAFÍA.....	186
7.4	NETGRAFÍA.....	187
ANEXO.....		188

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Propiedades físicas de la fundición de los discos.....	9
Tabla 1. 2: Coeficientes de fricción de las pastillas de Freno.....	31
Tabla 1. 3: Descripción de los tipos de frenos de tambor.	41
Tabla 2. 1: Sistema de referencia.....	44
Tabla 2. 2: Coeficiente de resistencia a la rodadura (Fr)	51
Tabla 2. 3: Coeficiente de adherencia entre neumático	52
Tabla 2. 4: Representación de las resistencias y potencias	55
Tabla 4. 1: Resultados en Inventor del factor de seguridad.....	107
Tabla 4. 2: Límite de error de las termopar.	112
Tabla 4. 3: Especificaciones de la Placa Arduino.....	116
Tabla 4. 4: Valores que permitirán obtener la ecuación.	129
Tabla 4. 5: Valores que permitirán obtener la ecuación.	132
Tabla 5. 1: Propiedades físicas y térmicas del acero.	159
Tabla 5. 2: Propiedades del aire.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Esquema básico de un circuito de frenos	5
Figura 1. 2: Esquema de tambor interno de expansión.....	5
Figura 1. 3: Esquema de tambor externo de contracción.....	6
Figura 1. 4: Esquema básico de un circuito de frenos	7
Figura 1. 5: Esquema de disco de empuje.....	7
Figura 1. 6: Esquema de disco cónico	8
Figura 1. 7: Composición de los discos de freno.....	10
Figura 1. 8: Composición de las pastillas de freno	12
Figura 1. 9: Tambor de freno	13
Figura 1. 10: Partes que está compuesto un disco	15
Figura 1. 11: Tipos disco de freno.	17
Figura 1. 12: Colocación de los discos	18
Figura 1. 13: Disco de freno.....	19
Figura 1. 14: Fuerzas actuantes en el disco de freno	21
Figura 1. 15: Esquema de un sistema de frenos de disco.....	24
Figura 1. 16 Funcionamiento de la regulación de holgura	25
Figura 1. 17: Esquema de regulación de holgura mediante perno y manguito...	26

Figura 1. 18: Despiece de una pinza de frenos con regulador de holgura ...	27
Figura 1. 19: Colocación de las pastillas de freno	28
Figura 1. 20: Freno de disco de 4 pistones.....	29
Figura 1. 21: Pastillas de freno.....	29
Figura 1. 22: Desglose de los componentes de la pastilla.	32
Figura 1. 23: Soporte metálico.....	33
Figura 1. 24: Laminas Antirruidos.....	34
Figura 1. 25: Tambor ensamblado al vehículo.....	37
Figura 1. 26: Tambor ensamblado al vehículo.....	38
Figura 1. 27: Esquema de funcionamientos del cilindro auxiliar	39
Figura 2. 1: Esquema de vehículo descendiendo sobre una superficie	43
Figura 2. 2: Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos	44
Figura 2. 3: Fuerzas que actúan sobre los neumáticos.....	50
Figura 2. 4: Fuerza de frenado Vs deslizamiento	53
Figura 2. 5: Diagrama de las fuerzas provocadas por el bloqueo de un eje	61
Figura 2. 6: Esfuerzos en condición normal y bloqueo del eje trasero.....	62
Figura 2. 7: Inestabilidad direccional.....	63
Figura 2. 8: Bloqueo de las ruedas traseras.....	63
Figura 2. 9: Condición normal y de bloqueo en eje delantero	64
Figura 2. 10: Pérdida de control direccional	64

Figura 2. 11: Principales fuerzas en la toma de una curva.	65
Figura 2. 12: Círculo de adherencia.....	66
Figura 2. 13: Fuerzas al frenar en una curva.....	67
Figura 2. 14: Situaciones de subviraje y sobreviraje en una curva.....	68
Figura 2. 15: Reparto de las fuerzas de frenado (F_f)	70
Figura 2. 16: Motor delantero y propulsión trasera	71
Figura 2. 17: Motor y propulsión trasera	71
Figura 2. 18: Reparto óptimo de frenado.....	72
Figura 2. 19 Diagrama de cuerpo libre (descomposición de vectores).....	75
Figura 2. 20 Fuerza de rozamiento entre los elementos frenantes (Disco)..	78
Figura 2. 21 Fuerza de rozamiento entre los elementos frenantes (Tambor)	79
Figura 3. 1: Diagrama cuerpo libre	82
Figura 3. 2: Irregularidades en la interface de fricción.....	84
Figura 3. 3: Simulación en Inventor de temperatura del Disco-Balata	85
Figura 3. 4: Balance de energía térmica en el Disco	88
Figura 3. 5: Componentes del sistema de freno de disco en Inventor.	89
Figura 3. 6 Disco con cold judder.....	93
Figura 3. 7 Disco con hot judder.....	94
Figura 4. 1: Banco de Frenos conectado al PC.....	98
Figura 4. 2: Pastillas de frenos usadas en el Banco	100

Figura 4. 3: Pinza de Frenos y cilindro	101
Figura 4. 4: Bomba de Freno y Depósito de líquido.....	102
Figura 4. 5: Servofreno.	103
Figura 4. 6: Plato de Freno de tambor.....	104
Figura 4. 7: Tambor de Freno	105
Figura 4. 8: Diseño en Inventor del Banco de Frenos.	107
Figura 4. 9: Banco de freno simulado el peso que debe soportar	109
Figura 4. 10: Termopar tipo K.	111
Figura 4. 11: Pines de conexión del Amplificador AD595 para Arduino.	114
Figura 4. 12: Sensor de Presión.	115
Figura 4. 13: Placa Arduino.	117
Figura 4. 14: Pantalla principal del programa Arduino.	119
Figura 4. 15: Ecuación para la calibración de la Termocupla tipo k	129
Figura 4. 16: Toma de datos con el Tacómetro.	131
Figura 4. 17: Ecuación para la calibración del sensor de velocidad.....	132
Figura 4. 18: Pantalla del Panel de control.	133
Figura 4. 19: Diagrama de bloque principal.	136
Figura 4. 20: Entradas y salidas. LabVIEW	137
Figura 4. 21: Terminación de la conexión del diagrama de bloque.....	139
Figura 4. 22: Diagrama de bloques analógico.	140

Figura 4. 23: Hoja de trabajo Excel	141
Figura 4. 24: Formato rango de fila y columna en Excel.	143
Figura 4. 25: Diagrama de bloques Temperatura -Pastilla-Fuerza-Velocidad..	144
Figura 5. 1: Banco de Frenos en pruebas de Laboratorio.	146
Figura 5. 2: Pantalla visualizador de rpm del disco de frenos.	147
Figura 5. 3: Pantalla visualizador de Fuerza aplicada al disco.	148
Figura 5. 4: Pantalla visualizador de Temperatura del disco de Freno.....	149
Figura 5. 5: Pantalla visualizador de Temperatura de la pastilla.	150
Figura 5. 6: Gráficas de Fuerza-Velocidad-Temperatura.	151
Figura 5. 7: Diagrama de curvas de los sensores.	152
Figura 5. 8: Panel frontal del Banco de Frenos.....	164
Figura 6. 1: Pantalla al inicio de la prueba.....	169
Figura 6. 2: Pantalla al inicio de la segunda prueba.	175
Figura 6. 3: Pantalla al inicio de la tercera la prueba.....	180

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec 2. 1	Fuerza de frenado (N).....	49
Ec 2. 2	Resistencia a la rodadura (N).....	51
Ec 2. 3	Coefficiente de resistencia a la rodadura (Adimensional).....	51
Ec 2. 4	Desaceleración máxima de frenado (m/s ²).....	52
Ec 2. 5	Coefficiente de adherencia (Adimensional).....	52
Ec 2. 6	Resistencia aerodinámica al avance (m/s).....	55
Ec 2. 7	Empuje lateral aerodinámico (N).....	56
Ec 2. 8	Sustentación aerodinámica (N).....	56
Ec 2. 9	Momento aerodinámico de vuelco (Nm).....	56
Ec 2. 10	Momento aerodinámico de cabeceo (Nm).....	56
Ec 2. 11	Momento aerodinámico de guiñada (Nm).....	56
Ec 2. 12	Par a la salida del motor (Nm).....	58
Ec 2. 13	Peso transferido al eje delantero (N).....	70
Ec 2. 14	Carga nominal de la superficies (N).....	74
Ec 2. 15	Fuerza de fricción (N).....	75
Ec 2. 16	fuerza de rozamiento entre disco y pastilla (N).....	79
Ec 2. 17	Fuerza de adherencia entre el neumático con el suelo (N).....	80

Ec. 3 1	Energía de frenado (J).....	86
Ec. 3 2	Energía de frenado del eje delantero (J)	86
Ec. 3 3	Energía del disco de freno (J)	86
Ec .5. 1	Velocidad Angular (rad/s)	156
Ec .5. 2	Velocidad Lineal (m/s)	156
Ec .5. 3	Presión ejercida en el pedal de freno (N)	156
Ec .5. 4	Fuerza tangencial (N).....	157
Ec .5. 5	Distancia de freno (m)	157
Ec .5. 6	Desaceleración del freno (m/s ²).....	157
Ec .5. 7	Tiempo de detención del disco (s).....	158
Ec .5. 8	Torque de frenado (Nm)	158
Ec .5. 9	Energía disipada por el disco de frenos (J).....	158
Ec .5. 10	Potencia por unidad de area (W)	158
Ec .5. 11	Diferencia de temperatura entre los discos y el medio (°C).159	
Ec .5. 12	Enfriamiento de Newton (°C).....	160
Ec .5. 13	Número de Reynolds (Adimensional)	161
Ec .5. 14	Viscosidad cinemática (m ² /s).....	162
Ec .5. 15	Coeficiente de transferencia de calor promedio (W/m ² s).....	162
Ec .5. 16	Velocidad de pérdida de calor del disco de freno (J)	162

RESUMEN

En el presente trabajo se realizaron diferentes tipos de pruebas térmicas en el disco de freno (Macizo y perforado) usados en los vehículos automotores, para determinar las curvas de comportamiento y la disipación de calor realizadas en distintas condiciones de frenado en el Banco de Frenos, observando en las Gráficas como el flujo de aire que pasa a través de las perforaciones del disco de freno aumenta el coeficiente de convección y mejora el disipado de calor producido en el disco, con lo cual se evita el cristalizado de la pastilla perdiendo el control del vehículo, cuando la pastilla agarra el disco de freno esto crea fricción que genera calor. Si ese calor no puede escapar, lleva al debilitamiento de los frenos. El análisis de las Gráficas de temperatura obtenidas en la PC, generada por el proceso de roce de disco y pastilla se llevó a cabo en el software LabVIEW interface con Arduino con sus respectivos sensores que, permiten demostrar Gráficas y valores que varían dependiendo de su Velocidad, Temperatura y Fuerza de frenado. Finalmente después de realizar las pruebas en el disco de freno perforados se observó que tiene una mayor refrigeración luego de la frenada por lo que se enfrían más rápido, pero como tienen menos material son propensos a calentarse mucho más rápido por lo que estos discos son ideales si el vehículo realiza lapsos cortos de recorrido a altas velocidades.

Palabras clave: Análisis Térmico del disco de freno, Banco disco de frenos, Discos de freno perforados, LabVIEW interfaz Arduino, Sistema de Frenos de un automóvil, Otras...

ABSTRACT

In this work different types of thermal testing on the brake disc (Solid and perforated) used in motor vehicles were conducted to determine the performance curves and heat dissipation made in different braking conditions on the Bank Brake observing in the graphic as the airflow passes through the perforations of the disc brake convection coefficient increases and improves the dissipated heat produced on the disk, whereupon the crystallized pellet avoids losing control of vehicle, when the tablet grasps the brake disc creates friction that generates heat. The analysis of the obtained temperature Graphics PC generated by the rubbing process disc pads and took place in the LabVIEW software interface Arduino with their respective sensors that allow Graphics and demonstrate values that vary depending on your speed temperature and braking force. Finally after testing the disk perforated brake was observed which has a greater cooling after braking so cool faster, but since they have less material are in danger to heat much faster so these discs are ideal if the vehicle hits short periods of travel at high speeds.

Key words: Analysis thermal on the brakes disc, Bank brake disc, Brake disc perforated, LabVIEW interface Arduino, System of Brakes of a car ...

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL SISTEMA DE FRENOS DE UN VEHÍCULO

1. EL SISTEMA DE FRENO

Es un dispositivo que confiere la capacidad de reducir la velocidad del vehículo cuando está en marcha incluso llegando a detenerlo si fuera necesario.

Según la **LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA**, el principio en el que se basa el sistema de frenado es en la reducción de la energía cinética, producida por el movimiento del vehículo, o potencial transformándola en energía calorífica.

Previamente a desarrollar el análisis de los sistemas de frenos, debe anticiparse una serie de cuestiones relativas al proceso dinámico de la operación de frenado de los automóviles. En este sentido debe tenerse en cuenta que, cuando un conductor acciona el pedal de freno para reducir la velocidad o detener el automóvil en condiciones de marcha, la fuerza que ejerce en el pedal es transmitida y multiplicada por el equipo de frenos para generar, finalmente, la retención y deceleración necesaria en las ruedas.

Desde que se acciona el pedal de freno se inicia un proceso generalizado y simplificado de la operación de frenado en los vehículos automóviles que se configura por las fases señaladas a continuación:

- a) El conductor pisa el pedal de freno, e inicia la fase de frenado.
- b) Tiempo de respuesta que transcurre desde que se acciona el pedal de freno hasta que se genera la fuerza de frenado en las ruedas.
- c) Etapa en la que se produce el incremento de la fuerza de frenado hasta alcanzar su valor de máxima eficacia, próximo al 75% de la presión de frenado.
- d) Valor de máxima deceleración en el proceso de frenado.
- e) Duración real de la frenada
- f) Detención del automóvil.
- g) Efecto de inercia que se produce al soltar el pedal de freno.

Este proceso de frenado puede parecer muy elemental, pero en realidad la dinámica del proceso de frenado implica una convergencia de acciones conjuntas para que la efectividad de la frenada pueda alcanzar el 100% de eficacia, aunque obviamente se trata un caso ideal. Para ello, deben cumplirse de forma simultánea una serie de condicionantes como son:

- a) Que la adherencia entre los neumáticos y el asfalto sea máxima.
- b) Que no se bloqueen las ruedas y el automóvil no derrape.
- c) Que el equipo de frenos funcione correctamente.

Si no se cumplen estas condiciones, la eficacia del frenado se reduce y la distancia de detención se prolonga considerablemente, como en los casos de superficies resbaladizas

y frenadas de elevada intensidad donde se produce el bloqueo de las ruedas, anulando el control y direccionalidad del automóvil.

1.1. PRINCIPIO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS.

El sistema de frenos está diseñado para que a través del funcionamiento de sus componentes se pueda detener el vehículo a voluntad del conductor.

Según **LOS PRINCIPIOS HIDRÁULICOS**, la base del funcionamiento del sistema principal de frenos es la transmisión de fuerza a través de un fluido que amplía la presión ejercida por el conductor, para conseguir detener el coche con el mínimo esfuerzo posible.

Las características de construcción de los sistemas de frenado se han de diseñar para conseguir el mínimo de deceleración establecido en las normas.

El sistema de frenos se constituye por dos sistemas:

- a) Funcionamiento hidráulico:** El sistema que se encarga de frenar el vehículo durante su funcionamiento normal
- b) Funcionamiento mecánico:** El sistema auxiliar o de emergencia que se utilizará en caso de inmovilización o de fallo del sistema principal

En la actualidad, los dos grandes sistemas que se utilizan en los conjuntos de frenado son:

Frenos de disco (contracción externa) y frenos de tambor (expansión interna).

Todos los conjuntos de frenado sean de disco o de tambor tienen sus elementos fijos sobre la mangueta del vehículo, a excepción de los elementos que le dan nombre y que son sobre los que el conductor realiza el esfuerzo de frenado (estos elementos son solidarios a los conjuntos de rueda a través de pernos o tornillos).

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENOS DE DISCO

- Mayor refrigeración.
- Montaje y funcionamiento sencillo.
- Piezas de menor tamaño para la misma eficacia.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL FRENO DE TAMBOR

- Mayor eficacia (mayor superficie)
- Refrigeración escasa.
- Sistema más complejo.

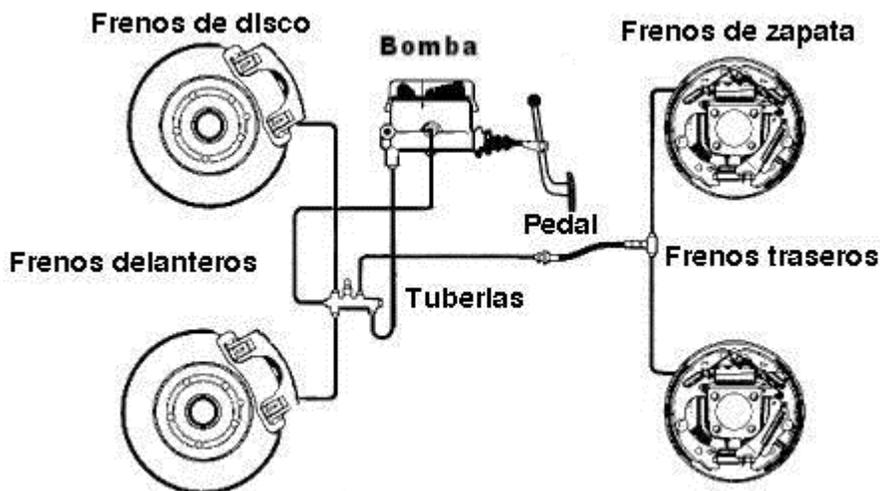


Figura 1. 1: Esquema básico de un circuito de frenos
 Fuente: (www.sabelotodo.org/automovil/frenos.html, 2012)

1.1.3 FRENO TIPO DE TAMBOR INTERNO DE EXPANSIÓN

Este freno es una variante del caso anterior en la que por conveniencia del proyecto la zapata o zapatas se colocan en el interior del tambor, con lo que se consigue similar par de frenado y una mayor protección del sistema.

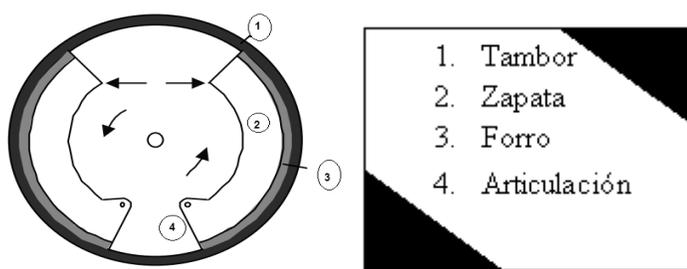


Figura 1. 2: Esquema de tambor interno de expansión.
 Fuente: (www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema06.pdf, 2012)

1.1.5 FRENOS DE CINTA

Este tipo de freno consiste en una banda flexible que envuelve con un gran ángulo de contacto la superficie lateral de un tambor cilíndrico unido solidariamente al móvil a frenar.

Las siguientes figuras ilustran este tipo de frenos:

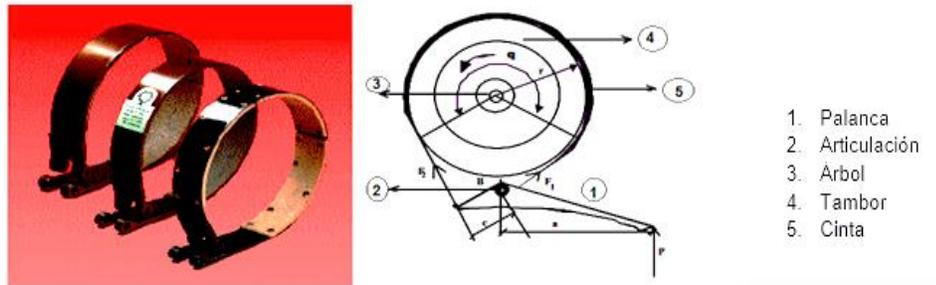


Figura 1. 4: Esquema básico de un circuito de frenos

Fuente:(www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema06.pdf, 2012)

1.1.6 DISCO DE EMPUJE

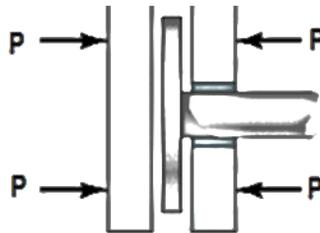


Figura 1. 5: Esquema de disco de empuje

Fuente: (www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema06.pdf, 2012)

Este tipo de freno consiste en un disco metálico de cierto espesor, cuyo centro está unido solidariamente al elemento que se desea frenar y en el cual en una corona circular,

por ambas caras, actúan simultáneamente pastillas opuestas de material con un coeficiente de fricción elevado, por ejemplo el caso del asbesto. Las pastillas normalmente se conforman partiendo de un sector circular y se considera que la presión “P” que ejercen sobre el disco es constante en toda su superficie, debido a que el empuje se realiza mediante dos gruesas placas de acero en las que actúan sendos pistones movidos hidráulicamente desde el pedal de freno de un vehículo.

1.1.7 DISCO CÓNICO

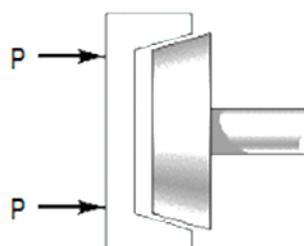


Figura 1. 6: Esquema de disco cónico

Fuente: (www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema06.pdf, 2012)

Este tipo de freno es similar al freno de disco, con la diferencia que el disco que está solidariamente unido al elemento que se desea frenar tiene un diseño cónico y el elemento que lo frena es también de diseño cónico para que este se ajuste adecuadamente al disco. El elemento que frena solo actúa sobre un lado del elemento giratorio. Este tipo de freno es utilizado en máquinas estacionarias donde también se puede utilizar como un embrague para el acople de dos elementos.

1.2 MATERIALES DE FABRICACIÓN

1.2.1 DISCOS DE FRENOS

El material escogido para fabricar los discos de freno para un vehículo de prestaciones medias, es decir vehículos comerciales, es la **Fundición gris de Grafito Laminar**, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el periodo de vida de los discos. Existen también, discos de materiales compuestos en matriz de carbono, usados en la alta competición y en los frenos de los aviones, aunque debido al alto costo que tienen no son viables para los vehículos comunes según **MANUAL TÉCNICO DE LA PASTILLA (2004)**.

Características básicas de la fundición de los discos:

Tabla 1. 1. Propiedades físicas de la fundición de los discos.

Propiedades Físicas	Valores
Resistencia a la tracción	240 N/mm
Dureza	170-250 HB

Fuente: (ROADHOUSE, 2005)

La composición básica del material de los discos es una fundición gris de grafito laminar, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro. Además de otros componentes básicos tales como el silicio, manganeso y otros que garantizan la calidad de un elemento crítico en el frenado como es el disco.

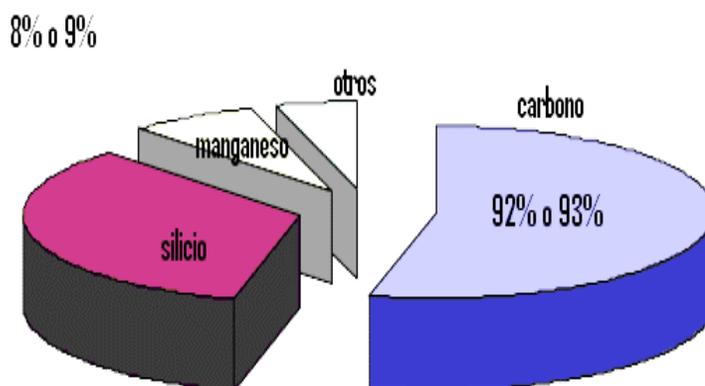


Figura 1. 7: Composición de los discos de freno.
Fuente:(ROADHOUSE, 2005)

Composición química de la Figura 1.7

1.2.1.1. LAS FIBRAS

Son los elementos encargados de aglutinar y ligar el resto de los elementos. Es decir, las fibras son el “armazón” de las pastillas de freno, a través de sus múltiples ramificaciones van uniendo el resto de los elementos. Existen dos tipos principales de fibras las sintéticas y las minerales. Las más usuales en el campo de la fricción son: fibras de vidrio, fibras de aramida, lana de roca.

1.2.1.2. LAS CARGAS MINERALES

Son las encargadas de dar consistencia mecánica al conjunto, es decir, le aportan resistencia a la abrasión, resistencia a cortadura... Están encargadas también, de aportar resistencia a las altas temperaturas. Las más usuales son: barita, magnesita, talco, mica, carbonato, feldespatos y otros.

1.2.1.3. COMPONENTES METÁLICOS.

Se añaden en forma de polvo o viruta para conseguir homogeneizar el coeficiente de fricción así como la transferencia de calor de la pastilla al cáliper. Los más usuales son, latón, cobre, bronce entre otros.

No obstante una gran parte de los componentes metálicos usados en los materiales de fricción, tienen efectos nocivos sobre la salud por lo que se recomienda seguir estrictamente la legislación referente a los productos que contengan tales metales pesados.

1.2.1.4. LOS LUBRICANTES O MODIFICADORES DE COEFICIENTE

Son los encargados de hacer variar el coeficiente de fricción normalmente a la baja, dependiendo del rango de temperatura de funcionamiento. Son empleados en forma de polvo suelen ser grafitos, cokes, sulfuros, antracitas, etc.

1.2.1.5. LOS MATERIALES ORGÁNICOS

Son los encargados de aglomerar el resto de los materiales. Cuando alcanzan una determinada temperatura fluyen y ligan el resto de componentes, hasta que se polimerizan. Las más importantes son las resinas fenólicas termoendurecibles, aunque también son empleados diferentes tipos de cauchos, ceras, aceites.

1.2.1.6. LOS ABRASIVOS

Cumplen principalmente la misión de incrementar el coeficiente de fricción y también renuevan y limpian la superficie del disco permitiendo la formación de la capa intermedia o también conocida como **tercera capa**.

1.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PASTILLAS DE FRENO

En la actualidad la mayoría de los fabricantes de pastillas de freno emplean en mayor o menor medida la base que a continuación se presenta:



Figura 1. 8: Composición de las pastillas de freno
Fuente:(ROADHOUSE, 2005)

1.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TAMBOR

Se construye de hierro colado en el punto donde las zapatas hacen contacto con él y su centro es de acero dulce. El hierro colado contiene aproximadamente

3% de carbono y hace el tambor duro pero frágil por lo anterior es recomendable que si se va a golpear el tambor a la hora de desmontarlo sea en el centro de acero dulce ya que este material puede recibir esta fuerza sin sufrir daño. El contenido de carbono de 3% del hierro colado actúa también como un lubricante que evita el ruido durante el frenado, permitiendo además que la superficie de fricción se pueda rectificar sin el uso de fluido de enfriamiento.



Figura 1. 9: Tambor de freno
Fuente: (BOSCH ROBERT ESPAÑA, S.L.U 2011)

También se utilizan los tambores de freno de aluminio con hierro colado para el área de fricción, estos poseen las ventajas de ahorrar peso y transferir calor al aire circundante con más rapidez que el hierro colado y el acero.

1.2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ZAPATAS

Tienen la forma de media luna y son de acero o aleación ligera en donde se pegan o remachan los forros de freno conocidos como ferodos que tienen la misma forma de medialuna.

Así pues, para obtener una fuerza de rozamiento elevada, es necesario que la fuerza sea importante (lo que puede lograrse con facilidad con la relación en las secciones de los pistones de los cilindros de la bomba y bombín) y que los materiales utilizados tengan un coeficiente de rozamiento entre sí elevado.

A este efecto se utilizan en las zapatas unos forros de tejido moldeado que tiene como base el amianto y en los tambores la fundición.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL DISCO

1.3.1 PARTES DEL DISCO DE FRENO

En general los discos contienen geometrías planas y circulares, su forma suele ser más compleja, compuesta de varias partes que corresponden a las distintas funciones desempeñadas. En la cual podemos diferenciar:

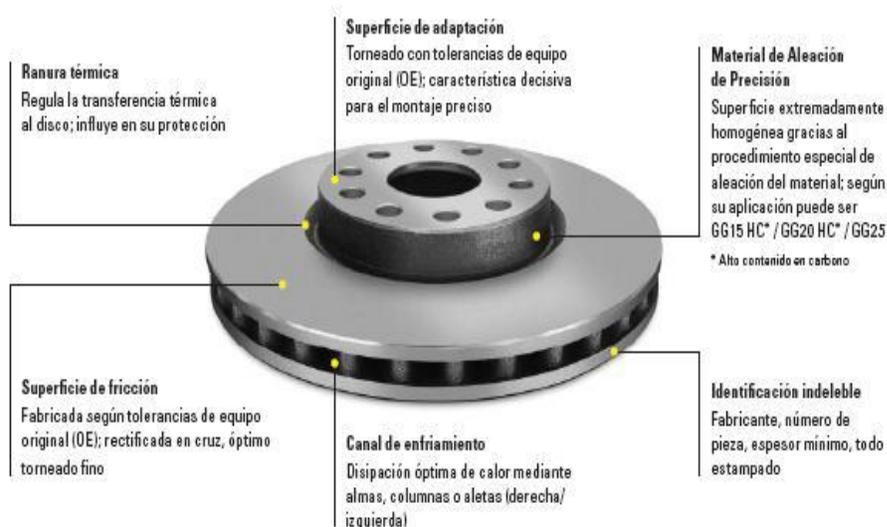


Figura 1. 10: Partes que está compuesto un disco
Fuente: (CATÁLOGO QUAD AND JET, 2005)

1.3.1.1 LA BANDA

Es la superficie en la cual tiene lugar la acción de fricción entre las pastillas y el disco. Está dimensionada de forma que la potencia específica desarrollada no sea demasiado alta. Un valor de 230 vatios por cm^2 de pista en una base para dimensionar el disco, pero dicho valor puede modificarse notablemente cuando el disco está muy ventilado, hasta llegar a 623 vatios por cm^2 . Como veremos más adelante, por encima de dichos valores, pueden aparecer daños en el disco en forma de grietas o deformaciones, debido a la aparición del fenómeno de fatiga térmica.

1.3.1.2 FIJACIÓN

La fijación de los discos está situada en la parte central del mismo.

Existe un taladro donde se aloja el buje, así como por la parte trasera un chaflán que debe de apoyarse perfectamente en la mangueta para que el ajuste del disco sea perfecto. Alrededor del taladro donde se aloja el buje, la fijación tiene un cierto número de taladro que permite el paso de los pernos de anclaje de la rueda. En la mayoría de los discos la fijación del disco se garantiza por unos taladros de menor diámetro que fijan el disco.

1.3.1.4 LA CAMPANA

La campana es el cilindro que une la banda, con el plano de fijación. En algunos casos en el interior de la campana se está aprovechando para montar un pequeño sistema de freno de tambor de accionamiento mecánico, con la finalidad de que sirva de freno de estacionamiento, esta técnica toma el nombre de Drum-in-Hat.

1.3.1.5 FILTRO TÉRMICO

El filtro térmico es un canal mecanizado, que separa la pista de la fijación, para reducir el calor que pasa de la pista hacia la campana. Con este tipo de canales se evita el calentamiento excesivo de la llanta y por consiguiente del neumático que ya sufre los efectos de la temperatura por su propio uso.

1.3.1.6 DISCO VENTILADO



Disco Ventilado

Disco Solido

Figura 1. 11: Tipos disco de freno.

Fuente:(www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

El disco ventilado es la composición de dos pistas separadas por aletas en su interior. Estas aletas garantizan la cohesión del disco permitiendo el paso de aire por su interior. Gracias a estas aletas, el enfriamiento del disco no solo se produce en la superficie exterior del disco (como sucede en los discos sólidos) sino que además se produce su enfriamiento por el interior. La entrada de aire puede tener lugar por un lado u otro respecto de la campana, pero para que la ventilación sea eficaz se prefiere casi siempre el lado opuesto a esta. De hecho, la presencia de la rueda obstaculiza la introducción del aire exterior.

Este intercambio de energía depende en gran medida de la forma y la orientación de las aletas, como en una turbina, y su forma es un compromiso entre la eficacia y las dificultades de realización. El rendimiento de una turbina deriva de la relación entre la energía transmitida al gas y la energía que ha sido necesaria proporcionar para hacer

girar la turbina. Este rendimiento mejora cuando las aletas están conformadas y no se oponen al desplazamiento del gas. Por eso, los discos que reciben notables cantidades de energía van dotados de aletas de este tipo, las cuales a una cierta velocidad de rotación, optimizan la velocidad de circulación. Sin embargo, hay un límite vinculado a la velocidad de traslado del calor del interior del metal hacia el gas.

1.3.1.7 COLOCACIÓN DEL DISCO VENTILADO

Generalmente son radiales y por lo tanto la colocación de los discos en la rueda izquierda o derecha, no afecta a las propiedades autoventilantes. Sin embargo este segundo tipo de aletas están orientadas de tal forma que obligan a que esos discos sean montados en una rueda o en la otra, ya que no sería eficaz su ventilación si se intercambiara su ubicación.

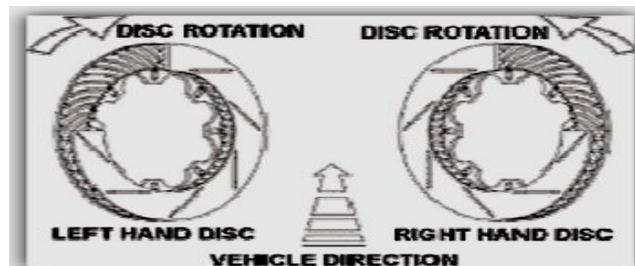


Figura 1. 12: Colocación de los discos
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

De este modo y generalizando, cuanto mayor sea la velocidad que hay que reducir o menor es el tiempo de que se dispone para hacerlo, el trabajo que se ven sometidos los frenos resulta más crítico y en consecuencia puede decirse que la aportación de

temperatura es también mayor. Por ello se necesitan frenos más grandes o provistos de aletas para los vehículos que o tienen mayor peso o pueden estar dotados de mayores velocidades punta sobre los que se debe actuar.

1.4 UTILIZACIÓN DE LOS FRENOS EN LOS VEHÍCULOS

1.4.1 FRENO DE DISCO

Este tipo de freno adoptado en la mayoría de los vehículos de turismo, tiene la ventaja sobre el freno de tambor de que su acción de frenado es más enérgica, obteniendo, por tanto, un menor tiempo de frenado que se traduce en una menor distancia de parada.

Ello es debido a que los elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor refrigeración, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente.



Figura 1. 13: Disco de freno
Fuente: (www.sabelotodo.org/, 2012)

Otra de las ventajas de estos frenos es que en ellos no aparece el fenómeno de "fading" que suele presentarse en los frenos de tambor. Este efecto se produce cuando por un frenado enérgico o frenados sucesivos, el tambor no tiene tiempo de evacuar el calor absorbido en la transformación de energía. En estas condiciones, el tambor se dilata alejando la superficie de adherencia del contacto con las zapatas, quedando momentáneamente el vehículo sin frenos. En los frenos de disco al mejorar la evacuación del calor no existe calentamiento crítico y por tanto dilatación, pero en caso de haberla el disco se aproximaría más a las pastillas de freno, lo cual favorecería la presión y efecto de frenado.

Los frenos de disco pueden ser de tres categorías: flotantes (la tuerca que sostiene las pastillas flota sobre cuatro sostenes de caucho, oscilando cada vez que se aplican los frenos), fijos (está bien sujeta por cuatro pistones, dos de cada lado del disco) o deslizantes (está suspendida por sostenes de caucho y se desliza al entrar en actividad).

1.4.1.2 EL ESTRÉS MECÁNICO

Cuando el vehículo está en marcha, independientemente de las fases de frenado, el disco está sometido a escaso estrés mecánico. Bajo el efecto centrífugo debido a la rotación del disco crea un esfuerzo de tracción. Al frenar, el disco se ve solicitado por dos nuevas fuerzas. Ante todo, la fuerza de compresión, que deriva del apoyo de las pastillas perpendicularmente a la superficie del disco.

En cambio, en el disco ventilado, esta fuerza se ejerce solo en la sección de las aletas, lo que puede llegar a duplicar o más el esfuerzo en ese punto.

Esta fuerza también se aplica a la superficie comprendida entre las aletas y puede flexionarlas -normalmente de forma reversible- si el esfuerzo permanece dentro del límite elástico de la fundición. Hay que notar que el límite principal a una fuerte compresión está constituido por el material de fricción.

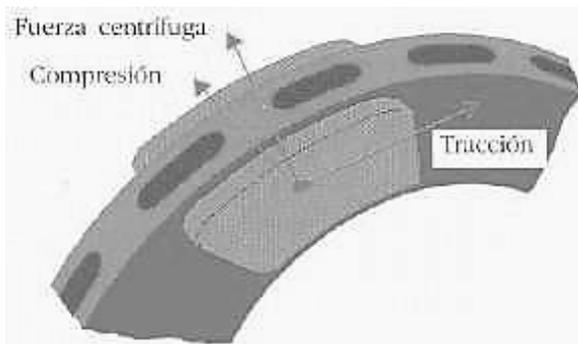


Figura 1. 14: Fuerzas actuantes en el disco
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

La fuerza frenante debida al roce de la pastilla contra la superficie del disco se traduce en la fundición en un esfuerzo de tracción. De hecho, la parte situada en contacto con la pastilla es frenada, es decir sufre una fuerza opuesta al movimiento rotatorio, mientras que la parte que no está en contacto con la pastilla se ve arrastrada hacia el sentido de la rotación del disco. Aunque se aplique todo el esfuerzo en el centro de empuje de la pastilla, se consiguen valores de esfuerzo de tracción del orden de 1-2 daN/mm², que hay que comparar con la resistencia a la tracción de la fundición, que equivale a un 200 Mpa, es decir 20 daN/mm². Dado que dicho esfuerzo está repartido en

toda la superficie de la pastilla, su valor es aún más reducido y bastante más lejano del límite de ruptura. Sin embargo, cabe destacar que este límite se reduce con la temperatura y en medida mucho más acentuada si existe un principio de figuración en la fundición. Entonces se pueden producir rupturas. La microfisuración que puede producirse después de largos periodos de funcionamiento está relacionada con este tipo de estrés repetido que se llama fatiga.

Existiendo un amplio margen entre el estrés mecánico aplicado al disco y los límites que, si se alcanzan, podrían provocar rupturas. Para completar lista de los esfuerzos que se ejercen en el disco, hay que añadir algunas flexiones que pueden producirse al frenar en las curvas y el estrés dinámico que se sufre cuando vibra el disco.

1.4.1.3 CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA

El disco de freno es un plato redondo de rotación (disco) en el cual la rueda es montada. Las mordazas con materiales de fricción sobre ellos son presionadas contra el disco en ambos lados para generar fuerza de frenado.

La superficie contra la cual interactúan las pastillas para frenar el vehículo, debido a que el disco gira solidario con las ruedas.

A estos pistones se unen las pastillas de freno de un material similar a los ferodos de las zapatas utilizadas en los frenos de tambor.

Por el interior de la mordaza (2) van situados los conductos por donde se comunica el líquido de freno a los cilindros (3), acoplado en (A) el latiguillo de freno y en (B) el purgador. El líquido a presión, procedente del circuito de frenos y que entra por (A), desplaza a los pistones (4) hacia el interior, aplicando las pastillas de freno (5) sobre el disco (1), las cuales, por fricción, detienen el giro del mismo.

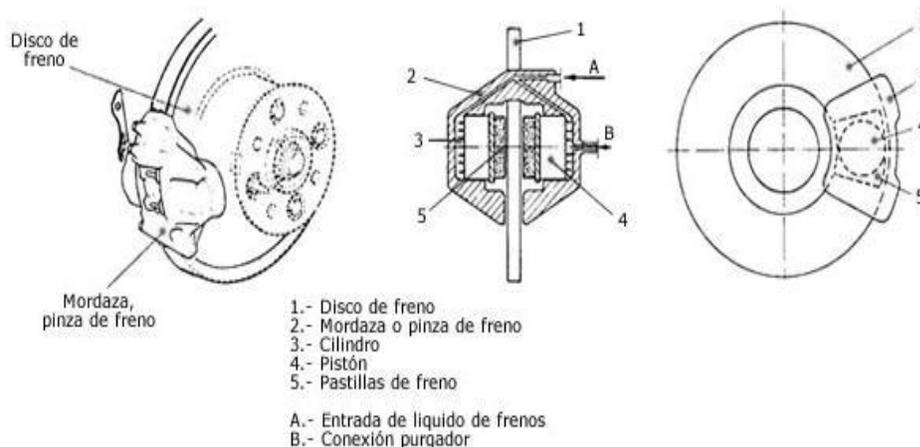


Figura 1. 15: Esquema de un sistema de frenos de disco
Fuente: (www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

1.4.1.4 SISTEMA DE REGLAJE

Para detener la rueda el sistema dispone de unas pastillas que son presionadas mecánica o hidráulicamente contra los laterales de los discos, debido al efecto producido por el pequeño alabeo en la rotación del disco, tienden alejar de él y el pistón retrocede una distancia tal que permite mantener un determinado juego entre el disco y las pastillas.

El reglaje o aproximación de las pastillas de freno al disco se realiza de forma automática, empleando para ello mecanismos de acción simple situados en el interior del cilindro. Entre los sistemas principales de regulación empleados en la actualidad destacan los siguientes:

Regulación con junta de hermetismo.

Regulación mediante perno y manguito roscado.

1.4.1.5 REGULACIÓN CON JUNTA DE HERMETISMO

El sistema consiste en colocar un anillo obturador elástico (1) a base de un retén en una garganta (2) situada en el interior del cilindro.

Cuando se ejerce la acción de frenado, la presión del líquido que entra por el conducto (3) actúa sobre la cara frontal del anillo obturador (1) y del pistón (4) haciendo desplazar a éste y produciendo una deformación lateral en el anillo en el sentido de desplazamiento. Al soltar el pedal de freno, retrocede el líquido de freno por el conducto (3) y el anillo obturador (1), que había sido deformada, vuelve por elasticidad a su posición de reposo, empujando al pistón (4) hacia atrás en un recorrido proporcional a la deformación efectuada. De esta forma queda compensado el desgaste de las pastillas, dejando la holgura normal de funcionamiento por aproximación automática de reglaje.

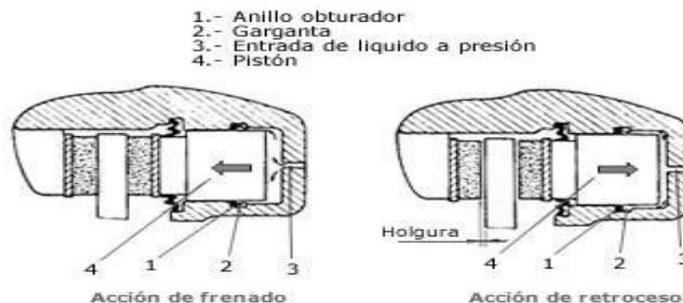


Figura 1. 16: Funcionamiento de la regulación de holgura
Fuente: (www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

1.4.1.6 REGULACIÓN MEDIANTE PERNO Y MANGUITO

ROSCADO

Este sistema, además del retén o anillo obturador (6) de hermetismo, lleva por el interior del pistón (7), que es hueco un perno (1) roscado al manguito (2) que se apoya a través de un rodamiento de bolas (3) sobre la chapa (5) solidaria al pistón. Entre el manguito (2) y el pistón va situado el muelle (4) con sus espiras dispuestas en sentido de avance del manguito.

Al desplazarse el pistón (7) por efecto de la presión del líquido de frenado, realiza una carrera igual al juego existente entre la pastilla y el disco. Como consecuencia de ello el retén se deforma proporcionalmente al desplazamiento del émbolo. Cuando cesa el esfuerzo, el retén recupera la posición de reposo produciendo, como en el caso anterior, el retroceso del pistón.

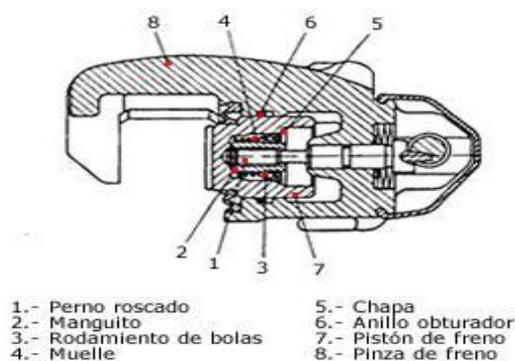


Figura 1. 17: Esquema de regulación de holgura mediante perno y manguito roscado

Fuente: (www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

Cuando el juego entre el disco y las pastillas, a causa del desgaste es excesivo, el émbolo tiene que avanzar más en su recorrido para efectuar el frenado, obligando con ello al manguito a girar sobre el perno de roscado.

Esta rotación se produce por efecto del muelle que, al estar dispuesto en sentido de avance, aumenta su diámetro interno liberando al manguito de su posición de bloqueo con el pistón.

Al cesar la acción de frenado, el pistón solo retrocede por efecto del retén la carrera que le permite el castillo, ya que, al hacer tope con el mismo, queda bloqueado por el muelle que ha recobrado su diámetro primitivo.

En la figura inferior podemos ver un sistema de regulación automático con perno y manguito roscado utilizado en un freno de disco para las ruedas traseras. Este freno de

disco también está preparado para ser accionado con el freno de mano mediante la palanca acodada (3) y la guía de cable (1).

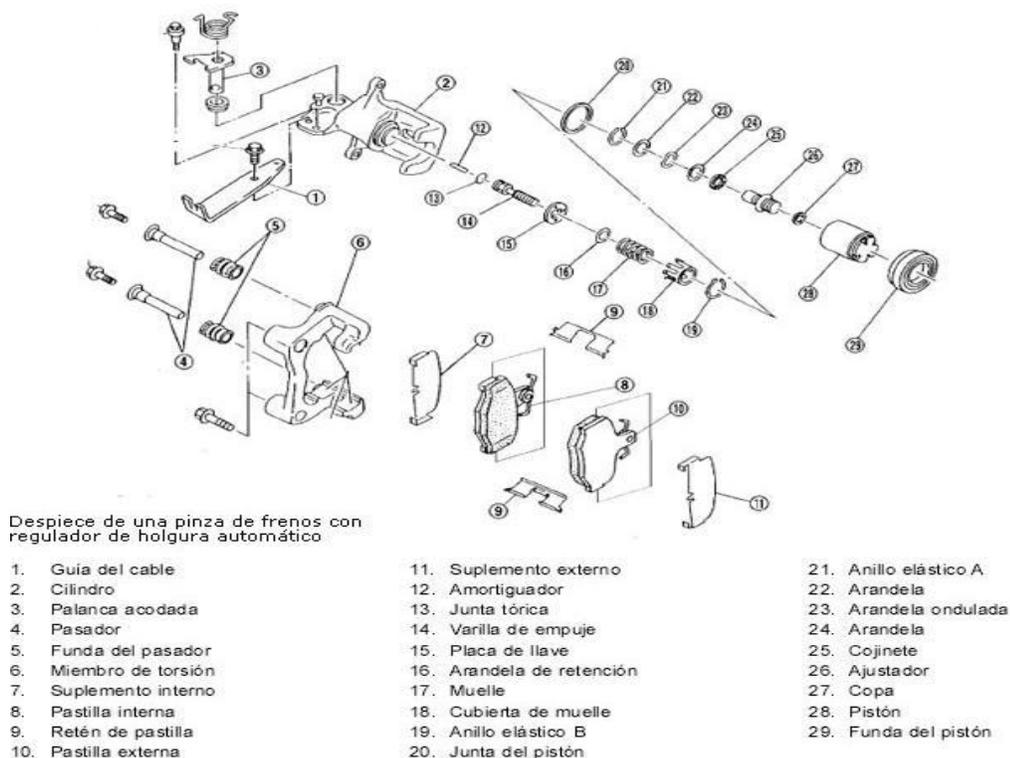


Figura 1. 18: Despiece de una pinza de frenos con regulador de holgura automático
Fuente: (ROADHOUSE, 2005)

Normalmente las pastillas de freno se montan sobre las pinzas de freno de forma simétrica sobre el disco de freno; sin embargo, actualmente se tiende a montar las pastillas de forma asimétrica. Ambas pastillas están decaladas sobre el disco siguiendo el giro de éste. La ventaja fundamental de este montaje estriba en que con ella disminuyen las vibraciones que pueden producirse en la frenada, debidas a los posibles alabeos del disco.

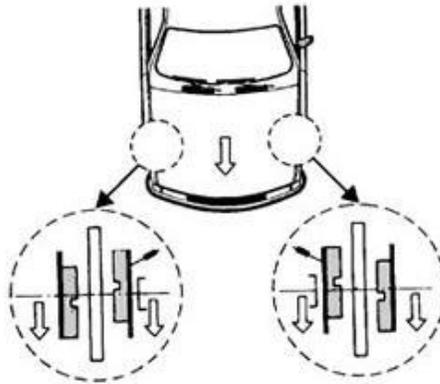


Figura 1. 19: Colocación de las pastillas de freno
Fuente: (ROADHOUSE, 2005)

En los vehículos de altas prestaciones se suelen utilizar frenos de disco de 4 pistones con mordaza fija. Estos pistones pueden empujar una sola pastilla por cada lado del disco de freno, o también se puede dividir la pastilla en dos partes por lo que cada pistón empuja una pastilla. Con esto se consigue una cierta distancia entre pastillas, creándose así un espacio que mejora la evacuación del calor generado en la frenada.

Para una misma superficie de rozamiento comparativamente con las pastillas convencionales, este sistema presenta la ventaja principal de que las temperaturas de funcionamiento son menores, al tiempo que disminuyen también los ruidos y vibraciones producidos en la acción de frenado. Por otra parte, puede aumentarse la superficie de fricción y, con ello, la eficacia de frenado.

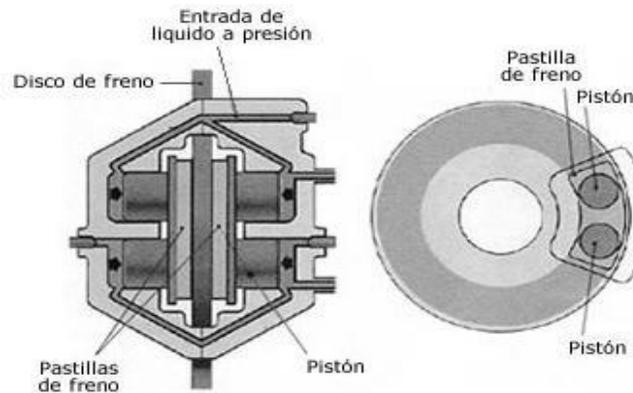


Figura 1. 20: Freno de disco de 4 pistones
Fuente: (www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

1.4.1.7 PASTILLAS DE FRENO

Son los que están en contacto con el disco de freno para disminuir la velocidad, poseen una superficie metálica que soporta al forro y es el apoyo en la pinza. El forro se ajusta perfectamente en la superficie del disco de freno.



Figura 1. 21: Pastillas de freno
Fuente: (www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm, 2012)

Es importante que los materiales de los forros de las pastillas no sean tan conductores de calor, los semi-metálicos presentan mayor conductividad térmica que los de amianto y pueden ocasionar una transferencia de calor excesiva hacia la pinza y así al líquido de frenos que puede llegar a la ebullición.

Además los requerimientos básicos del material de fricción son los que establece la propia aplicación del producto. Los más relevantes son:

- Tiene un coeficiente de fricción adecuado y estable a cualquier rango de temperatura y presión.
- Conservan un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste.
- Poseen una compresibilidad, tanto en frío como en caliente, realizando que el material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie con la que entra en contacto.
- Poseen resistencia al choque y al cizallamiento.

Se tienen dos tipos de pastillas, las sintéticas y las orgánicas. Las Sintéticas (Pastillas metálicas) son aquellas que contienen fibras metálicas: Bronce, hierro, y fibras de cerámica y grafito. Estos polvos metálicos se mezclan, después son polimerizadas a temperaturas bajo alta presión. El coeficiente de fricción de este tipo de pastillas de frenos es elevado y queda estable, tanto sobre un revestimiento seco, como mojado. El calor desprendido de un material sintético es más elevado que de un mineral orgánico por lo cual este necesita de un revestimiento en cerámica sobre la base de las pastillas a fin de aislar los pistones del estribo y evitar la ebullición del líquido de frenos.

Las Orgánicas (Pastillas Libres de asbesto) son aquellas que contienen polímeros: fibras de aramida, de grafito y fibras de metal, añadidas resinas que le dan la flexibilidad. El material de fricción está fijado a la pastilla por pegamentos especiales.

Estos materiales necesitan un rodaje térmico. El coeficiente de fricción de estas pastillas es elevado y el calor desprendido durante el frenado es inferior al de una pastilla sintética, permitiendo así una mayor duración del disco.

Los materiales de fricción se pueden clasificar según su coeficiente de fricción, capaz de ser estable en temperaturas, como se muestra en la tabla 1.2

Tabla 1. 2: Coeficientes de fricción de las pastillas de Freno.

Designación	Coeficiente de fricción
C	0.15
D	De 0.15 a 0.25
E	De 0.25 a 0.35
F	De 0.35 a 0.45
G	De 0.45 a 0.55
H	0.55

Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

1.4.1.7.1 UNDERLAYER (SUBCAPA)

El underlayer es una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al cáliper. Esta capa de material tiene su propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de frenos en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica.

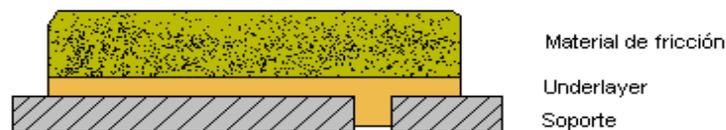


Figura 1. 22: Desglose de los componentes de la pastilla.
Fuente: (www.sabelotodo.org/, 2012)

1.4.1.7.2 EL SOPORTE

Es el elemento metálico cuya función es la de mantener el material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. La característica principal es que debe de ser lo más plano posible para evitar que durante en proceso de prensado en caliente y posterior curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción.

Los soportes se fabrican por estampación a partir de un fleje del espesor requerido. Dependiendo de la complejidad del soporte se fabrican en varios pasos, aunque es uno de los procesos más automatizados de la fabricación de las pastillas.



Figura 1. 23: Soporte metálico.

Fuente: (www.mecanicavirtual.org/frenos-1.htm, 2001)

Los soportes son pintados con un barniz de alta resistencia para prevenir la corrosión con el paso del tiempo. La impregnación del soporte metálico con una resina de gran adherencia es una fase crítica del proceso de fabricación, ya que se debe de garantizar una correcta adherencia del material de fricción al soporte.

1.4.1.7.3 ANTIRRUIDOS

Las láminas antirruidos son accesorios cuya función principal es la de absorber las vibraciones que se producen en el contacto entre la pastilla y el disco, evitando la aparición de ruido. Existen diferentes materiales, como son láminas de fibra de vidrio, láminas metálicas, cada aplicación lleva definida un tipo de lámina diferente dependiendo del tipo de vehículo en el cual va montada la pastilla.



Figura 1. 24: Laminas Antirruidos

Fuente: (www.mecanicavirtual.org/frenos-1.htm, 2001)

La forma de fijarlas al soporte suele variar dependiendo del tipo de material de la lámina antirruído. Existen láminas que van pegadas por medio de una resina fenólica las cuales tienen que ser comprimidas contra el soporte sometido el conjunto a una temperatura de unos 150°C. Otras láminas van remachadas a los tetones del soporte. Existe otra posibilidad de que la lámina vaya fijada al soporte por medio de patillas y embutida en dos tetones del soporte, para impedir su movimiento.

Con la cual permiten aumentar la compresibilidad de la pastilla de freno en frío con el consiguiente efecto positivo sobre los chirridos sin aumentar sensiblemente la compresibilidad de la pastilla de freno en caliente que pudiera dar lugar a carreras del pedal excesivas.

Subcomponentes que van incluidas en las pastillas, estos son los avisadores de desgaste.

La función de estos elementos es la de alertar al usuario del vehículo de que sus pastillas están al límite de su vida útil y debe de ser sustituidas. Existen algunas características:

1.4.1.7.4 SONOROS

Los avisadores sonoros son pequeños flejes que van alojados en los laterales del soporte, sobresalen unos dos milímetros de la superficie de fricción. Lo que produce que cuando la pastilla se ha desgastado y tan solo queda 2 mm de material de fricción este pequeño fleje roce contra el disco y se produzca un chirrido constante que avisa al conductor de que sus pastillas deben de ser sustituidas.

1.4.1.7.5 LUMINOSO

Los avisadores luminosos se componen de un cable conductor con una cabeza de polímero. Cuando este dispositivo va rozando con el disco, se debe a que a las pastillas solamente les quedan 3 mm. De superficie de fricción. El roce con el disco provoca su desgaste hasta que el cable llega a tener contacto con el disco, con lo cual hace masa, cerrando el circuito. Esto produce que se encienda un testigo en el cuadro que nos indica que debemos de pasar por el taller para cambiar las pastillas

1.4.2 FRENOS DE TAMBOR

Constan de un tambor sujeto a la rueda de forma tal que gira simultáneamente, en su interior, junto al semieje, están las dos pastillas, separadas en su parte inferior por un tornillo de ajuste, y en su parte superior por un cilindro de rueda. La presión hidráulica ejercida desde el cilindro maestro, causa que el cilindro de rueda presione las pastillas contra las paredes interiores del tambor, produciendo el descenso de velocidad correspondiente.

En el interior de un freno de tambor van alojadas las zapatas (B), provistas de forros de un material muy resistente al calor y que pueden ser aplicadas contra la periferia interna del tambor por la acción del bombín (C), produciéndose en este caso el frotamiento de ambas partes.

Como las zapatas van montadas en el plato (D), sujeto al chasis por el sistema de suspensión y que no gira, es el tambor el que queda frenado en su giro por el frotamiento con las zapatas.

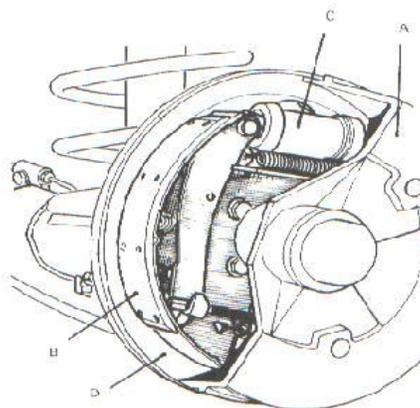


Figura 1. 25: Tambor ensamblado al vehículo
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

El Desgaste (perdida de superficie de un material por acción mecánica) que se produce en las frenadas debido al rozamiento de las zapata contra el tambor, hace que aquellas queden cada vez más separadas de éste en posición de reposo, lo que supone un mayor recorrido muerto en la acción de frenado y el envío de mayor cantidad de líquido desde la bomba.

Para corregir esto se debe de realizar un reglaje periódico de los frenos, que consiste en aproximar las zapatas al tambor lo máximo posible, pero sin que llegue a producirse el rozamiento entre ambos. Para realizar esta función se colocan en este tipo de freno unas excéntricas que limitan el recorrido tope de las zapatas hacia su posición de reposo. Mediante ellas se aproximan las zapatas al tambor cuanto sea necesario. La eficiencia de frenado depende de la calidad y condiciones del tambor.

1.4.2.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS DE TAMBOR

1.4.2.1.1 EL TAMBOR

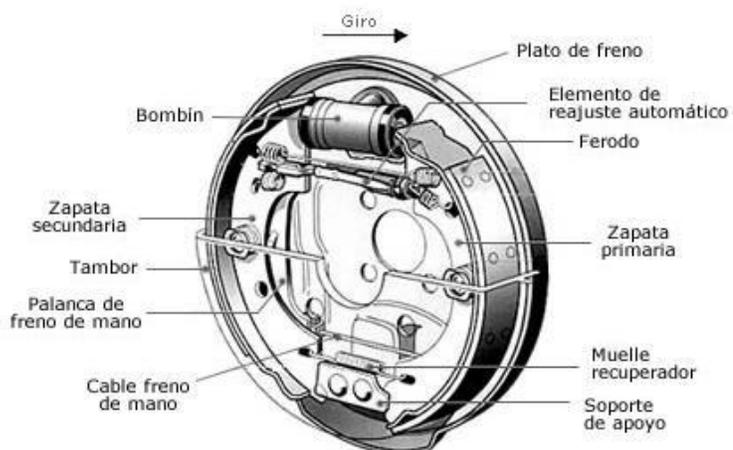


Figura 1. 26: Tambor ensamblado al vehículo
Fuente: (OROVIO MANUEL, 2002)

1.4.2.1.2 FRENOS DE ESTACIONAMIENTO

Se puede aplicar ya sea con una palanca manual o con un pedal. Algunos frenos de estacionamiento accionados con el pie utilizan un mecanismo de trinquete que requiere que el conductor oprima el pedal varias veces para poder aplicarlo. Este tipo de freno mecánico se conoce como de bombear para fijar. El mecanismo de pedal o de palanca se proyecta para aplicar la fuerza requerida sobre el freno de estacionamiento usando el

esfuerzo normal del conductor. Los frenos de estacionamiento se traban dentro de una ranura o muesca que lo mantiene aplicado hasta que se libere.

1.4.2.1.3 CILINDRO AUXILIAR O CILINDRO DE RUEDA

Su función es expandir la zapata para que entre en contacto con el tambor. Para este propósito, está provista de un doble pistón que recibe la presión hidráulica. Una vez ejecutada la función, un resorte devuelve los pistones a su posición normal.

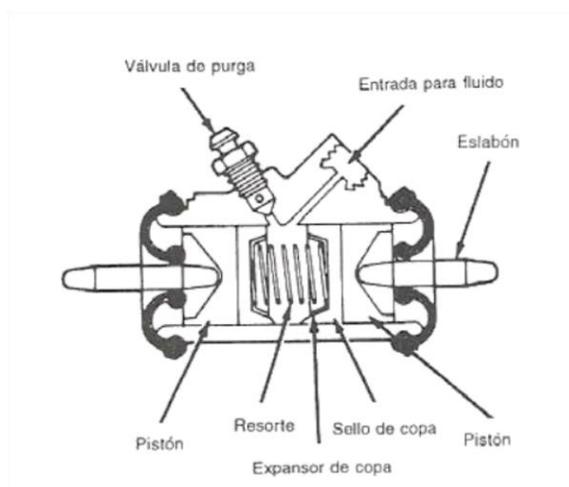


Figura 1. 27: Esquema de funcionamiento del cilindro auxiliar
Fuente: (OROVIO MANUEL, 2002)

1.4.2.1.4 ZAPATA

Es la encargada de detener la rueda mediante la presión que ejerce sobre la superficie de fricción del tambor. Se encuentra sujeta por unos pasadores u opresores en su parte central y por una palanca de apoyo.

1.4.2.1.5 RESORTES DE RECUPERACIÓN

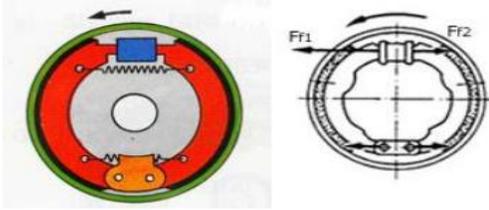
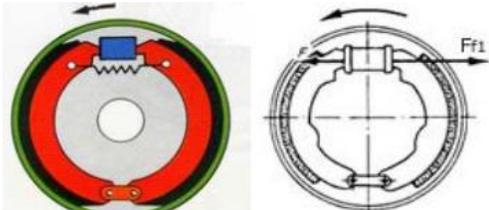
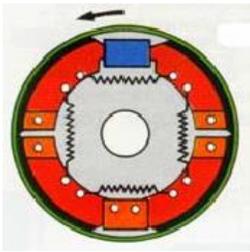
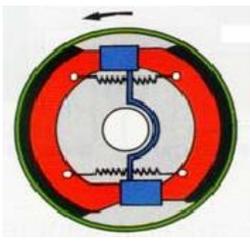
Su trabajo es recuperar la posición original de la zapata, cuando se libera la presión sobre el pedal de frenos. Son tres, dos se encuentran sujetos a los cilindros en la parte superior y uno se encuentra en el ajustador de frenos.

1.4.2.1.6 AJUSTADOR DE FRENOS

Se encargan de ajustar las zapatas de freno para su mejor rendimiento.

1.4.2.2. TIPO DE FRENOS DE TAMBOR

Tabla 1. 3: Descripción de los tipos de frenos de tambor.

Gráfico	Descripción
	<p>FRENO DE ZAPATAS FLOTANTES Las dos extremidades de las zapatas en lugar de estar articuladas sobre unos puntos fijos descansan sobre un tope. En funcionamiento las zapatas se centran ellas mismas y toman la posición lo más periférica posible para mejorar la frenada.</p>
	<p>FRENO AUTO-ARRASTRE Para conseguir obtener el efecto de arrastre sobre la zapata secundaria las dos zapatas están ligadas entre sí por un bieleta móvil.</p>
	<p>FRENO "FARKAS" Cuatro zapatas en lugar de dos para mejorar el apoyo de las zapatas sobre el tambor.</p>
	<p>FRENO CON DOS BOMBINES Si los bombines están situados en el sentido de ataque de las zapatas, las dos zapatas actúan exactamente como dos zapatas primarias: la potencia de frenada es netamente aumentada en marcha hacia delante. En marcha atrás la eficacia será por el contrario más débil, las dos zapatas están tensadas.</p>

Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DINÁMICO DE LOS FRENOS.

2.1 FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO DE FRENADO

Los frenos deben responder lo más exactamente posible a la solicitud del conductor, por lo que deben ser al mismo tiempo sensibles y graduales para modular la velocidad, y asegurar la detección completa y la inmovilización total del vehículo.

Los frenos trabajan por rozamiento entre una parte móvil solidaria a las ruedas y otra parte fija solidaria a la estructura del auto, por esta razón se presentará especial atención a su desarrollo y a la mejora de su eficiencia bajo diferentes condiciones operativas.

Se considerarán los vehículos como cuerpos rígidos, así mismo, se considerará que el movimiento se produce en línea recta y sin acciones laterales, por lo que el análisis de los esfuerzos y movimientos asociados al proceso de frenado puede realizarse tomando como base el diagrama del cuerpo libre bidimensional que se representa.

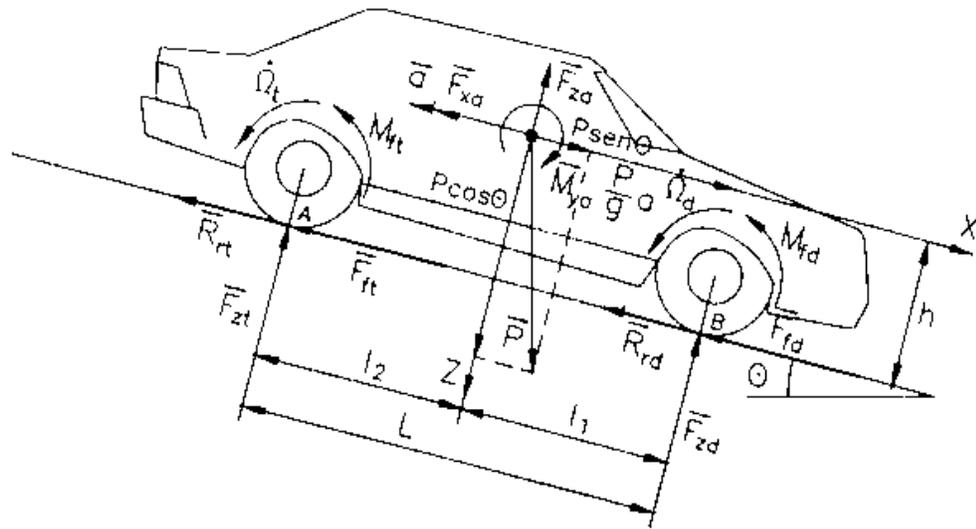


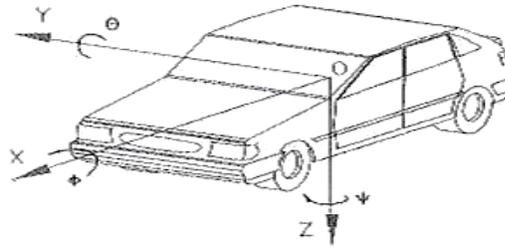
Figura 2. 1: Esquema de vehículo descendiendo sobre una superficie de valor Θ
Fuente: (ROADHOUSE, 2005)

En esta ilustración se ha representado el vehículo descendiendo sobre una superficie de valor Θ , ya que en este caso la componente del peso en dirección longitudinal $P \cdot \sin \Theta$ actúa como fuerza propulsora que ha de compensarse para frenar.

Se han representado los pares de frenado aplicados a las ruedas, M_{ft} y M_{fd} , las deceleraciones angulares de éstas Ω_t , Ω_d y las fuerzas de frenado en el contacto rueda calzada, F_{ft} y F_{fd} .

Representación del sistema de referencia con su descripción:

Tabla 2. 1: Sistema de referencia



SISTEMA DE REFERENCIA	DESPLAZAMIENTO	ÁNGULO
O - Centro de gravedad	X - longitudinal	ϕ - de balanceo
OX - Contenido en el plano longitudinal que contiene a O y es perpendicular al de rodadura. Paralelo al plano de rodadura	Y - Lateral	θ - de cabeceo
OZ - Perpendicular al plano de rodadura	Z - Vertical	ψ - de guiñada
YO - Fonna con los anteriores un triedro orientado a derechas		

Fuente: (APARICIO IZQUIERDO. F, 2001)

2.1.1 FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN SOBRE LOS NEUMÁTICOS.

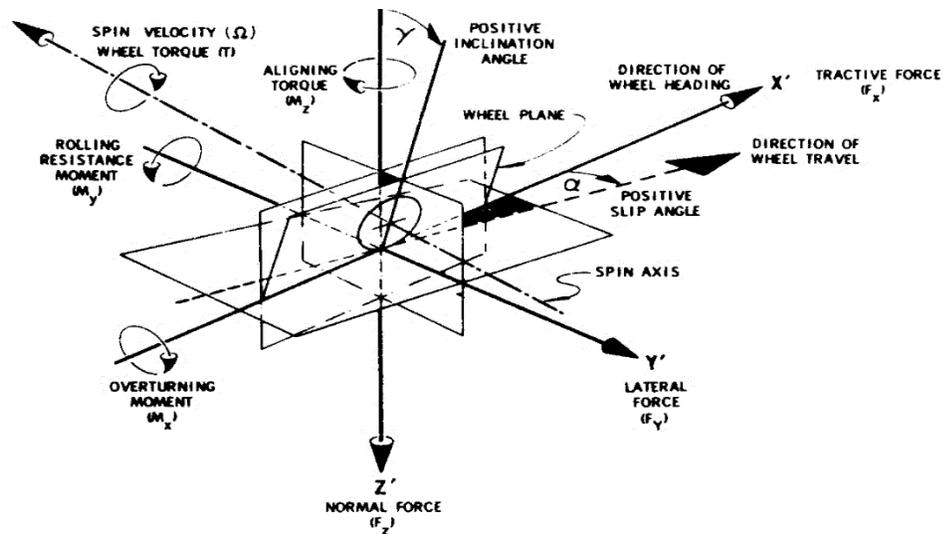


Figura 2. 2: Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos (Fuente: VERA C, 1995.)

Para analizar las componentes de la fuerza y momento resultante, que actúan sobre el neumático, como consecuencia de su interacción con el suelo, se utilizará el sistema de ejes recomendado por SAE que se representa en la Figura 2.2 Estos ejes se definen de la siguiente forma:

- Eje X. Es la intersección del plano medio de la rueda y el plano de la superficie de rodadura. El sentido positivo coincide con el avance del vehículo.

- Eje Z. Es perpendicular al plano de la superficie de rodadura y su sentido positivo coincide con el de penetración en el suelo.

- Eje Y. Es perpendicular a los anteriores y debe formar con ellos un sistema ortogonal orientado a derechas.

El origen del sistema se situará en el centro de la huella del neumático.

Teniendo en cuenta los parámetros geométricos, fuerzas y momentos representados en la figura anterior se consideran las siguientes denominaciones y definiciones:

2.1.1.1 PLANO DE LA RUEDA

Plano medio del neumático perpendicular a su eje de rotación.

2.1.1.2 CENTRO DE LA RUEDA

Punto de intersección entre el eje de rotación y el plano de la rueda.

2.1.1.3 CENTRO DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO

Punto de intersección entre el plano de la rueda y la proyección de su eje de rotación sobre el plano de rodadura.

2.1.1.4 FUERZA LONGITUDINAL (DE TRACCIÓN O FRENADO) F_x

Componente respecto al eje X de la fuerza que actúa sobre el neumático, como consecuencia de su interacción con el suelo.

2.1.1.5 FUERZA LATERAL F_y

Componente en la dirección del eje Y, de la fuerza que actúa sobre el neumático, como consecuencia de su interacción con el suelo.

2.1.1.6 FUERZA NORMAL F_z

Componente en la dirección del eje Z, de la fuerza que actúa sobre el neumático, como consecuencia de su interacción con el suelo.

2.1.1.7 MOMENTO DE VUELCO M

Es el momento, respecto al eje X, de las fuerzas de contacto que actúan sobre el neumático.

2.1.1.8 MOMENTO DE RESISTENCIA A LA RODADURA M

Es el momento, respecto al eje Y, de las fuerzas de contacto que actúan sobre el neumático. Se opone a la rodadura del neumático sobre el suelo.

2.1.1.9 MOMENTO AUTOLINEANTE M

Es el momento, respecto al eje Z, de las fuerzas de contacto que actúan sobre el neumático.

2.1.1.10 ANGULO DE DERIVA O DE DESLIZAMIENTO

Es el ángulo que forma la dirección de desplazamiento del centro de la superficie de contacto y la línea de intersección del plano de la rueda con la superficie de rodadura (eje X).

2.1.1.11 ANGULO DE CAÍDA Γ

Es el ángulo formado por el plano X-Z y el plano de la rueda.

La flexibilidad de la rueda neumática es la causa de la formación de una huella de contacto de superficie no nula, cuando existe una cierta fuerza en la dirección OZ entre el neumático y el suelo; esto hace que las fuerza de contacto constituyan una sistema distribuido, con una componente debida a la presión normal y otra a las tensiones cortantes en la interface, por efecto de la adherencia entre ambos cuerpos.

Los puntos de aplicación de la resultante de estas fuerzas distribuidas no coinciden con el centro de la huella de contacto, lo que da lugar a la no nulidad de los momentos de estos respecto a los tres ejes referidos.

2.1.2. FUERZA DE FRENADO.

Las fuerzas de frenado de un vehículo son las que se desarrollan en la superficie de contacto neumático-calzada, estas fuerzas se ven limitados por dos factores, el uno el impuesto por la adherencia y el otro por el mismo sistema de frenos del vehículo, este último es el crítico ya que si dicha fuerza rebasa el límite de adherencia neumático-calzada se puede llegar al bloqueo de las ruedas. La fuerza de frenado total, para alcanzar una deceleración a es:

$$F_f = P * \left[\frac{a}{g} - F_r \right] \quad \text{Ec 2. 1}$$

F_f = Fuerza de frenado (N)

F_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional)

P= Peso del vehículo (N).

a=Deceleración (m/s^2)

g= Aceleración gravitatoria (m/s^2)

2.1.2.1 PRINCIPIOS FÍSICOS

Todo cuerpo tiende a permanecer en su posición de reposo o bien a conservar su estado de movimiento. A fin de modificar el estado respectivo, es necesario utilizar o transmitir una determinada fuerza.

Las fuerzas que actúan sobre un vehículo en movimiento son:

- La fuerza de gravedad.
- La fuerza de viento atmosférico (resistencia al aire).
- La fuerza de los neumáticos (resistencia a la rodadura).

Sólo mediante la fuerza de los neumáticos puede obtenerse objetivamente un movimiento determinado, o la modificación del movimiento, la fuerza de los neumáticos se componen de:

- La fuerza periférica F_U debido a la impulsión.
- La fuerza lateral F_S debida a la dirección.
- La fuerza normal F_N debida al peso del vehículo

F_N Fuerza normal,
 F_U Fuerza tangencial (positiva: fuerza impulsora,
 negativa: fuerza del frenado),
 F_S Fuerza lateral.

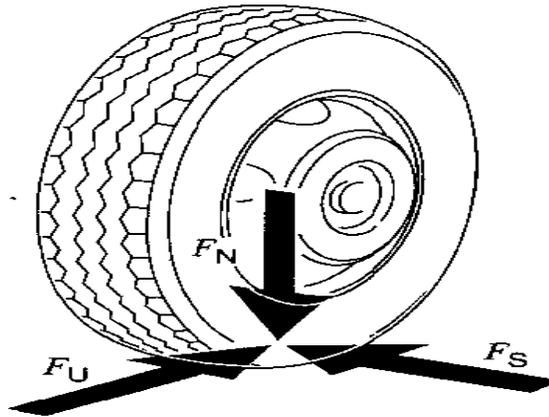


Figura 2. 3: Fuerzas que actúan sobre los neumáticos
Fuente: (VERA C, 1995.)

La fuerza periférica F_U actúa sobre el plano de la carretera, permitiendo al conductor acelerar el vehículo y desacelerarlo hasta frenarlo. La fuerza lateral F_S perpendicular a F_U , transmite el movimiento de la dirección a la carretera, ocasionando así la marcha en la curva. La fuerza normal F_N se determina mediante el peso del vehículo y la carga del mismo, es decir que es componente del peso que actúa perpendicularmente sobre la carretera. La medida en que las fuerzas ejerzan su efecto verdaderamente dependen del estado de la carretera, de los neumáticos y de las condiciones climáticas, es decir de la fuerza de rozamiento entre el neumático y la superficie de la carretera

2.1.3 RESISTENCIA Y COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA.

La resistencia a la rodadura (R_r) es la fuerza contraria al avance del neumático en dirección longitudinal, esta fuerza contraria es aplicada en la zona de contacto neumático-calzada, y la relación de esta fuerza con la carga normal P aplicada verticalmente en la superficie de rodadura, se denomina coeficiente de resistencia a la rodadura (F_r)

$$R_r = F_r * P \quad \text{Ec 2. 2}$$

$$F_r = 0.01 * \left(1 + \frac{V}{160}\right) \quad \text{Ec 2. 3}$$

En donde:

R_r = Resistencia a la rodadura (N).

V = Es la velocidad del vehículo (m/s).

Tabla 2. 2: Valores aproximados del coeficiente de resistencia a la rodadura (F_r) de los neumáticos.

TIPO DE VEHÍCULO	SUPERFICIE		
	HORMIGÓN ASFALTO	DUREZA MEDIA	ARENA
TURISMO	0.0015	0.08	0.30
CAMIONES	0.012	0.06	0.025
TRACTORES	0.02	0.04	0.20

Fuente: (APARICIO IZQUIERDO. F, 2001)

Deceleración del vehículo es:

$$a_{max} = \frac{P*\mu}{\frac{P}{g}} = \mu * g \quad \text{Ec 2. 4}$$

$$\frac{a}{g} = \mu \quad \text{Ec 2. 5}$$

En donde:

a_{max} = Desaceleración máxima de frenado (m/s^2)

P = Es el peso del vehículo (N).

μ = Es el coeficiente de adherencia entre neumático calzada (adimensional)

g= Es la aceleración gravitatoria (m/s^2)

Quedando:

$$F_f = P * [\mu - F_r]$$

Tabla 2. 3: Valores medios del coeficiente de adherencia entre neumático y superficie de rodadura

Tipo de suelo	Estado	Neumáticos nuevos	Neumáticos usados
Hormigón	Seco	1	1
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto grueso	Seco	1	1
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto normal	Seco	0.6	0.6
	Mojado	0.5	0.3
	Barro	0.2	0.1
	Hielo	0.05	0.05
Asfalto compacto	Seco	0.6	0.6
	Mojado	0.65	0.3

Fuente: AUSIRO (2005).

2.1.4 DESLIZAMIENTO

El deslizamiento o derrape del automóvil en la operación de frenado, se produce en la situación crítica del bloqueo de las ruedas cuando la fuerza de frenado supera la fuerza de inercia por tanto, la condición principal para un correcto frenado es detener el automóvil en el menor tiempo posible, pero sin llegar a bloquear las ruedas por los elementos frenantes del sistema de frenos.

Unos neumáticos muy desgastados, o bien, una calzada con lluvia, barro, nieve o hielo reducen considerablemente la adherencia de contacto, y el bloqueo de las ruedas se produce con una menor fuerza de frenado con el consiguiente deslizamiento y pérdida de direccionalidad del automóvil

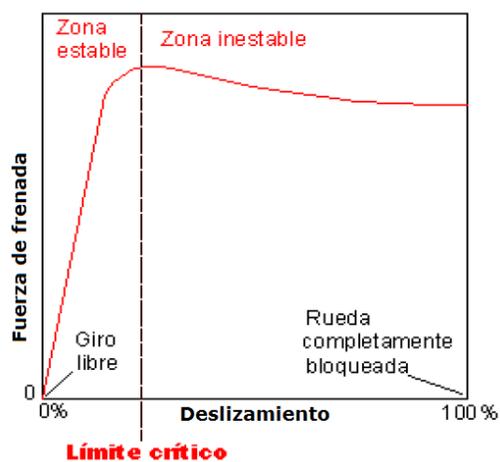


Figura 2. 4: Fuerza de frenado Vs deslizamiento
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

2.1.5 ACCIONES AERODINÁMICAS.

Las fuerzas aerodinámicas al avance solo tienen interés como fuerzas retardadoras a altas velocidades ya que su valor aumenta con el cuadrado de la velocidad que el vehículo lleve. Es decir que cuando doblamos la velocidad de un vehículo, por ejemplo de 80 Km./h a 160 Km./h la resistencia aerodinámica al avance, por ejemplo 40 Kg. se multiplica por cuatro siendo necesario un empuje de 160 Kg. A velocidades moderadas o bajas pueden despreciarse frente al valor de la fuerza de frenado.

La resistencia aerodinámica al avance, F_{xa} actúa más principalmente en vehículos de competición con un elevado coeficiente de sustentación negativa (downforce).

En los cálculos de frenado es frecuente no considerar la resistencia aerodinámica, con la cual se comete un error que resulta favorable a la seguridad. En cualquier caso, ciertos cálculos para el dimensionamiento del sistema de frenado no pueden tenerla en consideración ya que, en la fase previa a la parada, en la cual pueden requerirse esfuerzos de frenado máximos, dicha resistencia es prácticamente nula.

La fuerza de sustentación aerodinámica F_{za} y el par de cabeceo F_{ya} modifican las cargas dinámicas M_{ft} y M_{fd} que soportan las ruedas y, en consecuencia, la fuerza adherente. No obstante lo anterior, aunque suelen, también, despreciarse estas acciones, cuyos valores solo tendrán interés práctico a muy altas velocidades será interesante tenerlas en cuenta en vehículos de competición.

En la siguiente tabla vemos cómo crecen las fuerzas aerodinámicas y de rodadura así como la potencia necesaria que debe tener el vehículo para superarlas.

Tabla 2. 4: Representación de las resistencias y potencias a diferentes velocidades

Velocidad Km/h	Resistencia aerodinámica (Kg)	Resistencia a la rodadura (Kg)	Resistencia Total (Kg)	Potencia necesaria (CV)
40	5.3	10.0	15.3	2.3
80	21.6	14.0	35.6	10.7
120	48.6	19.0	67.6	30.6
160	86.4	26.0	112.4	67.9
200	135.0	32.0	167.0	126.2

Fuente: (ROADHOUSE, 2005)

Las acciones aerodinámicas que actúan sobre un vehículo pueden representarse por una resultante general de las fuerzas y un momento resultante, aplicados ambos al centro de gravedad del vehículo.

Las fuerzas aerodinámicas pueden estudiarse en función de la presión dinámica como $\frac{1}{2} * \rho * v^2$, y de una superficie característica, mediante un coeficiente adimensional de proporcionalidad, determinado experimentalmente, que se conserva prácticamente constante para valores del número de Reynolds suficientemente altos; los cuales se presentan en condiciones operativas normales del vehículo.

Resistencia aerodinámica al avance: $F_{xa} = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^2$

Ec 2. 6

Empuje lateral aerodinámico: $F_{ya} = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$ Ec 2. 7

Sustentación aerodinámica: $F_{za} = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$ Ec 2. 8

Como área característica se adopta la mayor sección transversal, que se denominará área frontal:

$A_f \approx f * b * h$ donde b y h son el ancho y alto de la cara delantera del vehículo y (f) un factor de corrección que varía entre 0.8 y 0.85.

Momento aerodinámico de vuelco: $M_{xa} = \frac{1}{2} * \rho * C_{MX} * A_f * L * V^2$ Ec 2. 9

Momento aerodinámico de cabeceo: $M_{ya} = \frac{1}{2} * \rho * C_{MY} * A_f * L * V^2$ Ec 2. 10

Momento aerodinámico de guiñada: $M_{za} = \frac{1}{2} * \rho * C_{MZ} * A_f * L * V^2$ Ec 2. 11

Siendo L la distancia entre ejes.

2.1.6 RESISTENCIA AL AVANCE

El valor de resistencia al avance de C_x , se ve afectado por un elevado número de factores de diseño: forma de la parte delantera del vehículo, inclinación del parabrisas, forma del techo, laterales, bajos, ruedas, diversos alerones (búsqueda de empuje negativo para conseguir agarre), etc. Su análisis requiere una extensión que sobrepasa el

objetivo primordial de este proyecto. En este capítulo solo se analizarán algunos conceptos de relieve y algunos cálculos experimentales.

Aunque se presenten valores con los que se puedan apreciar la influencia de ciertas partes y diseños del vehículo, en el coeficiente de resistencia al avance, deben tenerse en cuenta que tales influencias son interdependientes entre si y que, por tanto, en el diseño de un vehículo han de contemplarse conjuntamente todas las partes y zonas.

Aunque la contribución de las diferentes resistencias a la total varía de unos vehículos a otros, podemos ofrecer los siguientes valores, que solo pueden ser considerados como orientativos:

- Resistencia de presión o de forma 70%
- Resistencia de rozamiento o viscosa <10%
- Resistencia de densidad >10%
- Resistencia interna 10%

2.1.7 RESISTENCIA DEL MOTOR Y TRANSMISIÓN.

La transmisión ofrece una resistencia que se compone de la inercia, la cual puede ser incluida en el momento de inercia equivalente considerado para las ruedas y pérdidas de energía producidas en cada uno de sus elementos: cojinetes, engranajes, juntas, etc. las cuales se engloban en el rendimiento de la transmisión. El valor de esta resistencia puede

ser despreciado en cálculos normales de frenado, debiendo tenerlo en cuenta solo si se necesita una mayor precisión.

En cuanto a la resistencia que ofrece el motor, constituye, en muchos casos, un factor importante en el proceso de frenado. La potencia, como el par resistente, que ofrece el motor, en procesos de frenado en los que permanece conectado a las ruedas a través de la transmisión, es importante cuando gira a gran número de revoluciones y disminuye con la velocidad hasta hacerse pequeño en el último intervalo de un proceso de frenado. EL par a la salida del motor, dependerá de la relación de transmisión, ya que ésta condiciona la velocidad de giro. Por tanto, el valor de este par de frenado en las ruedas será:

$$M_{fm} = \frac{M_c \cdot \xi_j}{n_t} \quad \text{Ec 2. 12}$$

Siendo ξ_j la relación global de transmisión para el escalonamiento j de su caja de velocidades y n_t el rendimiento de la transmisión.

En bajadas prolongadas, especialmente si se trata de vehículos pesados, la retención efectuada por el motor es de suma importancia para preservar los elementos de fricción de los frenos se servicio, tanto de calentamientos como de mayores desgastes según **KENNEDY Y TIAN**. En algunos casos se recurre a controlar el tiempo de apertura de válvulas, o a usar dispositivos de restricción de la salida en el escape, para aumentar la presión efectiva en los cilindros y, por tanto, el efecto del llamado “freno motor”.

Los convertidores de par transmiten potencia desde el motor a las ruedas y no en sentido contrario. En ese caso no es aprovechable el esfuerzo retardador del motor en

procesos de frenado. En convertidores para vehículos pesados pueden incorporarse otros dispositivos de disipación de energía como, por ejemplo, elementos de restricción del flujo de fluido en circuitos internos del convertidor de par.

Por último, un breve comentario acerca del papel del motor en frenadas bruscas. Se ha dicho anteriormente que el motor juega un papel importante como elemento de retención, especialmente en bajadas prolongadas y, en general, en procesos de baja o nula deceleración, para mantener constante la velocidad. Cuando se pretende frenar con elevada deceleración, ante una emergencia, por ejemplo, el motor, no solo retiene, sino que debe ser frenado también, si permanece conectado a las ruedas a través de una transmisión mecánica, incrementando las exigencias sobre el sistema de freno.

Teniendo en cuenta la relación de transmisión y la inercia al giro que presenta el motor, puede calcularse un valor crítico de la deceleración, por encima del cual el motor debería ser desacoplado (desembragado) del resto de la transmisión siempre que se desee producir una deceleración apreciable y, desde luego, en frenadas de emergencia.

2.2. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA.

2.2.1 FRENADO DE VEHÍCULOS DE DOS EJES.

Como ha sido explicado anteriormente, el bloqueo de las ruedas de un eje produce efectos negativos. Por una parte, es sabido que en situación de bloqueo (deslizamiento

longitudinal unitario), el coeficiente de rozamiento entre neumático y calzada adquiere un valor inferior al de máxima adherencia, este último se da para un valor del deslizamiento longitudinal de valor próximo a 0.2 .En consecuencia, cuando las ruedas se bloquean, disminuye el valor de la fuerza de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que puede obtenerse en condiciones de rodadura.

El anterior efecto, a pesar de ser de gran interés, no es el más importante. EL bloqueo de ruedas supone la superación de la adherencia neumático-calzada en la dirección longitudinal, razón por la cual, la interacción entre ambos elementos será incapaz de ofrecer una resistencia que equilibre una posible fuerza lateral, por muy pequeña que ésta sea. Como, por otra parte, resulta en la práctica imposible que se produzca una situación exenta de todo esfuerzo lateral, el vehículo podrá experimentar un desplazamiento lateral cuyo efecto es diferente según el eje cuyas ruedas bloquean.

Si el eje que bloquea es el trasero, las fuerzas que actúan: de frenado y laterales en las ruedas delanteras, de inercia del vehículo y de rozamiento en las ruedas traseras, proporcionan un momento de desvío resultante que crece con el ángulo de giro ψ , hasta lograr que el vehículo gire completamente.

Con la cual si las ruedas que se bloquean son las del eje delantero, entonces las fuerzas de inercia aplicadas al centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye con el valor de la perturbación lateral.

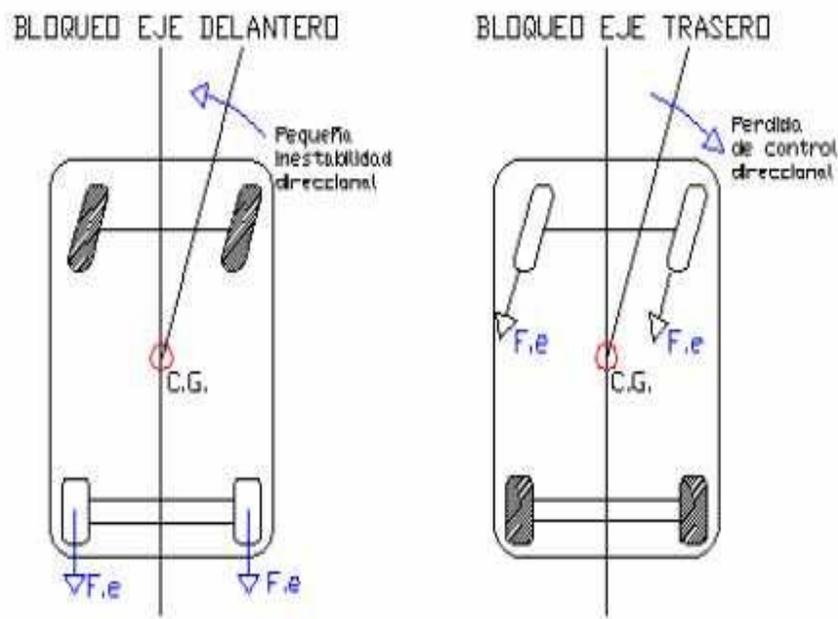


Figura 2. 5: Diagrama de las fuerzas provocadas por el bloqueo de un eje
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Además que si se bloquea las ruedas del eje delantero de un vehículo de dos ejes puede producir pérdida de control direccional, y consecuentemente si el vehículo se encuentra en una curva, el fenómeno de subviraje (el vehículo tiende a seguir una trayectoria recta).

En cambio si el bloqueo de las ruedas del eje trasero de un vehículo de dos ejes puede producir pérdida de control direccional, y consecuentemente si el vehículo se encuentra en una curva, el fenómeno de sobre viraje (el vehículo tiende a reducir el radio de giro impuesto por la dirección).

Permitiendo comprender que el bloqueo hace disminuir el coeficiente de adherencia, pasando al valor de rozamiento en deslizamiento, lo cual, en el mejor de los casos, si no

se produjese alteración grave de la trayectoria, haría aumentar la distancia de frenado respecto a la condición óptima de frenado (aprovechamiento máximo de la adherencia).

Se representa gráficamente:

2.2.1.1 BLOQUEO DEL EJE TRASERO

La siguiente situación se da cuando el eje delantero tiene adherencia pero el trasero se ha llegado a bloquear.

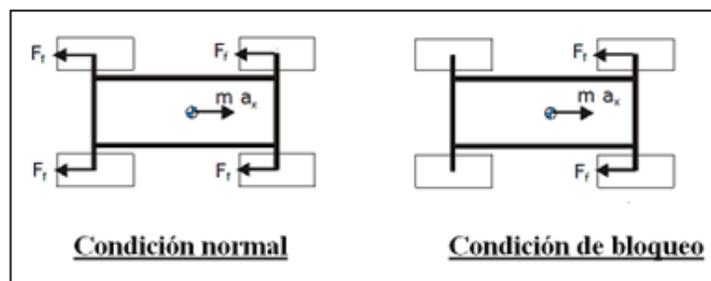


Figura 2. 6: Esfuerzos en condición normal y bloqueo del eje trasero.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Sin embargo, cuando un vehículo circula, aunque sea por una recta, está ligeramente desviado de la línea horizontal. Así, forma un ángulo Ψ con la horizontal.

De esta manera se produce un momento de guiñada que hace que la parte trasera del vehículo tienda a girar en torno al eje perpendicular a la calzada que pasa por el centro de gravedad produciéndose la llamada **inestabilidad direccional**.

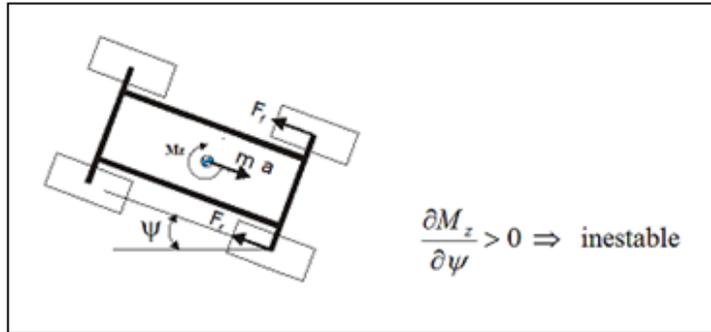


Figura 2. 7: Inestabilidad direccional
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

La consecuencia de este boqueo es un derrape o deslizamiento de las ruedas traseras que produce el giro del automóvil. La parte trasera avanza a la parte delantera del vehículo, provocando un trompo.

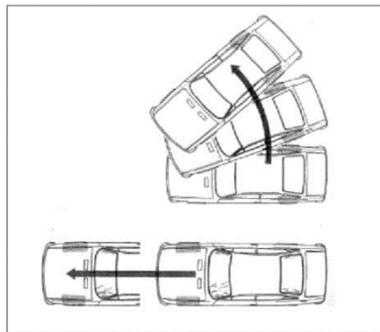


Figura 2. 8: Bloqueo de las ruedas traseras.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Para evitar esta situación, la instalación del sistema de frenos de los automóviles incorpora un regulador o limitador de frenado para las ruedas traseras. Sin embargo, si por el contrario, el bloqueo se produjese en las ruedas delanteras, el efecto del derrape o deslizamiento sería diferente.

2.2.1.2 BLOQUEO DEL EJE DELANTERO

En este caso, el eje trasero sí que tiene adherencia con la calzada pero el eje delantero se ha llegado a bloquear.

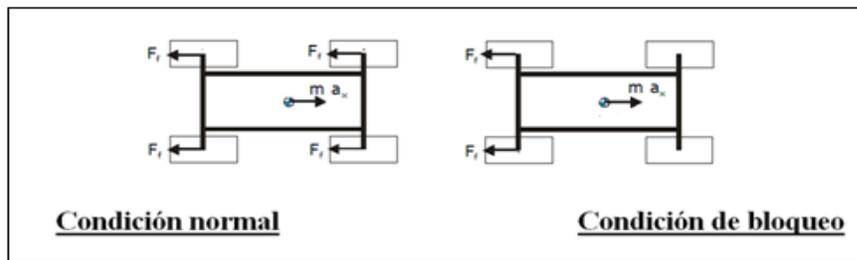


Figura 2. 9: Condición normal y de bloqueo en eje delantero
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

En este caso, las fuerzas de inercia aplicadas en el centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye con la perturbación lateral.

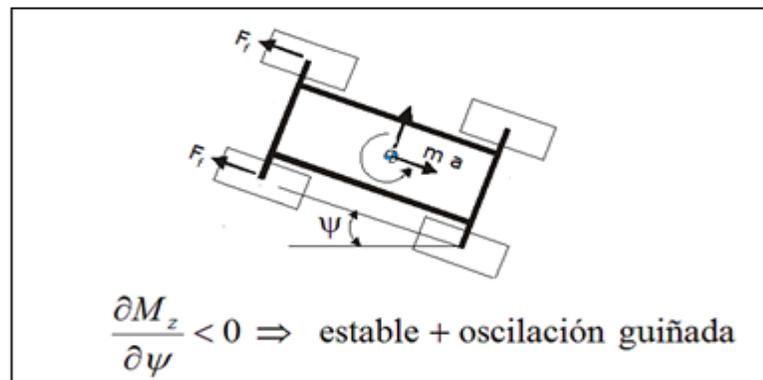


Figura 2. 10: Pérdida de control direccional
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

El ángulo de guiñada alcanzará un valor máximo, a partir del cual disminuirá, pudiendo cambiar de sentido, y produciendo cierta pérdida de control direccional, menos grave, en términos generales, que la inestabilidad.

2.2.1.3 DESLIZAMIENTO TRANSVERSAL

Cuando un automóvil toma una curva, las ruedas directrices se orientan según la trayectoria curvilínea, pero debido a la acción de las fuerzas perturbadoras que actúan en el automóvil (fuerza centrífuga, viento lateral, fuerza de tracción del propio motor), se genera un desplazamiento lateral que modifica el centro instantáneo de rotación y la trayectoria direccional teórica, provocando en el automóvil, una tendencia a salirse de la carretera.

La causa que más influye sobre la deriva de un automóvil en las curvas es la denominada Fuerza Centrífuga que se define como la relación entre la masa del vehículo en función del cuadrado de la velocidad de la marcha y el radio de la curva.

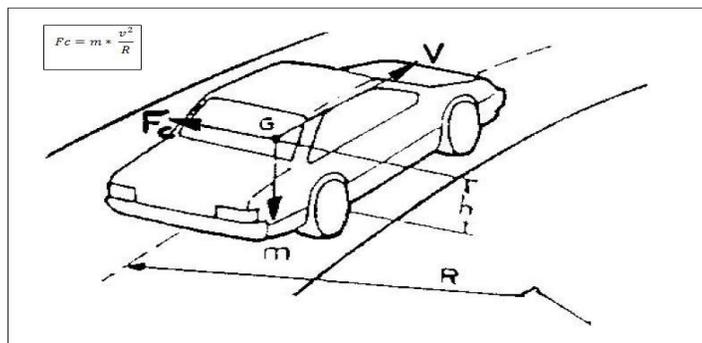


Figura 2. 11: Principales fuerzas en la toma de una curva.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Cuando la velocidad es muy elevada o la curva muy cerrada, se incrementa notablemente la acción de la fuerza centrífuga sobre el automóvil y el conductor debe adecuar la velocidad de la marcha.

Además, esta situación puede ser crítica si se sobrepasa el límite de estabilidad del propio automóvil definido por el denominado círculo de adherencia de los neumáticos. Según este círculo, cuando la resultante TC entre la fuerza de tracción T y la fuerza centrífuga C rebasa dicho círculo de adherencia, se provoca el derrape de las ruedas y la salida en curva de la vía.

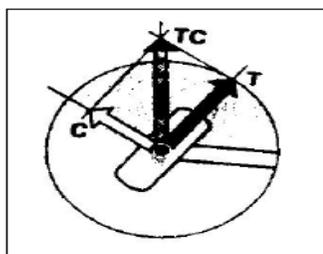


Figura 2. 12: Círculo de adherencia.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Además debe tenerse en cuenta que al actuar la fuerza centrífuga en las curvas y a la misma inclinación del automóvil hacia el exterior de la curva, se genera una transferencia de peso transversal, es decir, las ruedas exteriores se cargan y las interiores se aligeran, lo que modifica la adherencia de las ruedas en ambos laterales y también el posicionamiento del centro de gravedad.

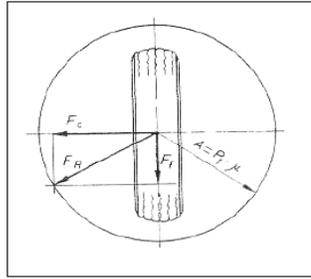


Figura 2. 13: Fuerzas al frenar en una curva.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Al pisar el pedal de freno, se combina la transferencia de peso longitudinal con el transversal. La fuerza de frenado aplicada se reparte lateralmente por igual a las ruedas exteriores y a las interiores a la curva.

A igualdad de coeficiente de adherencia, en las ruedas exteriores la fuerza de rozamiento es superior al de las ruedas interiores. En esta situación la resultante entre la fuerza de frenado y la fuerza centrífuga puede superar el límite del círculo de adherencia y producirse el deslizamiento lateral en la frenada. Además, como las ruedas interiores se aligeran, a igualdad de fuerza de frenado, también éstas pueden llegar a bloquearse provocando el derrape o deslizamiento del vehículo.

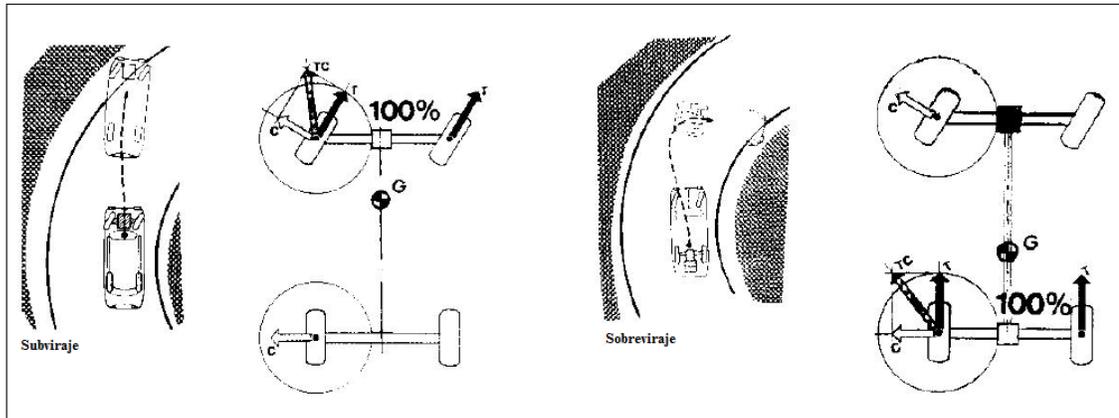


Figura 2. 14: Situaciones de subviraje y sobreviraje en una curva.
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

2.3 REPARTO ÓPTIMO DE LAS FUERZAS DE FRENADO

Cuando el vehículo se encuentra en estático, la masa del mismo se reparte entre el eje delantero y el trasero, con valores que el diseño del vehículo ha provisto. Casi todos los vehículos comerciales actualmente, son ligeramente más pesados en la zona delantera que en la trasera. Esto se debe a la situación del motor en esta parte además de que al traccionar sobre el eje delantero, la caja de cambio, diferencial, transmisiones, etc. Se encuentran también sobre él.

De esta forma el menor peso en el eje trasero implica que el diseño del reparto de fuerzas sea fundamental para no alcanzar el bloqueo de las ruedas traseras. Todo ello sumado a la transferencia de masa que se produce en el frenado desde el eje trasero al delantero significa que no sólo el eje trasero es menos pesado que el delantero, sino que por la dinámica vehicular en el eje trasero, siempre que se accione el freno, se va a descargar transfiriendo parte de esa carga al eje delantero.

Debido a todo ello, la fuerza frenante que se aplicará al eje delantero no es igual a la del eje trasero.

Esto se puede recoger en unas gráficas las cuales representan la deceleración relativa en la frenada respecto al reparto de cargas en los ejes.

En la Figura 2.18 vemos, para un valor de $\mu=0,8$, lo que ocurre con el reparto de frenada en cada eje y sus consecuentes bloqueos.

Considerando que tenemos en las cuatro ruedas el mismo grado de adherencia, la fuerza de frenado se distribuye por igual entre las ruedas delanteras y las traseras en función del peso que soportan. En el reparto de la fuerza de frenado hay que tener en cuenta que, en el momento de frenado y por efecto de la inercia, aparece una fuerza (F) que aplicada al centro de gravedad del vehículo (C.G), desplaza el conjunto de elementos suspendidos (peso total del vehículo) hacia adelante. Este efecto obliga a modificar las cargas sobre los ejes, ya que parte del peso se desplaza de las ruedas traseras a las delanteras, con lo cual aumenta la adherencia de éstas al suelo, debiéndose aplicar, por tanto, una mayor fuerza de frenado a las ruedas delanteras.

El peso transferido (Pt) en función de la fuerza (F), denominado carga dinámica, que depende del peso del vehículo y de la velocidad de desplazamiento, origina, en el momento de frenado, una inclinación del vehículo cuyo ángulo (β) depende de la

situación del centro de gravedad y de la distancia entre ejes, así como de las características de flexibilidad en la suspensión de sus ejes

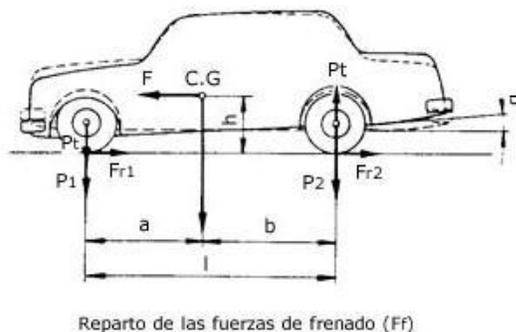


Figura 2. 15: Reparto de las fuerzas de frenado (Ff)
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

El valor del peso transferido al eje delantero suele ser aproximadamente el 20% del peso total del vehículo, calculándose en la mayoría de los casos por la fórmula:

$$P_t = 0.2 * P \quad \text{Ec 2. 63}$$

Al diseñar un vehículo, el fabricante tiene en cuenta este efecto, a fin de no sobrepasar la fuerza de frenado en cada una de las ruedas, obteniéndose así una gran eficacia en los frenos. Esta llega al 100% cuando la fuerza de frenado es igual al peso real que descansa sobre cada rueda al frenar.

Generalmente nunca se alcanza ese grado de eficacia en los frenos, considerándose buenos frenos cuando la eficacia es igual o mayor al 80% y malos frenos cuando es igual o inferior al 50%.

2.3.1 REPARTOS DE CARGAS EN EL VEHÍCULO

El reparto de cargas sobre los ejes del vehículo, según la posición del grupo moto propulsor, suele estar comprendido entre los siguientes valores:

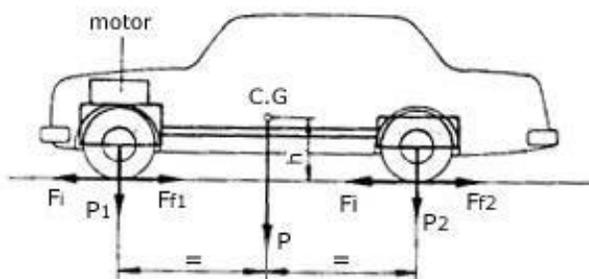


Figura 2. 16: Motor delantero y propulsión trasera
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

Motor y tracción delantera: el 60% en el eje delantero y 40% en el trasero.

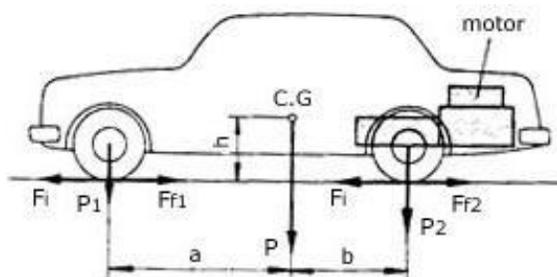


Figura 2. 17: Motor y propulsión trasera
Fuente: (POMPON JEAN PAUL CEAC, 1998)

La influencia del frenado en las ruedas también se manifiesta en las curvas. En ellas, junto a la fuerza de frenado aplicada a las ruedas, aparece una fuerza transversal consecuencia de la fuerza centrífuga, que hace aumentar o disminuir la adherencia del

neumático con el suelo, en función del peso transferido en la curva hacia las ruedas exteriores, las cuales ganan adherencia, mientras la pierden las interiores. Si en estas circunstancias se frena, puede llegarse a bloquear prematuramente cualquiera de las ruedas interiores, en particular la trasera, con el consiguiente derrapado del vehículo y pérdida de estabilidad.

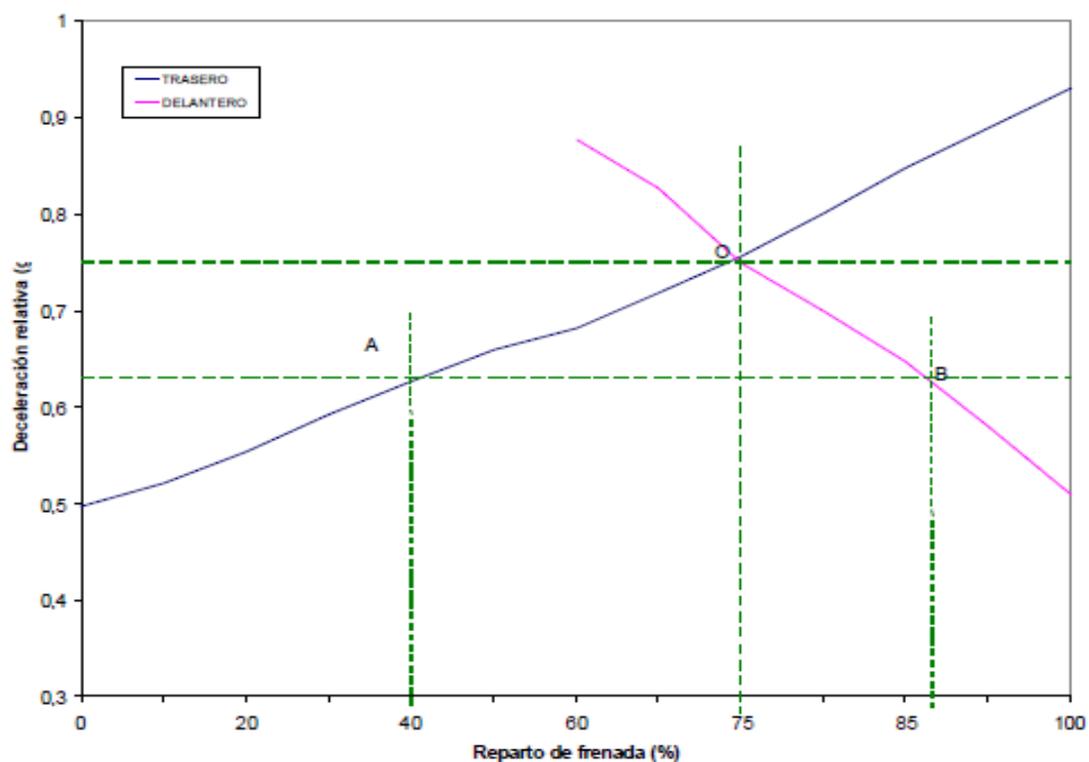


Figura 2. 18: Reparto óptimo de frenado.

Fuente: (www.monografias.com/trabajos89/fuerzas-desarrolladas-frenado-vehiculos-dinamica/fuerzas-desarrolladas-frenado-vehiculos-dinamica.shtml, 2001)

En el punto de intersección de las dos curvas correspondientes al eje delantero y al trasero (punto O) se determinaría un reparto de frenada del 75% en el eje delantero y el 25% en el trasero. En este caso tendríamos una deceleración relativa de aproximadamente 0,75. Así, estaríamos aprovechando al máximo la adherencia disponible.

Sin embargo, si nos fijamos en el punto B, el reparto de frenada sería de un 86% para el eje delantero y un 14% en el trasero llegando a bloquearse antes el eje delantero y consiguiendo una deceleración relativa máxima de 0,62 lo cual está muy por debajo de la óptima que era 0,75.

Fijándonos en el punto A, el reparto de frenada quedaría de la siguiente manera: un 40% eje delantero y un 60% para el trasero, llegando a bloquear antes el eje trasero y con una deceleración relativa máxima de 0,62.

A la vista de las dos situaciones anteriores, elegiremos la primera opción (86% en el eje delantero y 14% en el trasero) ya que, de esta manera, conseguimos la misma deceleración que con la segunda opción pero sabemos que el eje delantero será el primero en bloquearse. Tal y como hemos visto, esto es preferible al bloqueo del eje trasero en primer lugar.

Por ello, los vehículos van equipados con reguladores de presión que consiguen la variación de la presión del circuito trasero para evitar el bloqueo de los neumáticos y sus consecuencias.

Otro recurso utilizado para el cálculo del reparto óptimo de frenada son las llamadas curvas de equiaderencia. En estas curvas se representan gráficamente los valores de las fuerzas de frenado en el eje delantero y trasero en la condición de que las ruedas de ambos ejes alcancen, al mismo tiempo, la adherencia máxima.

La curva de equiadherencia es, por tanto, el lugar geométrico de las parejas de valores que, para una determinada situación de distribución de la carga del vehículo, logran la fuerza máxima de frenado simultáneamente en los dos ejes.

Es evidente que existirán tantas curvas de equiadherencia como posibles distribuciones de carga tenga el vehículo.

2.4. EL MECANISMO DE FRICCIÓN

Fricción es la resistencia al movimiento que existe cuando un objeto sólido se mueve tangencialmente con respecto a la superficie de otro sólido con el que está en movimiento.

La fricción se expresa en términos relativos de fuerza, como el coeficiente entre la fuerza de fricción y la carga nominal a las superficies de contacto, suele representarse por m , que es un coeficiente adimensional, es decir, carece de unidades ya que las dos fuerzas se miden en las mismas unidades.

$$m = \frac{F}{N} \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

Ec 2. 14

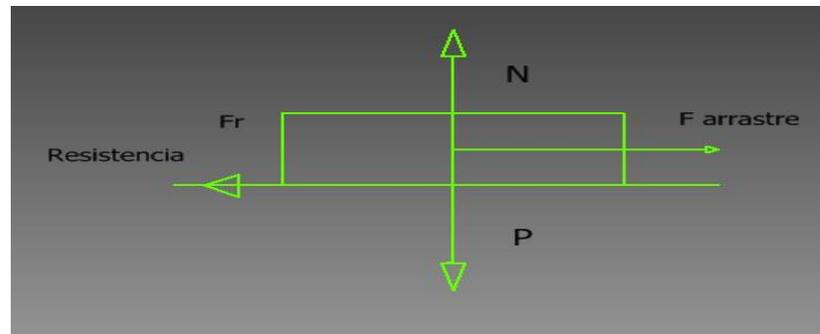


Figura 2. 19 Diagrama de cuerpo libre

Fuente: Autor

Hay que distinguir entre dos situaciones:

2.4.1 FUERZA DE FRICCIÓN ESTÁTICA

La necesaria para iniciar el movimiento. Si la fuerza tangencial aplicada es menor a este valor, no existe movimiento y la fuerza de fricción es igual o mayor a la tangencial aplicada.

2.4.2 FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA O DINÁMICA

Las leyes fundamentales de la fricción son:

- La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal.

$$F = m * N$$

Ec 2.15

- La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto (A_a). Por esta razón objetos grandes y pequeños del mismo par de materiales, presentan el mismo coeficiente de fricción.

La fuerza de fricción teóricamente es independiente de la velocidad de deslizamiento (aunque no es así en la práctica debido a la sensibilidad de los materiales de fricción a la presión, a la velocidad y a la temperatura).

Los coeficientes de fricción típicos que presenta el acero cuando se desliza sobre otros materiales son los que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 2.5. Coeficiente de fricción acero

Material 1 Vs. Material 2		μ
Acero	Acero	0.62
Bronce	Acero	0.24
Grafito	Acero	0.10

Fuente: (APARICIO IZQUIERDO. F, 2001)

A escala microscópica, las superficies de los sólidos presentan cimas y valles, que podemos evaluar midiendo su rugosidad. Debido a esta rugosidad cuando dos superficies entran en contacto, no lo hacen en todo el área aparente de contacto (A_a), sino que el contacto se verificará solo en algunos puntos de estas rugosidades.

A la suma de las áreas de los puntos en los que se verifica el contacto, la denominaremos área real de contacto (A_r). Esta área es independiente del área aparente de contacto.

Estos puntos de contactos son los encargados de soportar la carga normal y de generar la fuerza de fricción.

Cuando la carga normal aumenta, el número de puntos en contacto aumenta, aumentando el área real de contacto a pesar de mantenerse invariable el área aparente.

La fuerza de fricción es debida a varios efectos que suponen aportación de energía:

- Adhesión: principal componente de la fricción.
- Deformación.
- A la interacción entre asperezas.

La existencia de capas contaminantes entre el disco de freno y el material de fricción reduce considerablemente las fuerzas de fricción.

La existencia de una fuerza de fricción hace aumentar el área real de contacto y aumenta el barrido de la capa intermedia (tercera capa), aumentando la adhesión respecto al simple contacto.

Es importante destacar que a altas velocidades de deslizamiento de una superficie contra la otra, se aumenta la temperatura debido a la fuerza de rozamiento entre ambos materiales que se oponen al movimiento con lo cual se produce una conversión de la

energía cinética en calor (energía térmica) con el consiguiente aumento de la temperatura de ambas superficies.

2.5 FUERZAS DE ROZAMIENTO ENTRE ELEMENTOS FRENANTES

2.5.1 DIAGRAMA DE FUERZAS DE ROZAMIENTO EN EL DISCO DE FRENOS

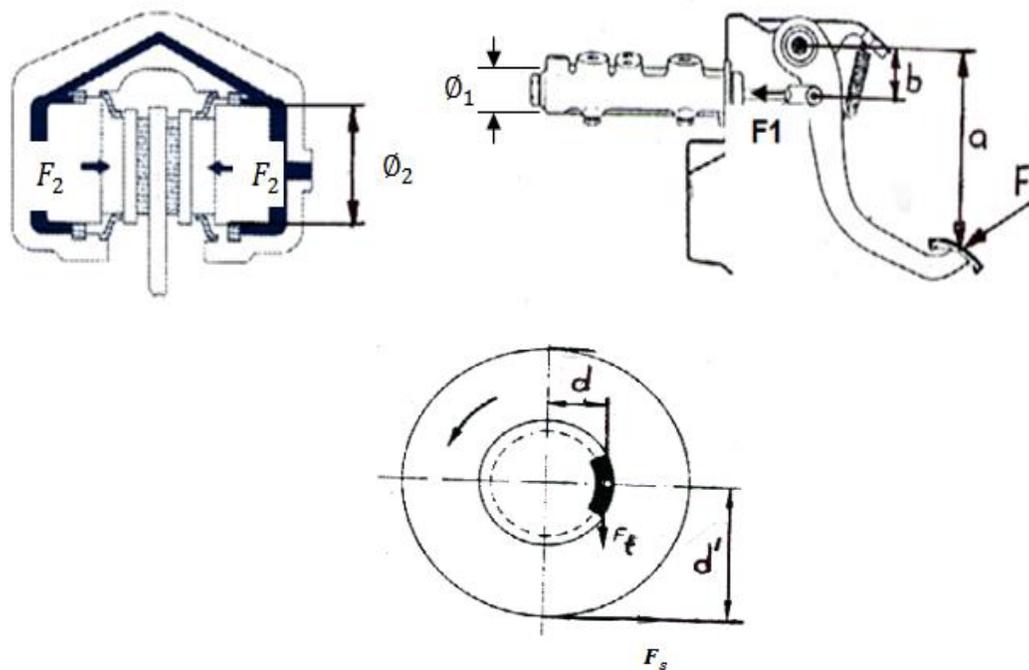


Figura 2.20: Fuerza de rozamiento entre los elementos frenantes (Disco)
Fuente: (APARICIO IZQUIERDO. F, 2001)

F = fuerza aplicada por el pie del conductor (N)

F_1 = fuerza de empuje del cilindro maestro (N)

a = distancia desde la fuerza aplicada por el pie hasta el eje del pedal.(cm)

b = distancia de F_1 hasta el eje del pedal. (cm)

\varnothing_1 = diámetro del embolo de la bomba (mm)

\varnothing_2 = diámetro del embolo de la pinza para el disco. (mm)

μ = coeficiente de rozamiento (Tabla 2.3)

F_t = fuerza de rozamiento entre disco y pastilla (N)

F_s = fuerza de adherencia entre el neumático con el suelo (N)

d' = medida desde el centro del eje de la rueda hasta la posición de rozamiento entre neumático-piso (cm)

d = distancia desde el centro del eje de la rueda hasta la posición de rozamiento entre elementos frenantes. (cm)

$$F_1 = \frac{F \cdot a}{b}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot \varnothing_2^2}{\varnothing_1^2}$$

Ec. 2. 16

$$F_{t1} = F_2 * \mu$$

2.5.2 TAMBOR

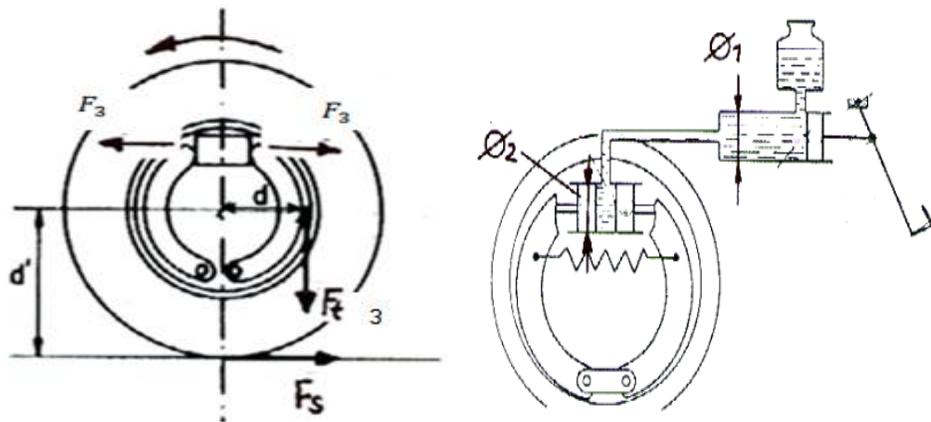


Figura 2. 21: Fuerza de rozamiento entre los elementos frenantes (Tambor)

Fuente: (APARICIO IZQUIERDO. F, 2001)

$$F_3 = \frac{F_1 * \phi_2^2}{\phi_1^2}$$

$$F_{t3} = F_3 * \mu$$

Ec. 2. 17

$$F_s = \frac{(F_{t1} + F_{t3}) * d}{d}$$

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROBLEMA

3.1. METODOLOGÍA DE LA EXTRACCIÓN DE TECNOLOGÍA

BENJAMÍN THOMPSON y JAMES PRESCOTT JOULE cita que:

El trabajo podía convertirse en calor o en un incremento de la energía térmica determinando que, simplemente, era otra forma de la energía.

La energía calórica o térmica puede ser transferida por diferentes mecanismos de transferencia, estos son la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado. Cabe resaltar que los cuerpos no tienen calor, sino energía térmica.

La fricción es la base de los mecanismos a través del cual la energía mecánica es convertida en energía térmica. **Según KREITH** la producción de calor está relacionada con la ruptura de los materiales cuando entran en contacto. Esto es ocasionado por la ruptura de los cristales debido a la "abrasión" al momento de rozar fuertemente, las partículas de ambos materiales en contacto se desprenden.

Sin importar que el neumático o la eficiencia de las pastillas que tiende a reducir la velocidad del vehículo, el mecanismo básico que comienza a tomar juego es la fricción.

En el caso del contacto entre pastillas y disco el valor de μ es menor a 1 y en la mayoría de los casos es alrededor de 0.4 cuando el coeficiente de fricción entre el neumático y el asfalto es de 0.8.

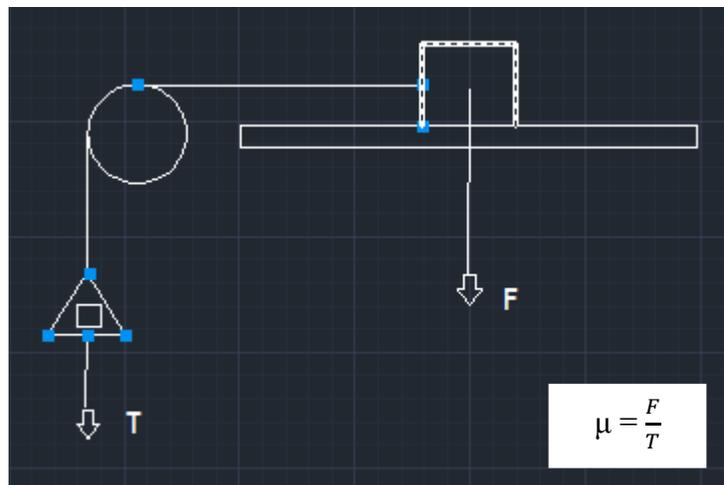


Figura 3. 1: Diagrama cuerpo libre
Fuente: Autor

Según **KENNEDY**, el calentamiento por fricción y las temperaturas del contacto que resultan pueden tener una influencia importante en el comportamiento de los componentes de los frenos, así como el aumento de la temperatura puede ser responsable de cambios en el factor de fricción

El otro mecanismo conocido es la ruptura por adhesión. La presión y la temperatura provocan la difusión de uno de los materiales en contacto e incluso puede llegar a provocar la fusión de uno de los materiales en contacto.

Debido a que los dos materiales en contacto se mueven en direcciones opuestas, las capas del material se rompen desprendiendo partículas y liberando calor. Ambos mecanismos juegan un papel importante cuando la balata hace contacto con el disco.

Estas partículas pueden ser proyectadas lejos de la interface de fricción en la cual, el desgaste se propagará en una manera lineal y suave, Pero cuando las partículas permanecen en la interface de fricción, se tiene un tercer componente en juego y por lo tanto el desgaste será modificado y mucho más rápido.

Los polvos formados en la interface de fricción, son mucho más abrasivos o lubricantes que los materiales originales y por lo tanto el coeficiente de fricción será alterado y en consecuencia la eficiencia de frenado. Está es una de las razones por la que las balatas contengan canales en la superficie y el propósito es para facilitar la eliminación de dichos polvos.

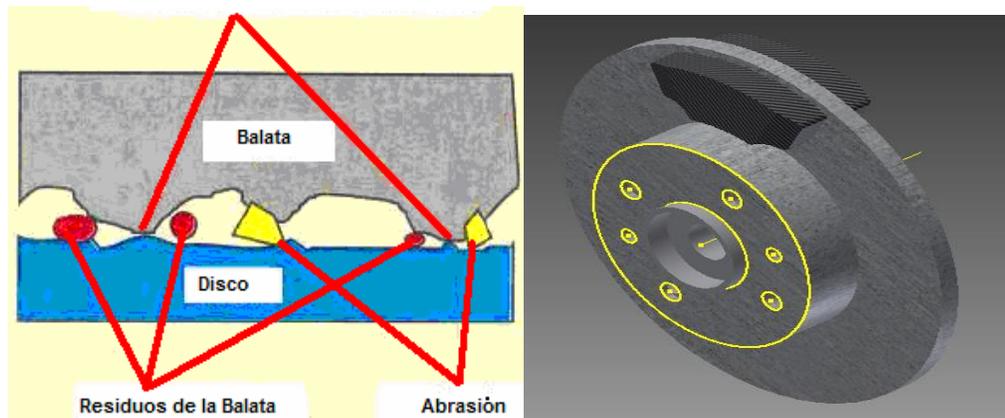


Figura 3. 2: Irregularidades en la interface de fricción
Fuente: Autor

Según **KREITH & BOHN**, la eficiencia de conversión entre energía cinética a térmica como ya lo dijimos, depende de los componentes de la pastilla, componentes del disco y una buena disipación de calor para mantener estable el coeficiente de fricción.

Como el disco es principalmente forjado en su fabricación, es el componente que llega más rápido y en algunos casos puede exceder su temperatura de fusión durante una frenada.

Este es un fenómeno de difícil medición, sin embargo, se instala termopares muy cercanos a la superficie de la balata y aplicando las leyes de difusión de calor, se puede hacer una aproximación en el punto exacto de contacto, donde se han encontrado valores de hasta 800 °C.

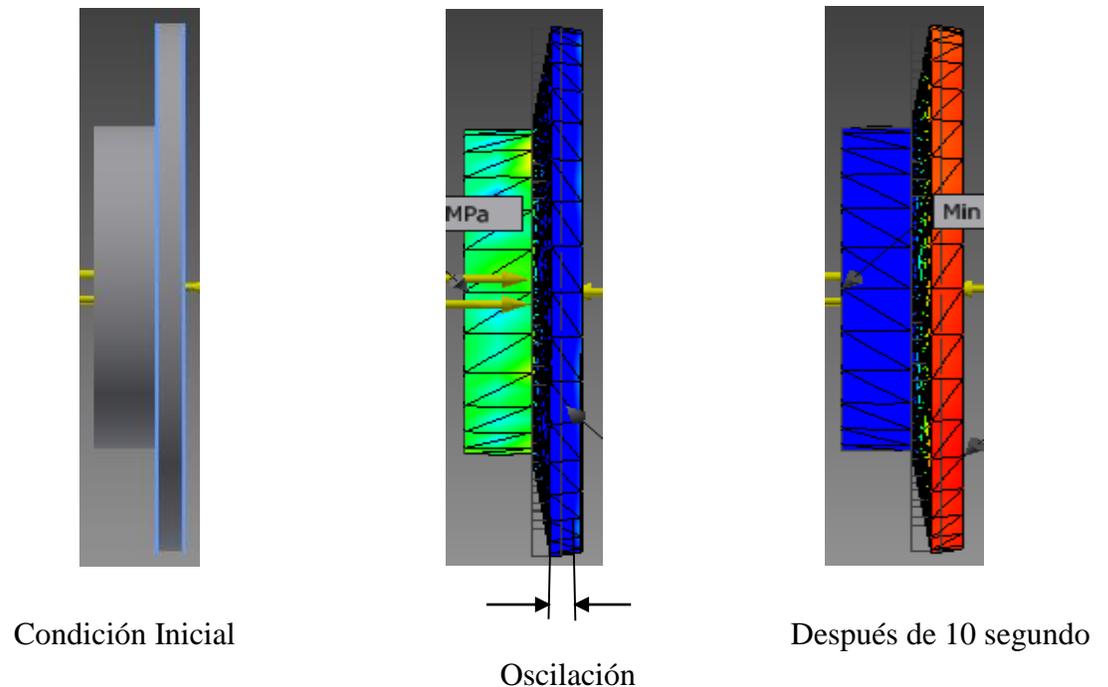


Figura 3. 3: Simulación en Inventor de temperatura del Disco - Balata al momento de frenar.
Fuente: Autor

3.2. PRINCIPIO DE TRANSFERENCIA Y DISIPACIÓN DE CALOR.

3.2.1 ENERGÍA DISIPADA EN LOS DISCOS DE FRENO.

Según **CARRANZA & BELTRÁN**, la energía a disipar por medio de los frenos, será igual a la energía cinética que poseen los vehículos al encontrarse en movimiento. Y en el vehículo se reparten las masas en los ejes, delanteras y posteriores, para el eje delantero es de 60 % y en el eje posterior es 40 %, Con la cual se puede comprender que el eje delantero tiene una mayor absorción de energía, y que el disco absorbe

aproximadamente un 90% de la energía en una rueda delantera, y la pastilla un 10%, esta proporcionalidad es en base a las masas del disco y la pastilla.

La energía de frenado está dado por:

$$E_f = \gamma f * m * \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) \quad \text{Ec. 3 1}$$

E_f = Es la energía a disipar por el sistema de frenos (J)

γf = **factor** de masas rotativas que es igual a 1,05 (adimensional)

m = masa del vehículo (Kg).

V_1^2 = energía cinética que lleva el vehículo a una velocidad $\frac{m}{s}$

V_2^2 = velocidad cuando se detiene el auto que es igual a 0 $\frac{m}{s}$

$$E_{f \text{ eje delantero}} = E_f * 0.6 \quad \text{Ec. 3 2}$$

$$E_{\text{disco}} = \frac{E_{f \text{ eje delantero}}}{2} * 0.9 \quad \text{Ec. 3 3}$$

La transferencia de energía que se manifiesta como calor se produce desde un medio de temperatura más elevada hacia otro con temperatura más baja, y dicha transferencia cesa cuando los dos medios igualan su temperatura. Existen tres maneras de transferir el calor: conducción, convección y radiación siempre que haya una diferencia de temperatura entre dos cuerpos, a continuación se describe cada uno de ellos.

3.2.2 CONDUCCIÓN

La conducción se da en los sólidos, líquidos o gases, y no es más que la transmisión de energía de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas siempre y cuando se encuentre juntas.

3.2.3 CONVECCIÓN

Según **KREITH**, es la transmisión de energía entre un sólido y el líquido o gas que estén adyacentes y en movimiento. Esta se relaciona con el movimiento de fluidos y la conducción. La transferencia de calor será más rápida mientras el fluido se mueva más rápido, si el fluido no se mueve existirá conducción pura.

3.2.4 RADIACIÓN

La radiación se presenta en forma de ondas electromagnéticas o fotones debido a los cambios eléctricos de los átomos o moléculas de un cuerpo. La transmisión de energía por radiación se da a velocidad de la luz a diferencia de la conducción y convección la radiación no requiere de un medio interpuesto para transmitir energía.

En una escala macroscópica, la fricción interactúa con las vibraciones y ondas que las causan, Dicha interacción establece una retroalimentación entre la fuerza de fricción y las ondas producidas en la superficie, de este modo haciendo la fricción y el movimiento de las superficies interdependientes.

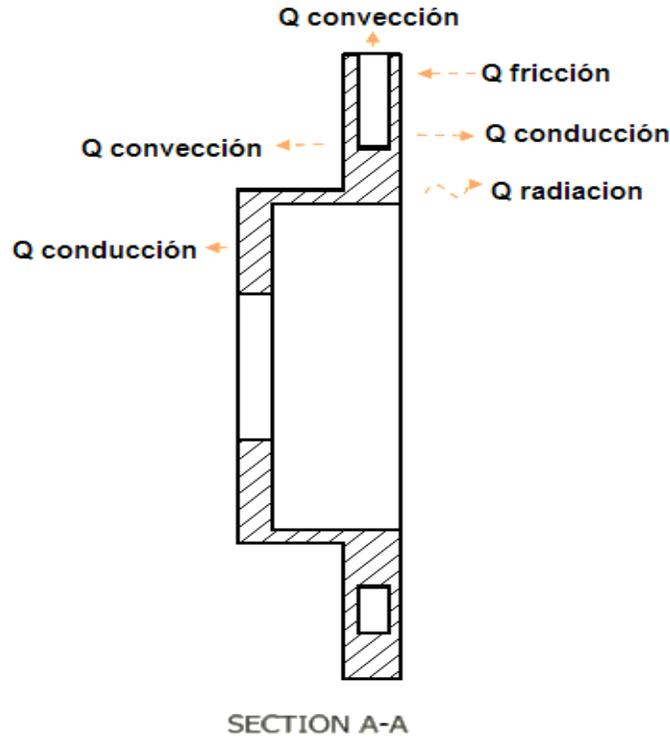


Figura 3. 4: Balance de energía térmica en el Disco
Fuente: Autor

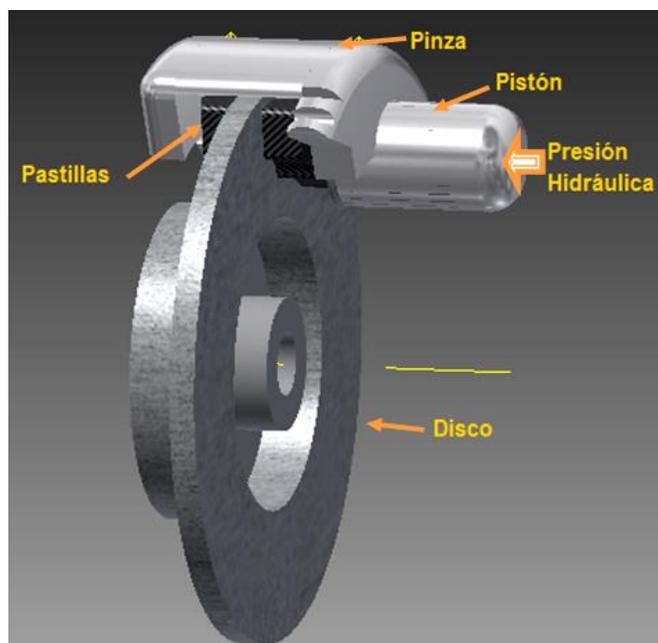
La mayor parte de la energía cinética del vehículo, se convierte en energía térmica entre las balatas y el disco, durante un frenado, sin embargo una parte pequeña de esta energía cinética, se convierte en vibraciones dentro del sistema de frenos, la cual puede ser transmitida a la suspensión del vehículo.

La energía de vibración sigue una trayectoria compleja, resultando en la radiación de ruidos en cualquiera de los componentes del sistema de frenos.

La función de un sistema de frenos, consiste en mantener estable el coeficiente de fricción durante la frenada, y teniendo una geometría perfecta y composición

homogénea en las balatas, el sistema experimentaría una fuerza normal y tangencial en su superficie de contacto, siendo estas fuerzas uniformemente distribuidas y constantes, desarrollando una distribución normal de esfuerzos durante el movimiento relativo.

El nudillo de la suspensión aloja al cáliper contra el chasis del vehículo y es quien contiene todos los momentos y esfuerzos generados durante el frenado.



**Figura 3. 5: Componentes del sistema de freno de disco en Inventor.
Fuente: Autor**

Bajo una constante fuerza normal en la pastillas, las fuerzas de fricción tangenciales generadas en la superficie de contacto, desarrollan un plano de vibraciones, sin embargo, a través de los cambios en las superficie de contacto por el desgaste, se altera el área de contacto y por lo tanto cambia el comportamiento de vibración, Incluso asumiendo una

constante fricción en la interface de contacto, Se induce un momento de reacción en el nudillo de la suspensión.

Con lo cual la fricción en las balatas y disco desarrollarían un plano de vibraciones constante entre ellos, sin embargo, esto no sucede en realidad debido a las interacciones e imperfecciones del camino, el peso del vehículo, composición de balata y disco no son constantes, el sistema no puede ser idealizado.

En su efecto, un coeficiente de fricción nunca será constante durante la frenada, principalmente por la temperatura en la superficie de contacto. Claramente puede evidenciarse que el coeficiente de fricción decrece drásticamente cuando la temperatura supera los 700 °C, lo que puede inducir la fundición en la superficie del disco.

3.3 TRANSMISIÓN DE CALOR

3.3.1 FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN PARA PLACAS VERTICALES

Los discos de freno están sometidos a dos tipos de movimiento, el primero que es el producido por el motor y transmitido por los ejes hasta la rueda y el segundo que es el movimiento de traslación que el vehículo lleva al desplazarse.

3.3.2 PROBLEMAS A CAUSA DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE FRENOS

3.3.2.1 FADING

Es la pérdida de eficacia de los frenos ante un uso continuado. Se produce porque el sistema no es capaz de desalojar el calor provocado por la fricción de sus distintos componentes (pastilla y disco o zapata y tambor). La resistencia de unos frenos al fading está muy relacionada con el tipo de conducción, la calidad de los materiales y componentes utilizados, especialmente del líquido de frenos, y de la forma o tamaño de la llanta, ya que de ella depende la entrada de más o menos aire para refrigerar.

Un ejemplo donde se puede dar este fenómeno es ante una cuesta muy pronunciada y larga, donde el conductor abusa de los frenos para detener el vehículo. Cabe destacar que para estos casos no hay nada mejor que el freno motor.

Cuando los frenos de un vehículo se encuentran bajo el fenómeno “fading” el riesgo de tener un accidente aumenta considerablemente. Unos frenos sobrecalentados tardan más en detener el vehículo por completo ya que las zapatas o las pastillas resbalan contra el elemento de fricción (tambor o disco)

3.3.2.2 JUDDER

El judder es un fenómeno debido a las vibraciones del sistema. Es decir, las vibraciones se hacen, más o menos palpables para el conductor, dependiendo en gran medida, del conocimiento de su propio vehículo. El judder puede ir acompañado por ruido aunque siempre de baja frecuencia, ya que recordemos que el ruido está producido por las vibraciones que alcanzan las frecuencias audibles.

El judder se divide en dos grupos:

3.3.2.2.1 EL JUDDER “FRÍO” (cold judder): Estas vibraciones son provocadas por imperfecciones de los discos tales como defectos de mecanizado en origen, o por defectos de montaje, holguras excesivas. Esto significa, todas aquellas causas que provoquen un aumento de la deformación del disco. Este cold judder se suele ocasionar a baja presión y baja deceleración. El paso de las pastillas por estas imperfecciones provoca las vibraciones al ser repelidas contra el pistón. El cold judder puede ser notado tanto en el pedal, como en el volante, sí este judder es muy acentuado se notará como vibraciones, como ruidos o ambos. Obviamente la calidad de las pastillas de freno puede aumentar o reducir el problema.

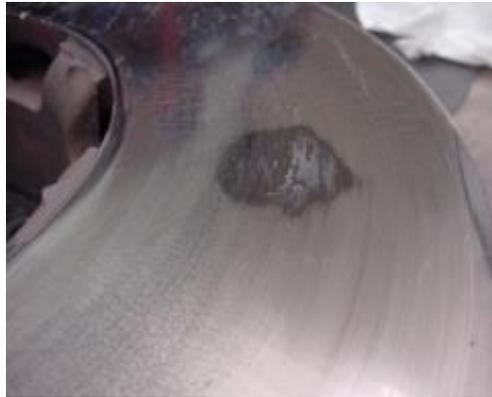


Figura 3. 6: Disco con cold judder.

Fuente: (www.bmwfaq.com/threads/todo-sobre-las-averias-en-los-frenos-muchainformacion.559179/, 2001)

3.3.2.2.2 JUDDER “CALIENTE” (hot judder): Son vibraciones que aparecen a alta temperatura durante procesos de frenado a presiones medias y velocidades altas ya que las frenadas en estas condiciones se alargan mucho en el tiempo, y la temperatura aumenta bastante hasta valores de 400 °C a 500 °C. Se produce hot judder cuando la fricción entre las pastillas – discos es más elevada en alguna de las zonas del disco.

En esa zona, la energía que se disipará será mayor con lo cual la temperatura será más alta aumentando rápidamente. Las vibraciones aparecen en los puntos calientes, que suelen estar distribuidos regularmente por el área del disco. Cuando estos puntos calientes se enfrían crean manchas oscuras o zonas de distinta coloración siendo más o menos visibles. Estas manchas son el resultado de la transformación de la estructura del material del disco. La estructura pasa de estar compuesta por un grafito laminar a ser de cementita. Esta estructura se caracteriza por su elevada dureza. Este cambio de estructura suele estar ocasionado por el propio material de fricción, el cual tenga alguna zona donde su coeficiente varíe, ya que puede deberse a incrustaciones de materias

primas mal mezcladas o simples variaciones de coeficiente por efecto de la temperatura en las distintas zonas de la pastilla de freno.

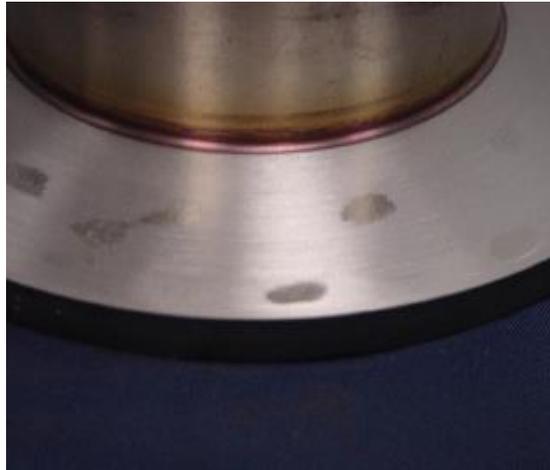


Figura 3. 7: Disco con hot judder.

Fuente: (www.bmwfaq.com/threads/todo-sobre-las-averias-en-los-frenos-muchainformacion.559179/, 2001)

3.3.3 DESGASTES PREMATUROS

El problema del desgaste prematuro está muy relacionado con problemas de recalentamiento y alta temperatura en el sistema de freno o también por el uso de pastillas de freno de baja calidad. En la mayoría de los casos cuando se abusa excesivamente de los frenos y estos trabajan durante mucho tiempo en temperaturas superiores a 450 °C, hace que el material de fricción se adhiera al disco (en casos de pastillas de freno de baja calidad) provocándose desgaste irregulares. Comienzan a aparecer grietas en el material de fricción que con el paso del tiempo podrán ser el inicio de pérdida de masa del material. Otra de las causas que pueden provocar un desgaste

prematureo de las pastillas se produce cuando durante el proceso de fabricación la distribución de la mezcla, durante el prensado, no ha sido todo lo homogénea que hubiese sido necesario.

En el apartado de desgastes prematuros, y dejando al margen aquellas pastillas de freno de calidad insuficiente, la clave es el correcto funcionamiento del cáliper, pues presiones residuales (después de liberar la presión del circuito) superiores a las necesarias para mantener el contacto pastilla / disco (par residual) suponen un calentamiento progresivo del sistema con los efectos consiguientes de incremento del desgaste con la temperatura.

Dada la importancia del fenómeno descrito, resulta imprescindible el comprobar dicho par residual girando la rueda libremente y observando que no existe resistencia a la rodadura. En caso contrario, se debe proceder a una revisión total del cáliper. Pueden, también, aparecer desgastes prematuros en aquellos vehículos cuyo conductor tiene el hábito de conducir con el pie sobre el pedal de freno en descensos largos aunque sea con baja presión, con la intención de simplemente ir reteniendo el vehículo.

3.3.4 PULLING

El efecto “pulling” indica el fenómeno de oscilación de coche durante una frenada o deceleración media / fuerte hacia un lado y después al otro. Este fenómeno no se debe a una avería en el sistema de freno sino a unas malas prestaciones del material de fricción.

La oscilación del vehículo se debe a que los pares frenantes de las pastillas no son constantes durante una revolución de la rueda, sino que van variando por un mal desarrollo del material de fricción.

Como obviamente dicho defecto no está sincronizado en las dos ruedas, se produce un efecto de frenado diferente en cada rueda que da lugar a fuerzas laterales sobre el vehículo que obviamente modifican la trayectoria del mismo apartándola de la línea recta en forma de ondulación.

3.3.5 PASTILLAS CRISTALIZADAS

La cristalización de la superficie de las pastillas ocurre durante frenadas a altas temperaturas (450 °C – 700 °C), como sucede durante descensos de puertos de montañas o durante una conducción muy deportiva con altas deceleraciones. Este problema se presenta principalmente en pastillas de freno con exceso de resina y tecnología de fabricación antigua.

Cuando el material de fricción se encuentra caliente en contacto con los discos, a temperaturas superiores a 350 °C, los contenidos orgánicos del compuesto se queman, llegando en primer lugar al estado líquido hasta producirse la carbonización completa, generando gases y humos en la pastilla.

Durante este proceso de transformación se puede formar en la superficie de la pastilla una película superficial muy fina y brillante, que hace disminuir el coeficiente. Esto hace que las prestaciones del material de fricción sean menores y que la carrera del pedal se haga más larga al disminuir el coeficiente de fricción como consecuencia de dicha película.

Si el material de fricción está bien diseñado, una vez que se enfrían las pastillas, recuperará en unas 50 o 100 frenadas el nivel de prestaciones que tenía en un principio.

En materiales mal creados, cuando el coeficiente de fricción baja a niveles de aproximadamente 0,10 estas prestaciones no se recuperaran. Esto lo comprobaremos porque el pedal estará muy duro, con una sensación de falta de frenado aunque nos apliquemos con mucha fuerza sobre el pedal. Cuando desmontamos las pastillas veremos la película con aspecto cristalizado en la superficie. Normalmente este problema suele ir acompañado de un nivel importante de chirridos.

El material de fricción en estas condiciones es totalmente irrecuperable porque resulta imprescindible el cambio de pastillas de freno.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL BANCO DE PRUEBAS.



**Figura 4. 1: Banco de Frenos conectado al PC.
Fuente: Autor**

El banco de pruebas diseñado nos permitirá primero conocer los elementos que conforma un sistema de frenos de un vehículo de turismo de disco y tambor, enfocándonos en el disco de freno con el cual nos permitirá conocer los problemas térmicos ocurridos en los discos de frenos macizo y perforado, mediante un monitoreo del software Arduino interface Arduino, al momento de aplicar el frenado del vehículo, para lo cual realizaremos una tarjeta de adquisición de datos comunicado por medio de un cable USB al computador tendremos los valores enviados por los sensores que recolectaran y analizaran la temperatura producida en el disco.

Además para un mejor análisis se reflejara gráficas que permita comprender que está produciendo con el respectivo disco de frenos.

El banco consta con un motor trifásico que nos permitirá tener el movimiento del eje en el cual está montado el disco con las mordazas y las pastillas de freno para su respectivo análisis térmico.

También el vacío que necesitamos en el momento de aplicar una fuerza en el pedal de freno lo hemos conseguido con un compresor de succión el cual funciona en conjunto con el motor eléctrico por medio de una polea y banda.

4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS EMPLEADO EN EL BANCO DE FRENOS.

4.2.1 PASTILLAS.



**Figura 4. 2: Pastillas de frenos usadas en el Banco
Fuente: Autor**

Son los elementos encargados de friccionar contra el disco y disminuir su régimen de giro. Se sostienen sobre una base metálica que se acopla perfectamente sobre la horquilla soporte.

4.2.2 CONDUCTOS Y LATIGUILLOS

Los conductos y los latiguillos son los encargados de conducir el líquido de frenos, soportando la presión interna del líquido, además deben de resistir la agresión medioambiental y otros agentes agresivos del entorno.

Son tubos de acero y muchas veces están recubiertas con polímero para resistir la corrosión, tienen un diámetro nominal de 2,5 mm y un diámetro externo de 4,5 mm. Cada extremo de la tubería está carenado con carena individual o doble para que coincida con el componente en el que se coloca, y tiene montada una tuerca de tuberías macho o hembra según sea necesario.

Los tubos flexibles están contruidos en capas, de los que el revestimiento, ha de ser resistente al aceite mineral, y el externo a partículas duras y daños producido por piedras, agua, sal y demás contaminantes que puedan existir en la carretera. El producto que se utiliza es un polímero de mezcla de etileno propileno dieno (EPDM).

Se emplea tela de rayón de capas múltiples para las dos capas de refuerzo, que resisten la presión del tubo flexible. Los tubos flexibles de frenos están diseñados para funcionar a una presión de 100 bares, su presión de rotura es unas 5 veces mayor.

4.2.3 PINZA DE FRENO



Figura 4. 3: Pinza de Frenos y cilindro
Fuente: Autor

La pinza de freno es el elemento encargado de soportar las pastillas además de empujarlas contra el disco cuando se presuriza el sistema.

El principio de funcionamiento es sencillo, al pisar el pedal del freno se actúa sobre el cilindro principal aumentando la presión de todo el sistema. Esta presión al ser aplicada sobre el pistón empuja la pastilla de freno interior contra el disco. Debido que la presión aplicada y el líquido encerrado actúan uniformemente en todas las direcciones, se ejerce simultáneamente una fuerza reactiva en el cuerpo. Esta fuerza desliza el cuerpo sobre los pernos de guía y tira de la pastilla exterior contra el disco.

El esfuerzo de frenado por lo tanto es igual a ambos lados. El ajuste de la separación de la pastilla con el disco después de completar el proceso de frenado se consigue de manera similar al de las pinzas fijas, por medio de la deformación controlada de la junta del pistón.

4.2.4 BOMBA DE FRENO



Figura 4. 4: Bomba de Freno y Depósito de líquido.
Fuente: Autor

La bomba de freno o cilindro principal, es el encargado de presurizar el líquido por todo el circuito hidráulico.

El sistema es tándem significa que la bomba dispone de dos pistones, colocados uno a continuación del otro, con los cuales se atiende al suministro del líquido a una presión igual para cada uno de los dos circuitos independientes normalmente distribuciones según una “X”. Es decir, un circuito actúa sobre la rueda delantera izquierda y también sobre la trasera derecha mientras que el otro actúa sobre la rueda delantera derecha y la trasera izquierda como elemento de seguridad en el caso de problemas de pérdida de eficacia en uno de los dos circuitos.

4.2.5 SERVOFRENO DEL SISTEMA DE FRENOS



**Figura 4. 5: Servofreno.
Fuente: Autor**

El servofreno es el sistema por el cual la fuerza que hay que ejercer sobre el pedal, para presurizar el circuito a una misma presión, se reduce. Es decir, es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal.

Las ventajas del servofreno no son exclusivamente las de poder realizar una presión mayor sobre el circuito hidráulico, y por consiguiente, sobre los pistones de las pinzas con un mayor descanso del pie. Si no que lo que se consigue es una mejor dosificación de la frenada.

Este funciona por vacío esto quiere decir aprovechando la depresión creada en el colector de admisión (pero en nuestro caso lo tomamos de un compresor de succión), cuando se retira el pie del acelerador para aumentar la fuerza que el pie proporciona al pedal del freno.

4.2.6 FRENOS DE TAMBOR

4.2.6.1 PLATO DE TAMBOR DE FRENO



Figura 4. 6: Plato de Freno de tambor
Fuente: Autor

El plato de freno está constituido por un plato porta frenos o soporte de chapa embutida y troquelada, sobre el que se monta el bombín o bombines de accionamiento hidráulico y las zapatas de freno y demás elementos de fijación y regulación.

Las zapatas se unen por un extremo al bombín y por el otro a un soporte fijo o regulable; a su vez, se mantienen unidas al plato por medio de un sistema elástico de pasador y muelle, que permite un desplazamiento de aproximación al tambor y las mantiene fijas en su desplazamiento axial. El muelle, que une las dos zapatas, permite el retroceso de las mismas a su posición de reposo cuando cesa la fuerza de desplazamiento efectuada por el bombín.

4.2.6.2 TAMBOR DE FRENO.



Figura 4. 7: Tambor de Freno
Fuente: Autor

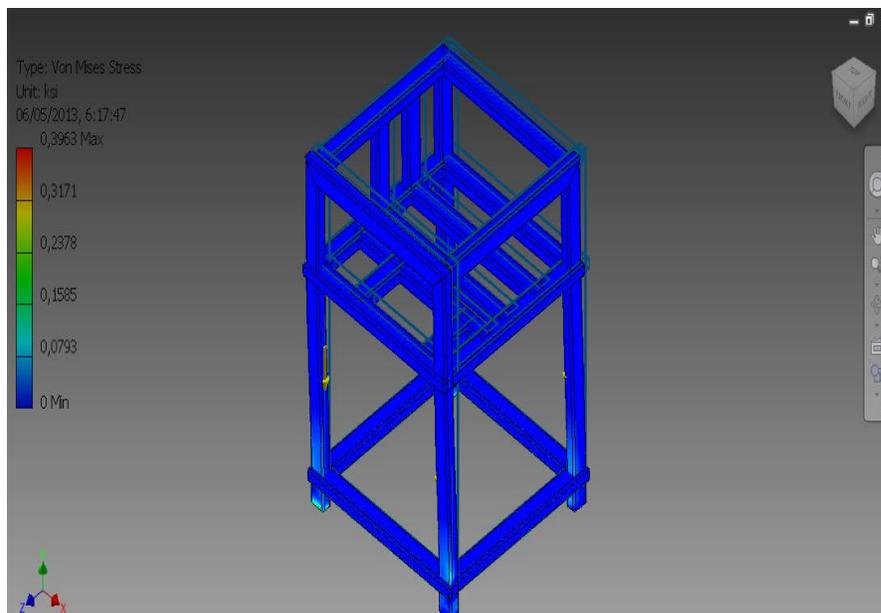
El tambor es la pieza que constituye la parte giratoria del freno y que recibe casi la totalidad del calor desarrollado en el frenado.

El tambor va torneado interior y exteriormente para obtener un equilibrado dinámico del mismo, con un mecanizado fino en su zona interior o de fricción para facilitar el acoplamiento con los ferodos sin que se produzcan agarrotamientos.

En la zona central lleva agujeros donde se acoplan los espárragos de sujeción a la rueda y otros orificios que sirven de guía para el centrado de la rueda al buje.

4.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO.

El diseño mecánico es importante para la construcción de un sistema mecatrónico, es por ello que es el primer paso que se realizó en el desarrollo del proyecto, de esta manera se conoce las características físicas del sistema antes de construirlo y por medio del análisis mecánico realizar las correcciones en el diseño obteniendo un sistema confiable y seguro. El diseño fue realizado con herramientas informáticas que posibilita realizar los análisis mecánicos correspondientes en Inventor Autodesk 2013.



**Figura 4. 8: Diseño en Inventor del Banco de Frenos.
Fuente: Autor**

4.3.1 FACTOR DE SEGURIDAD

Tabla 4. 1: Resultados en Inventor del factor de seguridad

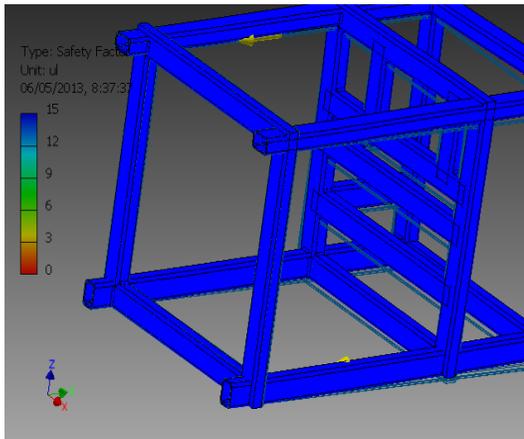
Result Summary		
Name	Minimum	Maximum
Volume	1127,51 in ³	
Mass	319,77 lbmass	
Von Mises Stress	0,0000558203 ksi	0,37823 ksi
1st Principal Stress	-0,116798 ksi	0,2955 ksi
3rd Principal Stress	-0,384844 ksi	0,110711 ksi
Displacement	0 in	0,000214789 in
Safety Factor	15 ul	15 ul

Fuente: Autor Inventor 2013

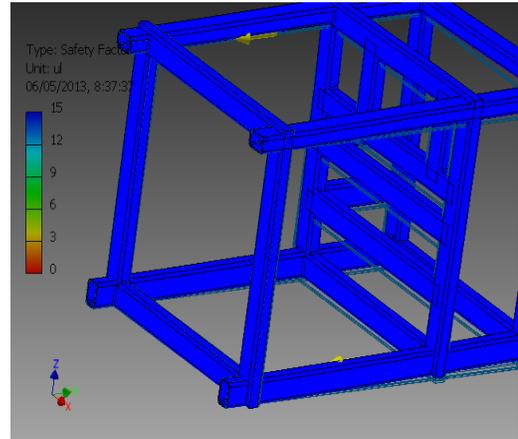
Obteniendo la tabla de valores con un Factor de Seguridad de 15, con la cual se sabe que las cargas a las que se va hacer sometido el Banco soportara sin ningún problema,

gracias a Inventor que me permite simular y obtener valores, con lo cual se analiza que si es factible la construcción mecánica.

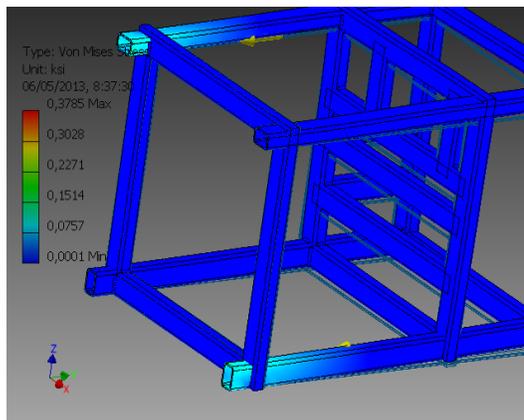
FACTOR DE SEGURIDAD



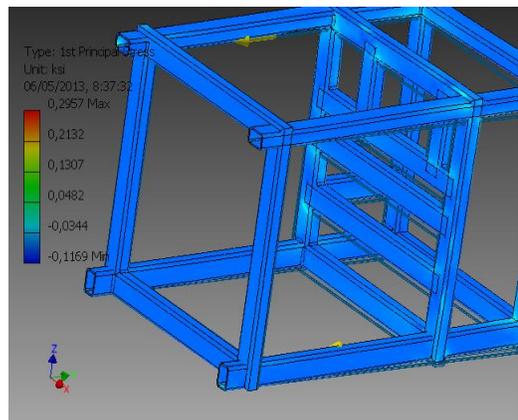
DESPLAZAMIENTO



Von mises tensión



Primera tensión principal



TERCERA TENSIÓN PRINCIPAL

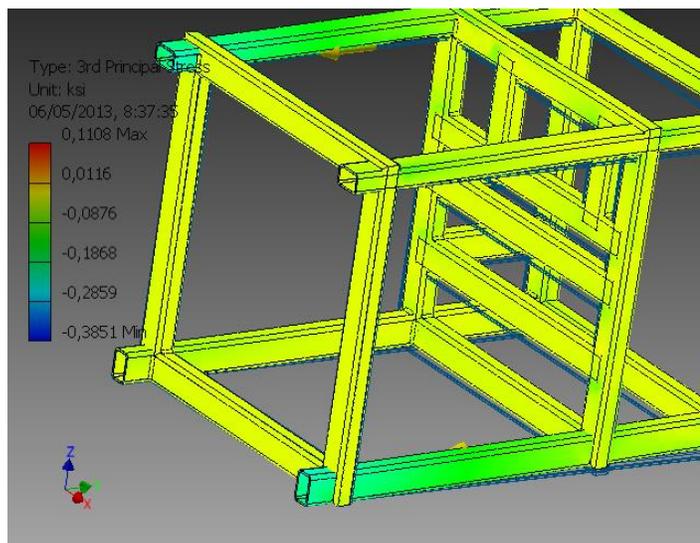


Figura 4. 9: Banco de freno simulado el peso que debe soportar
Fuente: Autor

4.4. INTRODUCCIÓN A LOS TRANSDUCTORES, SENSORES Y CAPTADORES

4.4.1 SENSOR

Es el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar. El sensor recibe la magnitud física y se la proporciona al transductor.

4.4.2 TRANSDUCTOR

Es un elemento o dispositivo que tiene la tarea de traducir o adaptar un tipo de energía en otro más adecuado para el sistema, es decir convierte una magnitud física, no interpretable por el sistema, en otra variable interpretable por dicho sistema. El

transductor transforma la señal que entrega el sensor en otra normalmente de tipo eléctrico. El transductor suele incluir al sensor.

4.4.3 CAPTADOR

Es un dispositivo encargado de recoger o captar un tipo de información en el sistema para realimentarla. Podemos decir por lo tanto que es un transductor que se coloca en el lazo de realimentación de un sistema cerrado para recoger información de la salida y adaptarla para poder ser comparada con la señal de referencia. Suele incluir al sensor.

4.4.4 TERMOPAR

Un termopar es un elemento formado por dos metales diferentes que unidos, produce una fuerza electromotriz o voltaje proporcional a la temperatura a la que se encuentra. En función de los dos metales que componen el termopar, las señales generadas en función de la temperatura son diferentes. En su aplicación industrial, para la medición de temperatura en los más diferentes procesos, se seleccionan diferentes parejas de metales actuando uno de ellos como polo positivo y el otro como polo negativo. La fem generada se mide en milivoltios y microvoltios en función del tipo de termopar.

4.4.5 TERMOPAR K

El rango de utilización de los termopares tipo K (NiCr-Ni) está entre 0 °C y 1.200 °C en función del tipo de construcción a realizar. Para los termopares con salida a cable la

temperatura máxima recomendable es de 300 °C estando muy condicionada por el tipo de cable de extensión utilizado. En el caso de los termopares con cabezal de conexiones, la limitación viene dada por los tipos de vainas de protección utilizadas así como por los ambientes oxidantes, reductores o por los tipos de metales fundidos cuya temperatura queremos medir. Se utilizan diferentes tipos de vainas metálicas de protección. En los casos en que la temperatura a medir es muy alta o el medio así lo requiere, se utilizan protecciones cerámicas fundamentalmente de alúmina con diferentes grados de pureza en función de la aplicación



Figura 4. 10: Termopar tipo K.
Fuente: Autor

4.4.5.1 LÍMITES DE ERROR DE LA TERMOCUPLA.

Tabla 4. 2: Limite de error de las termocupla.

Termopar Tipo	Temp. °C	Grado Estándar	Grado Especial
J	0 a 350	$\pm 1.0\text{ °C} + 0.75\%$	$\pm 0.5\text{ °C} + 0.4\%$
K	0 a 1250	$\pm 2.2\text{ °C} + 0.75\%$	$\pm 1.1\text{ °C} + 0.4\%$
T	0 a 350	$\pm 1.0\text{ °C} + 0.75\%$	$\pm 0.5\text{ °C} + 0.4\%$
E	0 a 900	$\pm 1.7\text{ °C} + 0.5\%$	$\pm 1.0\text{ °C} + 0.4\%$
R	0 a 1450	$\pm 1.5\text{ °C} + 0.25\%$	$\pm 0.6\text{ °C} + 0.1\%$
S	0 a 1450	$\pm 1.5\text{ °C} + 0.25\%$	$\pm 0.6\text{ °C} + 0.1\%$
B	870 a 1700	$\pm 0.5\%$	
N	0 a 1250	$\pm 2.2\text{ °C} + 0.75\%$	$+ 1.1\text{ °C} + 0.4\%$
T	-200 a 0	$\pm 1.0\text{ °C} + 1.50\%$	$+ 0.5\text{ °C} + 0.8\%$
E	-200 a 0	$\pm 1.7\text{ °C} + 1.0\%$	$+ 1.0\text{ °C} + 0.5\%$

Fuente:(www.termokew.mx/termopares.php, 2007)

4.4.6 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La señal que proviene de un sensor ha de ser acondicionada para ser procesada:

Es demasiado pequeña o débil	Amplificador
Contiene señales no deseadas	Filtrar
Dependencia no lineal	Linealizar
Es analógica	Digitalizador
Es un cambio de resistencia	Cambio de Tensión
Es un cambio de Tensión	Cambio de corriente

4.4.7 AMPLIFICADORES DE TERMOPAR MONOLÍTICOS CON COMPENSACIÓN DE UNIÓN FRÍA

El AD595 es un amplificador de instrumentación completo y el compensador de unión de frío de termopar sobre una laminilla monolítica. Esto combina una referencia de punto bajo con un amplificador pre calibrado para producir un nivel alto ($10 \text{ mV} / ^\circ \text{C}$) la salida directamente de una señal de termopar. Las diferentes opciones del AD595 permiten usar como un compensador de amplificador lineal o variable, el regulador usa control fijo. Esto puede amplificar su voltaje de compensación directamente, así convirtiéndolo a un transductor independiente Celsius con una salida de voltaje de impedancia baja.

El AD595 puede ser impulsado de un suministro solo de (+5 V) y por la introducción de un suministro negativo, las temperaturas debajo de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ pueden ser medidas. Para reducir al mínimo la autocalfacción, El AD595 maneja una corriente de suministro total $160 \text{ } \mu\text{A}$, pero es también capaz de entrega superior a $\pm 5 \text{ mA}$ a una carga.

4.4.7.1 INTERPRETACIÓN DE TENSIONES DE SALIDA AD595

Para alcanzar una salida proporcional de temperaturas de $10 \text{ mV} / ^\circ \text{C}$ y con exactitud compensa la unión de referencia sobre la gama nominal de operaciones del circuito, el AD595 tiene las características de usar los termopares de tipo de K. Extendiéndose el TC en $40.44 \text{ } \mu\text{V} / ^\circ \text{C}$. El beneficio de usar el AD595 es 247.3 ($10 \text{ mV} / ^\circ \text{C}$ dividido por $40.44 \text{ } \mu\text{V} / ^\circ \text{C}$). Además, una exactitud absoluta neto induce una

compensación de entrada a la característica de amplificador de salida de $11 \mu\text{V}$ para el AD595. Esta compensación surge porque el AD595 es ajustado para una 250 mV salida aplicando 25°C a la entrada de termopar.

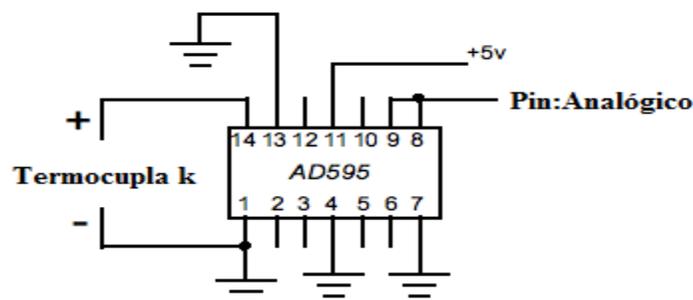
Como un voltaje de salida de termopar es no lineal en lo que concierne a la temperatura, y el AD595 directamente amplifica la señal compensada, las funciones de transferencia siguientes deberían ser usadas determinando los voltajes de salida reales:

$$\text{AD595 salida} = (\text{Tipo K Tensión} + 11\mu\text{V}) \times 247.3$$

$$\text{Tensión de tipo K} = (\text{AD595 salida} / 247.3) - 11\mu\text{V}$$

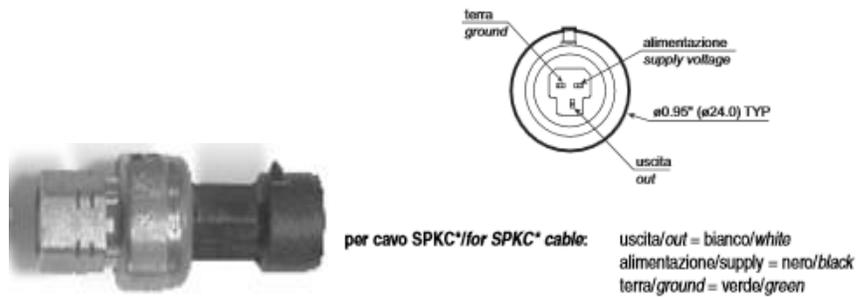
4.4.7.2 CONEXIÓN DE TERMOPAR TIPO K CON ARDUINO

La conexión estándar para el AD595 es al Pin análogo 1. El diagrama aparece mostrar el termopar conectado hacia atrás. El diagrama muestran que + va a fijar 1, - para fijar 14. La tierra va a fijar en 1.



**Figura 4. 11: Pines de conexión del Amplificador AD595 para Arduino.
Fuente: Autor**

4.4.8 SENSOR DE PRESIÓN SPKT0013R0



**Figura 4. 12: Sensor de Presión.
Fuente: Autor**

Especificaciones técnicas Sensor de Presión

- El suministro de energía 4.5 a 5.5Vdc
- Salida 0.5 a 4.5Vdc
- Hilo de conector 7/16"
- Condiciones de funcionamiento de INF-40t135°C
- Precisión +/-el 1.2 %
- Error de temperaturas +/-el 0.013 % / ° C
- Grado de protección IP65
- Frecuencia (50 a 2000Hz)

Formados por materiales cerámicos o cristales iónicos que generan una pequeña cantidad de energía eléctrica cuando son deformados.

Cuando sobre materiales piezoeléctricos (titanio de bario) se aplica una fuerza, las

cargas negativas del material se concentran en un lado mientras que el opuesto queda cargado positivamente, produciéndose un voltaje (y también un cambio en su capacitancia).

4.5 ARDUINO

Tabla 4. 3: Especificaciones de la Placa Arduino.

Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 Ma
Intensidad en pin	3.3V 50 Ma
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)

Fuente: www.arduino.cc, (1998)

Arduino es una plataforma de hardware que consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y tiene 14 entradas/salidas digitales (de las cuales 6 proporcionan salida PWM), 6 entradas analógicas, un cristal oscilador a 16Mhz, conexión USB, entrada de alimentación, una cabecera ISCP, y un botón de reset. El voltaje de la fuente puede estar entre 6 y 25 Voltios.

4.5.1 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Tras observar las alternativas anteriormente expuestas, se tomó la decisión de utilizar en la realización del Banco de pruebas térmico la placa Arduino y el AD595, debido a la amplitud de componentes existentes, así como ser un open-hardware.

Seguidamente escogemos la placa que más se adapte a nuestras necesidades.

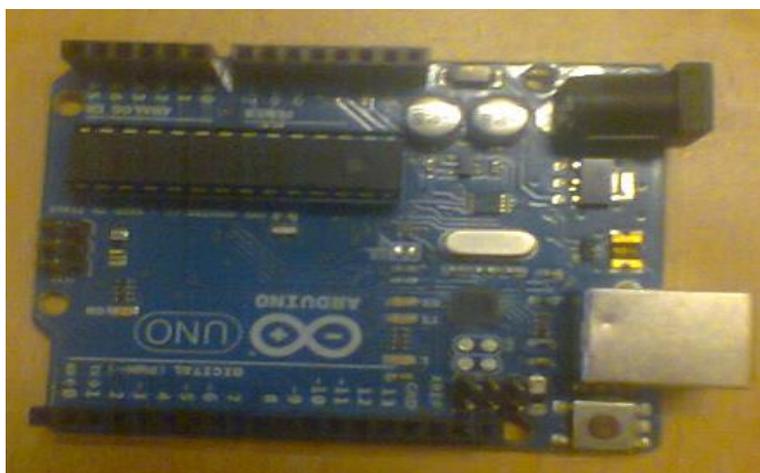


Figura 4. 13: Placa Arduino.
Fuente: Autor

Para programar la placa es necesario descargarse de la página web de Arduino el entorno de desarrollo (IDE). Se dispone de versiones para Windows y para MAC, así como las fuentes para compilarlas en LINUX. En el caso de disponer de una placa USB es necesario instalar los drivers FTDI. Estos drivers vienen incluidos en el paquete de Arduino mencionado anteriormente. Existe en las web versiones para distintos sistemas operativos.

Emprendimos a trabajar con el entorno de desarrollo de Arduino es configurar las comunicaciones entre la placa Arduino y el PC. Para ello deberemos abrir en el menú “Tools” la opción “Serial Port”. En esta opción deberemos seleccionar el puerto serie al que está conectada nuestra placa. En Windows, si desconocemos el puerto al que está conectado nuestra placa podemos descubrirlo a través del Administrador de dispositivos (Puertos COM / USB Serial Port).

Durante la carga del programa, en la placa USB, se encenderán los LED que indican que se están enviando y recibiendo información por el puerto serie: TX/RX. Si todo se ha realizado correctamente debe aparecer el mensaje “Done uploading”. Ahora tan sólo queda esperar unos segundos aproximadamente para comprobar que todo ha salido bien. Si el led colocado en el pin 13 de la placa se enciende y se apaga cada segundo entonces todo ha ido bien. Por fin tenemos todo listo para empezar a trabajar con la placa Arduino.

4.5.2 LABVIEW INTERFAZ PARA ARDUINO

Tiene por objetivo enviar paquetes de datos de LabVIEW para Arduino. Arduino procesa los paquetes y envía paquetes de retorno.

Los paquetes de retorno se analizan por LabVIEW para proporcionar información útil para el usuario final. Cada paquete es de 15 bytes por defecto y contiene un encabezado, un byte de comando, los bytes de datos, y una suma de comprobación. En definitiva adquiere datos desde el microcontrolador Arduino y procesarlo en el entorno de programación gráfica de LabVIEW

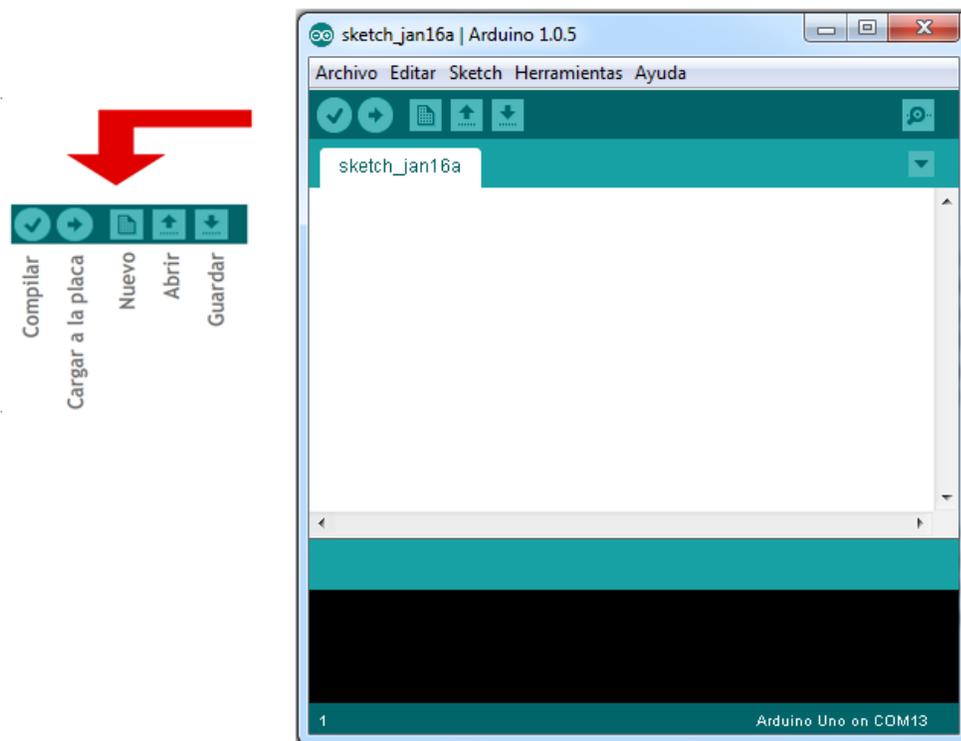


Figura 4. 14: Pantalla principal del programa Arduino.
Fuente: Autor

4.5.3 ESTRUCTURA BÁSICA DEL PROGRAMA ARDUINO.

Página principal ARDUINO cita que:

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: setup y loop. Setup() constituye la preparación del programa y loop() es la ejecución. En la función Setup() se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función se ejecuta una única vez y es empleada para configurar el pinMode e inicializar la comunicación serie. La función loop() incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.).

Además los código cada instrucción acaba con ; y los comentarios se indican con //. Al igual que en C se pueden introducir bloques de comentarios con /* ... */.

4.5.3.1 FUNCIONES

Una función es un bloque de código identificado por un nombre y que es ejecutado cuando la función es llamada. La declaración de una función incluye en primer lugar el tipo de datos que devuelve la función (ej. int si lo que devuelve es un valor entero). Después del tipo de datos se especifica el nombre de la función y los parámetros de la misma. La siguiente función es empleada para realizar un retardo en el programa leyendo el valor de un potenciómetro:

4.5.3.2 VARIABLES

Una variable debe ser declarada y opcionalmente asignada a un determinado valor. En la declaración de la variable se indica el tipo de datos que almacenará (int, float, long).

Una variable puede ser declarada en el inicio del programa antes de `setup()`, localmente a una determinada función e incluso dentro de un bloque como pueda ser un bucle. El sitio en el que la variable es declarada determina el ámbito de la misma. Una variable global es aquella que puede ser empleada en cualquier función del programa. Estas variables deben ser declaradas al inicio del programa (antes de la función `setup()`).

4.5.3.3 TIPOS DE DATOS

Arduino permite manejar los siguientes tipos de datos:

- **Byte.** Almacena un valor numérico de 8 bits. Tienen un rango de 0-255.
- **Int.** Almacena un valor entero de 16 bits con un rango de 32,767 a -32,768.
- **Long.** Valor entero almacenado en 32 bits con un rango de 2,147,483,647 a -2,147,483,648.
- **Float.** Tipo coma flotante almacenado en 32 bits con un rango de 3.4028235E+38 a -3.4028235E+38.

- **Arrays.** Se trata de una colección de valores que pueden ser accedidos con un número de índice (el primer valor del índice es 0). Ejemplos de utilización:
- **Definición y asignación.** `int myArray[] = {value0, value1, value2...}`
- **Definición.** `int myArray[5];` // declara un array de 6 enteros
- **Asignación del cuarto componente.** `myArray[3] = 10;`
- **Recuperar el cuarto componente y asignarlo a x.** `x = myArray;`

Para su utilización en sentencias condicionales u otras funciones Arduino permite utilizar los siguientes operadores de comparación:

- `x == y.` x es igual a y.
- `x != y.` x no es igual a y.
- `x < y, x > y, x <= y, x >= y.`

Y los siguientes operadores lógicos:

- Y lógico: `if (x > 0 && x < 5).` Cierto si las dos expresiones lo son.
- lógico: `if (x > 0 || y > 0).` Cierto si alguna expresión lo es.
- NO lógico: `if (!x > 0).` Cierto si la expresión es falsa.

El lenguaje de Arduino presenta las siguientes constantes predefinidas:

4.5.3.4 TRUE / FALSE y HIGH/LOW

Estas constantes definen los niveles de los pines como HIGH o LOW y son empleados cuando se leen o escriben en las entradas o salidas digitales.

HIGH se define como el nivel lógico 1 (ON) o 5 V. LOW es el nivel lógico 0, OFF, o 0 V.

4.5.3.5 INPUT/OUTPUT

Constantes empleadas con la función `pinMode()` para definir el tipo de un pin digital usado como entrada INPUT o salida OUTPUT. Ej. `pinMode(13, OUTPUT);`

4.6 SENTENCIAS CONDICIONALES

El lenguaje de arduino permite realizar sentencias condicionales `if`, `else`, `for`, `while`, `do...while`. Su utilización es similar a las funciones correspondientes en C.

4.6.1 ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES Y ANALÓGICAS

4.6.1.1 FUNCIÓN PINMODE (PIN, MODE)

Función usada en la function `setup()` para configurar un pin dado para comportarse como INPUT o OUTPUT. Ej. `pinMode(pin, OUTPUT);` configura el pin número 'pin' como de salida. Los pines de Arduino funcionan por defecto como entradas, de forma que no necesitan declararse explícitamente como entradas empleando `pinMode()`.

4.6.1.2 FUNCIÓN DIGITALREAD (PIN)

Lee el valor desde un pin digital específico. Devuelve un valor HIGH o LOW. El pin puede ser especificado con una variable o una constante (0-13). Ej. `v = digitalRead(Pin);`

4.6.1.3 FUNCIÓN DIGITALWRITE (PIN, VALUE)

Introduce un nivel alto (HIGH) o bajo (LOW) en el pin digital especificado. De nuevo, el pin puede ser especificado con una variable o una constante 0-13. Ej. `digitalWrite(pin, HIGH);`

4.6.1.4 FUNCIÓN ANALOGREAD (PIN)

Lee el valor desde el pin analógico especificado con una resolución de 10 bits. Esta función solo funciona en los pines analógicos (0-5). El valor resultante es un entero de 0 a 1023. Los pines analógicos, a diferencia de los digitales no necesitan declararse previamente como INPUT o OUTPUT.

4.6.1.5 FUNCIÓN ANALOGWRITE (PIN, VALUE)

Escribe un valor pseudo-analógico usando modulación por ancho de pulso (PWM) en un pin de salida marcado como PWM. Esta función está activa para los pines 3, 5, 6, 9, 10, 11. Ej `analogWrite(pin, v);` // escribe 'v' en el 'pin' analógico. Puede especificarse un valor de 0 – 255. Un valor 0 genera 0 V en el pin especificado y 255 genera 5 V. Para valores de 0 a 255, el pin alterna rápidamente entre 0 V y 5 V, cuanto mayor sea el valor, más a menudo el pin se encuentra en HIGH (5 V). Por ejemplo, un valor de 64 será 0 V tres cuartas partes del tiempo y 5 V una cuarta parte. Un valor de 128 será 0 V la mitad del tiempo y 5 V la otra mitad. Un valor de 192 será 0 V una cuarta parte del tiempo y 5 V tres cuartas partes.

4.6.1.6 FUNCIONES DE TIEMPO Y MATEMÁTICAS

- **delay(ms).**

Realiza una pausa en el programa la cantidad de tiempo en milisegundos especificada en el parámetro (máximo 1000, mínimo 1).

- **millis().**

Devuelve la cantidad de milisegundos que lleva la placa Arduino ejecutando el programa actual como un valor long unsigned. Después de de 9 horas el contador vuelve a 0.

- **min(x,y). max(x,y).**

Devuelve el mínimo y el máximo respectivamente de entre sus parámetros.

4.6.1.7 FUNCIONES DE GENERACIÓN ALEATORIA

- **randomSeed(seed).**

Especifica un valor o semilla como el punto de inicio para la función random(). Este parámetro debe ser realmente aleatorio y para ello puede emplearse la función millis() o incluso analogRead() para leer ruido eléctrico desde una entrada analógica.

- **Random (max), random (min, max).**

Esta función devuelve un valor aleatorio entre el rango especificado.

4.6.1.8 PUERTO SERIE

- **serial.begin(RATE)**

Abre un Puerto serie y especifica la velocidad de transmisión. La velocidad típica para comunicación con el ordenador es de 9600 aunque se pueden soportar otras velocidades.

- **serial.println(DATA).**

Imprime datos al puerto serie seguido por un retorno de línea automático. Este comando tiene la misma forma que `Serial.print()` pero este último sin el salto de línea al final. Este comando puede emplearse para realizar la depuración de programas. Para ello puede mandarse mensajes de depuración y valores de variables por el puerto serie. Posteriormente, desde el entorno de programación de Arduino, activando el “Serial Monitor” se puede observar el contenido del puerto serie, y, por lo tanto, los mensajes de depuración. Para observar correctamente el contenido del puerto serie se debe tener en cuenta que el “Serial Monitor” y el puerto serie han de estar configurados a la misma velocidad (Para configurar la velocidad del puerto serie se hará con el comando `Serial.begin(rate)`).

- **Serial.read()**

Lee o captura un byte (un carácter) desde el puerto serie. Devuelve -1 si no hay ningún carácter en el puerto serie.

- **Serial.available()**

Devuelve el número de caracteres disponibles para leer desde el puerto serie.

4.7 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

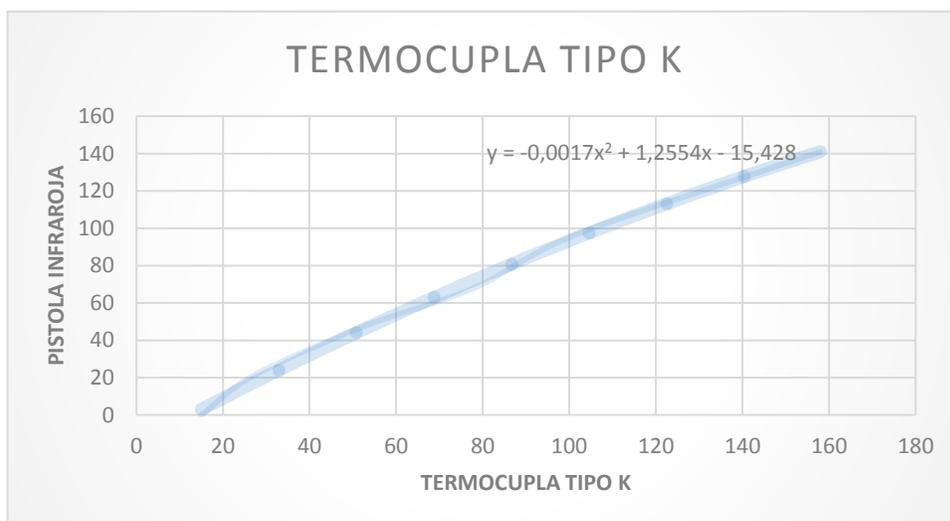
4.7.1 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL DISCO DE FRENO

Medidor de temperatura laser pequeño y compacto con puntero láser rojo para la medición sin contacto, no destructiva de la temperatura de superficies.

El medidor de temperatura láser mide la temperatura de superficies mediante un rayo infrarrojo de forma no destructiva a larga distancia. Este medidor de temperatura laser ligero se caracteriza por su manejo muy sencilla y la ayuda de enfoque rojo (rayo láser).

CARACTERÍSTICAS:

- Mide la temperatura de -50 a 538° C con una precisión de 0.1°C a 93° C.
- Use el puntero láser incorporado para identificar su objetivo.
- Pantalla LCD con iluminación de fondo.
- Las características también incluyen indicador de carga máxima y Retención de Datos Automática cuando se acciona el dispositivo.



- Relación 8:1 distancia del objetivo.
- Precisión: $\pm 1\%$ de la lectura ó 1.0°C lo que sea mayor, de 15 a 50°C
- Alimentación a través de batería de 9 v.

Figura 4. 15: Ecuación para la calibración de la Termocupla tipo k
Fuente: Autor

Tabla 4. 4: Valores que permitirán obtener la ecuación.

TERMOCUPLA TIPO K	PISTOLA INFRAROJA MEDIDOR DE TEMPERATURA
158	141
102	97
78	68
52	47
27	21
15	12

Fuente: Autor

Con la ayuda de la pistola infraroja se procedió a realizar la tabla en Excel para obtener la ecuación requerida para ingresarla en LabVIEW y obtener valores exactos de la temperatura en el disco y pastilla, esta ecuación polinómica es de segundo grado y es la que ayuda a calibrar a la termocupla.

4.7.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD

Para calibrar la medición del sensor de velocidad se utilizó el tacómetro laser DT-2234C⁺ este tacómetro es portátil que permite realizar mediciones de velocidad por láser sin contacto.

Este cuenta vueltas de mano digital es óptimo para establecer las revoluciones del disco de freno La medición sin contacto se realiza con la ayuda de una banda reflectante (incluida) que se adhiere a la pieza giratoria.

La última lectura máxima y lectura mínima es guardada automáticamente en la memoria y pueden ser visualizados con solo oprimir el botón memory con intervalos.

- De la pantalla: 5 dígitos, 18mm lcd
- Rango de prueba: a 2.5 99, rpm 999 (r/min)
- De resolución: rpm 0.1 (2.5 a 999.9 rpm)
- Rpm 1 (sobre 1,000 rpm)
- La precisión: ± 0.05% +1 dígitos)
- Tiempo de muestreo: 0.8 seg. (sobre 60 rpm)

- Rango de prueba seleccionar: automática
- La distancia de detección: 50 a 500 mm/2 a 20inch (láser)
- Base de tiempo: 6 mhz de cristal de cuarzo
- Base de tiempo la exactitud: 10×10^{-6} (0-50) °C
- De la batería: 9v
- El consumo de energía: aprox. 30ma (láser)
- Temperatura de operación.: (0-50) a (32-122) °C
- De peso: 160g (incluyendo la batería)
- De memoria: max. Valor, min. Valor, el último valor.



**Figura 4. 16: Toma de datos con el Tacómetro.
Fuente: Autor.**

Para su calibración del sensor de velocidad se procedio a tomar datos de los dos medidores de velocidad y realizar una tabla en Excel y poder obtener la ecuación respectiva para ingresar a LabVIEW y asi poder tener datos precisos cuando se realice las practicas, teniendo asi los siguientes datos:

Tabla 4. 5: Valores que permitirán obtener la ecuación.

TACÓMETRO LASER DT-2234(rpm)	SENSOR DE VELOCIDAD(rpm)
1250	123
985	93
638	61
380	36
108	10

Fuente: Autor

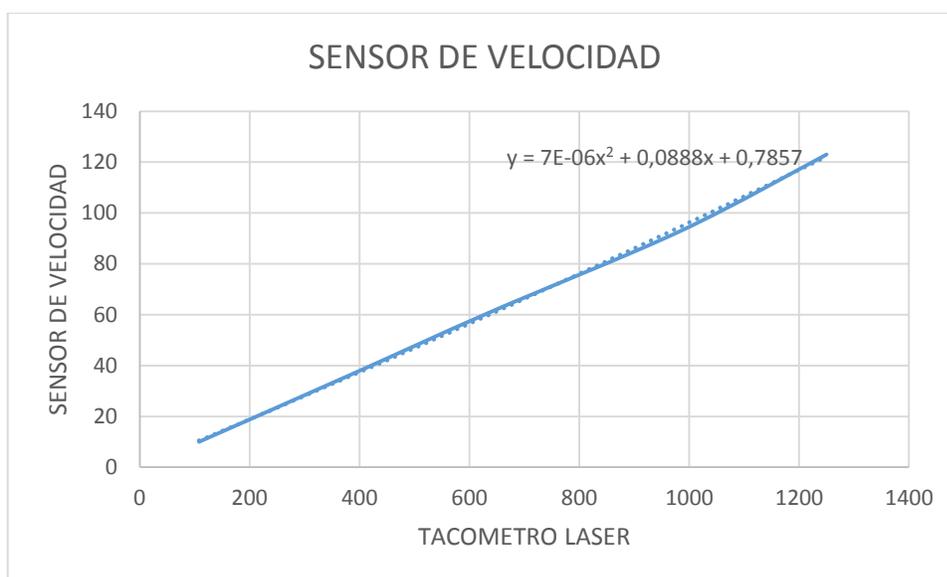


Figura 4. 17: Ecuación para la calibración del sensor de velocidad.

Fuente: Autor

Se Obtiene una ecuación polinómica de segundo grado que puntualiza el comportamiento del sensor de velocidad para su calibración, seguidamente esta ecuación se ingresará en el programador LabVIEW

4.8 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.

PANTALLA PRINCIPAL ELABORADA EN LABVIEW CON INTERFACE ARDUINO.

4.8.1 PANTALLA DE PRESENTACIÓN

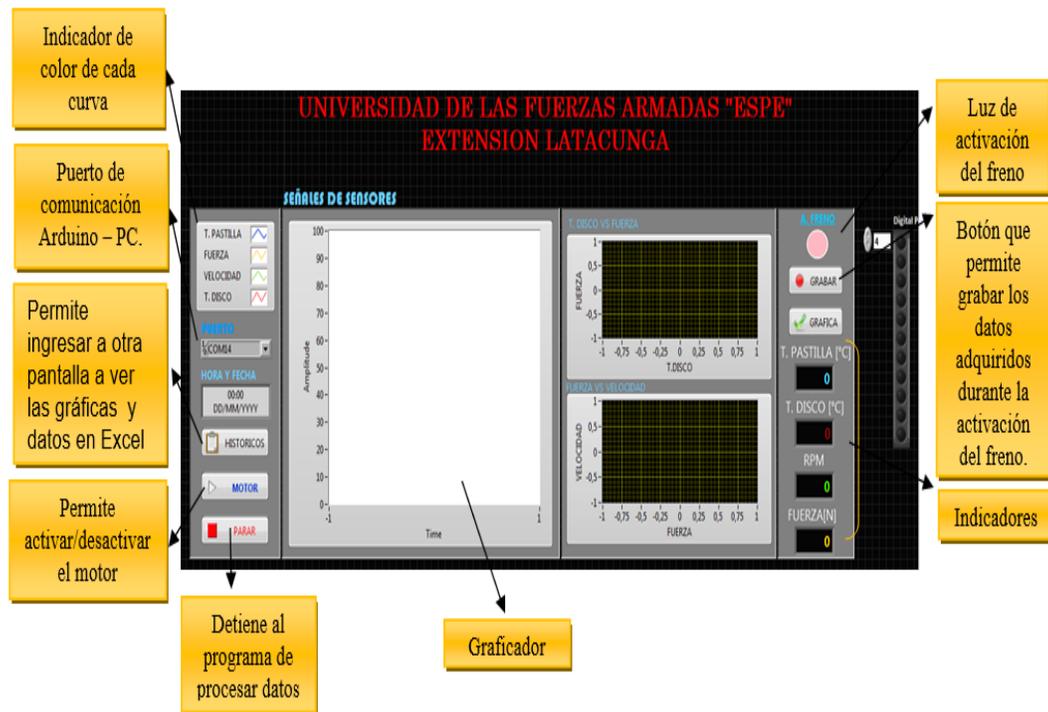


Figura 4. 18: Pantalla del Panel de control.
Fuente: Autor

En la siguiente imagen se observa la pantalla principal elaborada en labVIEW con interfaz ARDUINO, los cuales nos permitirán obtener la adquisición de datos por medio de la conexión USB (ARDUINO/PC), para el estudio termodinámico de los discos.

Además en el programa se pueden identificar los medidores tanto de temperatura, fuerza, velocidad que sufrirán variables cambios (disco de freno); por medio de los cuales se obtiene valores y gráficas global y también se podrán escoger según lo que se desee analizar y así mostrando de mejor manera la variación que presentan las mismas a lo largo de las pruebas a realizar.

El programa Labview interfaz ARDUINO, para procesar los resultados de manera gráfica, cuenta con sensores y actuadores que trabajan acorde para obtener valores exactos.

El software diseñado nos permitiendo la adquisición y almacenamiento automático de los valores medidos por los sensores.

Los Información de resultados medidos y calculados son exportados a Microsoft Excel.

Además que el software nos permite escoger en cualquier lapso de tiempo las gráficas y valores arrojados por el programa.

El encendido del motor trifásico se lo controlara desde la PC, como el frenado se lo realizara desde una palanca en la cual se puede variar la fuerza de frenado.

El banco de frenos consta con una bomba de vacío que está acoplado con el motor trifásico por medio de bandas permitiendo activarse y consiguiendo una depresión que aprovecha el servofreno.

Es decir, es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal, y poder realizar una presión mayor sobre el circuito hidráulico, y por consiguiente, sobre los pistones de las pinzas con un mayor descanso del pie.

Diagrama de Bloques para el monitoreo de las Temperaturas-Velocidad-Fuerza.

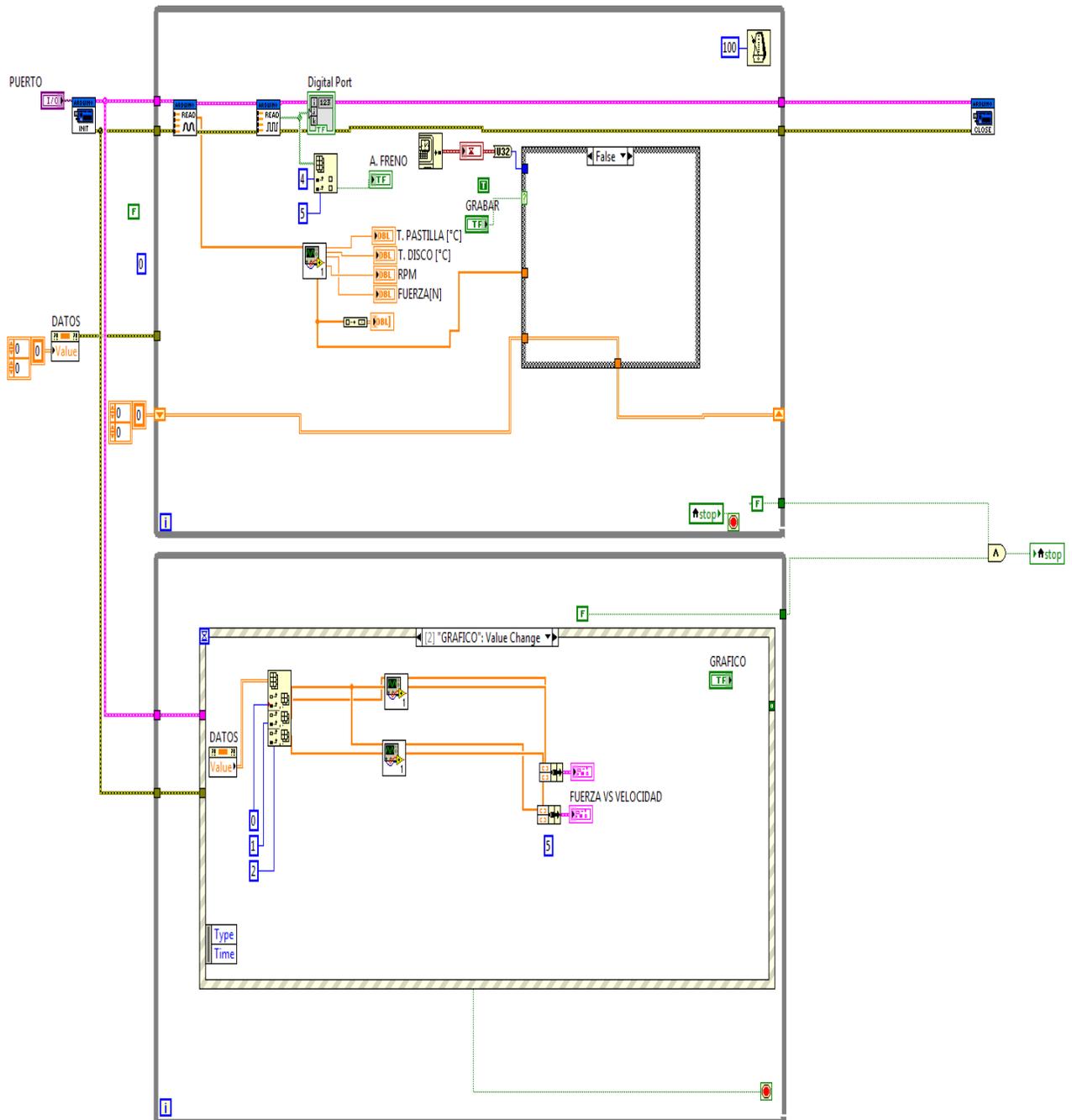


Figura 4. 19: Diagrama de bloque principal.
Fuente: Autor

Para iniciar la comunicación con la placa arduino, se ha de colocar la subVI Init.vi.

Esta subVI cuenta con 4 variables de entrada y 2 salidas ver Figura 4.19 con las que definimos:

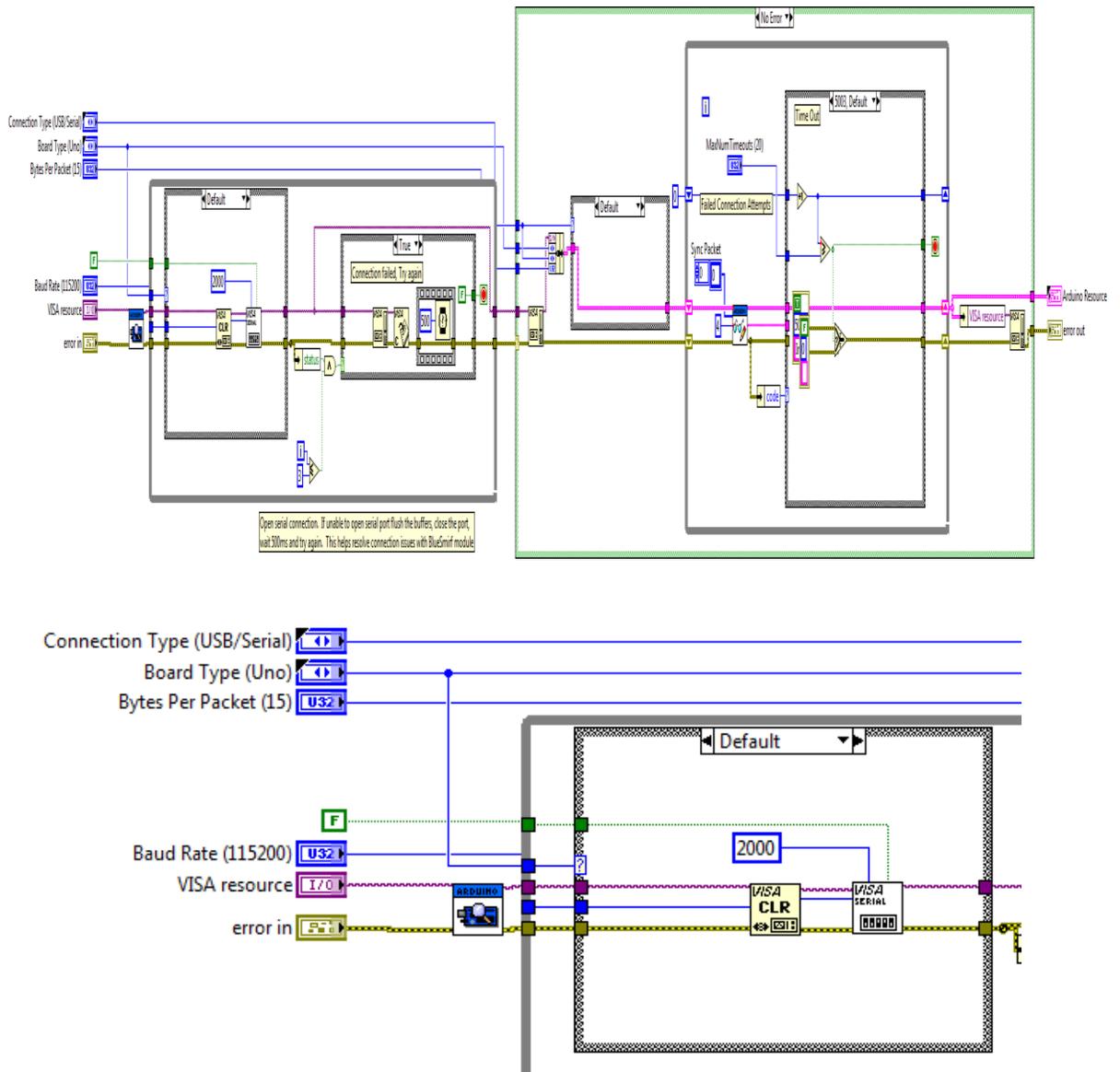


Figura 4. 20: Entradas y salidas. LabVIEW
Fuente: Autor

– **VISA resource:**

Indicamos el puerto COM al cual tenemos conectada la placa. En nuestro caso es el COM14 en el cual hemos conectado la placa arduino. Este campo es obligatorio de introducir al no contar con ningún valor predefinido.

– **Baud Rate (115200)**

La tasa de baudios, es el número de unidades de señal por segundo. Viene establecida de forma predeterminada en 115200, de forma que en caso de no introducir ningún otro valor utilizaría el predeterminado. En nuestro proyecto se usa el 115200

– **Board Tipe (Uno)**

Indicamos el tipo de placa que estamos conectando. Viene predeterminado para la placa Uno, de forma que en caso de no introducir ninguna otra placa, actuara como si la placa conectada sea Arduino UNO.

– **Connection Type (USB/Serial)**

Indicamos el tipo de conexión utilizado en la computadora para la conexión arduino. Viene predeterminado para conexión USB/Serial, pero en caso de utilizar otra entrada deberíamos comunicárselo. En nuestro caso utilizaremos el USB.

- **Error in**

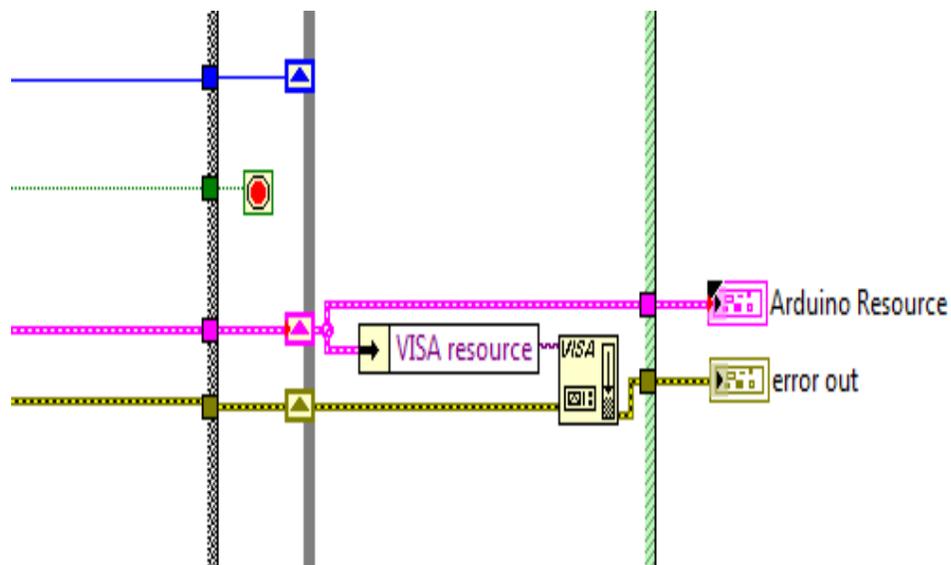
Es la entrada de errores.

- **Arduino Resource**

Es la salida que nos muestra la información obtenida en el arduino. Se utilizara en otras funciones como entrada.

- **Error out**

La salida de errores.



**Figura 4. 21: Terminación de la conexión del diagrama de bloque.
Fuente: Autor**

A su vez, también es necesario terminar la comunicación con Arduino, y esto se realiza por medio del subVI Close.vi. Cuenta con dos entradas y una salida ver Figura 4.21. Las entradas y salidas son:

– **Arduino Resource**

Salida de información obtenida de Init.vi y que utilizaremos en diversas funciones.

– **Error in**

Es la entrada de errores.

– **Error out**

La salida de errores.

Ahora conocido subVI utilizados para iniciar y terminar la comunicación con LabVIEW, necesitamos otra serie de subVI para la obtención de los datos que nos proporcionan los sensores y otros para la comunicación con los pines analógicos que hayamos definido como de salida en arduino.

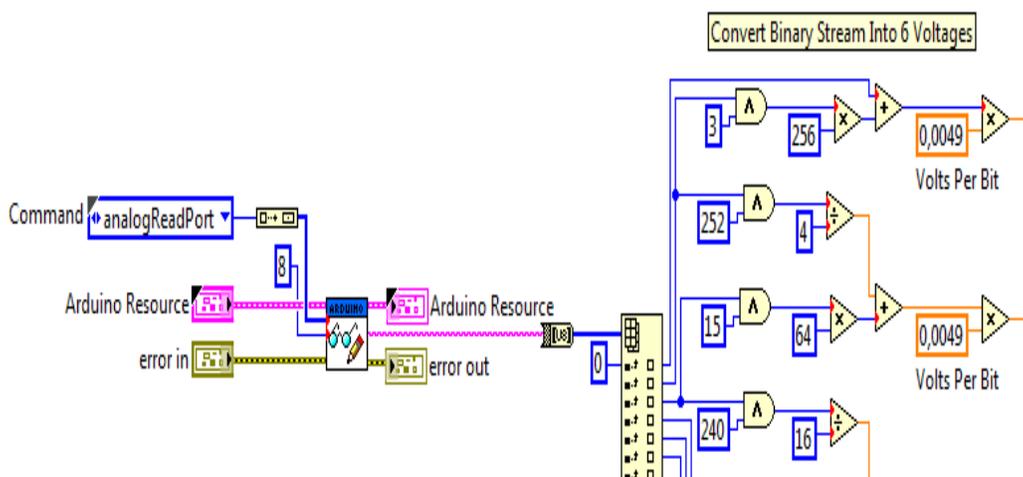


Figura 4. 22: Diagrama de bloques analógico.
Fuente: Autor

Este subVI de la Figura 4.22 lee el voltaje recibido en los pines analógicos de la placa arduino. Cuenta con 3 entradas y 3 salidas que vemos a continuación:

Arduino Resource: Salida de información obtenida de Init.vi.

– **Analog Input Pin (0)**

Numero de pin analógico del cual se desea obtener el valor. Viene con el valor default 0.

– **Error in**

Es la entrada de errores.

– **Arduino Resource**

Salida de la línea de información obtenida en Init.vi.

4.8.2 EXPORTACIÓN DE DATOS A EXCEL

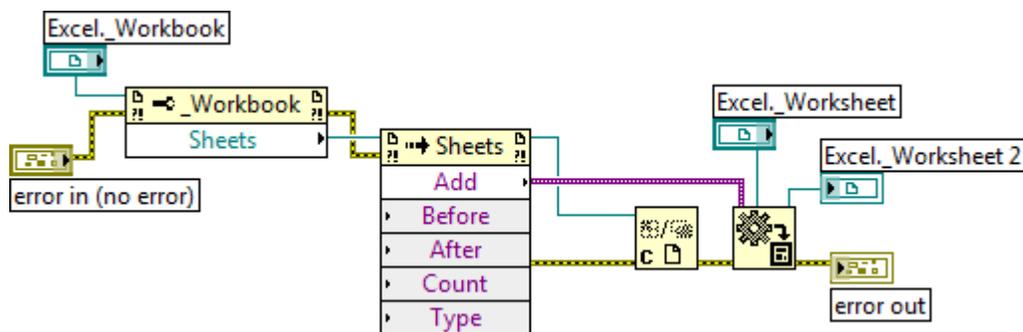


Figura 4. 23: Hoja de trabajo Excel
Fuente: Autor

La subVI necesaria en este caso es “Open New WorkSheet.vi” ver Figura 4.23. Esta subVI sigue unos pasos que se exponen a continuación:

- Obtiene el refnum de Sheets de una de las propiedades de objeto Workbook.
- Crea una nueva Sheet.
- Cierra el refnum de la propiedad del libro.
- Convierte la hoja de Excel en una variable entendible por LabVIEW.

ENCABEZADOS Y VALORES A LA HOJA DE CÁLCULO

En este punto se explica cómo insertar los valores y encabezados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel abierto en los pasos anteriores. Para ello se va utilizar una nueva subVI llamada “Set Cell Value.vi” ver Figura 4.24

Este subVI se encarga de introducir un valor en una celda de la hoja de cálculo. Recibe como entradas los la fila y columna donde se quiere insertar, así como el valor que se ha de insertar en la misma.

A través del subVI “Row Col To Range Format.vi”, se encarga de localizar la celda que corresponde dentro de Microsoft Excel y le transfiere el valor a dicha celda.

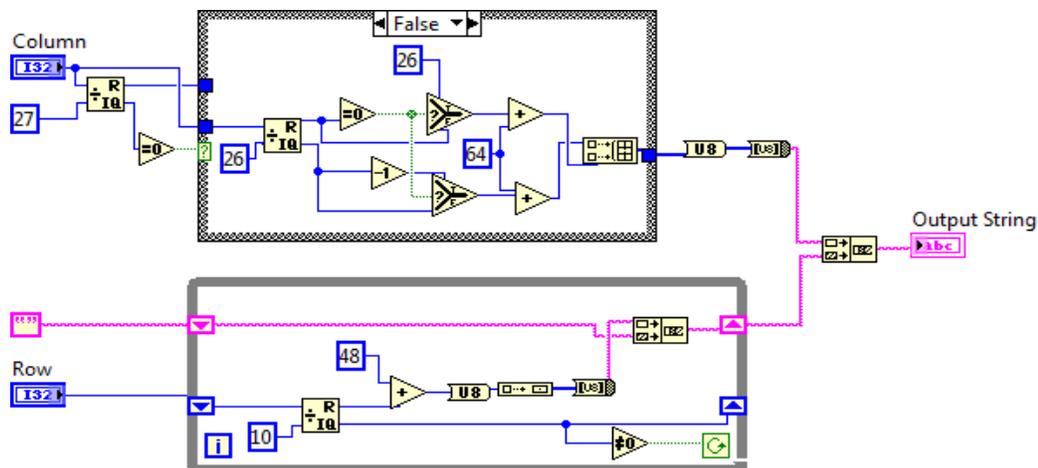


Figura 4. 24: Formato rango de fila y columna en Excel.
Fuente: Autor

Este VI se divide en dos partes. Primeramente la obtención de la fila y en segundo lugar la obtención de la columna. La fila no presenta un problema al ser un valor numérico, se transforma el valor de la fila a bytes, construye una matriz con ellos y seguidamente lo vuelve a pasar a numérico y lo junta con una constante en blanco mediante un bundle para inicializar la fila en blanco. Las columnas sí que presentan problemas. En Excel las columnas se indican alfabéticamente, y esta función se encarga de transformar el valor numérico a su valor alfabético equivalente y como en el caso de las filas se transforma a binario y se pasa a matriz. Finalmente los dos valores se juntan mediante un bundle y se recibe el valor final de la celda que se va a modificar en “output string”.

Una se tiene localizada la celda donde se va introducir los valores, solo queda introducir los mismo. Se va a comenzar con la introducción de los encabezados y posteriormente se explicara cómo se introducen los valores de forma ordenada.

4.8.3 TEMPERATURA DISCO Y PASTILLA

Diagrama de bloques de los cuatro sensores

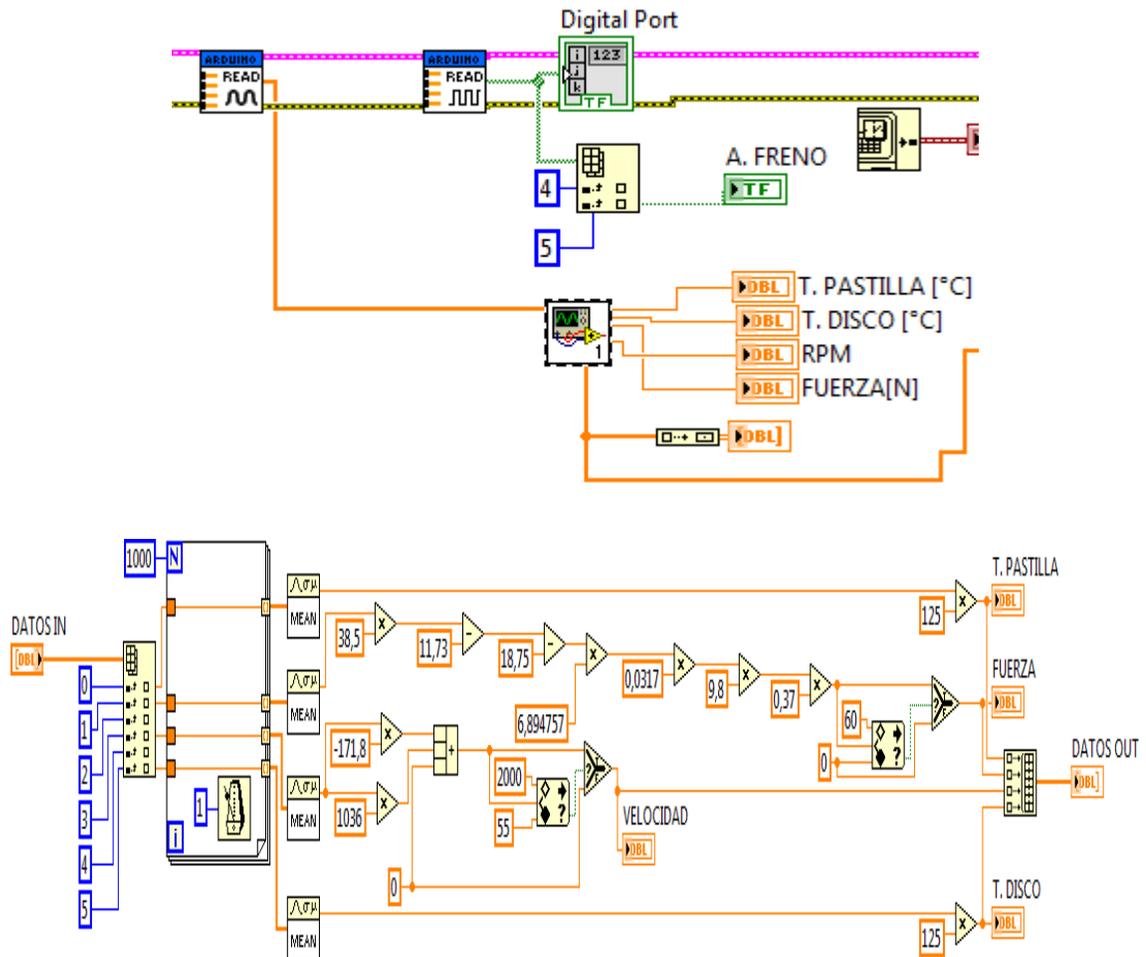


Figura 4. 25: Diagrama de bloques Temperatura del Disco y Pastilla-Fuerza-Velocidad.

Fuente: Autor

En este diagrama de bloques se puede observar que comienza con la lectura de los dos termopares Read.vi, la salida de los datos procedente del subVI Termopar Read se

conecta al gráfico Temperatura, al indicador numérico del mismo nombre, a la configuración del XY Graph2, y a los dos casos destinados a RPM y Fuerza.

Esta sistema no se detendrá hasta que se active el botón “ Stop” de la estructura While Loop que incorpora el botón de control para parar el bucle esta estructura nos incluye el botón stop en el panel de controles podemos ver su apariencia.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS FINAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 PRUEBAS DE LABORATORIO EN EL BANCO DE FRENOS.



**Figura 5. 1: Banco de Frenos en pruebas de Laboratorio.
Fuente: Autor**

Al realizar las pruebas en el laboratorio ya con los dos disco macizo y perforado; y los sensores calibrados, se procede a comprobar el funcionamiento del mismo para lo cual se toma las gráficas de cada uno a examinar, encontrando lo siguiente:

5.1.1 GRÁFICA DE VELOCIDAD DEL DISCO DE FRENO EN TIEMPO REAL.

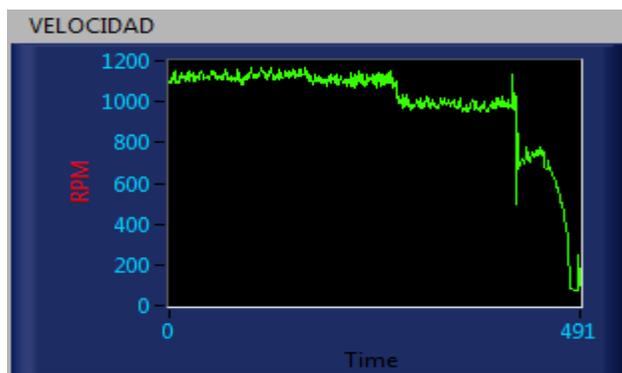
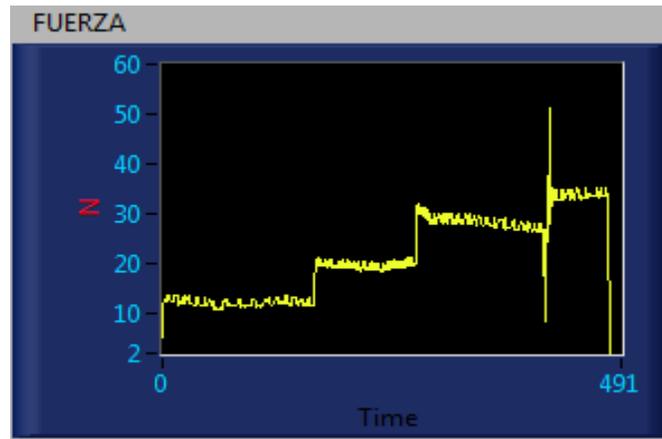


Figura 5. 2: Pantalla visualizador de rpm del disco de frenos.
Fuente: Autor

El visualizador Gráfico de tiempo real de velocidad se comprobó que está gráficamente acorde a los valores obtenidos en la tabla Excel, el motor trifásico usado en el banco de pruebas genera 1200 RPM en estado libre y su variación de velocidad lo podemos relacionar con la fuerza aplicada en el disco de freno, a mayor fuerza aplicada en el disco menor RPM del disco, llegando en la gráfica hasta detenerse el disco por completo.

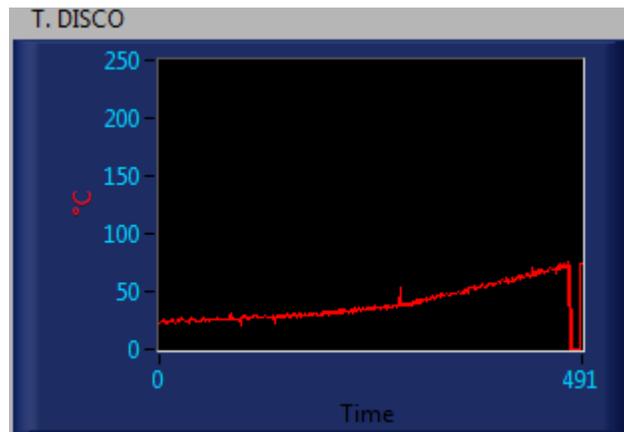
5.1.2 GRÁFICA DE FUERZA APLICADA AL DISCO DE FRENO EN TIEMPO REAL



**Figura 5. 3: Pantalla visualizador de Fuerza aplicada al disco.
Fuente: Autor**

En el gráficator de Fuerza en tiempo real se analiza la fuerza aplicada al disco de 12N y que aumenta la fuerza paulatinamente en escala hasta un maximo de unos 56N y si comparamos con el gráfico anterior es justo donde las RPM del disco es cero.

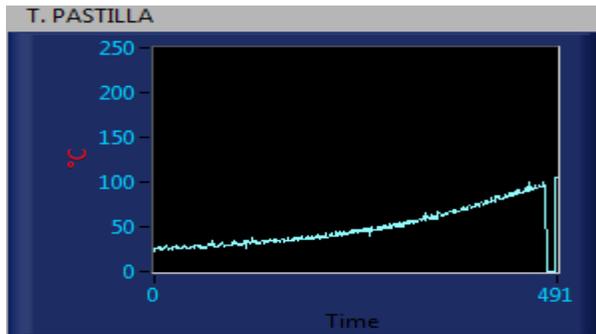
5.1.3 GRÁFICA DE LA TEMPERATURA DEL DISCO DE FRENO EN TIEMPO REAL.



**Figura 5. 4: Pantalla visualizador de Temperatura del disco de Freno.
Fuente: Autor**

Como se especifico anteriormente en las gráficas de fuerza se aplica paulatinamente y por ende en la gráfica de temperatura subirá la temperatura del disco continuamente hasta una gradiente máxima que es donde las RPM del disco es cero debido a que se aplica una fuerza grande, llegando así la temperatura a una 89 grados Centígrados, y eso se comprueba con la tabla en Excel obtenida del programa.

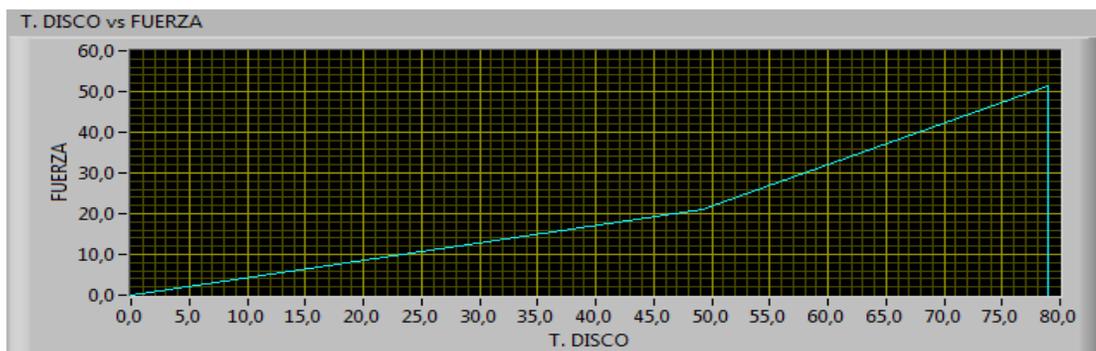
5.1.4 GRÁFICA DE LA TEMPERATURA DE LA PASTILLA DE FRENO EN TIEMPO REAL.



**Figura 5. 5: Pantalla visualizador de Temperatura de la pastilla.
Fuente: Autor**

Como se aprecia en la gráfica es la misma curva ocurrida en el disco de freno pero observamos que a más tiempo de aplicación del freno aumenta más la temperatura de la pastilla comparada con el disco de freno llegando a unos 115 grados Centígrados llegando a la conclusión que la pastilla se calienta más que el disco en periodos largos de tiempo de aplicar el freno.

Gráfica de temperatura del disco Vs la Fuerza aplicada en tiempo real.



Gráfica de Fuerza Vs velocidad del disco de freno en tiempo real

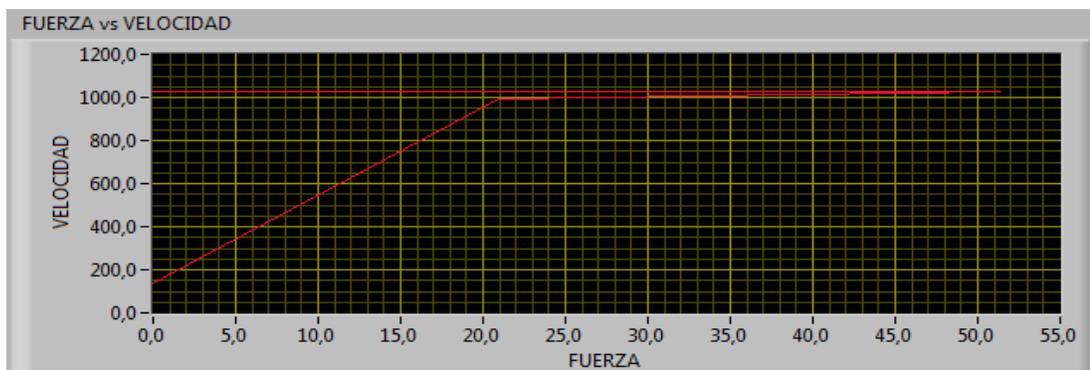


Figura 5. 6: Gráficas de Fuerza-Velocidad-Temperatura.
Fuente: Autor

En las Gráficas obtenida por LabVIEW existe tres variables de medición, como es a mayor fuerza de aplicación del pedal de freno se va incrementando la temperatura del disco y la velocidad disminuye llegando hasta un punto que dejamos de aplicar la fuerza, en ese instante la temperatura se mantiene y la velocidad aumenta.

5.1.5 PANTALLA GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE TODOS LOS CUATRO SENSORES (FUERZA-RPM-TEMPERATURA DISCO Y PASTILLA) EN TIEMPO REAL.

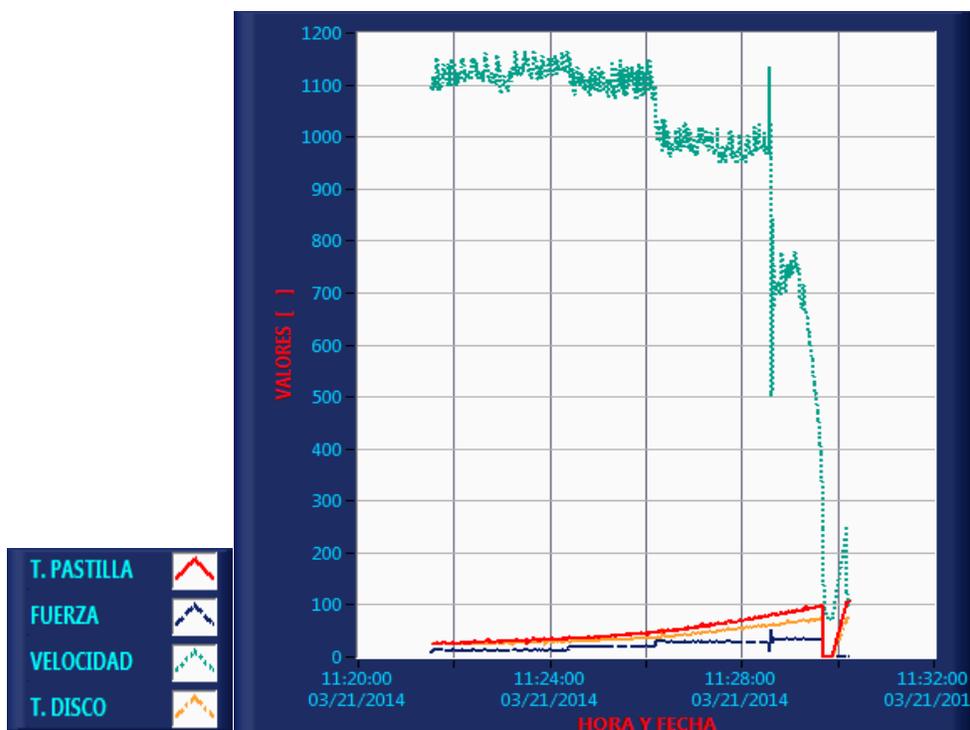


Figura 5. 7: Diagrama de curvas de los sensores.
Fuente: Autor

Esta pantalla gráficador nos permite tener una visión mas completa de todas las gráficas sensadas y reconocidos por colores diferentes a una escala adecuada para su facil analisis.

5.2 GUÍA DE LABORATORIO DE PRÁCTICAS DIRIGIDAS

	DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA			Pagina 1 de 1	
	REGISTRO DE DATOS	DISCO MACIZO <input type="checkbox"/>	DISCO PERFORADO <input type="checkbox"/>	REVISION N° 01 ULTIMA REVISION dd/mm/yyyy	

ESPECIFICACIONES DEL DISCO DE FRENO

CONDICIONES INICIALES

UNIDADES	[N]	RPM	°C	°C
FUERZA				
VELOCIDAD				
T.DISCO				
T.PASTILLA				

Observaciones

INDICACIONES:

1. Colocamos el disco (macizo/perforado) que deseamos analizar.
2. Enchufamos el conector del Banco de pruebas de freno a 220 [V].
3. Observamos que el foco rojo del panel delantero se enciende.
4. Abrir el Programa Labview(Diseñado).
5. Conectar el cable USB al CPU.
6. Esperar que el programa reconozca Arduino.
7. Damos Click en el botón  Run (Del Programa).
8. Registramos la información de la Pantalla principal del Programa .
9. Revisamos **NOTA**.
10. Damos Click en el botón  MOTOR.
11. Seguidamente damos click en el botón  GRABAR.
12. Activar la palanca de Fuerza del Banco .
13. Empezamos con las prácticas.
14. El botón Histórico nos permite observar las gráficas separadas de las cuatro Variables(Fuerza-Velocidad-T. pastilla-Disco). Además todos los valores obtenidos podemos exportar al Excel dando click en el boton  EXCEL.

NOTA:

> Antes de empezar las practicas revisar que todas las piezas mecanicas se encuentren ajustadas y libres para su respectivo movimiento.

> Antes de dar click en el botón MOTOR, respetar una distancia prudente del disco

1. FUERZA CONSTANTE

N°	Rpm	F [N]	TEMPERATURA		
			DISCO	PASTILLA	TIEMPO

2. FUERZA VARIABLE

N°	Rpm	F [N]	TEMPERATURA		
			DISCO	PASTILLA	TIEMPO

5.3 DESARROLLO DE FÓRMULAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA PARA LOS SENSORES UTILIZADOS EN EL BANCO DE FRENOS.

En diseños de procesos que involucran calentamiento y enfriamiento, el periodo de transición de tiempo es de mucha importancia.

Durante el frenado, el perfil de temperatura a través de pastilla es transitorio, y por consiguiente, el flujo de calor está asociado a la difusividad térmica Según **CARRANZA & BELTRAN**, es decir los fenómenos térmicos varían con el tiempo y la posición en el elemento en cuestión.

El análisis debe modificarse para tener en cuenta el cambio en la energía interior del cuerpo con el transcurrir del tiempo.

Para determinar la temperatura en el proceso de frenado de un vehículo, se identifica los distintos factores que están involucrados en este proceso de frenado que se detalla a continuación:

- Coeficiente de adherencia entre neumático y superficie de rodadura (Tabla 2.3)
- Masa del vehículo.
- Velocidad final que se desea conseguir con la frenada.

- Además fue necesario tener en cuenta las características físicas de los materiales (tales como: la conductividad térmica, calor específico, densidad de los materiales, difusividad térmica) del disco de freno y las pastillas de freno.

Para el cálculo térmico del disco de freno, cabe recalcar que no se tomó en cuenta las fuerzas retardadoras (resistencia aerodinámica, y la fricción aerodinámica), debido a que su influencia es pequeña frente a la fuerza de frenado.

Lo que se procedió a realizar los cálculos con los **datos iniciales** tomados a continuación:

$$\phi_{\text{DISCO exterior}} = 251.46 \text{ mm} = \text{radio}_{\text{exterior}} = 125.73 \text{ mm} = 12.57 \text{ cm} = 0.125 \text{ m}$$

$$\phi_{\text{DISCO interior}} = 142.24 \text{ mm} = \text{radio}_{\text{INTERIOR}} = 71.12 \text{ mm} = 0.07112 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{\text{disco}} = 2 * \pi * (\text{Radio}_{\text{exterior}}^2 - \text{Radio}_{\text{interior}}^2)$$

$$\text{Espesor del disco} = 10.80 \text{ mm} = 0.0108 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{\text{disco}} = 2 * \pi * (0.125^2 - 0.07112^2)$$

$$\text{Area}_{\text{disco}} = 0.0317 \text{ m}^2$$

$$\text{Potencia del motor} = 4\text{HP}$$

$$W_{\text{ANGULAR}} = 1750 \text{ rpm}$$

$$\text{Peso de los elementos} = (30+30) \text{ de los dos ejes} + (20+15) \text{ del disco y tambor} = 95 \text{ lb} \\ = 44 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del disco} = 4.2 \text{ kg}$$

$$P_{\text{piston}} = \text{Dato medido por sensor.}$$

– VELOCIDAD ANGULAR

$$W_{\text{ANGULAR}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{rpm}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1750}{60} = 183.3 \text{ rad/s} \quad \text{Ec .5. 1}$$

– VELOCIDAD LINEAL

$$\text{Velocidad}_{\text{inicial}} = w \cdot r \quad \text{Ec .5. 2}$$

$$= 183.3 \cdot 0.125$$

$$= 22.9 \text{ m/s}$$

– PRESIÓN EJERCIDA EN EL PEDAL DE FRENO.

$$P_{\text{piston}} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec .5. 3}$$

$$F_{\text{PISTÓN}} = P \cdot A$$

$$F_{\text{PISTÓN}} = P \cdot 0.0317 \text{ m}^2$$

Presión es N/m^2

$$F_{\text{PISTÓN}} = \text{Presión} \cdot 0.0317 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{PISTÓN} = \text{Newton}$$

$\mu < 300 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.37$ (Para Balatas semi-metálicas Carbón-Hierro)

$\mu > 300 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.28$ (Para Balatas semi-metálicas Carbón-Hierro)

– **FUERZA EJERCIDA EN EL DISCO DE FRENO.**

$$F_{TANGENCIAL} = F_{PISTÓN} * \mu$$

Ec .5. 4

$$= F_{PISTÓN} * 0.37$$

– **DISTANCIA DE FRENADO**

$$= \frac{\text{Masa elementos}}{2 * g * F_{tangencial}}$$

$$= \frac{44 \text{ kg}}{2 * 9.81 + F_{tangencial}}$$

Ec .5. 5

– **DESACELERACIÓN DEL DISCO DE FRENO,** según(SERWAY, 1997):

$$= \frac{\text{velocidad}_{\text{final}}^2 - \text{velocidad}_{\text{inicial}}^2}{2(\text{distancia}_{\text{final}} - \text{distancia}_{\text{inicial}})}$$

$$= \frac{\text{Velocidad}_{\text{final}}^2 - 22.9^2}{2(\text{distancia}_{\text{final}} - 0)}$$

Ec .5. 6

– **TIEMPO DE DETENCIÓN DEL DISCO DE FRENO**

$$= \frac{2(\text{distancia}_{\text{final}} - \text{distancia}_{\text{inicial}})}{(\text{velocidad}_{\text{final}} - \text{velocidad}_{\text{inicial}})}$$

$$\frac{2(\text{Longitud}_{\text{frenado}} - 0)}{(\text{velocidad}_{\text{final}} - 22.9^2)} \quad \text{Ec .5. 7}$$

– **TORQUE DE FRENADO** = $F_{\text{TANGENCIAL}} * \text{radio}$

$$= F_{\text{TANGENCIAL}} * 0.125 \text{ m} \quad \text{Ec .5. 8}$$

– **CÁLCULO DE ENERGÍA A DISIPAR POR EL DISCO DE FRENO.**

$$E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2} \text{masa} * (\text{velocidad}_{\text{final}}^2 - \text{velocidad}_{\text{minima}}^2)$$

$$E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2} 44 \text{kg} * (\text{velocidad}_{\text{final}}^2 - 22.9^2) [\text{J}] \quad \text{Ec .5. 9}$$

– **POTENCIA POR UNIDAD DE ÁREA A DISIPAR SERÁ:**

$$q = \frac{E_{\text{cinetica}}}{\text{tiempo} * A_{\text{disco}}}$$

$$q = \frac{E_{\text{cinetica}}}{\text{Tiempo} * 0.0317 \text{ m}^2} \quad \text{Ec .5. 10}$$

Tabla 5. 1: Propiedades físicas y térmicas del acero.

Elementos	K $\frac{J}{s \times m \times ^\circ C}$	ρ $\frac{Kg}{m^3}$	C $\frac{J}{Kg \times ^\circ C}$
Disco de freno (fundición gris)	35.57	7100	460.24
Tambor de freno (hierro)	80.2	7870	447
Pastilla (Carbón al Silicio)	51.84	7817	669.4
Zapata		2240	

Fuente:(SERWAY R. A.1997)

$$\emptyset_{\text{exterioro del cilindro del caliper}} = 48.26\text{mm}$$

$$\emptyset_{\text{interior del cilindro del caliper}} = 40.64\text{mm}$$

– **DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LOS DISCOS Y EL MEDIO AMBIENTE ($^\circ\text{C}$)**

En donde:

ΔT : Es la diferencia de temperatura entre los discos y el medio ambiente ($^\circ\text{C}$)

E_c : Energía cinética absorbida por un disco (J).

m : Masa del disco de freno (Kg).

C : Calor específico del material del disco = 460,24 J/kg* $^\circ\text{C}$.

$$\Delta T = \frac{E_{\text{cinetica}}}{\text{Masa}_{\text{disco}} * C}$$

Ec .5. 11

$$\Delta T = \frac{E_{\text{cinetica}}}{4.2 \text{ kg} * 460.24}$$

$$T_1 - T_{\text{ambiente}} = \frac{E_{\text{cinetica}}}{4.2 \text{ kg} * 460.24}$$

$$T_1 - 20 \text{ }^\circ\text{C} = \frac{E_{\text{cinetica}}}{4.2 \text{ kg} * 460.24}$$

T_1 = Temperatura que alcanzo la superficie del disco de freno

– ENFRIAMIENTO DE NEWTON

$$T_i - T_{\text{ambiente}} = (T_1 - T_{\text{ambiente}}) e^{\frac{A \cdot U}{m \cdot c} \cdot t} \quad \text{Ec .5. 12}$$

T_i : Es la temperatura instantánea en cada momento ($^\circ\text{C}$).

A : Es el área de transferencia de calor (m^2).

U : Es el coeficiente de transmisión térmica superficial, en el caso del material del disco de freno es $32 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$.

m : Masa del disco de freno (Kg).

c : Calor especifico del material del disco ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$).

t : Es el tiempo de enfriamiento de newton (s).

Tabla 5. 2: Propiedades del aire.

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.087×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7130

Fuente:(SERWAY R. A.1997)

– NUMERO DE REYNOLDS. (ADIMENSIONAL)

W = velocidad angular [rad/s]

V = Viscosidad cinemática [m^2/s]

$$Reynold = \frac{W * \phi_{EXTERIOR}^2}{\nu} \quad \text{Ec .5. 13}$$

$$Reynold = \frac{183.38 * 0.251.4^2}{1.516 * 10^{-5}}$$

$$Reynold = 223798.4496$$

– **NU= NÚMERO DE NUSSELT (ADIMENSIONAL)**

Según HILPERT (1933):

ν = Viscosidad cinemática [m^2/s]

$$N_U = 0.36 \left(\frac{W * \phi_{\text{exterior}}^2}{\nu} \right)^{0.5} \quad \text{Ec .5. 14}$$

$$N_U = 0.36 \left(\frac{183.38 * 0.251^2}{1.516 * 10^{-5}} \right)^{0.5}$$

$$N_U = 314.269$$

– **COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PROMEDIO (H).**

[W/M^2K]

$$N_U = \frac{h * \phi_{\text{exterior}}}{k} \quad \text{Ec .5. 15}$$

$$h = \frac{N_U * k}{\phi_{\text{exterior}}}$$

$$h = \frac{314.269 * 0.02514}{0.251}$$

$$h = 31.476 \text{ w}/m^2 \circ k$$

– **VELOCIDAD DE PÉRDIDA DE CALOR DEL DISCO DE FRENO**

HACIA EL AMBIENTE (Q).

$$Q = h * \text{Area} * \Delta T$$

Ec .5. 16

$$Q = h * \text{Area} * (T_1 - T_{\text{ambiente}})$$

$$Q = 31.476 * 0.0317 (T_1 - 20)$$

$$Q=0.9977 (T_1 - 20)$$

El análisis en el Software LabVIEW interface Arduino se implementó estas fórmulas para obtener los valores térmicos de los discos (macizo y perforado) en estudio, en la cual tiene por objetivo monitorear el comportamiento termomecánico de dos distintos discos de freno, bajo las mismas cargas térmicas y estructurales, para luego compararlos entre si y probar su eficiencia.

5.4 MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Para utilizar el freno se activa la palanca de mando instalada debajo de los indicadores de luces.

- **Máquina Herramienta:** máquinas no portátiles accionadas con motor y destinadas al fricción de metales.
- **Punto o Zona Peligrosa:** Cualquier zona dentro o alrededor de una máquina en la cual la presencia de una persona expuesta suponga un riesgo para la salud o seguridad de la misma.
- **Distancia de Seguridad:** Es la distancia mínima entre un dispositivo detector de presencia y la línea de peligro que garantiza que no se alcanzará esta línea antes de que la máquina o elemento peligroso haya dejado de serlo.
- **Guarda:** medio de protección que impide o dificulta el acceso de las personas o de sus miembros al punto o zona de peligro.

5.4.1 LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD PARA MANEJO DEL BANCO DE FRENO

Los órganos móviles de las máquinas, disco de freno, las piezas salientes como son las pinzas de freno las pastillas de freno y el líquido de frenos deben tener precaución con su manipulación

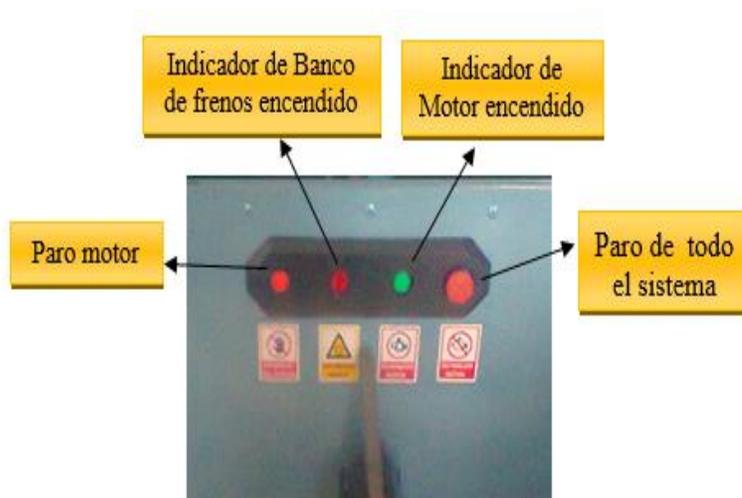


Figura 5. 8: Panel frontal del Banco de Frenos.
Fuente: Autor

- **Parada de emergencia:** Accionada por un Botón que permite la parada de la máquina en las mejores condiciones posibles, mediante un corte de energía al Banco de Frenos.
- **Paro motor:** Accionado por un botón que permite el corte de energía solo al motor trifásico.
- **Indicador de banco de frenos encendido:** Es un foco rojo y se ilumina cuando enchufamos a 220 v, el conector del banco de frenos.

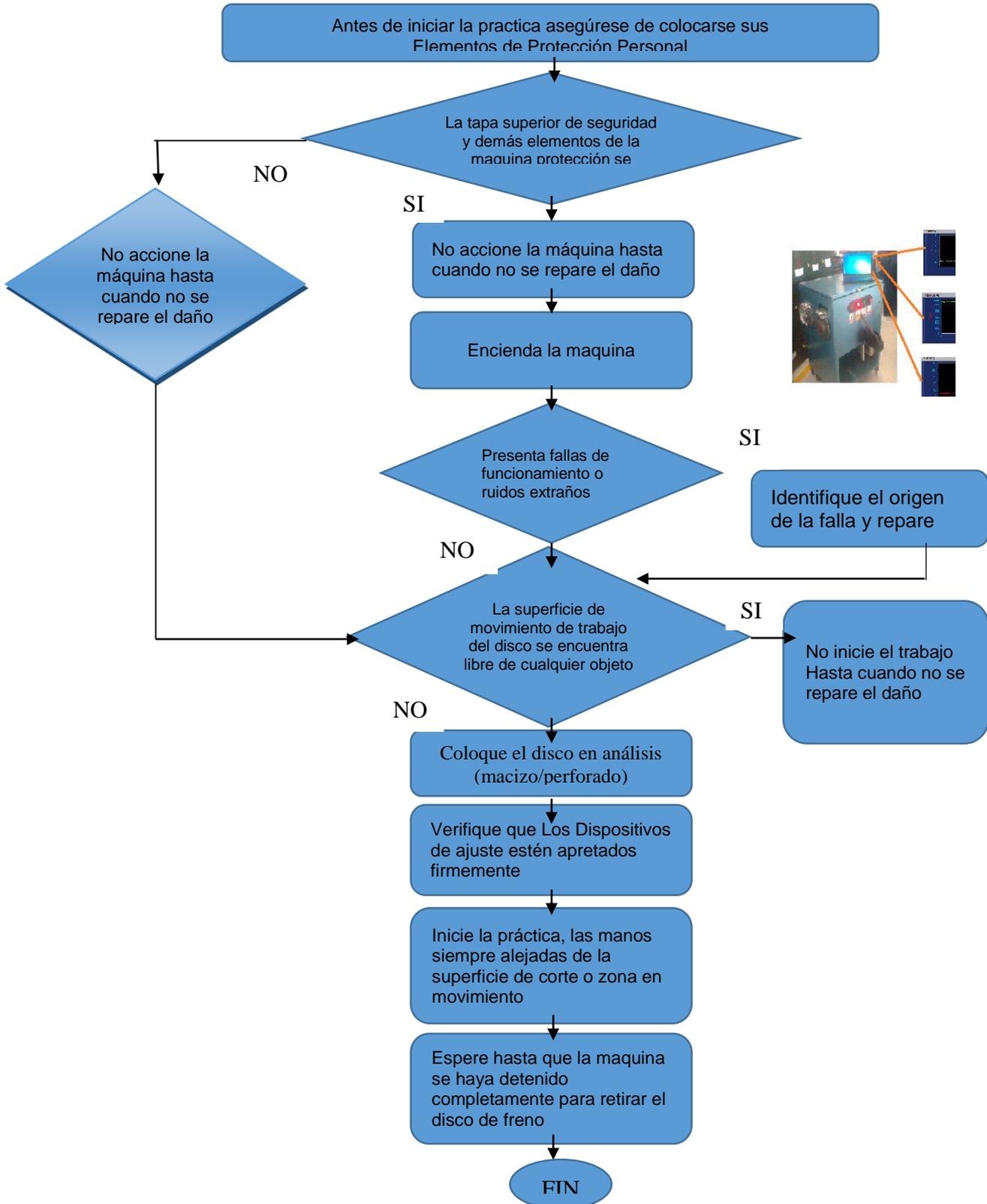
- **Indicador de motor encendido:** Este foco se ilumina cuando se activa el icono



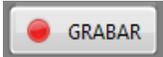
desde la pantalla principal de LabVIEW.

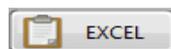
- Además lo que respecta a seguridad evitar el empleo de guantes, mangas sueltas, cadenas, pulseras, cabellos largos cuando se utilice este tipo de máquinas, estos se pueden enredar en el disco de freno y ocasionar accidentes.
- Mantener el área de la máquina libre de cualquier objeto evitando la presencia de otros trabajadores junto a la máquina, mientras ésta se encuentra en funcionamiento.
- El montaje y alineación del disco será realizado adecuadamente con el fin de evitar defectos de tensión en la misma.
- También los riesgos que se derivan del manejo de esta máquina son: Contacto accidental con el disco en movimiento, contacto con las correas de transmisión.
- Evitar el contacto con el disco de freno después de terminar las prácticas

5.4.2 PROCEDIMIENTO SEGURO DE MEDIOS DE TRABAJO



5.4.3 LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DEL BANCO DE FRENO

1. Colocar el disco (macizo/perforado) que deseamos analizar.
2. Enchufar el conector del Banco de pruebas de freno a 220 [V].
3. Observar que el foco rojo del panel delantero se encienda.
4. Abrir el Programa LabVIEW (Diseñado).
5. Conectar el cable USB al CPU.
6. Esperar que el programa reconozca Arduino.
7. Dar Click en el botón  Run (Del Programa).
8. Registrar la información de la Pantalla principal del Programa.
9. Antes de empezar las prácticas revisar que todas las piezas mecánicas se encuentren ajustadas y libres para su respectivo movimiento.
10. Antes de dar click en el botón , respetar una distancia prudente del disco
11. Damos Click en el botón. 
12. Seguidamente dar click en el botón.
13. Activar la palanca de Fuerza del Banco
14. Empezamos con las prácticas.
15. El botón Histórico permite observar las gráficas separadas de las cuatro Variables (Fuerza-Velocidad-T. pastilla-Disco). Además todos los valores obtenidos podemos exportar al Excel dando click en el botón.



CAPÍTULO VI

6. TABULACIÓN DE DATOS E INFORME DE LA SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE EMPLEADO

6.1 PRIMERA PRUEBA

Disco Macizo Vs Disco Perforado.

Frenados constantes a diferentes fuerzas de frenado

Tiempo total de la prueba a diferentes fuerzas aplicadas: 5 minutos con 32 segundos.

En la cual vamos a tomar valores medidos (iniciales intermedio y final), debido a que el programa arroja 60 datos por minuto y la tabla es extensa, optando en colocar dos valores tomados de la tabla para su análisis en los tres rangos mencionados anteriormente.

a) **Fuerza Ejercida: 12N**

Tiempo de duración de la prueba: 2 minutos con 42 segundos;

Datos iniciales censados.

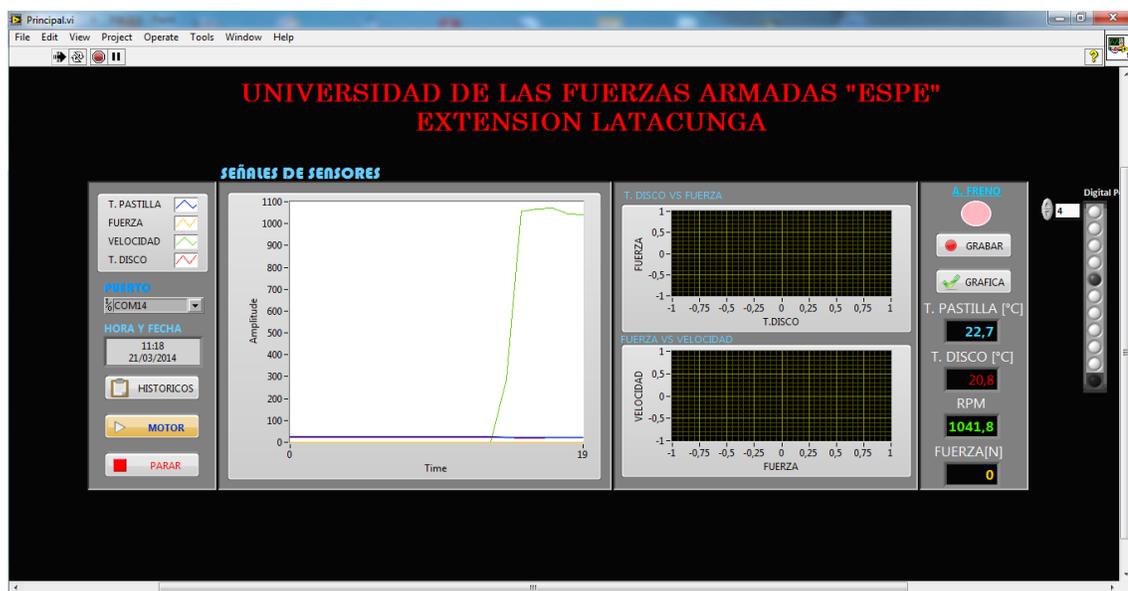


Figura 6. 1: Pantalla al inicio de la prueba.
Fuente: Autor

Primera Prueba										
Disco Perforado						Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO		FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:21:32	23,28	12	1096,96	23,28		21/03/2014 14:39:03	23,9	12	1092,66	22,7
21/03/2014 11:21:33	25,11	12	1088,35	23,28		21/03/2014 14:39:04	30,62	12	1041,84	25,72
21/03/2014 11:21:34	25,11	12	1113,90	23,89		21/03/2014 14:39:05	31,85	12	1041,84	25,11

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:22:58	28,17	12	1084,05	26,95		21/03/2014 14:40:29	34,30	12	1109,59	28,17
21/03/2014 11:22:59	28,79	12	1096,96	25,11		21/03/2014 14:40:30	39,20	12	1117,93	30,62

Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:24:21	33,69	12	1130,83	28,79	21/03/2014 14:41:49	43,49	12	1105,29	31,85
21/03/2014 11:24:22	37,36	12	1164,71	30,62	21/03/2014 14:41:50	39,81	12	1117,93	34,91

b) **Fuerza Aplicada:** 20 [N]

Tiempo de duración de la prueba: 1 minuto con 49 segundos

Datos al inicio del proceso.

					Fuerza Aplicada 20 [N]				
Disco Perforado					Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO	FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:24:23	37,98	20	1147,77	30,62	21/03/2014 14:41:51	45,94	20	974,09	34,91
21/03/2014 11:24:24	34,91	20	1113,90	28,17	21/03/2014 14:41:52	41,04	20	974,09	33,08

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:25:17	40,42	20	1105,29	32,46	21/03/2014 14:42:44	46,55	20	1024,90	37,36
21/03/2014 11:25:18	42,26	20	1143,47	33,08	21/03/2014 14:42:45	49,00	20	1067,11	44,71

Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:26:10	45,94	20	1075,72	36,75	21/03/2014 14:43:38	58,80	20	1080,02	44,71
21/03/2014 11:26:11	47,16	20	1092,66	36,14	21/03/2014 14:43:39	58,19	20	1080,02	45,32

c) **Fuerza Aplicada:** 20 [N]

Tiempo de duración de la prueba: 1 minuto con 1 segundo

Datos al inicio del proceso.

Disco Perforado					Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO	FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:26:13	46,55	24	1016,30	36,14	21/03/2014 14:43:41	66,76	24	855,52	50,84
21/03/2014 11:26:14	49,61	24	1029,20	37,36	21/03/2014 14:43:42	67,37	24	868,16	50,84

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:26:38	53,90	24	1012,27	41,04	21/03/2014 14:44:06	70,44	24	846,92	53,29
21/03/2014 11:26:39	50,84	24	974,09	39,81	21/03/2014 14:44:07	71,66	24	842,88	53,29

Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:27:13	57,58	24	982,42	45,94	21/03/2014 14:44:41	72,27	24	762,22	53,29
21/03/2014 11:27:14	60,64	24	982,42	45,94	21/03/2014 14:44:42	75,34	24	800,40	56,96

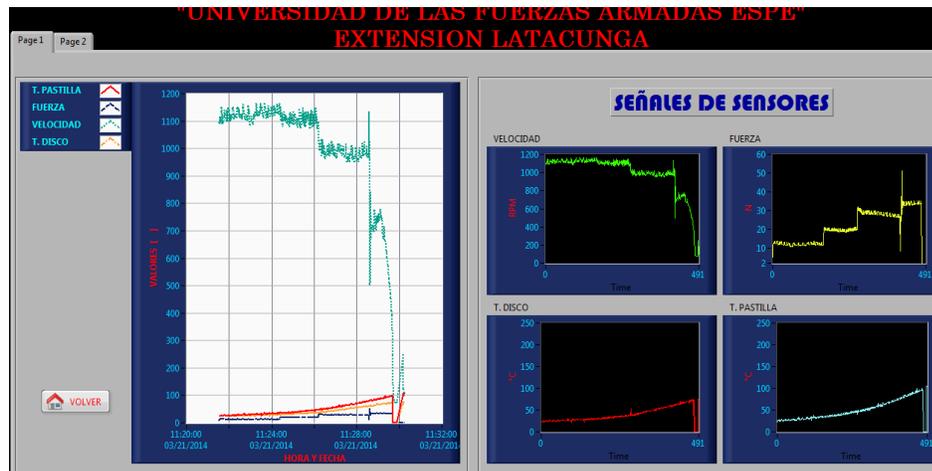
Para efectuar la práctica cabe recalcar que se realizó las pruebas con los discos del mismo material y las mismas pastillas de frenos, y así poder saber si las perforaciones mejoran la disipación del calor que existen los discos perforados.

Podemos notar en la tabla obtenida del programa como la temperatura del disco macizo aumenta conforme se aplica el freno, a más presión va incrementando más la temperatura comparado con el disco perforado. Esta prueba dura dos minutos con cuarenta y dos segundos como se puede apreciar en la tabla obtenida en el simulador, teniendo los valores de 56 grados en el disco macizo y 45 grados en el disco perforado permitiendo tener una eficacia de un 19% en la temperatura obtenida en el disco, además que se pudo analizar que al inicio de la prueba la diferencia de temperatura no era significativa pero conforme más se use el freno continuamente más diferencia de temperatura existe , llegando a la conclusión que a lapsos largos de usar el freno los discos perforados disipan el calor de una mejor manera que los discos macizos

Los discos perforados llevan aire frío a la pastilla y a la superficie del disco, lo que ayuda a enfriar la temperatura de la pastilla al contacto con él, como demuestra los datos obtenidos al finalizar la prueba, la pastilla en el disco macizo alcanzo la temperatura de 75.34 grados, mientras que la pastilla utilizando el disco perforado tiene 60.64 grados teniendo una efectividad 20% de disipar el calor, además que se analizó que la pastilla es la que más disipación de calor tiene en el perforado , motivo por el cual podemos decir que Las pastillas se cristalizan cuando estas alcanzan determinada temperatura (que varía según su material) entonces cuando el material de la pastilla alcanza X temperatura se forma una resina que cubre toda la superficie de la pastilla formando así una capa que impide la fricción entre el disco y la pastilla perdiendo el control de frenar el vehículo.

DIAGRAMA VELOCIDAD-FUERZA-TEMPERATURA.

DISCO PERFORADO



DISCO MACIZO



En estas gráficas podemos analizar que a mayor fuerza de frenado aumenta la temperatura del disco de freno y de la pastilla, pero también se aprecia que a mayor tiempo de aplicar el freno la temperatura de la pastilla es mayor que la del disco de freno. La gráfica de la velocidad nos permite comprender cómo actúa la fuerza de frenado llegando a un punto casi hacerle cero.

También notaremos que es inversamente proporcional la velocidad con la fuerza de frenado a mayor fuerza de frenado menor velocidad del disco.

En conclusión el disco perforado disipo de mejor manera la temperatura producida en esta prueba.

6.2 SEGUNDA PRUEBA

FRENANDO PAULATINAMENTE.

TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA A DIFERENTES FUERZAS APLICADAS: 3 MINUTOS CON 23 SEGUNDOS.

Para empezar la segunda prueba tenemos que empezar los dos discos con valores similares a la temperatura que tenga el disco y la pastilla de freno, y seguir analizando cómo se comporta la temperatura.

a) Fuerza Ejercida: 10N

Tiempo de duración de la prueba: 1 minutos con 7 segundos;

Datos iniciales censados.

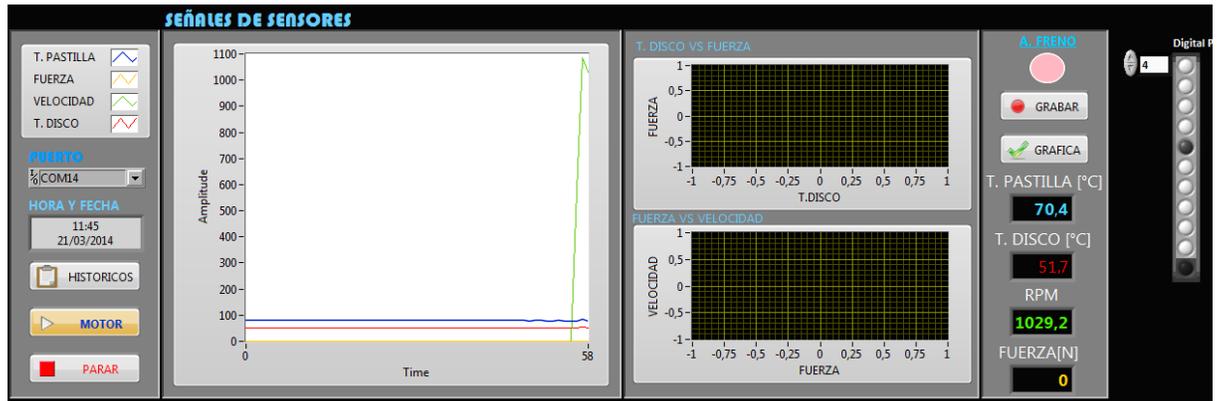


Figura 6. 2: Pantalla al inicio de la segunda prueba.
Fuente: Autor

Segunda Prueba Fuerza Aplicada 10 [N]									
Disco Perforado					Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO	FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:47:28	70,08	10	1156,11	51,67	21/03/2014 15:08:40	72,27	10	1033,24	51,45
21/03/2014 11:47:29	68,60	10	1117,93	52,06	21/03/2014 15:08:41	75,95	10	1054,48	51,45

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:48:01	65,54	10	1113,90	49,61	21/03/2014 15:09:13	77,17	10	1088,35	55,12
21/03/2014 11:48:02	65,54	10	1092,66	48,39	21/03/2014 15:09:14	76,56	10	1092,66	60,64

Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:48:34	69,83	10	1151,81	52,06	21/03/2014 15:09:45	75,34	10	1058,78	53,29
21/03/2014 11:48:35	64,92	10	1109,59	49,61	21/03/2014 15:09:46	77,17	10	1096,96	61,25

b) Fuerza Aplicada: 25 [N]

Tiempo de duración de la prueba: 49 segundos

Datos al inicio del proceso.

Fuerza Aplicada 25 [N]										
Disco Perforado						Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO		FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:48:37	64,31	25	1092,66	49,61		21/03/2014 15:09:49	91,26	25	902,03	64,31
21/03/2014 11:48:38	68,60	25	1080,02	51,45		21/03/2014 15:09:50	90,04	25	787,77	67,99

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:49:03	66,15	25	1024,90	50,84		21/03/2014 15:10:15	93,71	25	1003,66	65,54
21/03/2014 11:49:04	65,54	25	1033,24	49,61		21/03/2014 15:10:16	92,49	25	999,36	66,15

Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:49:24	72,27	25	1046,14	53,90		21/03/2014 15:10:36	94,94	25	868,16	67,37
21/03/2014 11:49:25	63,70	25	1063,08	53,90		21/03/2014 15:10:37	94,94	25	851,22	71,05

- **Fuerza Aplicada:** 30 [N]

Tiempo de duración de la prueba: 1 minuto con 27 segundos.

Datos al inicio del proceso.

Fuerza Aplicada 30 [N]										
Disco Perforado						Disco Perforado				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO		FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:49:27	66,76	30	1105,29	55,74		21/03/2014 15:10:39	101,01	30	745,29	74,11
21/03/2014 11:49:28	67,99	30	385,55	52,67		21/03/2014 15:10:40	111,47	30	698,77	75,34

Datos a la mitad del tiempo estimado.

21/03/2014 11:50:12	76,56	30	770,83	58,80		21/03/2014 15:11:24	113,31	30	474,27	76,56
21/03/2014 11:50:13	80,24	30	758,19	62,47		21/03/2014 15:11:25	118,21	30	343,07	79,62

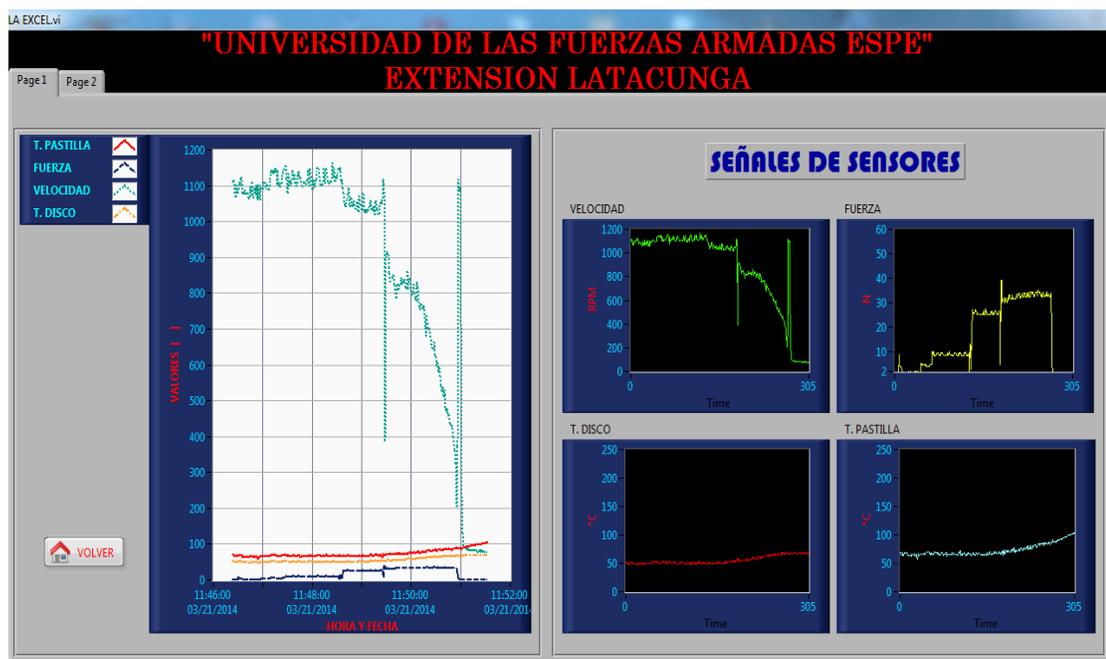
Datos al final del tiempo estimado.

21/03/2014 11:50:54	87,59	30	326,13	67,37		21/03/2014 15:12:05	123,73	30	283,92	80,85
21/03/2014 11:50:55	91,26	30	203,26	69,83		21/03/2014 15:12:06	118,83	30	190,62	78,40

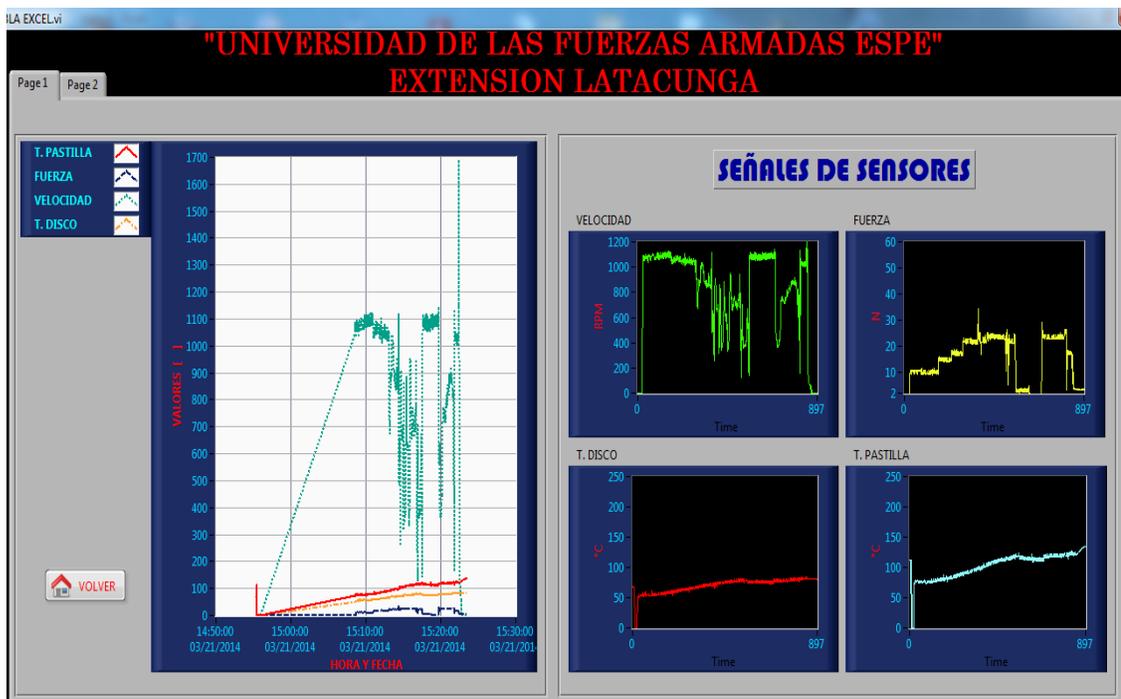
Siguiendo con la toma de datos observamos que la temperatura de la pastilla es superior a la del disco de freno, en la tabla obtenida tenemos al final del proceso del frenado un valor de 78.40 grados en el disco macizo y en el mismo tiempo de frenado aplicado la misma fuerza se obtuvo un valor de 69.83 grados obteniendo una eficiencia de 10% .

Lo que se refiere a la pastilla se obtuvo cuando se uso el disco masiso un valor de 118.83 grados, y en el que se uso el disco perforado se obtuvo 91.26 grados teniendo una eficacia de 20% por lo que en este punto si es considerable el calor disipado por las perforación en el disco que si influye a evitar el calentamiento exesivo del disco

DISCO PERFORADO



DISCO MACIZO



Como es notorio la temperatura de la pastilla del disco macizo se incremento significativamente comparado con el disco perforado que es menor y para evitar que la pastilla se sobrecaliente y redujera la fricción debido a la película de gases que se interponía entre disco y pastilla, las perforaciones axiales en los discos actúan de forma que los **gases de la pastilla** se pudieran evacuar por ellos pudiendo observar que la solución a reducir la temperatura considerablemente.

6.3 TERCERA PRUEBA.

FRENADO BRUSCO

TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA A DIFERENTES FUERZAS APLICADAS: 3 MINUTOS CON 23 SEGUNDOS.

Para realizar esta prueba se procede empezar los discos con los mismos valores iniciales de temperatura en la pastilla de freno y en el disco de freno, este va a estar girando libremente, para posteriormente aplicar una fuerza grande hasta llegar a detener el disco de freno y poder saber cómo actúa la temperatura en los dos discos.

a) **Fuerza Ejercida:** de 0 [N] a 48,3 [N]

Tiempo de duración de la prueba: 51 segundos;

Datos iniciales censados.

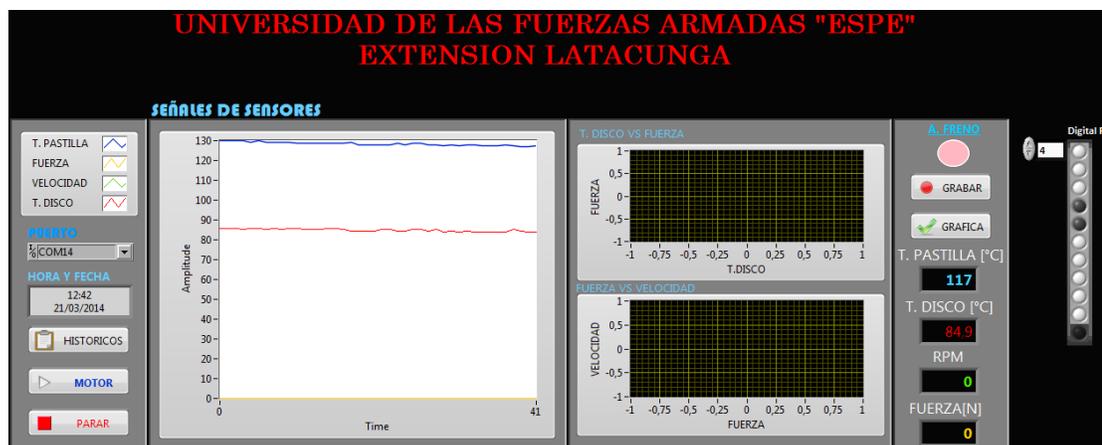


Figura 6. 3: Pantalla al inicio de la tercera la prueba.

Fuente: Autor

Fuerza Aplicada de 0 [N] a 48,3 [N]										
Disco Perforado						Disco Perforado				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO		FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 12:17:18	117,45	0	1168,74	84,53		21/03/2014 15:43:31	117,60	0	1122,23	84,53
21/03/2014 12:17:19	121,27	0	1147,77	80,85		21/03/2014 15:43:32	118,21	0	1126,53	84,53

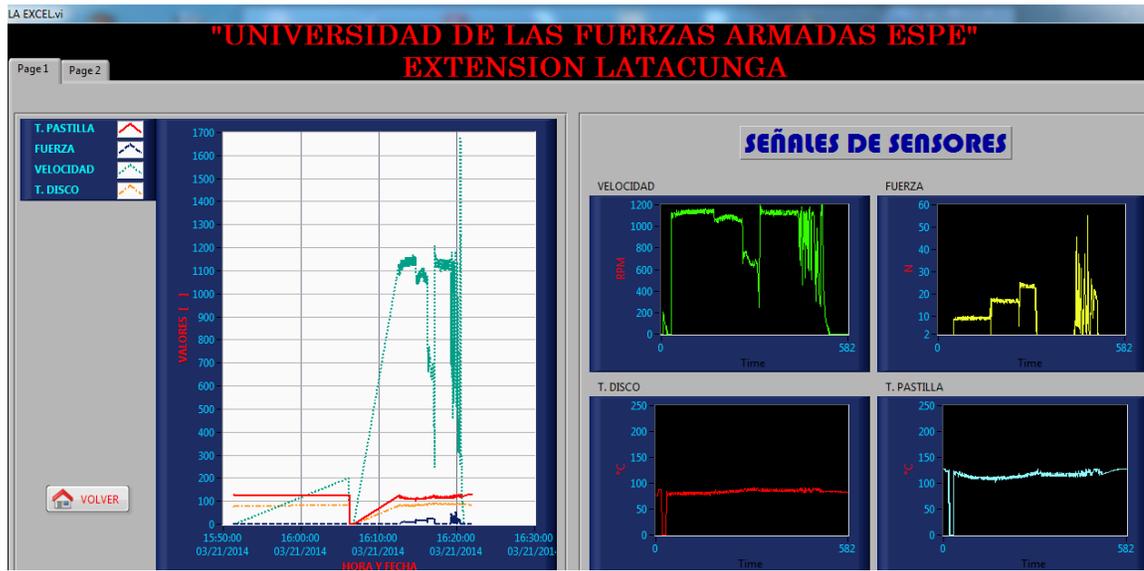
Momento aplicado 48,3 [N]

21/03/2014 12:18:07	117,60	0	550,63	81,46		21/03/2014 15:44:24	120,05	0	1100,99	86,36
21/03/2014 12:18:08	118,83	48,29	406,52	81,53		21/03/2014 15:44:25	124,34	48,30	1084,05	86,97

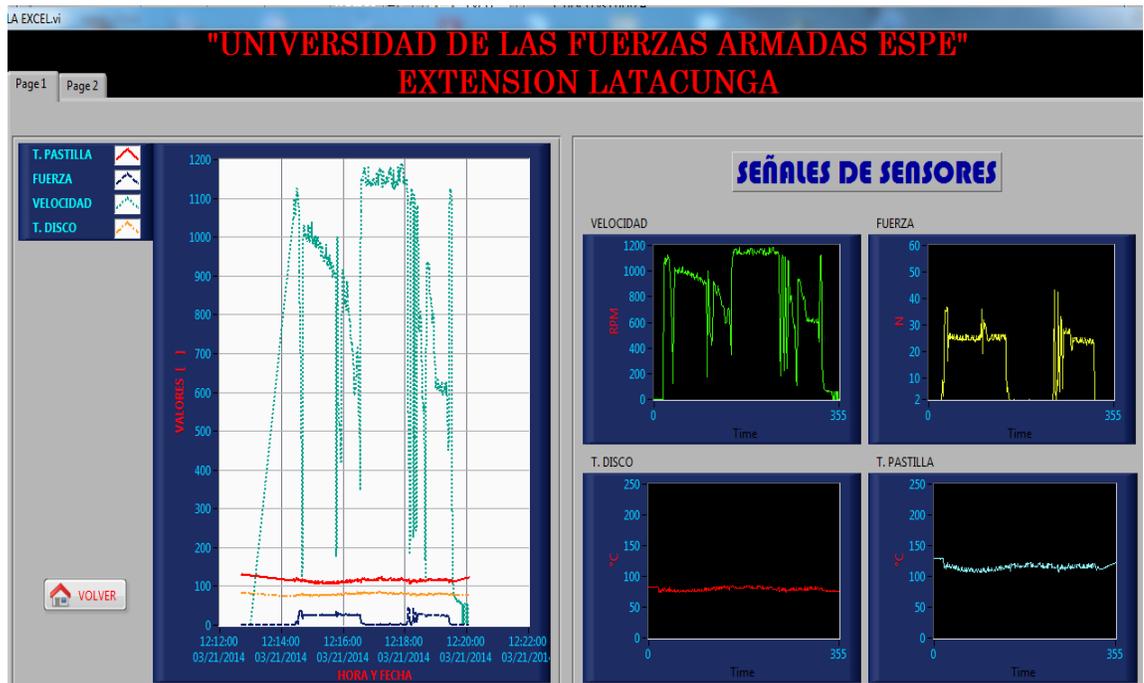


Para realizar esta prueba se empezó cuando tanto los discos como las pastillas tenían las mismas temperaturas altas luego de 49 segundos sin aplicar el freno vemos como tanto el disco y la pastilla disipan el calor de mejor manera con valores de 86.36 grados en el disco macizo, y 81.46 en el perforado teniendo una eficiencia de 5.6% que no es muy significativo pero que si ayuda a evacuar la temperatura, luego se procede aplicar la Fuerza de 48.3 [N] en los dos disco subiendo en el macizo 0.6 grados más, y en el perforado 0.07 grados, como no es significativo la temperatura se sabe que si deseamos una amplio rango de disipación de calor viene más por el metal del que están hechos los discos que por las perforaciones, ya que también son más propensos a agrietas.

DISCO MACIZO



DISCO PERFORADO



También se evidencio que los discos perforados ofrecen un agarre inicial de frenado mejor que el macizo, también observamos en la gráfica que los discos perforados incrementan la refrigeración luego de la frenada y que es una buena opción para personas que desean correr en circuitos y aceptan el desgaste mayor de las pastillas.

Además que incrementan un poco el rendimiento en general debido a su menor peso, y que se calienta mucho más rápido debido a las ranuras y menor material, condición ideal para usar unas pastillas de mayor rendimiento.

Usted podrá conseguir una mejor capacidad de frenado sin llegar a bloquear sus ruedas simplemente mejorando la calidad de los neumáticos que son los que conectan el auto con la carretera.

En conclusión utilizar disco de frenos de gran tamaño y grandes pinzas con más pistones (mayor área de contacto disipa mejor el calor), son los mejores sistemas de frenado, pero son excesivamente caros y que su mantenimiento es muy costoso.

CAPÍTULO VII

7.1 CONCLUSIONES

Para finalizar el proyecto de tesis luego de su construcción y pruebas tanto en la parte mecánica como en la parte del control se ha concluido lo siguiente:

- La disipación de calor de los discos de freno es un punto de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema, y que la convección generada entre el disco y el medio que lo rodea juega un rol significativo, Ya que en la prueba el disco macizo y perforado tenían 76.5°C , luego se dejó de aplicar el freno después de 3 minutos, el disco macizo tenía 74.5°C ; mientras que el disco perforado tenía 71.9°C razón por lo cual se concluye que los discos de freno perforados disipan el calor de una mejor manera que los discos macizos, conjuntamente este último demuestra una mayor concentración de esfuerzos axiales al momento de aplicar el freno, producto de los esfuerzos termomecánicos que son generados por la presión sobre el disco y el calor generado.
- Tener los agujeros perforados en un disco de freno hace posible que el calor, gas y agua sea rápidamente alejado de la superficie del disco de freno, manteniendo el rendimiento de frenado.
- Los discos perforados tienen una mayor ventilación por lo que se enfrían más rápido, pero como tienen menos material son propensos a calentarse excesivamente.

7.2 RECOMENDACIONES

- Es aconsejable que el operador del Banco de frenos lea los lineamientos de seguridad y manejo del sistema mismo, evitando así algún percance en todo la práctica realizada.
- Se debe realizar una inspección visual periódica y mantenimiento adecuado del sistema de frenos para brindar seguridad al operador.
- Por ello es importante resaltar que si desea tener discos perforados, es necesario hacer las perforaciones en discos nuevos, ya que los discos usados, aunque no se pueden ver a simple vista, por su desgaste ya tienen estrías (fisuras) las cuales en toda la mayoría de los casos están presentes en la parte interna entre las dos capas de contacto, por ello si se realiza la perforación en discos gastados, se corre el riesgo de que estos simplemente se rompan.
- Para un mayor análisis del estudio Térmico de los discos de frenos realizar un Banco de Frenos para vehículos (Pasajeros-Usos múltiples-Carga), realizando un adaptador para las diferentes medidas de diámetros los discos de Freno.

7.3 BIBLIOGRAFÍA

- Pompon, J. (1998). *Manual del disco de freno.*, Barcelona,, Ediciones CEAC
- Kreith, Frank y Bohn. (2001). *Principio de Transferencia de Calor 6 Ed.* Thomson. Madrid.
- Roadhouse. (2005). *Manual Técnico de las Pastillas de Freno.* desarrollado por la compañía. España
- Anderson, A.E .(1992). *FRICCIÓN Y DESGASTE DE AUTOMÓVIL* BRAMES”, Editorial HANDBOOK.. New York, NY, U.S.A.
- Carranza Y Beltrán. (2003). *TRANSFERENCIA DE CALOR DE ESTADO INESTABLE EN FORROS PARA FRENOS.* Madrid , España
- KREITH Y BOHN. (2001). *Principio de Transferencia de Calor*, Ed. Thomson Learning. México.
- Manuel Orovio Astudillo. (2002). *Manual Técnico del Automóvil.* Editorial Paraninfo . Barcelona /España.
- Serway R. A. (1997). *Física Contemporánea.* 4 ta Ed. MC Graw-Hill. Mexico.
- APARICIO IZQUIERDO. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles.* Editorial. ETS INGENIEROS INDUSTRIALES. Madrid.
- Vera C. y Felez J. (1995). *Diseño y Cálculo del Sistema de Frenos en Automóviles.* Editorial UNIÓN EDITORIAL S.A. Universidad Politécnica de Madrid.

7.4 NETGRAFÍA

- National Instrument. (12 Marzo del 2013). Recuperado el 02 de Enero del 2014, Sitio web de National Instrument <http://www.ni.com/trylabview/esa/>
- TUTORIAL DE LABVIEW. (16 Febrero del 2010) . Recuperado el 11 Septiembre de de 2013, Sitio web de National Instrument http://webs.uvigo.es/euiti_ie1/ie2/Tutorial%20de%20Labview.pdf
- Foros Honda Discos perforados (11 Abril del 2011). Recuperado el Miércoles 09 Diciembre del 2013, Sitio web de Foros Honda <http://www.foroshonda.com/foros/showthread.php?t=5075>
- Sabelotodo. (24 julio del 2012). Recuperado el jueves 13 de Marzo de 2014, Sitio web de Sabelotodo <http://www.sabelotodo.org/automovil/frenos.html>.
- Tema06 Frenos (16 Agosto del 2010). Recuperado el Lunes 13 de Marzo de 2014, Sitio web de Sabelotodo www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema06.pdf, (2012)
- Mecánica Virtual (13 Mayo del 2011). Recuperado el 08 de Noviembre de 2013, de Aficionados a la mecánica: [http:// www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm)

ANEXO 1

- **MARCO ADMINISTRATIVO**
 - **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**
- SEGURIDAD**

MARCO ADMINISTRATIVO

RECURSOS HUMANOS

Se refiere a todas las personas que van a intervenir en el proyecto, estando a cargo el Sr. José Patricio Vaca Solís.

FINANCIEROS

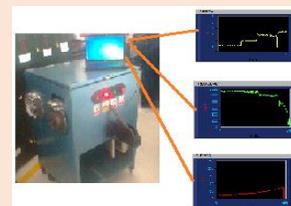
Se especifica de donde proviene el financiamiento.

RECURSOS MATERIALES

Siendo los elementos físicos que fueron necesarios para la materialización de la parte práctica de la tesis y estos son:, estructura metálica del banco, motor trifásico de corriente de 220 v, bomba de Vacío, Placa Arduino, tablero de instrumentos, Placa de conexión arnés de cables, el conjunto del sistema de frenos, entre otros.

VIABILIDAD TÉCNICA

Los discos de frenos son elementos importantes en el sistema de seguridad del vehículo, pues son los responsables de detener el vehículo en maniobras normales y en caso de emergencia.



En la industria automotriz se ha dejado a un lado desarrollar e incrementar la Tecnología de los discos de frenos por su complejidad, no permitiendo adentrarse en su estudio por los fabricantes para ir obteniendo avances.

El objetivo de este trabajo es monitorear el comportamiento térmico del disco de frenos y analizar cómo se comporta y si existe un mejoramiento en la convección de calor a través del disco perforado modificando el flujo de aire en su entrada y salida.

En la cual el estudio se desarrollara y validara una metodología para analizar la capacidad térmica de los discos de frenos en diferentes condiciones de operación variando el flujo de aire a través de las ventilas para aumentar el coeficiente de convección durante la transferencia de calor, obteniendo las curvas de disipación de calor.

ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES USADOS EN EL BANCO DE FRENO.

N° DE ÍTEMS	ESPECIFICACIONES	TOTAL USD.
3	Cañerías y acoples	50
1	Enchufe	25
1	Tarjeta de Comunicación y adquisición de datos.	850
1	Líquido de frenos	4
1	Bomba de vacío	80
1	Motor eléctrico	400
1	par de (pastillas Mordazas, y zapatas)	125
2	Disco y tambor de frenos	90
1	Sensor de presión	40
1	Bomba de freno	50
1	Servofreno	130
1	Sensor de velocidad	400
2	Termocupla k	110
1	Caja de herramientas	50
3	Tubos de estructura	150
1	Cable USB	30
1	Pintura	45
1	Arnés de cables flexibles	19
1	Adaptador de 12v	12
1	Funda de tubo protector para cables	9
1	Caja de fusibles	35
1	Placa Arduino	68
1	Placa de circuito	45
2	Bandas de poleas	25
4	Focos indicadores	18
5	Contactos y pulsadores	20
TOTAL DE INVENTARIO		2880

Equipamiento Tecnológico Usado.

En el desarrollo del Banco de Frenos se utilizó algunos aparatos tecnológicos como son el tacómetro de RPM, para poder calibrar el sensor de velocidad del banco.

También se utilizó la pistola infrarroja de temperatura, para calibrar las dos termocuplas tipo K para medir la temperatura de la pastilla y del disco de freno.

El programador usado es Labview debido a su altas prestaciones además que es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Arduino es una herramienta para hacer que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico a través de tu ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, basada en una placa con un sencillo micro controlador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa.



¿Cuáles son los resultados o impactos esperados del proyecto?

Es desarrollar y validar una metodología para caracterizar la capacidad térmica de los discos de frenos en diferentes condiciones de operación variando el flujo de aire a través de las perforaciones para aumentar el coeficiente de convección durante la transferencia de calor, obteniendo las curvas de disipación de calor con diferentes tipos de discos de frenos.

Contribución activa a la conservación del medio ambiente

Como las pastillas de freno de Cerámica usadas casi no generan polvo de frenado, reducen el impacto ambiental. Además, el menor desgaste contribuye a la conservación de los recursos ofreciendo las mismas prestaciones de frenado.

Sostenibilidad social: equidad, género, participación ciudadana

El empeño preeminente debe consistir en evitar accidentes de antemano, aquí interviene tanto la capacidad del conductor como la del vehículo. Es por ello que todas las marcas se dedican a la seguridad activa con el mismo esmero que a la seguridad pasiva y a la protección del vehículo, persiguiendo el objetivo ideal de conseguir la óptima combinación de seguridad.



LA SEGURIDAD VIAL DEPENDE DE TRES FACTORES:

Factor Humano.

En toda situación de tráfico intervienen tres elementos; el conductor, el vehículo y la vía y su entorno. Gran parte de los accidentes de tráfico, entre 70 y 90 de cada 100, son debidos principalmente al factor humano, el conductor. Ejemplo de esto son las distracciones o la conducción bajo los efectos del alcohol.

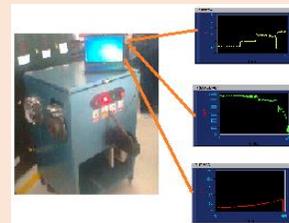
Tiempo de reacción

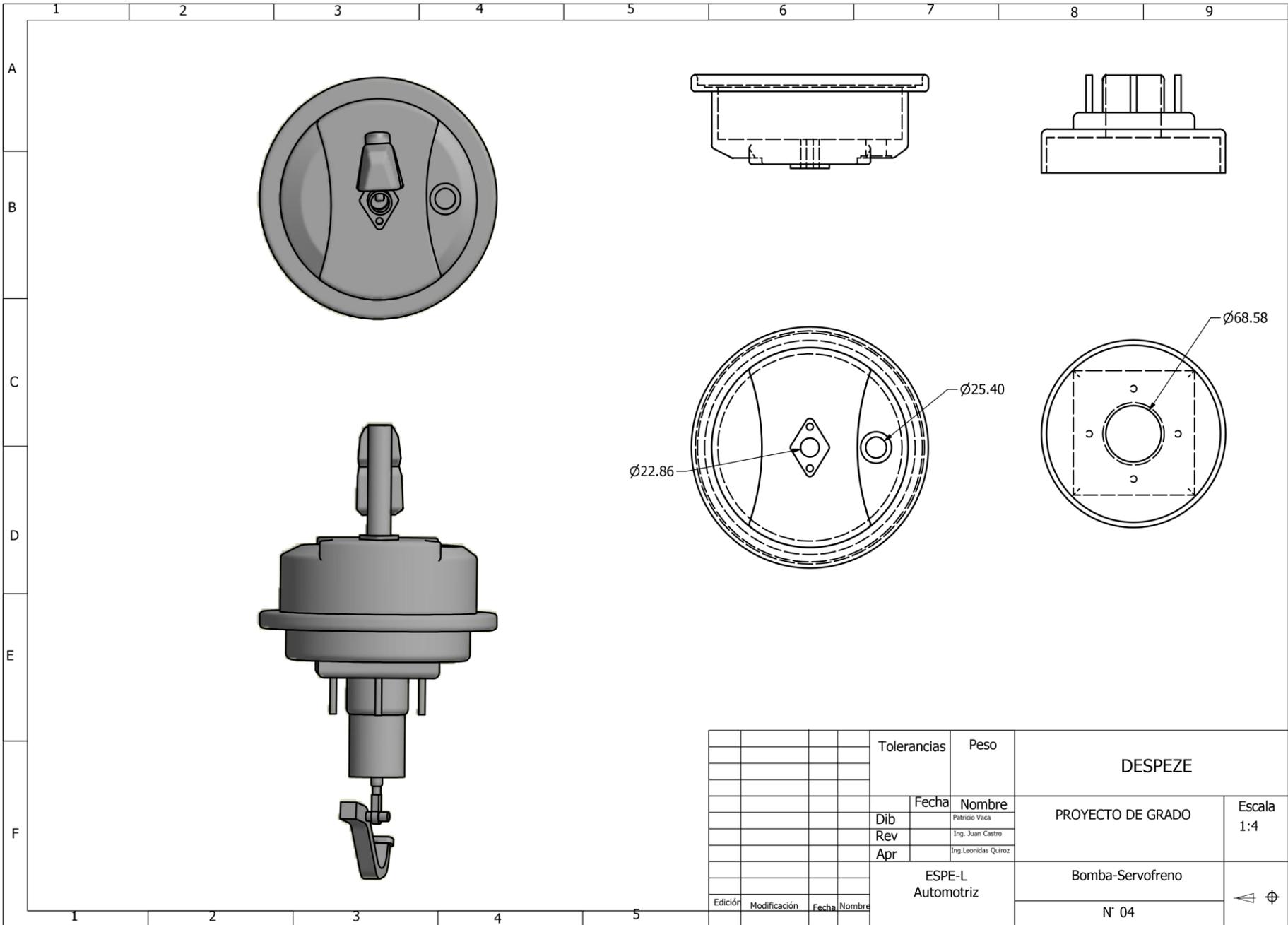
Es el tiempo que transcurre desde que el conductor ve un obstáculo hasta que reacciona. Este tiempo varía en función del estado psicofísico del conductor, nunca por la velocidad ni por el estado de la vía.

Aunque parezca que la reacción ante un obstáculo o situación imprevista tenga que ser instantánea, el tiempo medio de reacción de un conductor es de aproximadamente 0,75 segundos, entre 0,5 y 1 segundo.

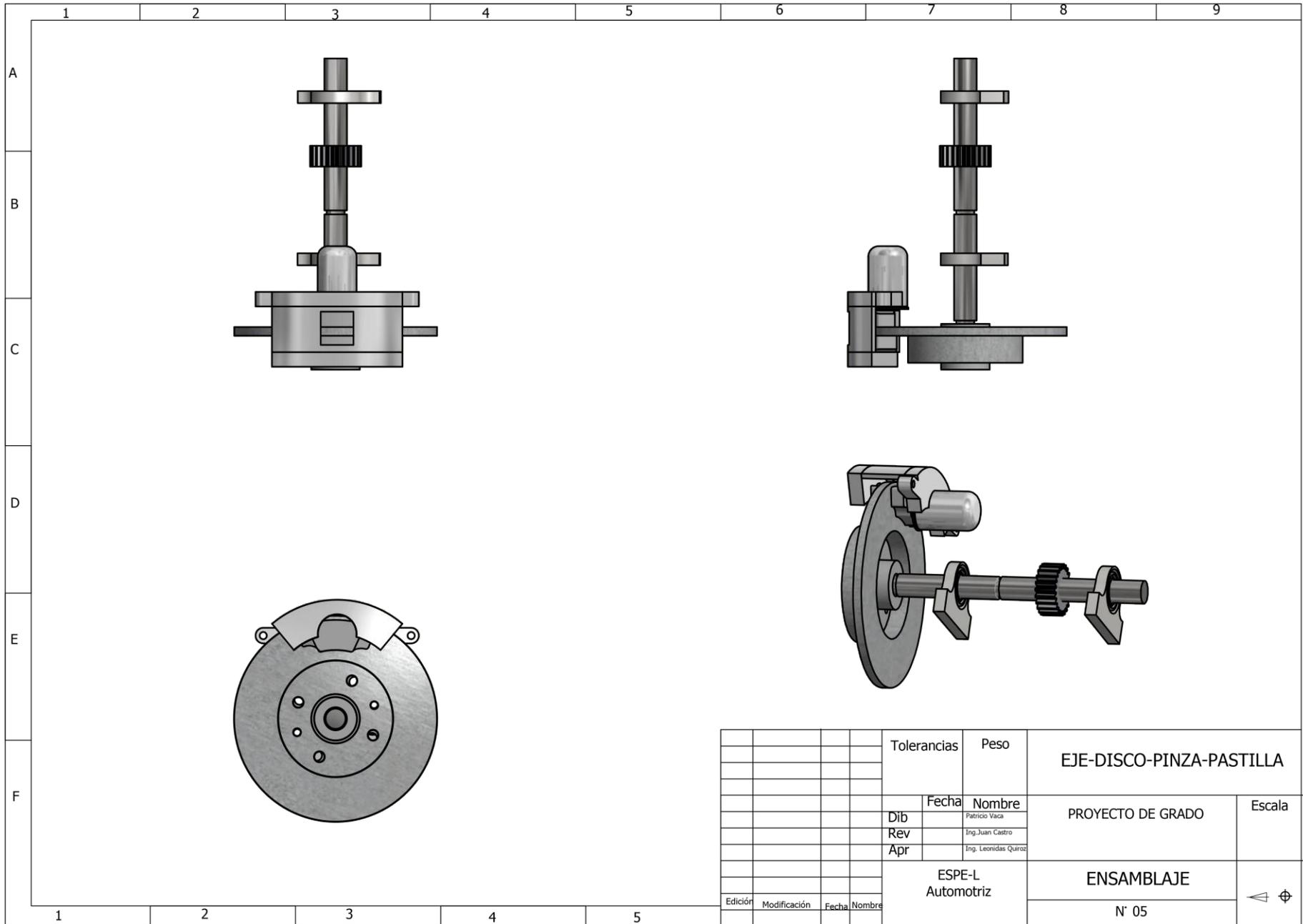
Distancia de reacción

Es la distancia que recorre el vehículo durante el tiempo de reacción. A mayor tiempo de reacción mayor será la distancia recorrida. Esta distancia también varía con la velocidad, a mayor velocidad mayor será la distancia de reacción.





						Tolerancias	Peso	DESPEZE	
						Fecha	Nombre	PROYECTO DE GRADO	Escala 1:4
						Dib	Patricio Vaca		
						Rev	Ing. Juan Castro		
						Apr	Ing. Leonidas Quiroz	Bomba-Servofreno	⊕
						ESPE-L Automotriz		N° 04	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



				Tolerancias	Peso	EJE-DISCO-PINZA-PASTILLA	
						PROYECTO DE GRADO	Escala
				Fecha	Nombre		
				Dib	Patricio Vaca		
				Rev	Ing. Juan Castro		
				Apr	Ing. Leonidas Quiroz		
				ESPE-L Automotriz		ENSAMBLAJE	⊕
						N° 05	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

DIAGRAMA DE PROCESOS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input checked="" type="checkbox"/> METODO PROPUESTO											
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: ESTRUCTURA DEL BANCO DE FRENOS											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCION DEL BANCO											
RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS				
	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.					
<input type="radio"/> Operación	230	80	200	72	30	8					
<input type="checkbox"/> Inspección	215	71	200	60	15	11					
<input type="checkbox"/> Transporte	4	3	0	0	0	0					
<input type="checkbox"/> Almacenamiento	0	0	0	0	0	0					
<input type="checkbox"/> Retraso	0	0	0	0	0	0	ESTUDIADO POR:				
DISTANCIA RECORRIDA	15		24				VACA J.				
PASOS	DETALLES DEL PROCESO		Elementos	operación	transporte	inspec.	retraso	almacena	dist. (m)	cantidad	tiempo (')
1	Adquisicion de Materiales		Elementos del sistema de frenos	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	1	5
2	Medicion de Tubos y plancha de tool		Flexometro	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	1	2
3	Corte de Tubo y plancha de tool		Sierra y Escuadra	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	2	3
4	Soldado de tubos		por Arco Electrico	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	25	2
5	Perforado de tubo		Punto, Taladro	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	2	1
6	Armado de los componentes sistema de frenos		Pernos, llaves	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	15	4
7	Armado de la caja de los componentes electronicos		Taladro, pernos, llaves	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	20	1
8	Remachado de las planchas de tool		Remaches	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	45	2
9	Pulido de las asperezas del material		Amoladora	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	1	3
10	Pintado del banco		Soplete	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25	1	3

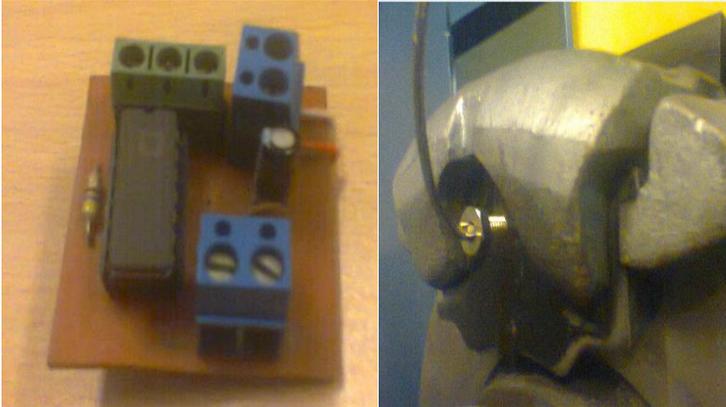
Proceso de pintado del banco de Frenos sin sus componentes electrónicos y mecánicos.



Proceso de montaje de los elementos mecánicos del sistema de frenos.



Elaboración de la placa para leer los datos obtenidos por la termocuplas, y esta a su vez se conecta Arduino.



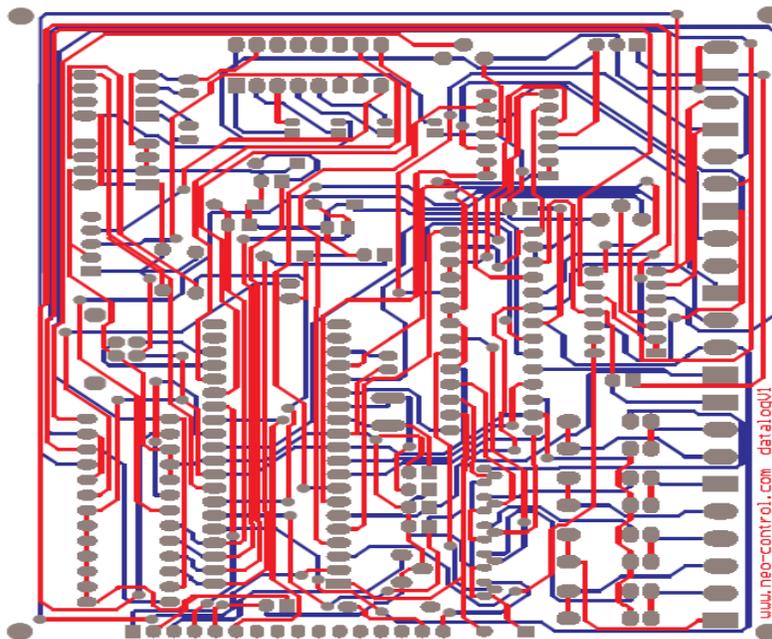
Arduino conectado a la placa diseñada para su lectura de datos a los cuatro sensores.



Sensor de velocidad tipo hall colocado una rueda con perforaciones para cortar su señal y tener el valor de RPM

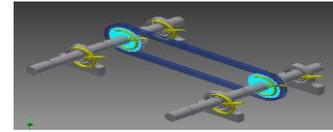


Pista superior de la Placa en formato pcb



ANEXO 3

**SIMULACIÓN
DISCO-EJE**



STRESS ANALYSIS REPORT

a) Análisis de Fuerzas y momentos en el eje y la cadena.

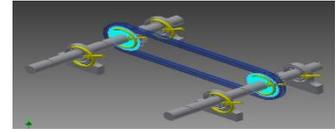
Analyzed File:	cadena.iam
Autodesk Inventor Versión:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	16/04/2013, 17:28
Simulation Author:	Patricio
Summary:	

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

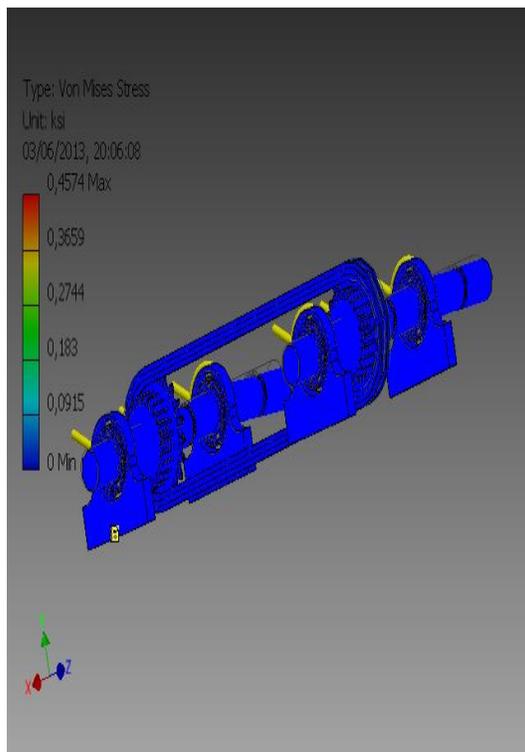
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	48,7955 lbforce	42,9482 lbforce	10,2553 lbforce ft	-0,91665 lbforce ft
		23,1613 lbforce		1,63733 lbforce ft
		0 lbforce		10,0822 lbforce ft
Fixed Constraint:2	11,1997 lbforce	9,85785 lbforce	12,5649 lbforce ft	-0,17866 lbforce ft
		5,31566 lbforce		0,331323 lbforce ft
		0 lbforce		12,5593 lbforce ft

Name	Minimum	Maximum
Volume	64,0128 in ³	
Mass	18,154 lbmass	
Von Mises Stress	0 ksi	0,632744 ksi
1st Principal Stress	-0,243154 ksi	0,682387 ksi
3rd Principal Stress	-0,915021 ksi	0,229572 ksi
Displacement	0 in	0,0000309255 in
Safety Factor	15 ul	15 ul

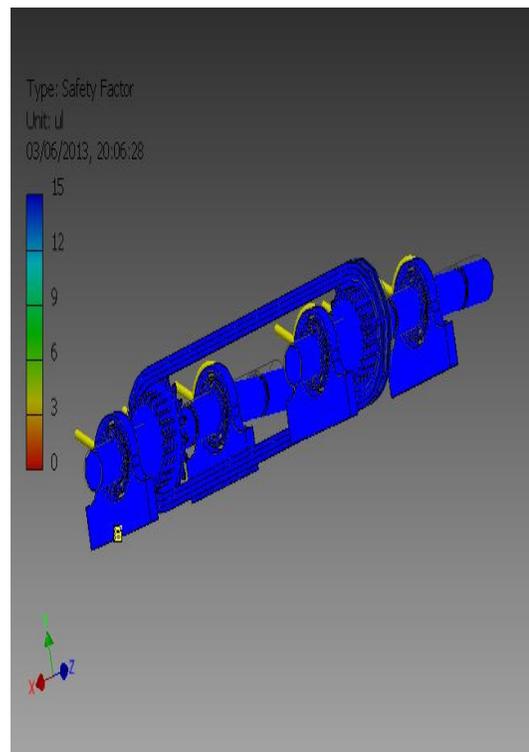


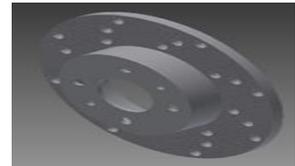
EJE- CADENA SIMULACIÓN

Von Mises Stress



Safety Factor





STRESS ANALYSIS REPORT

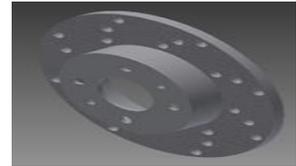
b) Análisis de Fuerzas y momentos en el disco de freno



Analyzed File:	Análisis térmico disco.iam
Autodesk Inventor Versión:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	30/04/2013, 20:56
Simulation Author:	Usuario
Summary:	

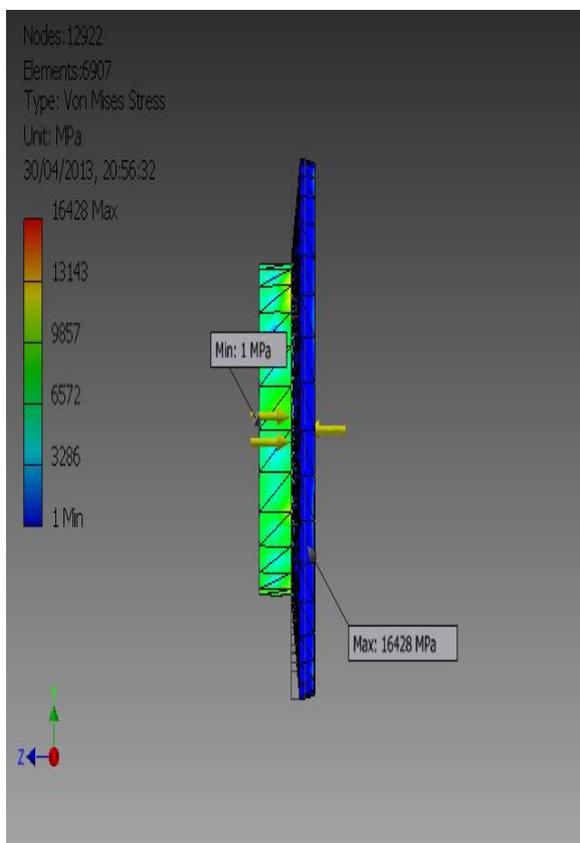
RESULT SUMMARY

Name	Minimum	Maximum
Volumen	370280 mm ³	
Mass	2,64751 kg	
Von Mises Stress	0,981013 MPa	16428 MPa
1st Principal Stress	-7999,04 MPa	21412,3 MPa
3rd Principal Stress	-20897,5 MPa	7250,76 MPa
Displacement	0 mm	36,5075 mm
Safety Factor	0,0121744 ul	15 ul
Stress XX	-16580,1 MPa	14036,4 MPa
Stress XY	-7067,69 MPa	7731,59 MPa
Stress XZ	-6208,42 MPa	6986,72 MPa
Stress YY	-16302,7 MPa	15911,7 MPa
Stress YZ	-7094,88 MPa	7922,7 MPa
Stress ZZ	-16134 MPa	13078,6 MPa
X Displacement	-6,41658 mm	6,85043 mm
Y Displacement	-6,44537 mm	6,6355 mm
Z Displacement	-36,0115 mm	0,0556644 mm
Equivalent Strain	0,0000108489 ul	0,165208 ul
1st Principal Strain	-0,00821258 ul	0,18912 ul
3rd Principal Strain	-0,188375 ul	0,0213164 ul
Strain XX	-0,172202 ul	0,122602 ul
Strain XY	-0,102089 ul	0,111679 ul
Strain XZ	-0,0896772 ul	0,100919 ul
Strain YY	-0,164888 ul	0,133147 ul
Strain YZ	-0,102482 ul	0,114439 ul
Strain ZZ	-0,106782 ul	0,111212 ul

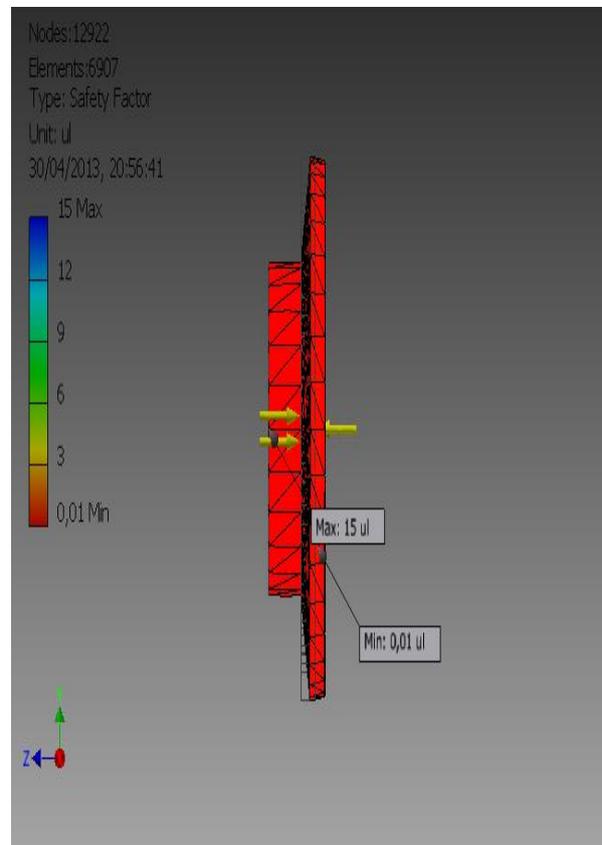


DISCO PERFORADO SIMULACIÓN

Von Mises Stress



Safety Factor



ANEXO 4

ARTÍCULO

BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES

Patricio Vaca¹ Juan Castro² Leónidas Quiróz³

^{1,2,3,4}Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador
email: pvaca1989@hotmail.com, jtcastro@espe.edu.ec, laquiroz@espe.edu.ec

RESUMEN

En el presente trabajo se realizaron diferentes tipos de pruebas térmicas en el disco de freno (Macizo y perforado) usados en los vehículos automotores, para determinar las curvas de comportamiento y la disipación de calor realizadas en distintas condiciones de frenado en el Banco de Frenos.

ABSTRACT

In this work different types of thermal testing on the brake disc (Solid and perforated) used in motor vehicles were conducted to determine the performance curves and heat dissipation made in different braking conditions on the Bank Brake

I. INTRODUCCIÓN

Los Discos de Freno son elementos de seguridad del vehículo, siendo responsables de detener el vehículo en cualquier situación que se presente en la carretera.

El objetivo de este proyecto de Grado es comprobar y desarrollar una programación

en LabVIEW para el monitoreo de la capacidad térmica de los discos de freno en diferentes condiciones de operación, obteniendo las curvas de disipación de calor con diferentes tipos de discos de freno.



Figura 1. Banco Térmico de discos de Freno.

II. DESARROLLO

El Banco de frenos consta de un sistema de frenos fundamental para todo vehículo y es el que le confiere la capacidad de reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo en cualquier índole que se presente en las vías, sí así lo decide el conductor.

El sistema de frenos de un vehículo de turismo está compuesto por los siguientes elementos:

a. SERVOFRENO



Figura 2. Servofreno utilizado en el Banco.

Es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal, actúan por vacío es decir aprovechan la depresión que se produce en el colector de admisión. Para nuestro caso esta depresión se lo consigue con una bomba de vacío que realiza el mismo efecto, que es movida por medio de poleas conectado al motor eléctrico.

b. LÍQUIDO DE FRENOS, CONDUCTOS Y MANGUITOS.

La principal responsabilidad del líquido de frenos, conductos y manguitos es la de transmitir la presión hidráulica desde la bomba de freno a las pinzas de freno localizadas en cada una de las ruedas del vehículo.

La presión transmitida a las pinzas de freno será igual a:

$$P_{\text{Pistón}} = P_{\text{BOMBA}}$$

c. BOMBA DE FRENO.



Figura 3. Bomba de Freno utilizado en el Banco.

Es un elemento encargado de presurizar el líquido por todo el circuito hidráulico, es decir transforma la fuerza aplicada por el conductor en el pedal de freno al sistema hidráulico en forma de presión.

La bomba utilizada contiene dos pistones, colocados uno a continuación del otro, con los cuales se atiende al suministro del líquido a una presión igual para cada uno de los dos circuitos independientes

$$P_{\text{BOMBA}} = \frac{F_{\text{salida del conjunto del pedal}}}{A_{\text{area del pistón de la bomba}}}$$

c. PINZAS DE FRENO



Figura 4. Pinzas de freno utilizado en el Banco.

Es un elemento encargado de soportar las pastillas además de empujarlas contra el disco cuando se presuriza el sistema y está sometida a esfuerzos importantes durante el frenado como puede ser las temperaturas y las vibraciones.

El Banco consta de un cilindro hidráulico donde la presión aplicada por el líquido de frenos encerrado en un cilindro actúan uniforme en todas las direcciones, se ejerce simultáneamente

una fuerza reactiva en el cuerpo deslizando sobre los pernos de guía y tira de la pastilla exterior contra el disco siendo el esfuerzo de frenado igual en ambos lados. La separación de la pastilla con el disco después de completar el proceso de frenado se obtiene por medio de la deformación controlada de la junta del pistón.

$$F_{pinza} = N_{pistón} \times P_{pistón} \times A_{pistón}$$

$N_{pistón}$ = # de pistones que actúan sobre la pastilla.

d. LÍQUIDO DE FRENO

El líquido de freno es el elemento que al ser presurizado por la bomba empuja los cilindros de las pinzas contra las pastillas, produciéndose así la acción de frenado

Las características fundamentales de los líquidos de freno son:

- Ser incompresible
- Su punto de ebullición mínimo debe ser superior a los 230 °C, es decir deben permanecer en estado líquido.
- Tener baja viscosidad para desplazarse rápidamente por el circuito.
- Su composición química debe ser lubricante para que los elementos móviles del sistema de freno.

Los líquidos más comercializados son:

DOT 4: Empleado en sistemas de (disco y Tambor) o (disco / disco) sin ABS. Su punto de ebullición es de 255 °C.

DOT 5: Utilizado para vehículos de altas prestaciones y los sistemas que tiene ABS. Su punto de ebullición es de 270 °C

III. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

a. Estructura Metálica.

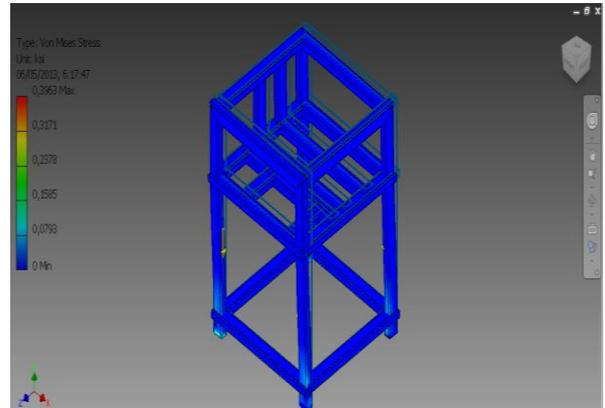


Figura 5. Estructura del Banco de Pruebas diseñado en Inventor.

El diseño mecánico es importante para la construcción de un sistema mecatrónico, es por ello que es el primer paso que se realizó en el desarrollo del proyecto, de esta manera se conoce las características físicas del sistema antes de construirlo y por medio del análisis mecánico realizar las correcciones en el diseño, obteniendo un sistema confiable y seguro. El diseño fue realizado por medio de una herramienta informática (Inventor Autodesk 2013), que posibilita realizar los estudios mecánicos correspondientes.

Obteniendo un factor de Seguridad Optimo que me permite realizar la construcción de la estructura metálica. Y la simulación me indica que si va a soportar los pesos del sistema de frenos.

Tabla 1: Resultados del análisis de la Estructura.

Result Summary		
Name	Minimum	Maximum
Volume	1127,51 in ³	
Mass	319,77 lbmass	
Von Mises Stress	0,0000558203 ksi	0,37823 ksi
1st Principal Stress	-0,116798 ksi	0,2955 ksi
3rd Principal Stress	-0,384844 ksi	0,110711 ksi
Displacement	0 in	0,000214789 in
Safety Factor	15 ul	15 ul

(ul) es unittles, Inventor usa para representar valores sin unidades.

b. Eje del disco de freno

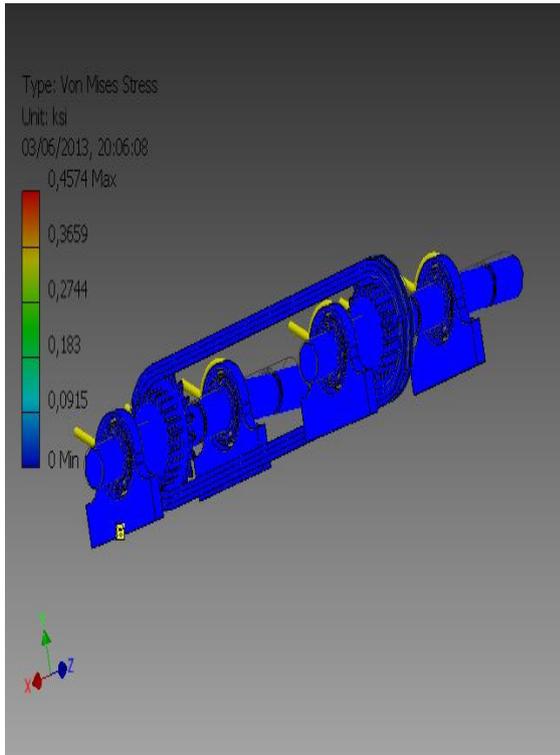


Figura 6. Eje aplicado los momentos para el análisis.

En la simulación se aplicó los momentos de 10.2 lbf y 12.5 lbf y se obtuvo un factor de seguridad satisfactorio para el ensamble del motor eléctrico con los ejes y sus componentes del sistema de frenos.

Tabla 2: Resultados del análisis del eje del disco de freno.

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	64,0128 in ³	
Mass	18,154 lbmass	
Von Mises Stress	0 ksi	0,457081 ksi
1st Principal Stress	-0,18921 ksi	0,514785 ksi
3rd Principal Stress	-0,578876 ksi	0,175418 ksi
Displacement	0 in	0,0000225281 in
Safety Factor	15 ul	15 ul

b. Disco Perforado.

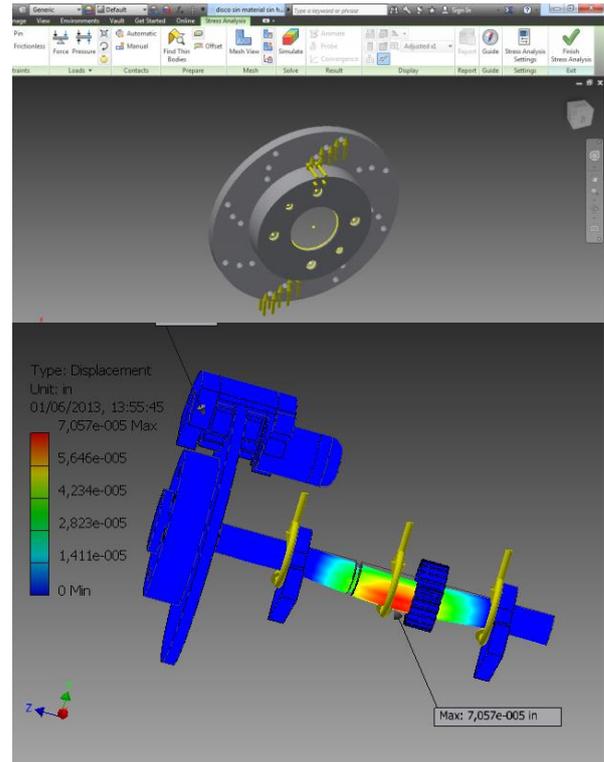


Figura 7. Disco perforado aplicado esfuerzos axiales en la superficie de contacto.

El disco perforado se diseñó en Inventor y se aplicó esfuerzos axiales en toda la superficie de contacto (pastilla de freno y disco). Y en las perforaciones. Llegando a soportaren la simulación la fuerza de unos 989[N.]

IV. ANÁLISIS DE GRÁFICAS POR LABVIEW OBTENIDAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN LOS DISCOS DE FRENO.

a. Pantalla de inicio en labview

El programa LabVIEW nos permitirá facilitar la adquisición de datos por medio de la conexión USB (PC), para el estudio termodinámico de los discos.

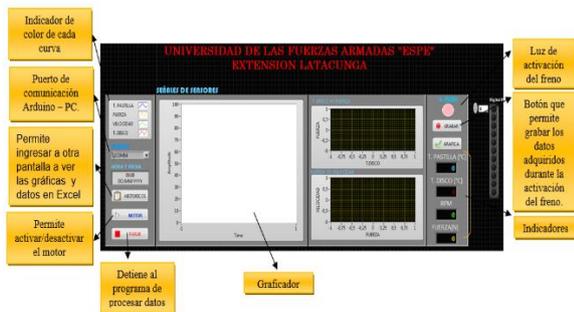


Figura 8. Pantalla de Presentación.

La pantalla en Labview contiene indicadores de valores numéricos, y de gráficos. Se pueden identificar los medidores tanto de temperatura, fuerza, velocidad que variaran en cada prueba.

b. Gráfica de velocidad del disco de freno en tiempo real.

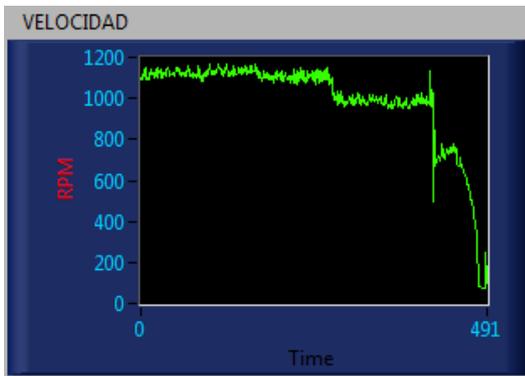


Figura 9. Curva de Velocidad [Rpm]

Las Gráficas obtenida del programa LabVIEW permite desarrollar nuestro estudio térmico, como lo tenemos en el eje Y (la velocidad) y en el eje X el tiempo que transcurre. Podemos observar que la máxima velocidad alcanzada es de 1200 rpm, sin aplicar la fuerza de frenado.

c. Gráfica de fuerza aplicada al disco de freno en tiempo real.

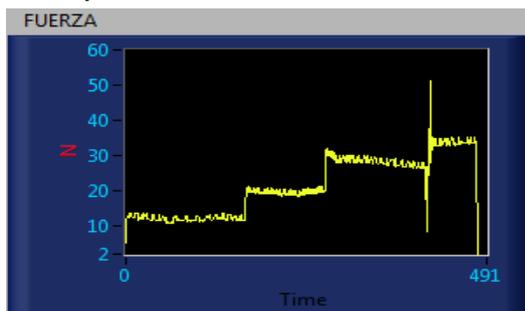


Figura 8. Curva de Fuerza [N]

El diagrama de Fuerza monitoreado en tiempo real nos senala que la fuerza ha ido incrementando constantemente hasta un valor maximo de 50[N]; en cuatro lapsos hasta que decae a cero, En el eje Y tenemos la fuerza en Newtons; mientras que en el eje X esta el tiempo transcurrido.

d. Gráfica de la temperatura del disco y pastilla de freno en tiempo real.

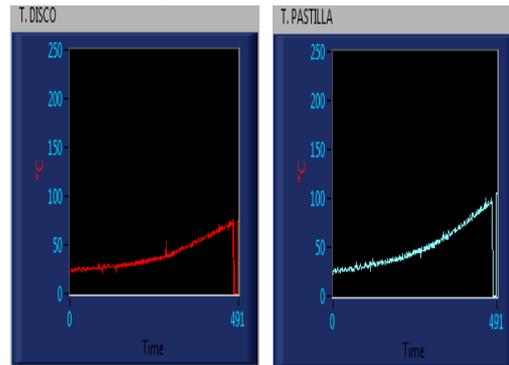


Figura 9. Curvas de Temperaturas[°C]

En los dos diagramas se evidencio con las practicas realizadas en el Banco termico de frenos que el disco Perforado tiende a calentarse mas rapido que el disco macizo pero que disipa de mejor manera el calor despues de aplicar la fuerza de frenado; tambien se concluye que la pastilla sufre mas calentamiento que el disco por lo cual si queremos tener un mejor frenado todo depende de la calidad del material de construccion tanto del disco como de la pastilla, y se comprobo que el disco perforado como tiene menos material en la superficie de friccion contra la pastilla se caliente mucho mas que en el disco masizo. El disco perforado lleva aire frío a la pastilla y a la superficie del disco, lo que ayuda a enfriar la temperatura de la pastilla al tener contacto, el disco perforado tienen una mayor ventilación por lo que se enfrían más rápido.

V. DIAGNÓSTICO Y LECTURA DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS EN LOS DISCOS DE FRENO

El programa arroja Gráficas y valores numéricos en Tablas de Excel, con el siguiente formato

Datos censados por el programa LabVIEW al inicio de la práctica.

Tabla 3: Datos iniciales censados por el Programa LabVIEW.

Disco Perforado				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:47:28	70,08	10	1156,11	51,67

Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 15:08:40	72,27	10	1033,24	51,45

Cuenta con una Fecha y Hora que guarda el programa en el momento de correr, al mismo tiempo que los sensores de Temperatura del disco y de la pastilla están censando cada segundo que pasa, y así mismo consta de un sensor de velocidad que está constantemente enviando datos de los cambios de velocidad producidos en el disco de freno.

Para lo cual relacionamos las dos tablas obtenidas del programa de Labview, para realizar la práctica debemos empezar en las mismas condiciones de Temperaturas tanto para el disco (macizo y perforado) y en adelante observar cómo se comportan cada uno, es decir aplicando la misma fuerza de frenado a los dos disco.

Para lo cual pasa 1 minuto con 7 segundos a una fuerza de 10 [N]

Adquiriendo la siguiente tabla:

Tabla 4: Datos al final de la prueba realizada.

Disco Perforado				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 11:48:35	64,92	10	1109,59	49,61

Disco Macizo				
FECHA	T. PASTILLA	FUERZA	VELOCIDAD	T. DISCO
21/03/2014 15:09:46	77,17	10	1096,96	61,25

- Obteniendo el valore de temperatura en el disco macizo de 61.25 °C, Y el disco perforado 49.61 °C.
- Para la pastilla de freno usando el disco macizo es de 77.17 °C, y usando el disco perforado 64.92 °C.

Llegando a la conclusión que el disco perforado es una muy buena opción de utilizarlos debido

a que disipa de mejor manera la temperatura que va obteniendo el disco y la pastilla, es decir vamos a mejorar el frenado con menos riesgos de daño del sistema debido a la temperatura del sistema. Llegando a obtener una eficiencia de un 20% en el disco de freno, y en la pastilla una eficiencia de 23%.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que los discos de freno perforados disipan el calor de una mejor manera que los discos macizos en un porcentaje de un 20% en las practicas realizadas en el Banco de freno, conjuntamente el disco perforado demuestra una mayor concentración de esfuerzos axiales al momento de aplicar el freno, producto de los esfuerzos termomecánicos que son generados por la presión sobre el disco y el calor generado.
- Las perforaciones en un disco de freno hace posible que el calor, gas y agua sea rápidamente alejado de la superficie del disco de freno, manteniendo el rendimiento de frenado.
- Los discos perforados tienen una mayor ventilación por lo que se enfrían más rápido, pero como tienen menos material son propensos a calentarse excesivamente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kreith, Frank y Bohn. (2001). Principio de Transferencia de Calor 6 Ed. Thomson. Madrid.
- Orovio Astudillo. (2002). Manual Técnico del Automóvil. Editorial Paraninfo .

Barcelona /España.

- *Pompon, J. (1998). Manual del disco de freno., Barcelona,. Ediciones CEAC.*
- *Vera C. y Felez J. (1995). Diseño y Cálculo del Sistema de Frenos en Automóviles. Editorial UNIÓN EDITORIAL S.A. Universidad Politécnica de Madrid.*

BIOGRAFÍA.



Patricio Vaca, nació en Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz. Presta sus servicios profesionales como asesor de Garantías.



Juan Castro, nació en Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Mecánico dispone estudios de Posgrado en Docencia y Administración Educativa en la Universidad Tecnológica Indoamérica de Ambato-Ecuador, Especialista en proyectos de investigación científica y tecnológica en la Universidad Técnica de Ambato, Actualmente se desempeña como Docente Y Director de la carrera de Ing. Automotriz del Departamento Ciencias de la Energía y Mecánica en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de la Latacunga.



Ing. Leónidas Quiróz, nació en Latacunga, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, dispone estudios de Posgrado en Autotrónica, Gestión para el aprendizaje universitario, Gestión de Energías. Actualmente se desempeña como Docente en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor José Patricio Vaca Solís
bajo mi supervisión

.....
**ING. JUAN CASTRO.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

.....
**ING. LEÓNIDAS QUIROZ.
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

.....
**ING. JUAN CASTRO.
DIRECTOR DE LA CARRERA**

.....
**DR. FREDDY JARAMILLO CHECA.
SECRETARIO ACADÉMICO**