

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**EXTENSIÓN LATACUNGA**



**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS  
DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS NOVEL N°3 S.A.”**

**MILTON EFRAIN GUANOLUISA YUGLA**

**BYRON MARCELO SANTAMARÍA NÚÑEZ**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**MARZO - 2011**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Nosotros,** Milton Efrain Guanoluisa Yugla  
Byron Marcelo Santamaría Núñez

DECLARAMOS QUE:

La tesis denominada “**GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS NOVEL N<sup>o</sup>3 S.A.**”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, Marzo del 2011

\_\_\_\_\_  
Milton Guanoluisa

**C.I 050272221-8**

\_\_\_\_\_  
Byron Santamaría

**C.I 171577802-1**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**AUTORIZACIÓN**

**Nosotros,** Milton Efrain Guanoluisa Yugla

Byron Marcelo Santamaría Núñez

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución de la tesis: **“GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS NOVEL N°3 S.A.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y auditoria.

Latacunga, Marzo del 2011.

---

Milton Guanoluisa

**C.I 050272221-8**

---

Byron Santamaría

**C.I 171577802-1**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

ING. GUIDO TORRES (DIRECTOR)

ING. JOSÉ MULLO (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que la tesis “GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS NOVEL N°3 S.A”, realizada por los señores: GUANOLUISA YUGLA MILTON EFRAIN Y SANTAMARÍA NÚÑEZ BYRON MARCELO ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional de nuestros alumnos, **SI** se recomienda su publicación.

La mencionada tesis consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil PDF. Autorizan a los señores: **GUANOLUISA YUGLA MILTON EFRAIN Y SANTAMARÍA NÚÑEZ BYRON MARCELO** que lo entreguen al **ING. JUAN CASTRO**, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Marzo del 2011.

---

Ing. Guido Torres

**DIRECTOR**

---

Ing. José Mullo

**CODIRECTOR**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que la presente tesis fue realizada en su totalidad por los señores: **Guanoluisa Yugla Milton Efrain** y **Santamaría Núñez Byron Marcelo**, bajo nuestra dirección y codirección.

---

**ING. GUIDO TORRES**

**DIRECTOR DE TESIS**

---

**ING. JOSÉ MULLO**

**CODIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Al terminar una etapa decisiva y de trascendental importancia en mi vida agradezco a Dios, porque siempre estuvo para ayudarme, y las pruebas que me ha puesto en el camino en vez de ser derrotas, han sido una bendición para mi, las mismas que me ayudaron a formar mi carácter y darme madurez, pues ni por un solo momento me ha dejado solo. Por todo eso, Gracias mi Jesús.

A mi amado padre José, por su sacrificio, entrega y apoyo incondicional, siendo un pilar fundamental para este logro, a mi mami Beatriz, por sus consejos, paciencia y amor además de compartir mis enojos, alegrías y lloros, a los dos por haberme instruido en el camino de la verdad.

A mis hermanos Santiago y Josué, por comprenderme y estar junto a mi haciéndome compañía y por haberme ayudado en lo que podían, también de forma especial a mi enamorada Maribel, por su paciencia y por comprender en aquellos momentos duros en nuestras vidas, por su amor y fidelidad; a todos gracias y que Dios les bendiga.

Milton

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto la dedico en primer lugar a Dios, ya que el me dio la vida y fuerzas para lograr terminar mi carrera.

A mis padres, Manuel y Beatriz, por velar en todo tiempo de mí, dándome su apoyo incondicional y haciendo un gran sacrificio para darme los estudios, sin escatimar esfuerzos y sin dudar ni un solo momento de mi entrega, dedicación, honradez y disciplina, por confiar de mi entrega para llegar a la culminación de mi carrera.

No podía dejar un lado a mis hermanos, Santiago y Josué por que gracias a ustedes me siento mas comprometido para superarme académica y socialmente y darles en lo posible un buen ejemplo.

Milton

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Declaración de responsabilidad	ii
Autorización	iii
Certificado	iv
Certificación	v
Agradecimiento	vi
Dedicatoria	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de figuras	xv
Índice de tablas	xxiv
Índice de ecuaciones	xxv
Índice de anexos	xxvi
Resumen	xxvii
<b>Capítulo I</b>	<b>1</b>
Fundamentos teóricos	1
1.1 Molinos de bolas para cerámica	1
1.1.1 Función de los molinos de bolas	2
1.1.2 Funcionamiento de los molinos de bolas	3
1.2 Tipos de molienda	5
1.2.1 Molienda por percusión	5

1.2.2 Molienda por rozamiento entre bolas	5
1.3 Tipos de cerámicas	6
1.4 Tipos de molinos según su accionamiento	7
1.5 Catalizadores empleados en los M.C.I.	18
1.5.1 Componentes principales de la cámara	19
1.5.2 Gases producidos en la combustión	20
1.6 Programa de diseño y simulación SolidWorks	21
1.6.1 Características de SolidWorks	22
1.6.2 Módulos de SolidWorks	24
1.6.3 Otras aplicaciones de SolidWorks	26
1.6.4 Herramientas de análisis avanzadas	29
1.6.5 Ámbitos de aplicación de SolidWorks	30
<b>Capítulo II</b>	<b>31</b>
Diseño Mecánico	31
2.1 Cálculo de la potencia requerida	31
2.1.1 Determinación de la velocidad crítica del molino	32
2.1.2 Determinación de la potencia requerida	33
2.2 Selección del motor de combustión interna	33
2.2.1 Determinación de la velocidad de giro del motor	34
2.2.2 Determinación del torque requerido	35

2.2.3 Selección del motor de combustión interna	36
2.3 Diseño de la estructura de soporte del motor	36
2.3.1 Modelado de la estructura en SolidWorks	37
2.3.2 Asignación de cargas y sujeciones	38
2.3.3 Asignación de materiales	39
2.3.4 Análisis de esfuerzos y deformaciones	39
2.4 Diseño del eje transmisor (cardán)	42
2.4.1 Parámetros de diseño	43
2.4.2 Modelado del eje de transmisión en SolidWorks	43
2.4.3 Asignación de cargas y sujeciones	44
2.4.4 Asignación de materiales	44
2.4.5 Análisis de esfuerzos y deformaciones	45
2.5 Selección de bandas y poleas	47
2.5.1 Parámetros de diseño	47
2.5.2 Proceso de selección	48
2.5.3 Determinación de las fuerzas en las bandas	50
2.6 Diseño del sistema tensor de las bandas	51
2.6.1 Cargas del sistema tensor de bandas	52
2.6.2 Modelado del sistema tensor en SolidWorks	52
2.6.3 Asignación de cargas y sujeciones	53
2.6.4 Asignación de materiales	53

2.6.5	Análisis de esfuerzos y deformaciones	54
2.7	Análisis del movimiento del molino de bolas	56
2.7.1	Análisis cinemático del movimiento	56
2.7.2	Análisis cinético del movimiento	58
<b>Capítulo III</b>		<b>60</b>
	Implementación y Ensamblado	60
3.1	Inspección del motor de combustión interna	60
3.2	Construcción de la estructura para el M.C.I.	64
3.2.1	Adquisición y corte de los materiales	64
3.2.2	Selección de las variables del proceso de soldadura	66
3.2.3	Aplicación del proceso de soldadura	68
3.3	Construcción de la base empotrada en el piso	70
3.3.1	Adquisición y corte de los materiales	70
3.3.2	Aplicación del proceso de soldadura	71
3.4	Montaje y adaptación de sistemas en el I.P.N.	72
3.4.1	Montaje del M.C.I. en la estructura metálica	73
3.4.2	Adaptación del sistema de embrague	74
3.4.3	Adaptación de la palanca de cambios	77
3.4.4	Adaptación del sistema de aceleración	79
3.4.5	Construcción de la base para la batería	80

3.4.6 Modificación del sistema de refrigeración del M.C.I.	81
3.4.7 Construcción del múltiple de gases de escape	83
3.4.8 Implementación del tablero de control	86
3.5 Instalación de bases del molino y del M.C.I.	89
3.6 Construcción del sistema tensor	92
3.7 Montaje y acoplamiento del diferencial	93
3.8 Construcción y montaje del eje de impulsión	95
3.9 Cuadro de procesos de construcción	96
<b>Capítulo IV</b>	<b>101</b>
Puesta a punto y pruebas de funcionamiento	101
4.1 Verificación de especificaciones técnicas	101
4.2 Calibración de válvulas	103
4.3 Calibración del ruptor	104
4.4 Calibración de bujías	105
4.5 Pruebas de la batería	106
4.5.1 Nivel del electrolito	106
4.5.2 Densidad de la batería	106
4.5.3 Prueba de carga	107
4.6 Verificación de niveles de fluidos	108
4.6.1 Nivel de aceite de motor	108

4.6.2 Nivel de aceite de transmisión y caja de velocidades	109
4.6.3 Reemplazo y verificación del líquido refrigerante	110
4.6.4 Verificación del nivel de líquido de embrague	111
4.7 Verificar templado de las bandas	111
4.7.1 Banda del alternador	111
4.7.2 Bandas del molino	112
4.8 Sincronización del sistema de encendido	113
4.9 Puesta a punto del carburador	115
4.9.1 Ajuste de tornillos de ajuste de combustible	115
4.9.2 Ajuste de ralentí	115
4.10 Comprobación del embrague	116
4.11 RPM óptimas para el molino con carga máxima	118
4.12 Verificar la materia prima procesada	121
4.13 Control de emisiones de gases contaminantes	125
4.13.1 Equipo utilizado	125
4.13.2 Procedimiento de medición	126
4.13.3 Datos obtenidos	128
4.13.4 Procesamiento de datos	129
4.14 Análisis de las ventajas del proyecto	130

<b>V Conclusiones</b>	<b>132</b>
<b>VI Recomendaciones</b>	<b>133</b>
<b>VII Bibliografía</b>	<b>134</b>
<b>VIII Anexos</b>	<b>135</b>
<b>IX Artículo para revista</b>	<b>150</b>
<b>X Planos</b>	<b>156</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Molino de bolas	2
Figura 1.2 Vista esquemática del molino	3
Figura 1.3 Molino de percusión	5
Figura 1.4 Bolas en el interior del molino	5
Figura 1.5 Motor Otto	7
Figura 1.6 Motor convencional de gasolina	8
Figura 1.7 Primer tiempo	9
Figura 1.8 Segundo tiempo	9
Figura 1.9 Tercer tiempo	10
Figura 1.10 Cuarto tiempo	10
Figura 1.11 Circuito de lubricación	11
Figura 1.12 Circuito de refrigeracion	13
Figura 1.13 Radiador	13
Figura 1.14 Bomba de agua	14
Figura 1.15 Termostato	14
Figura 1.16 Sistema de encendido	15
Figura 1.17 Circuito de alto voltaje	15
Figura 1.18 El embrague	16
Figura 1.19 Accionamiento hidráulico	17

Figura 1.20 Caja de cambios	18
Figura 1.21 Catalizador en corte	19
Figura 1.22 Componentes del catalizador	20
Figura 1.23 Módulos existentes en SolidWorks®	22
Figura 1.24 Módulos existentes en SolidWorks®	23
Figura 1.25 Función Geométrica Inteligente de Taladro	23
Figura 1.26 Gestor de Diseño	24
Figura 1.27 Creación y modificación de operaciones	25
Figura 1.28 Módulo de Ensamblaje de SolidWorks®	25
Figura 1.29 Módulo de Plano o dibujo	26
Figura 1.30 Simulación y movimiento con Motor rotativo	26
Figura 1.31 Conversión de planos 2D de AutoCAD® a 3D en SolidWorks®.	27
Figura 1.32 Comportamiento mecánico de una pieza	28
Figura 1.33 Plano con Lista de materiales	28
Figura 1.34 Barras de herramientas de COSMOSWorks®	29
Figura 1.35 Barras de herramientas de COSMOSMotion®	30
Figura 1.36 Diferentes ámbitos de aplicación de SolidWorks®	30
Figura 2.1 Motor seleccionado	36
Figura 2.2 Componentes y accesorios de la estructura	37
Figura 2.3 Modelo en SolidWorks de la estructura soporte del motor	38

Figura 2.4 Asignación de cargas a la estructura del motor	38
Figura 2.5 Tensión de Von Mises en la estructura soporte del motor	40
Figura 2.6 Desplazamientos resultantes en la estructura del motor	41
Figura 2.7 Distribución del factor de seguridad en la estructura	42
Figura 2.8 Eje de transmisión del generador de potencia	43
Figura 2.9 Modelo en SolidWorks del eje de transmisión	43
Figura 2.10 Asignación de cargas y sujeciones al eje de transmisión	44
Figura 2.11 Tensión de Von Mises en el eje de transmisión	45
Figura 2.12 Desplazamientos resultantes en el eje de transmisión	46
Figura 2.13 Factor de seguridad en el eje de transmisión	46
Figura 2.14 Sistema de transmisión del diferencial al molino	51
Figura 2.15 Modelo en SolidWorks del sistema tensor de las bandas	52
Figura 2.16 Asignación de cargas al sistema tensor de las bandas	53
Figura 2.17 Tensión de Von Mises en el sistema de bandas	54
Figura 2.18 Desplazamientos en el sistema tensor de las bandas	55
Figura 2.19 Distribución del factor de seguridad en el sistema	56
Figura 2.20 Análisis cinemático del movimiento del molino	57
Figura 2.21 Análisis cinético del movimiento del molino	58
Figura 3.1 Selección del motor de combustión interna	60
Figura 3.2 Despiece del MCI	61
Figura 3.3 Desarmado de partes a reemplazar	61

Figura 3.4 Cambio de la bomba de gasolina	62
Figura 3.5 Cambio del kit del carburador	62
Figura 3.6 Kit de reparación de un MCI	63
Figura 3.7 Pintado externo del MCI	63
Figura 3.8 MCI armado completamente	64
Figura 3.9 Disco y plato de embrague	64
Figura 3.10 Corte del IPN	65
Figura 3.11 Corte de platina con amoladora	65
Figura 3.12 Perforación en las platinas	66
Figura 3.13 Máquina soldadora SMAW	67
Figura 3.14 Unión de IPN con SMAW	69
Figura 3.15 Suelda de base metálica	69
Figura 3.16 Base pintada del IPN	69
Figura 3.17 Materiales medidos y cortados	71
Figura 3.18 Unión de los ángulos por suelda SMAW	71
Figura 3.19 Unión de varillas con la base y el ángulo	72
Figura 3.20 Base para empotrar completa	72
Figura 3.21 Medición de las bases del Motor	73
Figura 3.22 Armado y soldado de las bases	73
Figura 3.23 Base del motor y caja	74
Figura 3.24 Motor montado en la base	74

Figura 3.25 Corte y acoplamiento del cilindro principal	75
Figura 3.26 Fijación del cilindro principal	75
Figura 3.27 Construcción de las bases del pedal	76
Figura 3.28 Cilindro secundario	76
Figura 3.29 Purgado del sistema de embrague	77
Figura 3.30 Corte de platina ASTM A36 de 10x10cm	77
Figura 3.31 Limpieza de rebabas después del corte	78
Figura 3.32 Adaptación de la brida de la caja	78
Figura 3.33 Palanca de cambios	79
Figura 3.34 Base para la palanca le aceleración	79
Figura 3.35 Regulación de la aceleración	80
Figura 3. 36 Soldadura de la base para la batería	80
Figura 3.37 Radiador original	81
Figura 3.38 Cambio de toma de agua del radiador	81
Figura 3.39 Radiador adaptado	82
Figura 3.40 Polea reducida	82
Figura 3.41 Ventilador con mayor diámetro	83
Figura 3.42 Construcción del múltiple de escape	83
Figura 3.43 Sentido de montaje del Catalizador	84
Figura 3.44 Pre ensamble del silenciador	84
Figura 3.45 Sistema de escape	85

Figura 3.46 Mediciones para evacuar gases de escape	85
Figura 3.47 Instalación del conducto de evacuación de gases	85
Figura 3.48 Instalación de abrazaderas de sujeción	86
Figura 3.49 Estructura del tablero terminado	86
Figura 3.50 Pedestal del tablero	87
Figura 3.51 Tacómetro	87
Figura 3.52 Reloj de temperatura	87
Figura 3.53 Luz de carga de la batería	88
Figura 3.54 Luz de presión de aceite	88
Figura 3.55 Interruptor de encendido	88
Figura 3.56 Fuente de energía CA	88
Figura 3.57 Tablero de Control	89
Figura 3.58 Terreno de la fábrica Novel S.A	89
Figura 3.59 Plantilla de hormigón para las bases	90
Figura 3.60 Mallas de varilla tendida	90
Figura 3.61 Colocación de las bases metálicas	91
Figura 3.62 Base del molino empotrada en el piso	91
Figura 3.63 Estructura IPN acoplado a la base empotrada	92
Figura 3.64 Sistema tensor	92
Figura 3.65 Diferencial montado en el templador	93
Figura 3.66 Diferencial utilizado	93

Figura 3.67 Limpieza y comprobación del diferencial	94
Figura 3.68 Corte de diferencial	94
Figura 3.69 Polea de 6 ranuras	94
Figura 3.70 Adaptación de la brida de salida de la caja	95
Figura 3.71 Adaptación de la cruceta	95
Figura 3.72 Ajustar el árbol de transmisión	96
Figura 3.73 Proyecto completado	96
Figura 4.1 Dimensiones del molino en vista frontal	102
Figura 4.2 Dimensiones del molino en vista lateral	102
Figura 4.3 Galga o laminilla de calibración	103
Figura 4.4 Calibración del ruptor	105
Figura 4.5 Calibración de bujías	105
Figura 4.6 Inspección del electrolito.	106
Figura 4.7 Comprobación con el densímetro	106
Figura 4.8 Comprobación de la batería con el multímetro	107
Figura 4.9 El voltaje ideal de la Batería	108
Figura 4.10 Medición de aceite	109
Figura 4.11 Tapón de llenado del aceite	109
Figura 4.12 Cambio de aceite del diferencial	110
Figura 4.13 Reemplazo del agua por el refrigerante	110
Figura 4.14 Comprobación de nivel líquido del embrague	111

Figura 4.15 Tensión de las bandas	112
Figura 4.16 Templado de las bandas del molino	112
Figura 4.17 Tensión y Tensor de la banda	113
Figura 4.18 Puesta a punto con la pistola estroboscópica	114
Figura 4.19 Regulación de combustible	115
Figura 4.20 Reglaje del ralenti	116
Figura 4.21 Ruidos al accionar el embrague	117
Figura 4.22 Conteo de giros del molino	118
Figura 4.23 Tapa del molino	118
Figura 4.24 Pesando el material	119
Figura 4.25 Cargando agua al molino	119
Figura 4.26 Llenado del molino	120
Figura 4.27 Espacio necesario para la molienda	120
Figura 4.28 Asegurando la tapa del molino	120
Figura 4.29 Material con aspecto a “sopa de avena”	121
Figura 4.30 Comprobación del material obtenido	122
Figura 4.31 Material rellenando en los moldes	122
Figura 4.32 Imágenes en el molde	123
Figura 4.33 Limpieza de rebabas y líneas	123
Figura 4.34 Horno de cerámica	123
Figura 4.35 Decoraciones	124

Figura 4.36 Productos finales	124
Figura 4.37 Revisión del tubo de escape	126
Figura 4.38 Analizador de gases	126
Figura 4.39 Sonda flexible en la salida del tubo de escape	127
Figura 4.40 Desmontaje del catalizador	127

## ÍNDICE DE TABLAS

### **Tabla. I.1 Parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas**

**4**

Tabla II.1 Propiedades del acero estructural ASTM A36	39
Tabla II.2 Propiedades del acero fundido aleado	44
Tabla III.1 Especificaciones de intensidad en amperios	67
Tabla III.2 Clasificación de electrodos	67
Tabla III.3 Designación de electrodos	68
Tabla IV.1 Datos para calibrar válvulas	104
Tabla IV.2 Valores máximos de emisiones de vehículos a gasolina	128
Tabla IV.3 Concentración de monóxido de carbono (CO)	128
Tabla IV.4 Concentración de ppm de HC	129
Tabla IV.5 Concentración de CO y valores permitidos	129
Tabla IV.6 Concentración de ppm de HC y valores permitidos	130

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Velocidad crítica	32
Ecuación 2.2 Velocidad real óptima	32
Ecuación 2.3 Potencia requerida	33
Ecuación 2.4 Potencia total requerida para hacer girar el molino	34
Ecuación 2.5 Relación de transmisión del reductor	34
Ecuación 2.6 Relación de transmisión total	35
Ecuación 2.7 Velocidad de giro del motor	35
Ecuación 2.8 Potencia necesaria	35
Ecuación 2.9 Relación de transmisión	48
Ecuación 2.10 Diámetro de paso de la polea de entrada	48
Ecuación 2.11 Potencia específica total	49
Ecuación 2.12 Longitud de banda	49
Ecuación 2.13 Ángulo de la envolvente de la banda	49
Ecuación 2.14 Número total de bandas requeridas	50
Ecuación 2.15 Fuerza en las bandas	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo B.1. Especificaciones M.C.I.	136
Anexo B.2. Factores de servicio	137
Anexo B.3. Aplicaciones de bandas	138
Anexo B.4. Potencias de bandas	139
Anexo B.5. Potencia agregada en bandas	140
Anexo B.6. Longitud de bandas	141
Anexo B.7. Factor de corrección de bandas	141
Anexo B.8. Factor de corrección del ángulo envolvente	142
Anexo C.1. Especificaciones del IPN	143
Anexo C.2. Especificaciones de platinas	144
Anexo C.3. Especificaciones de ángulos	145
Anexo C.4. Especificaciones varilla redonda	146
Anexo C.5. Especificaciones técnicas de tubo redondo	147
Anexo D.1. Especificaciones técnicas analizador de gases	148
Anexo D.2. Características del analizador de gases	148
Anexo D.3. Detalle de accesorios	149

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un generador de potencia para un molino de bolas de la fábrica de cerámicas NOVEL N° 3 S.A.” ubicada en la ciudad de Latacunga, el cual va a ser utilizado para la producción de cerámica, la misma que sirve como materia prima para la elaboración de adornos decorativos que produce esta empresa.

En el primer capítulo se describen los conceptos, fenómenos y técnicas que son muy importantes para entender los principios de funcionamiento del equipo; lo incluido en este capítulo sirve como punto clave de partida para entender los demás aspectos que conllevan a la ejecución del proyecto.

En el segundo capítulo se describe el uso de los programas SolidWorks Simulation y SolidWorks Motion, que permiten realizar de forma rápida y precisa el análisis cinético y de esfuerzos de diseño para obtener las dimensiones, formas y materiales que garanticen un funcionamiento satisfactorio y seguro del sistema de generación de potencia del molino.

En el tercer capítulo se describe la aplicación de procesos y tecnología de bajo costo que permiten construir un molino impulsado mediante un motor de combustión interna y tren motriz para transferir el movimiento hacia un tambor de molienda, utilizando el método tradicional de bandas de sujeción.

En el cuarto capítulo se incluyen los procedimientos realizados y sus resultados a lo largo de la ejecución práctica, todos éstos encaminados a lograr un proyecto eficiente, confiable y con mínimos niveles de contaminación atmosférica.

## **SUMMARY**

This project goal is to design and improve a powerful generator of a ball mill of the pottery factory “NOVEL N° 3 S.A” located in Latacunga city which will be used to the pottery production that serve like raw material to make decoration.

In the first chapter describes concepts, phenomena and techniques which are very important to know equipment principles of working, all of this chapter will be used like a principal goal to understand their aspects to do the project.

In the second chapter describes uses of the programs, Solid Works simulation and Solid Works Motion, that permit us to work in the fast way giving an excellent and powerful analysis in order to design and obtain materials, ways and dimensions in excellent and sure goods in the generator system of the ball mill.

In the third chapter describes the process and technological applications of low prices to build a mill by an internal combustion and powerful train to transfer movements toward a milling drum using a traditional method of subjection bands

In the fourth chapter includes the used ways and their results to the long of the practical carrying out, all of them are carried to reach a success, reliable and with minimum levels of environment pollution.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 MOLINOS DE BOLAS PARA CERÁMICA

En nuestro país la industria de la cerámica está sobrellevando una creciente evolución tecnológica dejando en el pasado procesos artesanales y de mínima producción, permitiendo que hoy en día para la obtención de la cerámica líquida se utilicen equipos de molienda rotatorios, los cuales permiten reducir el mineral base de piedra a pulpa líquido, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión ya sea en seco o como una suspensión en agua denominada pulpa, reduciendo partículas de 5 a 250 mm. en tamaños de 10 a 300 micrones aproximadamente, la molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que giran alrededor de su eje horizontal llamados también “Molinos de bolas”, su impulsión lograda a través de grandes motores eléctricos de 220 V con un mínimo de 15 HP de potencia.

El **Molino de bolas** es una máquina eficiente para la pulverización de muchos materiales en polvo fino, es ampliamente usado para materiales de construcción y la industria química, es un equipo clave ya que puede moler minerales u otros materiales sin necesidad de utilizar muchos recursos, el nombre particular se debe a que está provisto de “bolas” o esferas que pueden ser de acero, porcelana, alúminia, cantos rodados de cuarzo, etc. Las bolas presentan una amplia superficie de contacto con el mineral, lo que permite alcanzar con mayor facilidad partículas mas finas, en su interior las paredes del molino están recubiertas con pequeños bloques de alúmina o porcelana de un espesor aproximado de 7 cm. y estas máquinas pueden ser usadas para moler barita, calcita, feldespato, talco, mármol, piedra caliza, etc.

Los factores que influyen en el proceso de molienda son: velocidad de rotación (r.p.m.), cantidad de bolas, tamaño y forma de las bolas, cantidad de materiales, cantidad de agua (en caso de molienda húmeda), granulosisidad de los materiales, tiempo de operación, etc.

### **1.1.1 Función de los molinos de bolas**

**El molino de la figura 1.1**, tiene como función la eficiente pulverización de muchos materiales, es usado para moler muchos tipos de minerales, cerámica, materiales de construcción, industria química, etc., productos de este tipo de molino son el cemento, productos de silicato, modernos tipos de materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizantes químicos, metales no ferrosos, vidrio, cerámicas, entre otros y que pueden ser molidos tanto por proceso húmedo como por proceso seco.



**Figura 1.1 Molino de bolas**

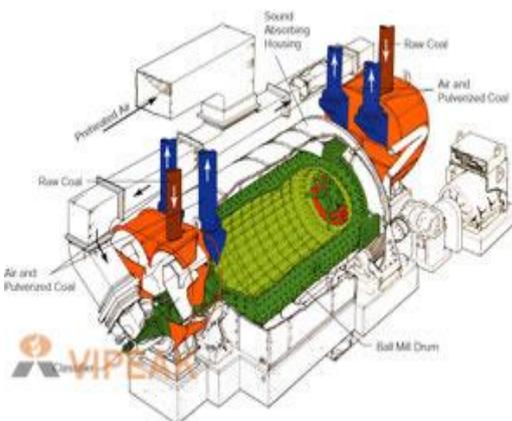
El molino de bolas, puede usarse para triturar de forma seca o húmeda diversas clases de minerales y otros materiales no metálicos no combustibles y no explosivos, como caolín, piedra caliza, calcita, talco, mármol, baritina, yeso, pintura, arcilla, tiza, dolomía, bentonita, mica, magnesita, ollita, pirofilita, vermiculita, sepiolita, attapulgitte, syrthesis,

diatomita, grafito, piedra de alumbre, fluorita, roca fosfática, mineral de potasio, piedra pómez, etc.

La forma seca será para materiales a prueba de fuego, cemento, fertilizantes y vidrio, mientras la húmeda será para: minas, cerámica e industria química.

### 1.1.2 Funcionamiento de los molinos de bolas.

El **Molino de bolas** es un dispositivo de funcionamiento de tipo horizontal y tubular, el material ingresa espiral y uniformemente al compartimiento de la máquina de molienda a través de un compartimiento de materiales o por medio de un dispositivo de entrada de materiales como se muestra en la figura 1.2.



**Figura 1.2 Vista esquemática del molino**

Cuando el cuerpo del barril gira produciendo una fuerza centrífuga, las bolas de acero son llevadas hasta cierta altura y caen para moler y golpear los materiales, después de ser molidos de forma gruesa en el compartimiento y remolidas con las bolas de acero, el polvo es descargado por el tablero de salida de materiales y el producto final está terminado. La tabla I.1 muestra los parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas convencionales.

El movimiento de las bolas dentro del tambor es afectado por un efecto Coriolis debido al movimiento giratorio; la diferencia de velocidad entre las bolas y los recipientes se traducen en una acción combinada de fuerzas de choque y fricción que libera gran cantidad de energía dinámica, la gran interacción entre dichas fuerzas es responsable del alto grado de trituración de los molinos de bolas planetarios, lo que permite balancear el centro de gravedad de recipientes de molienda de diferente tamaño y no se producen bamboleos fuertes en la máquina. Un molino de bolas puede garantizar una operación silenciosa y segura con una compensación máxima de las vibraciones, incluso con fuerzas máximas de trituración dentro de los recipientes de molienda. A continuación se muestran los parámetros principales de funcionamiento para estos molinos.

**Tabla. I.1 Parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas**

Modelo	Velocidad giratoria del cubo(r/min)	El diámetro de la materia (mm)	El diámetro del producto (mm)	producción (t/h)	Potencia de motor (kw)	peso(t)
MQG900×1800	38	≤ 20	0.075-0.89	0.65-2	18.9	3.6
MQG900×3000	38	≤ 20	0.075-0.89	1.1-4.8	22	4.6
MQG1200×2400	32	≤ 25	0.075-0.6	1.5-4.8	45	12.5
MQG1200×2800	35	≤ 25	0.074-0.4	1.2-3.7	30	11.5
MQG1200×3000	32	≤ 25	0.074-0.4	1.6-5	45	12.8
MQG1200×4500	32	≤ 25	0.074-0.4	1.6-5.8	55	13.8
MQG1500×3000	27	≤ 25	0.074-0.4	2-5	75	17
MQG1500×4500	27	≤ 25	0.074-0.4	3-6	90	21
MQG1500×5700	27	≤ 25	0.074-0.4	3.5-6	110	24.7
MQG1830×3000	24	≤ 25	0.074-0.4	4-10	180	28
MQG1830×6400	24	≤ 25	0.074-0.4	6.5-15	210	34
MQG1830×7000	24	≤ 25	0.074-0.4	7.5-17	245	36
MQG2200×5500	21	≤ 25	0.074-0.4	10-22	370	48.5
MQG2200×6500	21	≤ 25	0.074-0.4	14-26	380	52.8
MQG2200×7000	21	≤ 25	0.074-0.4	8-36	380	50
MQG2200×7500	21	≤ 25	0.074-0.4	16-29	475	56
MQG2100×2700	24	≤ 20	0.074-0.4	3.5-25	150	33
MQG2100×3500	24	≤ 25	0.074-0.4	4.5-33	180	37

## 1.2 TIPOS DE MOLIENDA

Los tipos de molienda se clasifican en:

### 1.2.1 Molienda por percusión

Cuando al rotar el tambor las esferas que se ubicaron en las paredes del cilindro por la gravedad se despegan y caen sobre el material como lo muestra la figura 1.3.



**Figura 1.3 Molino de percusión.**

### 1.2.2 Molienda por rozamiento entre bolas

Cuando se utilizan pequeñas cargas que incrementan el efecto de la percusión y el rozamiento para una carga completa, así para materiales duros es conveniente que prevalezca la percusión y para materiales friables el de abrasión (figura 1.4).



**Figura 1.4 Bolas en el interior del molino.**

### 1.3 TIPOS DE CERÁMICA

La **cerámica** es uno de los materiales fabricados por el hombre más antiguos que se conocen, data desde el **Neolítico**, pasando por la época Incásica hasta la actualidad, su uso es muy común en la **fabricación** de **recipientes** y **figuras** decorativas; es tan importante que incluso ha servido de referente para el descubrimiento en los yacimientos arqueológicos de muchas culturas antiguas, su gran **desarrollo**, proviene de China y llega a Occidente donde alcanza gran sofisticación gracias a la influencia de los **estilos árabes extendiendo** su uso incluso en la construcción, dividiéndolas en los siguientes tipos:

- Cerámica refractaria: Se utiliza a temperatura elevada, sus componentes fundamentales son: el sílice, alúmina que le da el color y algunos óxidos metálicos.
- Cerámicos porosos: Poseen arcilla de grano grueso, áspera, permeable y absorben la humedad como ladrillos y tejas
- Cerámicos semicompactos: Están compuestos de arcilla de grano fino, poco permeable y no absorben la humedad.
- Cerámicos compactos: Mantienen una estructura microcristalina, impermeables, suaves y no absorben humedad como las lozas finas y porcelanas
- Cerámicos tenaces: soportan altos esfuerzos y temperaturas elevadas.

Además al añadir agua y sustancias minerales al material fundamental **arcilla** se pueden producir otra variedad de tipos como cerámica **vidriada** que incrementa las **posibilidades decorativas** y la variedad de acabados, entre ellas existen la **mayólica**, gres, porcelana, biscuit, etc., que además pueden ser decorados con pintura y altos relieves. El producto que se obtenga está en relación con el **tipo de arcilla** que se emplee, la temperatura y la forma de cocción, resultando materiales porosos o impermeables.

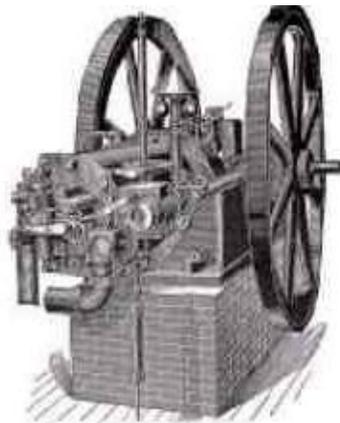
## 1.4 TIPOS DE MOLINOS DE BOLAS SEGÚN SU ACCIONAMIENTO

Los molinos de bolas según su sistema de accionamiento se clasifican en

- Molinos de bolas accionados por motor de combustión interna MCI.
- Molinos de bolas accionados por motor eléctrico.

### ➤ Molino de bolas accionado por motor de combustión interna

El primer motor de combustión interna fue construido por el francés **Etienne Lenoir** en 1863, este motor fue mejorado notablemente por el alemán **Nikolaus Otto** que, en 1876, invento el primer motor que funcionaba con el ciclo de cuatro tiempos, en su honor el motor de explosión se denomina **motor Otto**, figura 1.5.



**Figura 1.5 Motor Otto**

El motor térmico de combustión interna se denomina así al motor que obtiene energía mecánica a partir de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, el motor cíclico Otto, figura 1.6 es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica.



**Figura 1.6 Motor convencional de gasolina**

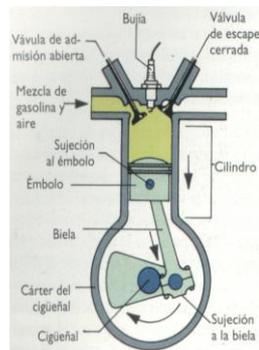
### **Motor de combustión**

Los motores Otto se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos.

#### **a. Motores de 4 tiempos**

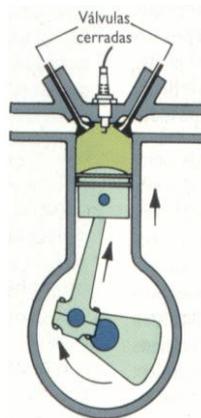
En los motores de 4 tiempos cada cilindro tiene dos válvulas, la válvula de admisión A y la de escape E, el mecanismo que se llama árbol de levas las abre y las cierra en los momentos adecuados, el movimiento de vaivén del émbolo se transforma en otro de rotación por una biela y una manivela, el funcionamiento se explica con cuatro fases que se llaman tiempos:

**Primer tiempo o admisión:** En esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible, la válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta, figura 1.7 En el primer tiempo el cigüeñal gira  $180^\circ$  y el árbol de levas gira  $90^\circ$ , la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.



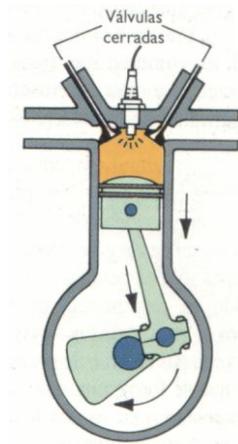
**Figura 1.7 Primer tiempo**

**Segundo tiempo o compresión:** Al llegar al final de carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón, figura 1.8 el cigüeñal gira  $360^\circ$  y el árbol de levas gira  $180^\circ$ , además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.



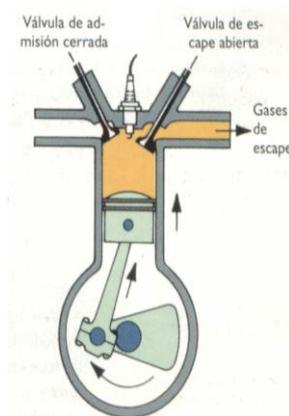
**Figura 1.8 Segundo tiempo**

**Tercer tiempo o explosión:** Al llegar al final de carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima, salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, figura 1.9 Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo, en este tiempo el cigüeñal gira  $540^\circ$  mientras que el árbol de levas gira  $270^\circ$ , ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.



**Figura 1.9 Tercer tiempo**

**Cuarto tiempo o escape:** En esta fase el pistón empuja cuidadosamente, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta, al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, figura 1.10, reiniciándose el ciclo, en este tiempo el cigüeñal da  $720^\circ$  y el árbol de levas da  $360^\circ$  y su carrera es ascendente.



**Figura 1.10 Cuarto tiempo**

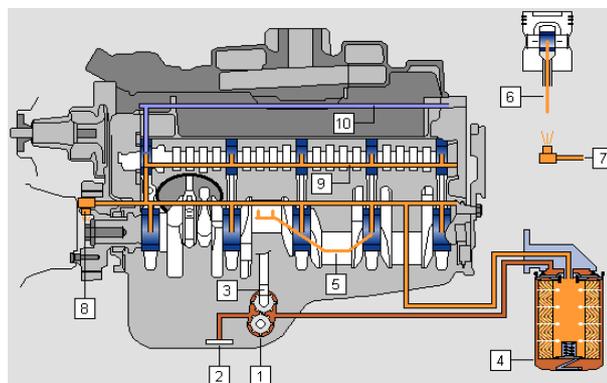
## b. Sistemas de los motores de combustión interna

Los motores de combustión para que obtengan un óptimo funcionamiento y el mejor rendimiento, están provistos de varios sistemas los más importantes se detallan a continuación:

### b.1 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación se proyecta de forma que suministre la suficiente cantidad de aceite a todas las partes móviles del motor para realizar su engrase, el aceite se recoge del cárter inferior y por medio de una bomba se envía a los distintos puntos de lubricación, como los cojinetes de bancada, cabeza de bielas, bujes bulón pasador, apoyos del árbol de levas, balancines, guías de válvula, paredes del cilindro, fondos de émbolo y otros elementos auxiliares.

La circulación del aceite, al mismo tiempo que lubrica los elementos móviles del motor, realiza una refrigeración de los mismos, como podemos observar en la figura 1.11. Desde los distintos puntos de engrase, el aceite rebose escurriendo por las paredes interiores del bloque hasta el cárter, el aceite que rebose del eje de balancines engrasa los componentes de válvulas, muelles y guías.



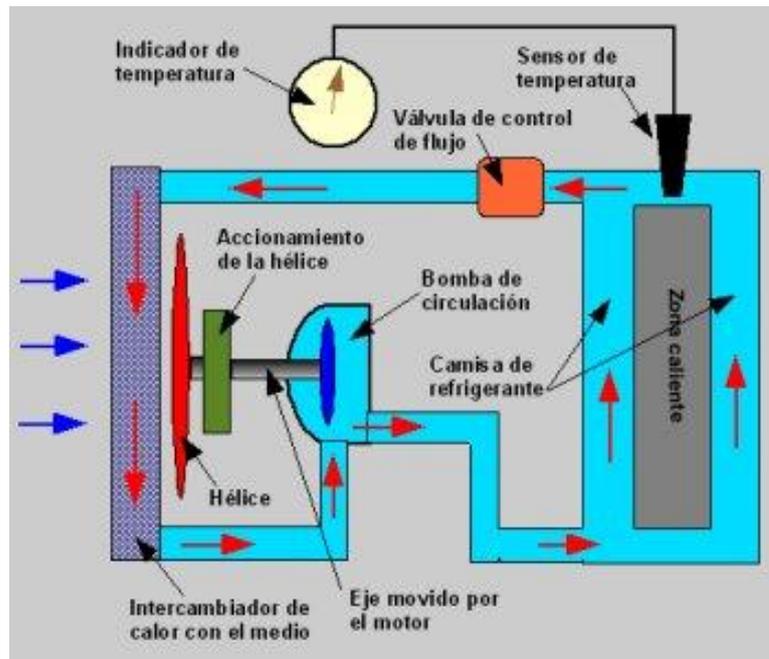
**Figura 1.11 Circuito de lubricación**

Las partes del sistema de lubricación son:

- 1.- Bomba de aceite
- 2.- Filtro de Bomba
- 3.- Varilla de empuje - Eje Bomba
- 4.- Filtro de aceite
- 5.- Orificios de engrase en cigüeñal
- 6.- Orificios de engrase en biela (buje biela - bulón)
- 7.- Surtidores de aceite: fondo cabeza émbolo
- 8.- Surtidores de aceite: Engranajes Distribución
- 9.- Pasos de aceite árbol de levas y cojinetes
- 10.- Pasos de aceite (balancines...)

## **b.2 Sistema de Refrigeración**

En el momento que el motor enciende, las explosiones de la combustión generan una altísima temperatura en el interior de los cilindros, si esta temperatura subiera exageradamente, produciría una deformación de las piezas que dejarían inservible al motor, para evitar este fenómeno, cuando la temperatura llega a su máximo permitido, el termostato se abre, permitiendo que la bomba haga circular el agua hacia el radiador donde por efecto del movimiento del ventilador se hará la transferencia de calor, figura 1.12, regresando luego ya refrigerada al motor para completar su ciclo, en la mayoría de los autos se utiliza el agua como refrigerante, aunque algunos como el Volkswagen lo hacen con el aire.



**Figura 1.12 Circuito de refrigeración.**

Las partes principales que tiene el sistema de refrigeración son:

**El Radiador.-** Su misión es la de enfriar el agua que se ha calentado al circular por el interior del bloque de cilindros al absorber el calor de este, figura 1.13.



**Figura 1.13 Radiador**

**Bomba de agua.-** Es la encargada de mover el agua hacia el interior del bloque y de regreso al radiador, es movida por una correa conectada a la

polea del cigüeñal, en algunos vehículos es impulsada por el árbol de levas. Figura 1.14.



**Figura 1.14 Bomba de agua.**

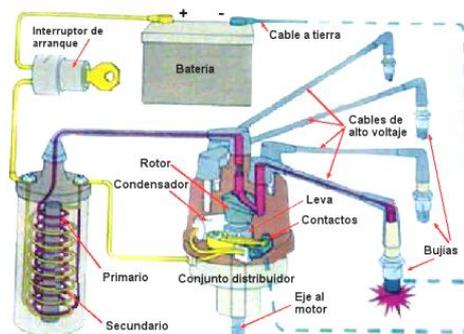
**Termostato.-** Para el óptimo funcionamiento del motor, es indispensable mantener una temperatura entre los 86 °C y 98 °C. Si el agua estuviera refrigerando constantemente el motor, este trabajaría muy frío, así que cuando la temperatura es baja el termostato, figura 1.15, sella el paso del agua y solo se abre al llegar a la temperatura correcta de funcionamiento.



**Figura 1.15 Termostato.**

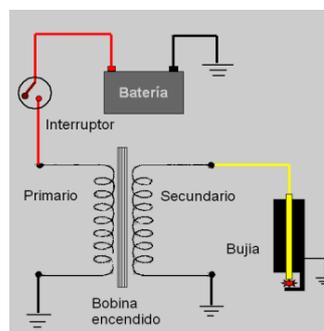
### b.3 Sistema de encendido

El sistema de encendido es el encargado de producir el encendido de la mezcla de combustible y aire dentro del cilindro en los motores de gasolina, conocidos también como motores de encendido por chispa, en los motores de gasolina resulta necesario producir una chispa entre dos electrodos separados en el interior del cilindro en el momento justo y con la potencia necesaria para iniciar la combustión, figura 1.16.



**Figura 1.16 Sistema de encendido**

La corriente de la batería está conectada al primario del transformador a través de un interruptor y la salida del secundario se conecta al electrodo central de la bujía como se muestra en la figura 1.17. Todos los circuitos se cierran a tierra, el interruptor está representado como un contacto, que era lo usual antes de la utilización de los dispositivos semiconductores, hoy en día ese contacto es del tipo electrónico de diversos tipos.

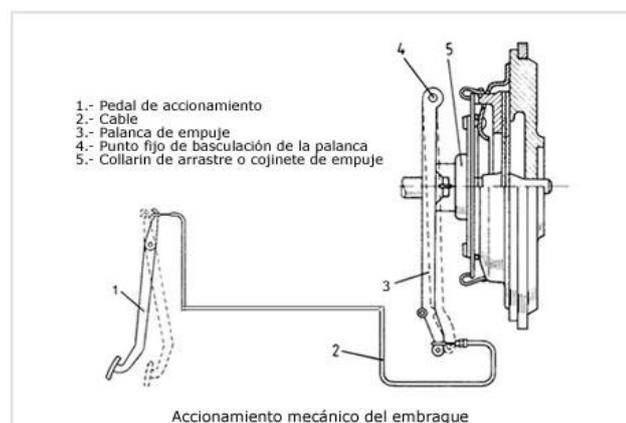


**Figura 1.17 Circuito de alto voltaje.**

Mientras el contacto está cerrado, circula una corriente eléctrica por el primario del transformador, en el momento de abrirse el contacto, esta corriente se interrumpe por lo que se produce un cambio muy rápido del valor del campo magnético generado en el núcleo del transformador, y por lo tanto la generación de un voltaje por breve tiempo en el secundario. Como la relación entre el número de vueltas del primario y del secundario es muy alta y además el cambio del campo magnético ha sido violento, el voltaje del secundario será extremadamente más alto, capaz de hacer saltar la chispa en la bujía.

#### b.4 Sistema de embrague

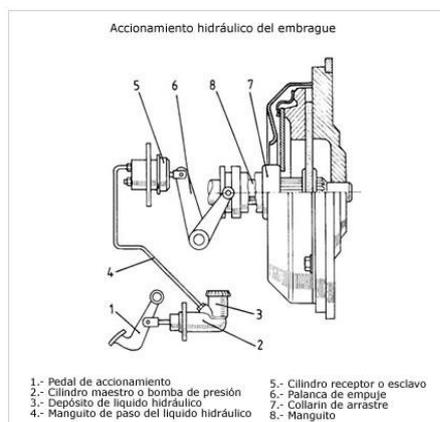
Es imprescindible acoplar un mecanismo capaz de interrumpir o conectar suavemente la transmisión de movimiento entre el motor y las ruedas, figura 1.18, el embrague transmite la potencia del motor a la transmisión manual mediante su acoplamiento o desacoplamiento, también, hace la salida más suave, hace posible detener el vehículo sin parar el motor y facilita las operaciones del mismo.



**Figura 1.18 El embrague**

Los elementos fundamentales de este sistema son: en primer lugar, el pedal de accionamiento. en el extremo del pedal se encuentra sujeto un cable por medio del cual se puede accionar la palanca de arrastre, esta palanca, que pivota sobre el punto presiona sobre el collarín de arrastre y consigue la inversión del muelle de diafragma con lo que el embrague queda desacoplado tanto tiempo como se mantenga el pedal oprimido, figura 1.18.

Cuando los embragues son grandes porque se prevé la necesidad de la transmisión de elevados esfuerzos de par, se suele acudir al accionamiento hidráulico, la diferencia fundamental con el sistema que hemos visto en la pasada a continuación es sólo que el accionamiento de la palanca de arrastre se efectúa por medio de un empuje ejercido por un cilindro hidráulico, figura 1.19.

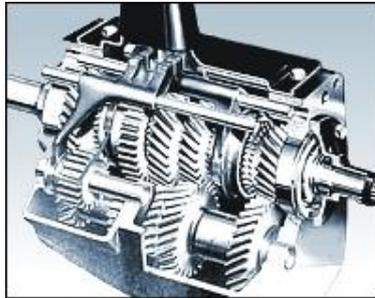


**Figura 1.19 Accionamiento hidráulico**

## **b.5 Caja de cambios**

El objetivo de la caja de velocidades es transformar el par motor, logrando variar el par motor entre motor y ruedas dependiendo del par resistente

(opuesto al par motor), las cajas de cambios, figura 1.20, las podemos dividir a grandes rasgos entre manuales y automáticas.



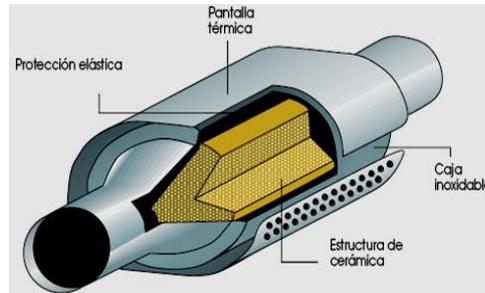
**Figura 1.20 Caja de cambios**

Su construcción se basa en un cárter con aceite en el cual están los ejes y los engranajes, el tren de engranajes que esta formado por piñones y ejes destinados a transmitir el movimiento y la palanca de cambio destinada para elegir la marcha deseada, a su vez las cajas manuales se caracterizan por ser de toma variables o constantes.

### **1.5 CATALIZADORES EMPLEADOS EN LOS M.C.I.**

El catalizador tiene como misión disminuir los elementos polucionantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis, se trata de un dispositivo instalado en el tubo de escape, cerca del motor, ya que ahí los gases mantienen una temperatura elevada, esta energía calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 °C y 700 °C.

Exteriormente el catalizador es un recipiente de acero inoxidable, frecuentemente provisto de una carcasa-pantalla metálica antitérmica, igualmente inoxidable, que protege los bajos del vehículo de las altas temperaturas alcanzadas, figura 1.21.

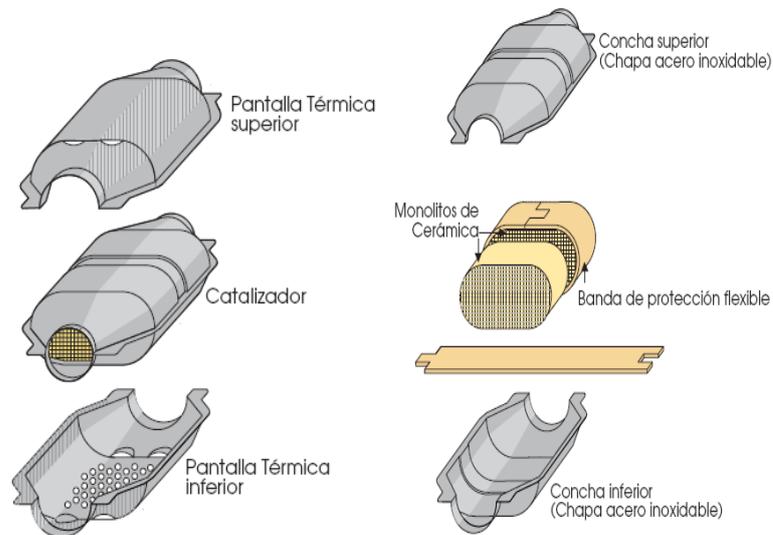


**Figura 1.21 Catalizador en corte**

En su interior contiene un soporte cerámico o monolito, de forma oval o cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal, con una densidad de éstas de aproximadamente 450 celdillas por cada pulgada cuadrada (unas 70 por centímetro cuadrado), su superficie se encuentra impregnada con una resina que contiene elementos nobles metálicos, tales como platino (Pt) y paladio (Pd), que permiten la función de oxidación, y rodio (Rh), que interviene en la reducción. Estos metales preciosos actúan como elementos activos catalizadores; es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las cuales entran en contacto, sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inocuos no polucionantes.

### **1.5.1 Componentes principales de la cámara del catalizador**

A continuación se muestran las partes del catalizador, así como de la parte exterior e interior, figura 1.22.



**Figura 1.22 Componentes del catalizador**

### 1.5.2 Gases producidos en la combustión

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes.

**Inofensivos.-** El nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%, el oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%, el dióxido de carbono producido por la combustión completa del carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis.

**Contaminantes.-** El monóxido de carbono, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la hemoglobina, por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

Los hidrocarburos, dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos, el benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y

conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas, el benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer, su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de aldehídos y fenoles.

Los óxidos de nitrógeno, sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas; el plomo es el metal más peligroso contenido en los aditivos del combustible, inhalado puede provocar la formación de coágulos o trombos en la sangre, de gravísimas consecuencias patológicas, se encuentra presente en las gasolinas en forma de tetra-etilo de plomo y se utiliza en su producción para elevar su índice de octano y, también, en motorizaciones antiguas como lubricante de los asientos de válvulas, en las gasolinas sin Plomo se ha sustituido este metal por otros componentes menos contaminantes que también proporcionan un alto índice de octano.

## **1.6 PROGRAMA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN SOLIDWORKS**

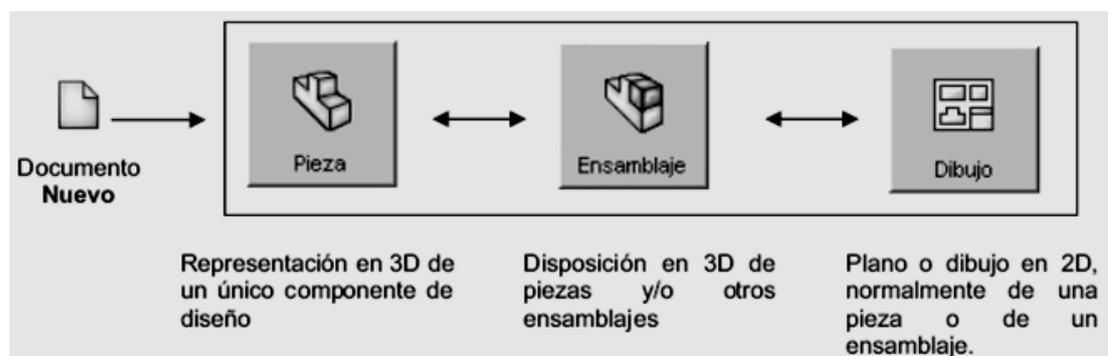
**SolidWorks®** es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar, su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas. Es una solución de diseño tridimensional completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable.

La característica que hace que **SolidWorks®** sea una herramienta competitiva, ágil y versátil es su capacidad de ser paramétrico, variacional y asociativo, además de usar las funciones geométricas inteligentes y emplear un gestor de diseño (Feature Manager) que permite visualizar, editar, eliminar y actualizar cualquier operación realizada en una pieza de forma bidireccional entre todos los documentos asociados.

### 1.6.1 Características de SolidWorks®

La definición de parámetros clave, la asociatividad, las funciones geométricas inteligentes y el gestor de diseño, son las principales características de SolidWorks®.

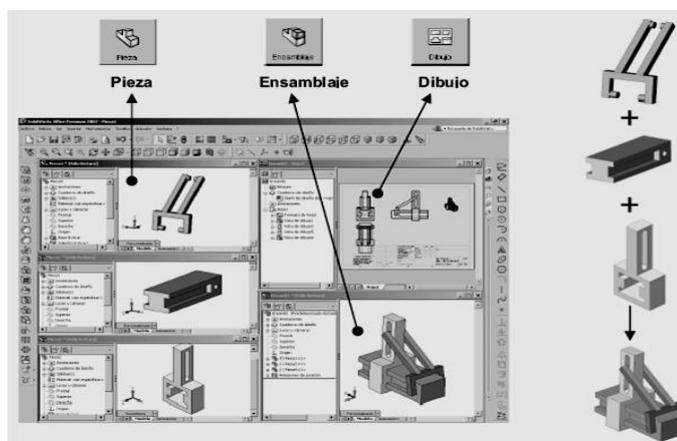
- **Asociatividad.-** SolidWorks® contiene tres módulos: Pieza, Ensamblaje y Dibujo, figura 1.23. La creación de un documento en cada uno de ellos genera un fichero con distinta extensión, los documentos, aunque no pueda observarse, están asociados y vinculados entre ellos.



**Figura 1.23 Módulos existentes en SolidWorks®**

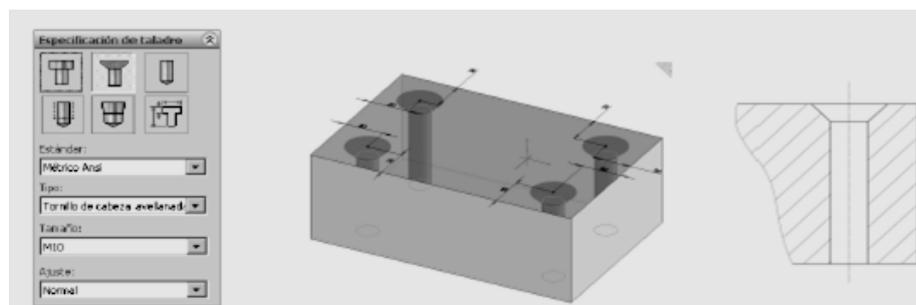
Para realizar un conjunto o ensamblaje debe diseñar cada una de las piezas que lo conforman y guardar como ficheros de pieza distintos (cada uno con un nombre), el módulo de ensamblaje permite insertar cada una

de las piezas y asignar relaciones geométricas de posición para definir tridimensionalmente el ensamblaje. Cuando se dice que SolidWorks® es asociativo quiere decir que todos los documentos (Pieza, Ensamblaje o Plano, figura 1.24) están vinculados y que la modificación de un fichero de pieza modifica el ensamblaje y los planos asociados de forma automática, sin la participación del usuario. Los ficheros se actualizan aunque se encuentren cerrados.



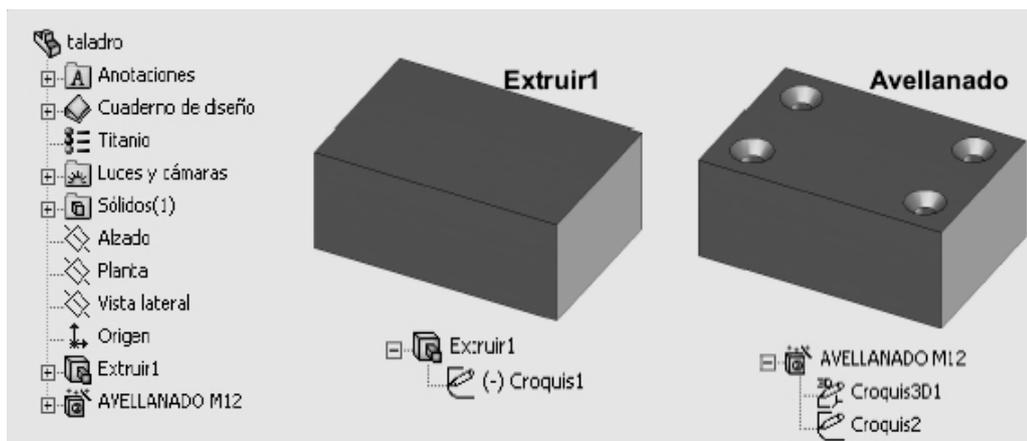
**Figura 1.24 Módulos existentes en SolidWorks®**

- **Funciones Geométricas Inteligentes.-** La creación de taladros, chaflanes, redondeos, vaciados o la creación de nervios, entre otras operaciones, son creadas de forma rápida, ágil e intuitiva; en muchas operaciones el proceso de definición esta guiado y puede pre-visualizar la operación antes de su aceptación definitiva, figura 1.25



**Figura 1.25 Función Geométrica Inteligente de Taladro.**

- **Gestor de diseño.**- Permite visualizar/ocultar operaciones, suprimirlas o eliminarlas, cambiar el color y, lo que es más importante, modificar sus parámetros de definición, figura 1.26. Puede establecer nuevas relaciones de posición geométrica o modificar la dimensión de una cota de croquis u operación.



**Figura 1.26 Gestor de Diseño**

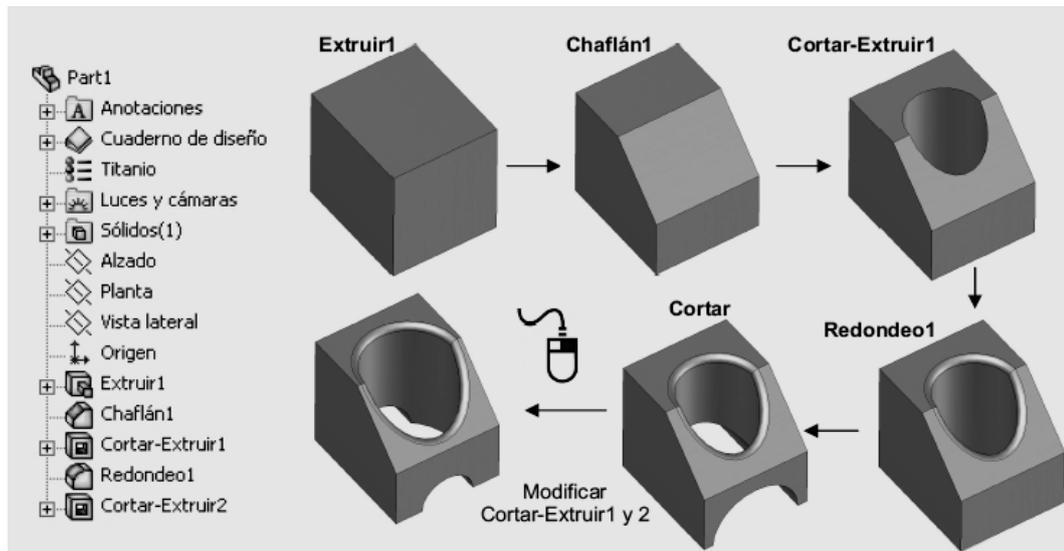
### 1.6.2 Módulos de SolidWorks®

**SolidWorks®** contiene tres módulos: Pieza, Ensamblaje y Dibujo, en cada uno de ellos se disponen de múltiples herramientas de productividad, comunicación y análisis-simulación.

- **Módulo de Pieza**

Constituye un entorno de trabajo dónde puede diseñar modelos mediante el empleo de herramientas de diseño de operaciones ágiles e intuitivas.

El conjunto de funciones e iconos permiten crear modelos tridimensionales (3D) partiendo de geometrías de croquis (2D) y obtener sólidos, superficies, estructuras metálicas, piezas de chapa, piezas multicuerpo, etc, figura 1.27.

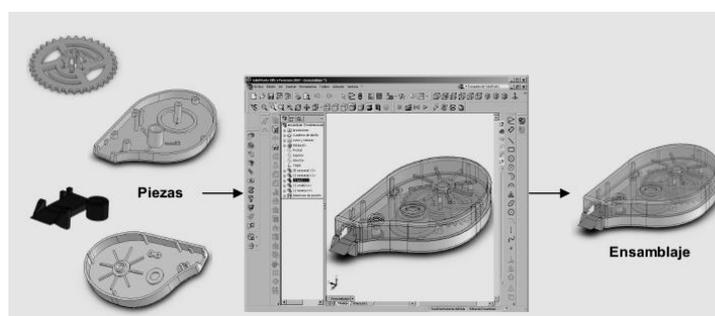


**Figura 1.27 Gestor de Diseño. Creación y modificación de operaciones.**

- **Módulo de Ensamblaje**

Esta formado por un entorno de trabajo preparado para crear conjuntos o ensamblajes mediante la inserción de los modelos 3D creados en el Módulo de Pieza. Los ensamblajes se definen por el establecimiento de Relaciones Geométricas entre las piezas integrantes, figura 1.28

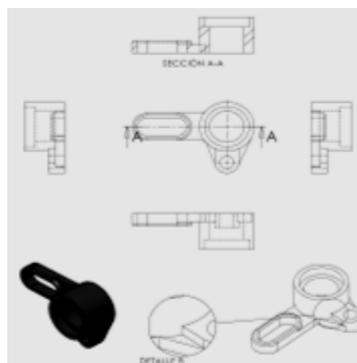
La creación de ensamblajes permite analizar las posibles interferencias o choques entre los componentes móviles insertados así como simular el conjunto mediante motores lineales, rotativos, resortes y gravedad y evaluar la correcta cinemática del conjunto.



**Figura 1.28 Módulo de Ensamblaje de SolidWorks®.**

- **Módulo de Plano o dibujo**

El Módulo de Dibujo, figura 1.29 permite obtener proyecciones ortogonales (Vistas Estándar), Secciones y Cortes, Perspectivas, Acotación, Lista de materiales, Vistas, entre otras muchas funciones. Los documentos de dibujo están totalmente asociados a las piezas y ensamblajes de forma que cualquier cambio en ellas se actualizan en tiempo real en sus planos, sin tener que modificarlos de forma manual.



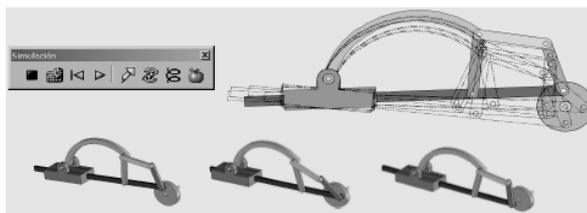
**Figura 1.29 Módulo de Plano o dibujo**

### 1.6.3 Otras aplicaciones de SolidWorks®

Incluidas en la versión **Office Professional** de **SolidWorks®**.

- **Simulación y movimiento**

Es una herramienta intuitiva de Simulación Física, figura 1.30, incluida en **SolidWorks®** que permite agregar distintos movimientos a los componentes que forman su ensamblaje para evaluar como la forma, las dimensiones y las relaciones geométricas establecidas entre ellos definen la cinemática de su conjunto.



**Figura 1.30 Simulación y movimiento con Motor rotativo**

Puede agregar Motores lineales, Rotativos, Gravedad y Resortes, animar conjuntos y grabar la animación en formato de video AVI. Además, la simulación del movimiento obtenida le ayudará en la definición de las cargas y condiciones de contorno cuando emplee la herramienta CosmosXpress para evaluar el comportamiento mecánico de su producto.

- **Del 2D al 3D**

Constituye un conjunto de herramientas que le ayudará a convertir sus antiguos o modernos dibujos bidimensionales a una pieza en 3D mediante la definición del croquis y su posterior modelado tridimensional. Útil para convertir proyectos que actualmente se tienen en planos 2D y que desea parametrizar a 3D, figura 1.31 Admiten ficheros DWG.

**SolidWorks®** incluye **DWGEditor®**, aplicación que permite modificar, crear y mantener documentos DWG en un entorno muy parecido a AutoCAD®.



**Figura 1.31 Del 2D al 3D. Conversión de planos 2D de AutoCAD® a 3D en SolidWorks®.**

- **CosmosXpress**

Herramienta simplificada de análisis basada en el Método de los Elementos Finitos (FEM) que permite conocer el comportamiento mecánico (tensiones y deformaciones) sufridas por una pieza al ser cargada con fuerzas o presiones después de haber indicado las restricciones de movimiento en alguna de sus caras, figura 1.32.



versiones 2.5 hasta la más moderna (AutoCAD® 2008) y su entorno es muy parecido al de AutoCAD®.

#### 1.6.4 Herramientas de análisis y simulación avanzadas

Forman un conjunto de soluciones integradas en **SolidWorks®** que emplean el Método de los Elementos Finitos para analizar y simular el comportamiento mecánico (**COSMOSWorks®**), el comportamiento cinemática y dinámico (**COSMOSMotion®**) y el comportamiento de fluidos (**COSMOSFlowWorks®**).

**COSMOSWorks®** es la aplicación completa que permite estudiar el comportamiento mecánico de sus modelos 3D de forma precisa y teniendo en cuenta otros aspectos que no son evaluados por **COSMOSXpress®**, figura 1.34.



Figura 1.34 Barras de herramientas de COSMOSWorks®.

Dispone de herramientas para el análisis de frecuencia, análisis de pandeo, análisis térmico, análisis de optimización, análisis no lineal, análisis de prueba de caída, análisis de fatiga y análisis de respuesta dinámica.

**Cosmosmotion®** es la aplicación que permite estudiar las condiciones de funcionamiento de un ensamblaje por la simulación del movimiento de sus partes integrantes, figura 1.35. Combina el movimiento basado en las condiciones físicas con las restricciones geométricas y contiene una gran

variedad de herramientas de visualización de resultados: aceleración, vector de fuerza, colisiones, etc. Es una herramienta adecuada para crear prototipos virtuales y validar el funcionamiento del mecanismo diseñado.



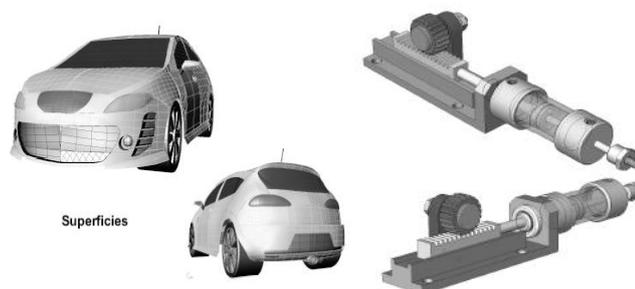
**Figura 1.35 Barras de herramientas de COSMOSMotion®.**

**Cosmosflowworks®** es una herramienta de dinámica de fluidos que permite simular transferencia de calor, flujos compresibles, subsónicos y supersónicos, mezcla de gases, cavitación, entre otras.

La aplicación está totalmente integrada en **SolidWorks®** ofreciendo un entorno de trabajo y unos cuadros de diálogo intuitivos y familiares. Funciona mediante un asistente que permite configurar el análisis y resolver el problema de forma rápida y sencilla.

### **1.6.5 Ámbitos de aplicación de SolidWorks®**

Actualmente la herramienta de diseño mecánico **SolidWorks®** se emplea en sectores tan diversos como el Aeroespacial, Automoción, Defensa, Universidades, Ingeniería civil, Ingeniería industrial, Ingeniería marina, Ingeniería mecánica Investigación y desarrollo y en Simulación, entre otros campos, figura 1.36.



**Figura 1.36 Diferentes ámbitos de aplicación de SolidWorks®.**

## CAPÍTULO II

### DISEÑO MECÁNICO

#### 2.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

Para el cálculo de la potencia requerida en la molienda es necesario tomar en cuenta los diferentes parámetros como dimensiones, formas, materiales, ventajas y desventajas de las partes existentes del molino de bolas en la fábrica de cerámicas “NOVEL N°3 S.A.”. Las especificaciones técnicas del molino de bolas que posee la fábrica y al que se le acoplará el sistema generador de potencia, son las siguientes:

Diámetro exterior del tambor	= 1480 mm. (58")
Longitud del tambor	= 1230 mm. (48")
Espesor de la plancha de acero del tambor	= 8 mm. (5/16")
Espesor de la capa de recubrimiento de alúmina	= 70 mm. (2.75")
Peso del molino sin carga (acero, alúmina y bolas)	= 1500 kg. (1.5 ton)
Máxima capacidad de carga(material cerámico)	=1500 kg. (1.5 ton)
Fracción de volumen ocupado por el material cerámico	= 80%
Tiempo de duración de un periodo de molienda	= de 8 a 12 horas

Además, la fábrica cuenta con un diferencial de automóvil cuyas características más importantes son:

Peso aproximado	= 100 kg. (1000 N)
Longitud total	= 1228 mm.
Relación de transmisión (entrada: salida)	= 4:1

En función de estos parámetros a continuación se procede con el diseño y la selección de los diferentes componentes mecánicos del sistema.

### 2.1.1 Determinación de la velocidad crítica del molino

La velocidad crítica de rotación del molino es aquella en la que la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor anula la influencia que la gravedad que ejerce sobre las bolas que caen, anulando por lo tanto su función, por lo que no realizan su trabajo de molienda.

La velocidad crítica  $N_C$  se determina en función del diámetro interno del tambor del molino  $D$  :

$$N_C = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$N_C = \frac{42.3}{\sqrt{1.324}}$$

$$N_C = 36.76 \text{ rpm}$$

Donde:

$$D = (1480 - 2(8 + 70))\text{mm} = 1324 \text{ mm} = 1.324 \text{ m}$$

Debido que a nivel industrial, los molinos operan a una fracción de la velocidad crítica, que varía entre un 70% y 90%, para el presente diseño se tomará el 90%, por lo que la velocidad real óptima del molino de bolas es:

$$N_R = 0.9 \cdot N_C \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$N_R = 33.1 \text{ rpm}$$

### 2.1.2 Determinación de la potencia requerida

No existe en la actualidad una fórmula teórica que permita el cálculo exacto de la potencia demandada por un molino bolas, por lo tanto, para determinar la potencia requerida para hacer girar el tambor del molino se emplea la expresión de DAWN, la misma que es una expresión empírica desarrollada para el dimensionamiento de molinos de bolas:

$$KW_{netos} = 0.284 \cdot D \cdot A \cdot W \cdot N \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$KW_{netos} = 0.284 \cdot 1.324 \cdot (1.073 - 0.3) \cdot 1.5 \cdot 33.1$$

$$KW_{netos} = 14.4 \text{ KW}$$

Donde:

$D$  = Diámetro interior del tambor del molino (m) = 1.324 m

$A = (1.073 - J)$

$J$  = Fracción de carga del volumen del molino = 30% = 0.3

$W$  = Peso del molino sin carga (ton) = 1.5 ton

$N$  = Velocidad de rotación del molino (rpm) = 33.1 rpm.

Ésta potencia es solamente la potencia requerida por el molino, sin tomar en cuenta las pérdidas en el motor, la transmisión y el reductor de velocidad.

### 2.2 SELECCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

La selección del motor de combustión interna se basa en el torque máximo necesario y en la potencia total requerida para hacer girar el molino, a la velocidad indicada, y tomando en cuenta las pérdidas en el motor, la transmisión y el reductor de velocidad. Para determinar la potencia requerida en el motor de combustión interna es recomendable

utilizar un margen de seguridad del 20 al 30 % con el objeto de contemplar las diferentes pérdidas del sistema, por lo tanto, la potencia mínima que debe entregar el motor es:

$$Pot_{motor} = 14.4 \text{ KW} + 0.3 \cdot 14.4 \text{ KW} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$Pot_{motor} = 18.7 \text{ KW} = 25.0 \text{ hp}$$

### 2.2.1 Determinación de la velocidad de giro del motor

La velocidad de giro del motor se determina en función de la relación de transmisión total del sistema de transmisión de potencia del molino, el mismo que estará compuesto del diferencial de automóvil con el que cuenta la fábrica y de un reductor de velocidad flexible de bandas y polea que será diseñado más adelante.

La relación de transmisión del diferencial que posee la fábrica, como se indica en la sección 2.1.1, es de 4:1

Debido a que la velocidad de rotación real del molino es muy baja (33.1 rpm), para determinar la relación de transmisión del reductor de velocidad de bandas y polea, utilizamos el tamaño más pequeño de polea estándar para banda 5V disponible en el mercado, que es de 7.0", por lo tanto:

$$i_{b-p} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

$$D_1 = \text{Diámetro de la polea} = 7.0''$$

$$D_2 = \text{Diámetro exterior del tambor del molino} = 58''$$

$$i_{b-p} = \frac{58}{7.0}$$

$$i_{b-p} = 8.29$$

Entonces, la relación de transmisión total del sistema es:

$$i_T = \frac{4}{1} \cdot \frac{8.29}{1} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$i_T = 33.2$$

Por lo tanto, la velocidad de giro del motor es:

$$N_{motor} = i_T \cdot N_R \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$N_{motor} = 33.2 \cdot 33.1 \text{ rpm}$$

$$N_{motor} = 1098.9 \text{ rpm}$$

### 2.2.2 Determinación del torque requerido

El torque mínimo requerido en el motor se determina a partir de la potencia necesaria para hacer girar el molino y de la velocidad de giro del motor, por lo tanto, de la ecuación de potencia se tiene:

$$Pot_{motor} = T \cdot N_{motor} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$T = \frac{Pot_{motor}}{N_{motor}}$$

$$T = \frac{18700 \text{ N} \cdot \text{m/s}}{1098.9 \text{ rev/min}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$T = 162.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### **2.2.3. Selección del motor de combustión interna**

En base a los parámetros calculados en las secciones anteriores, de acuerdo a la potencia requerida y tomando en cuenta los requerimientos de la empresa (la necesidad de un motor de combustión interna) y el presupuesto disponible, se procede con la selección del motor.

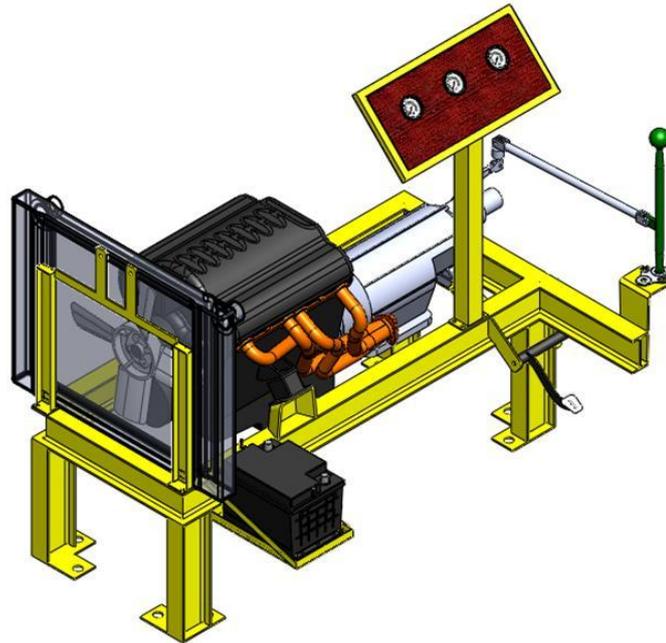
De los diferentes motores de segunda mano disponibles en el mercado, el que mejor cumple con todos los requerimientos antes mencionados, es un motor a gasolina Datsun 1400 cc, figura 2.1, el mismo que cuenta con una caja de cambios de 4 velocidades y cuyas especificaciones técnicas se muestra en el anexo B.1.



**Figura 2.1 Motor seleccionado**

### **2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL MOTOR**

La estructura de soporte es la encargada de sujetar al motor seleccionado y todos sus componentes y accesorios (caja de cambios, radiador, batería, tablero de control, etc.), así como también; debe ser capaz de soportar las cargas generadas debido al movimiento del motor. Cuando el molino de bolas entra en funcionamiento a máxima capacidad, la estructura que soporta el motor debe resistir las siguientes cargas, figura 2.2.

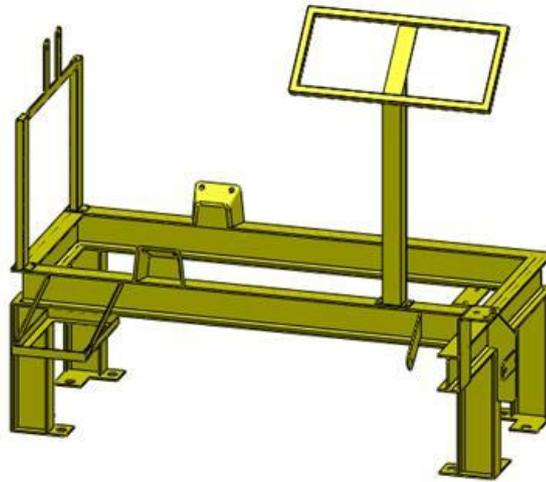


**Figura 2.2 Componentes y accesorios de la estructura soporte**

- Peso del motor y la caja de cambios = 5000 N
- Peso del tablero de control = 150 N
- Peso de la batería y cables = 5000 N
- Peso del radiador con refrigerante = 150 N
- Fuerza aplicada en el pedal del embrague = 500 N
- Fuerza aplicada en la palanca de cambios = 150 N
- Torque del motor = 162.5 N m

### **2.3.1 Modelado de la estructura en SolidWorks**

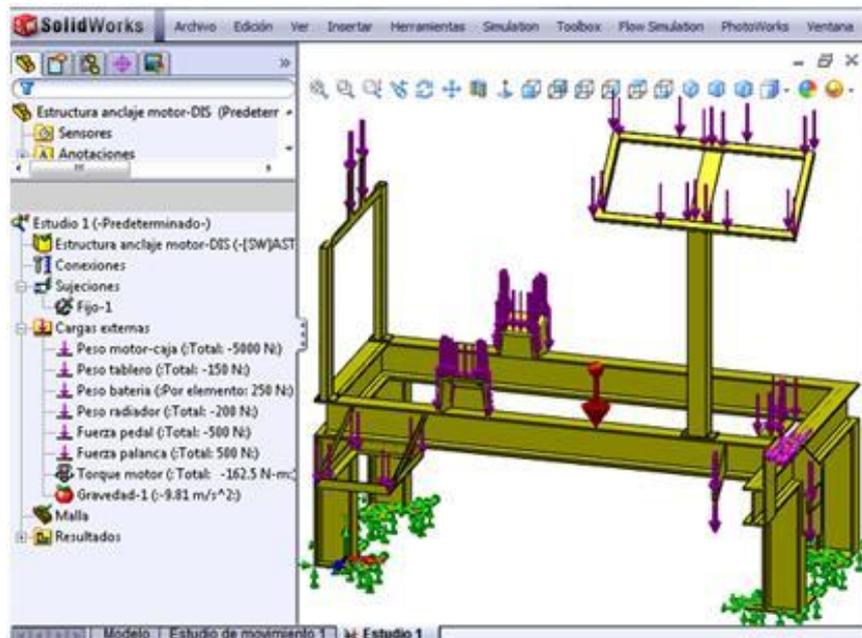
En base a las cargas que debe soportar ésta estructura y tomando en cuenta la forma y el tamaño los diferentes componentes y accesorios que se instalarán sobre la misma, se modela en SolidWorks la estructura soporte del motor, con la geometría mostrada en la figura 2.3 y las dimensiones indicadas en el anexo B.1.



**Figura 2.3 Modelo en SolidWorks de la estructura soporte del motor**

### 2.3.2 Asignación de cargas y sujeciones

En base al lugar de aplicación de cada una de las cargas determinadas en la sección 2.3.1 y a sus puntos de apoyo, a la estructura soporte del motor de combustión interna se asignan las cargas y sujeciones que se muestran en la figura 2.4.



**Figura 2.4 Asignación de cargas y sujeciones a la estructura soporte del motor**

### 2.3.3 Asignación de materiales

La estructura soporte será construida a partir de diferentes tipos de perfiles estructurales y planchas de acero, los mismos que de acuerdo con los catálogos del fabricante (DIPAC) son de acero estructural ASTM A36, cuyas propiedades mecánicas y físicas se muestra en la siguiente tabla II.1

**Tabla II.1 Propiedades del acero estructural ASTM A36**

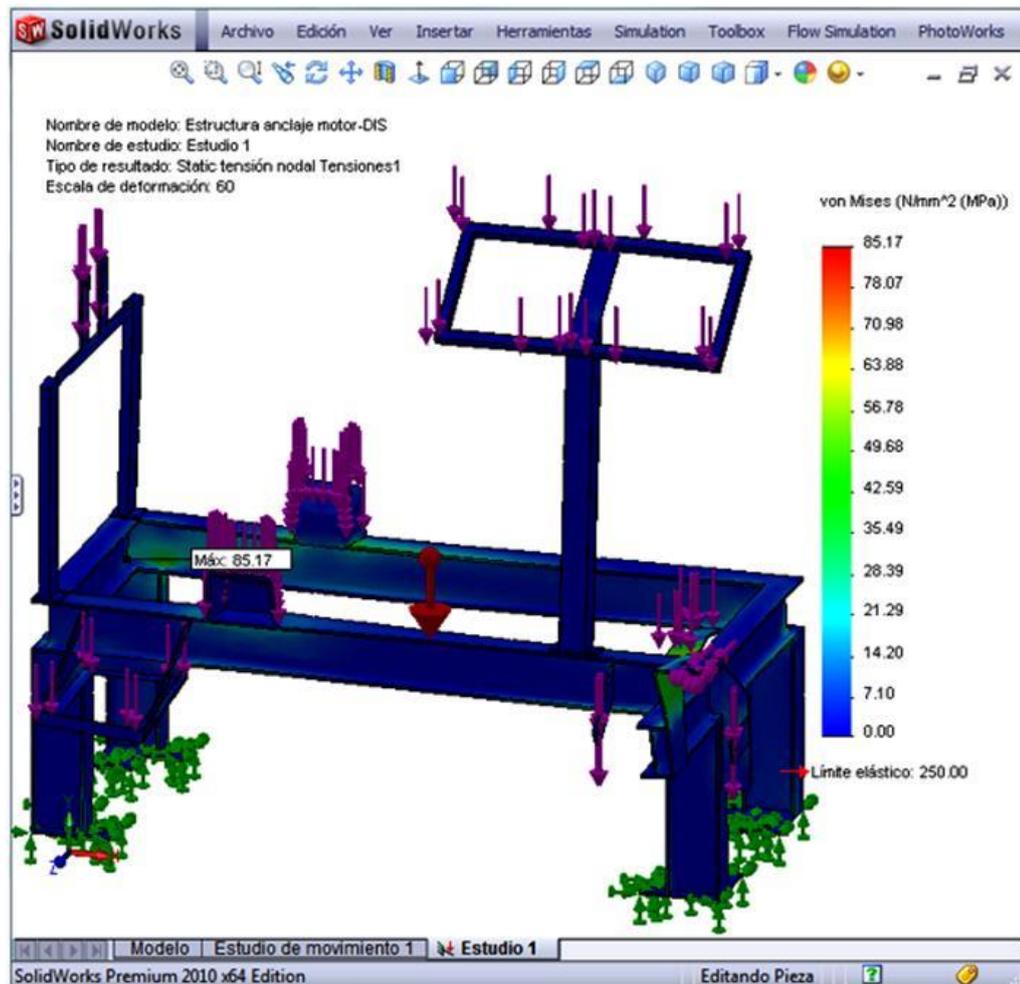
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	79300	N/mm <sup>2</sup>
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	400	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión en X		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	250	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica en X	1.3e-005	/K
Conductividad térmica en X	50	W/(m·K)
Calor específico	460	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

### 2.3.4 Análisis de esfuerzos y deformaciones

Una vez asignadas las cargas y restricciones se procede a realizar el análisis de esfuerzos de la estructura soporte en el programa SolidWorks Simulation, el cual es un programa de Análisis por Elementos Finitos (FEA) que calcula de forma rápida y precisa, esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de cualquier sistema mecánico. En las figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos en el programa SolidWorks Simulation luego de ejecutar el análisis de esfuerzos de la estructura soporte del motor.

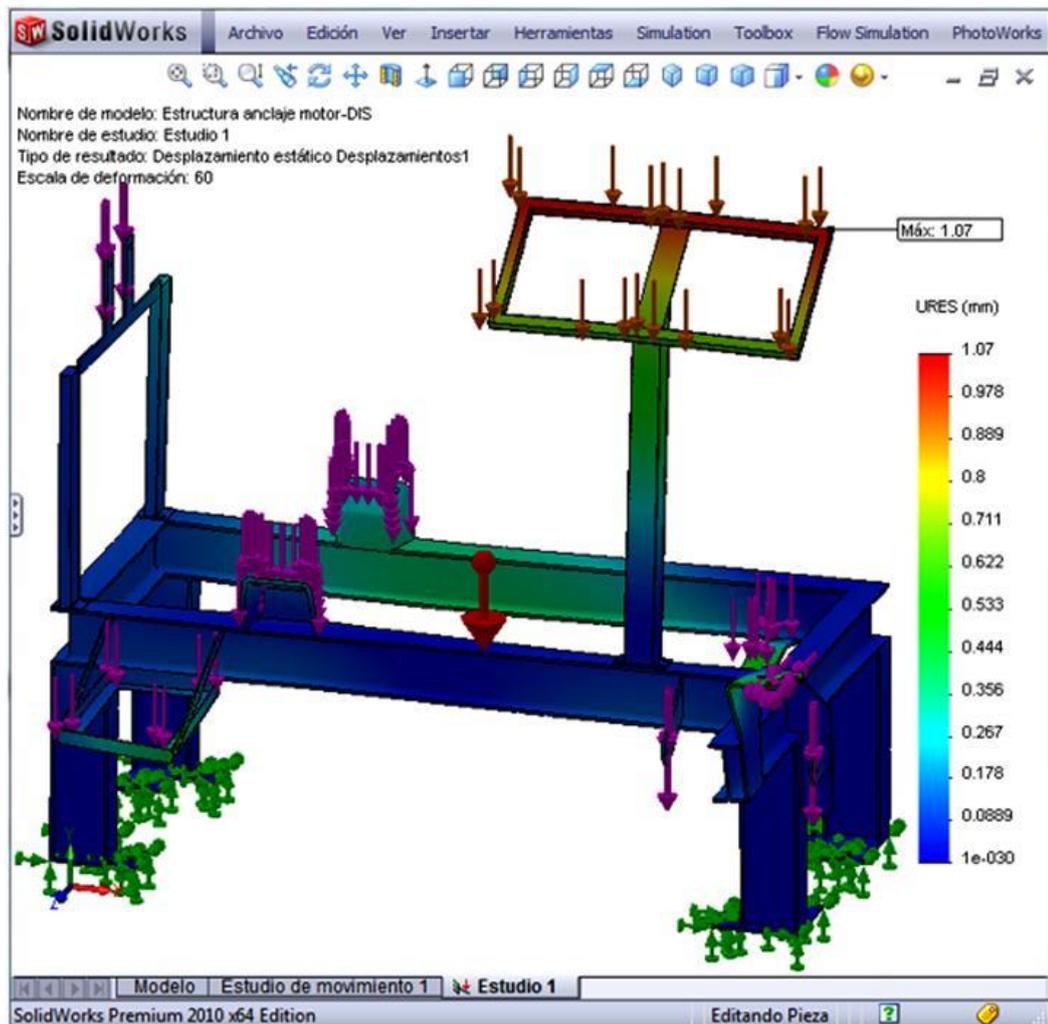
En la figura 2.5 se muestra la distribución del esfuerzo de Von Mises sobre la estructura y al analizarla se determina que la máxima tensión ocurre en la zona de unión de la patas verticales con el perfil horizontal, sin embargo, al ser su valor máximo (85.17MPa) menor que la resistencia

a la fluencia del acero ASTM A36, se concluye que la estructura soporte del motor puede resistir esta tensión máxima sin fallar.



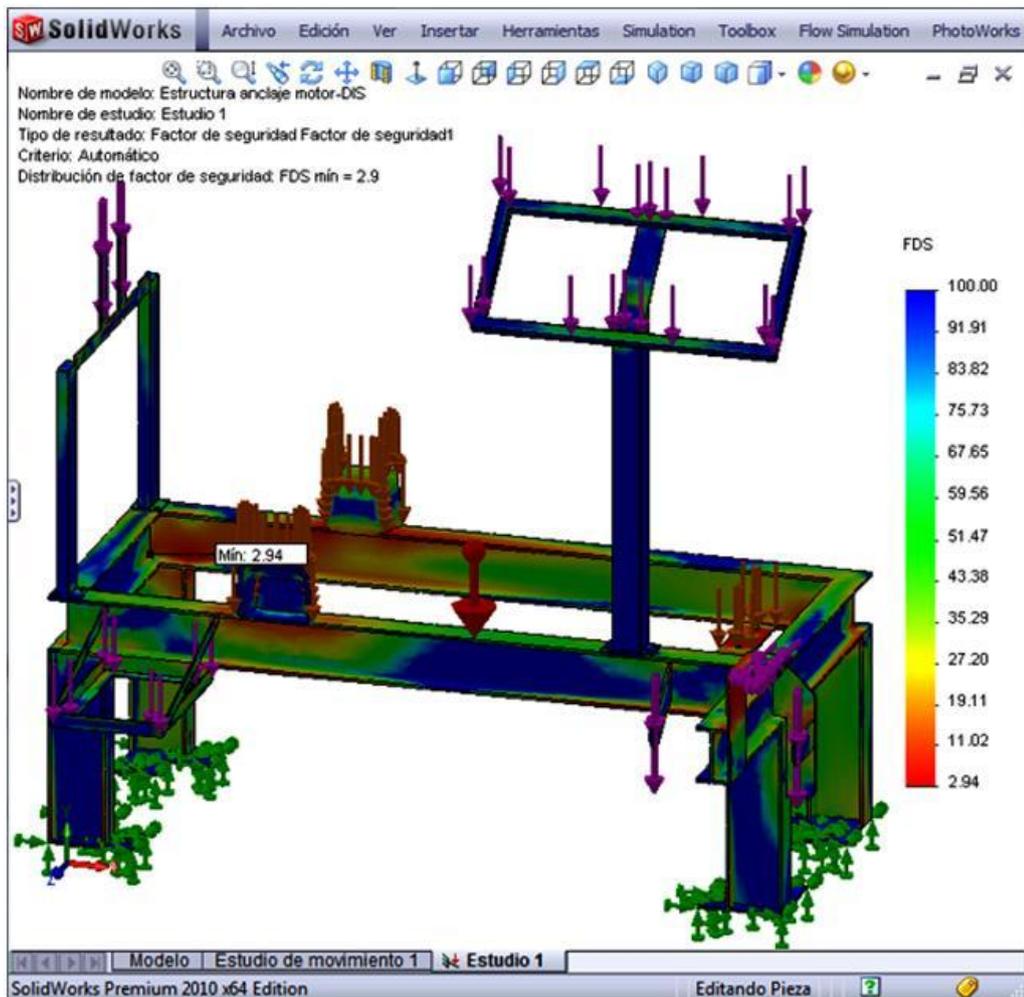
**Figura 2.5 Tensión de Von Mises en la estructura soporte del motor**

Al analizar la figura 2.6, se observa que el desplazamiento resultante máximo de la estructura se produce en el extremo lateral del perfil que soporta el tablero de control, sin embargo al ser su valor máximo igual 1.07 mm. y al hecho de que se produce en un punto que no es crítico para el funcionamiento normal del sistema, se considera que este desplazamiento no afecta el adecuado trabajo de la estructura.



**Figura 2.6 Desplazamientos resultantes en la estructura del motor**

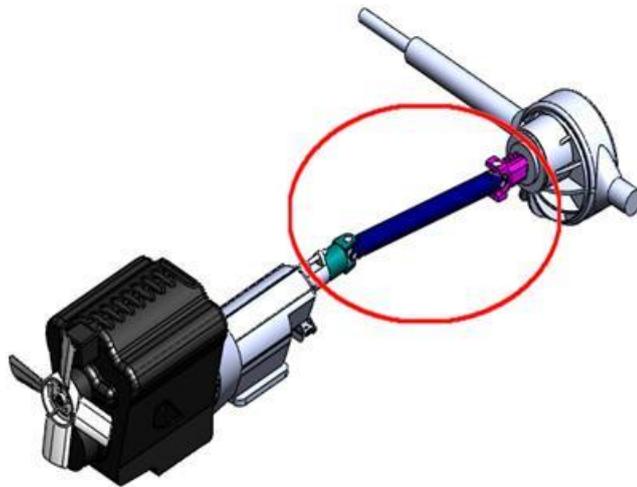
Con respecto al factor de seguridad, en la figura 2.7, se muestra su distribución y se observa que su valor mínimo ocurre en el mismo lugar donde se produce el máximo esfuerzo de Von Mises y es de 2.94, por lo que se concluye que el diseño es seguro.



**Figura 2.7 Distribución del factor de seguridad en la estructura soporte del motor**

## 2.4 DISEÑO DEL EJE TRANSMISOR (CARDÁN)

El cardán es el eje articulado que tiene dos crucetas montadas en sus extremos y que en el sistema de generación de potencia del molino de bolas, se encarga de transmitir la potencia del motor desde la salida de la caja de velocidades hasta la entrada al diferencial, figura 2.8.



**Figura 2.8 Eje de transmisión del generador de potencia**

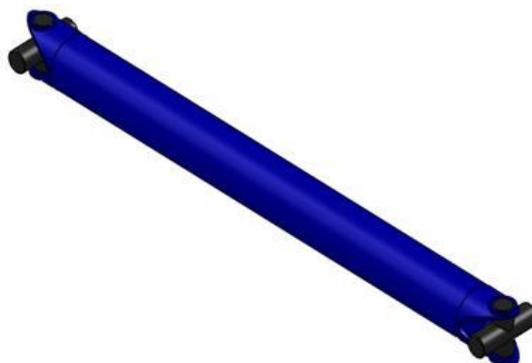
#### **2.4.1 Parámetros de diseño**

Para el diseño del eje de transmisión de potencia (cardán) del molino de bolas, se requieren los siguientes parámetros de diseño:

- Torque a transmitir (del motor) = 162.5 N m
- Limite elástico del material (acero fundido aleado) = 241.28 MPa

#### **2.4.2 Modelado del eje de transmisión en SolidWorks**

El eje de transmisión utilizado en el sistema de generación de potencia del molino de bolas, es el cardán de un automóvil Datsun 1400, el mismo que se modeló en SolidWorks como se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9 Modelo en SolidWorks del eje de transmisión**

### 2.4.3 Asignación de cargas y sujeciones

Tomando en cuenta que cardán debe transmitir el torque del motor a través de las crucetas, al eje de transmisión del motor de combustión interna se le asignan las cargas y sujeciones que se muestran en la figura 2.10.

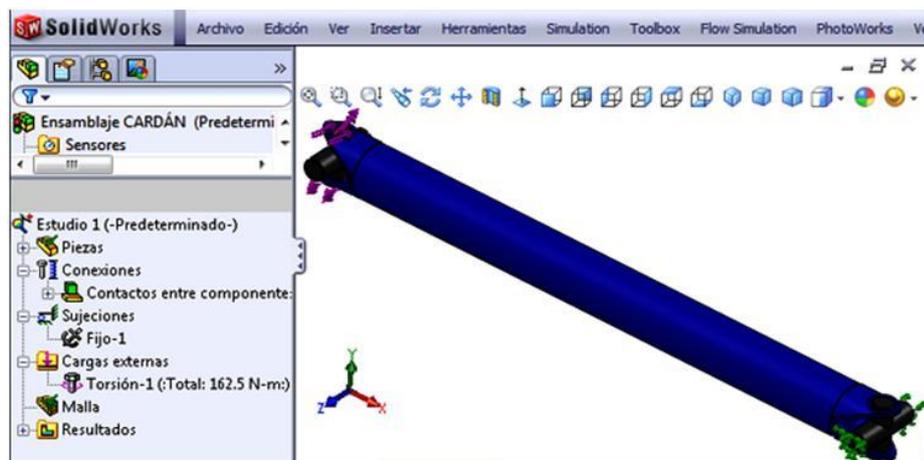


Figura 2.10 Asignación de cargas y sujeciones al eje de transmisión

### 2.4.4 Asignación de materiales

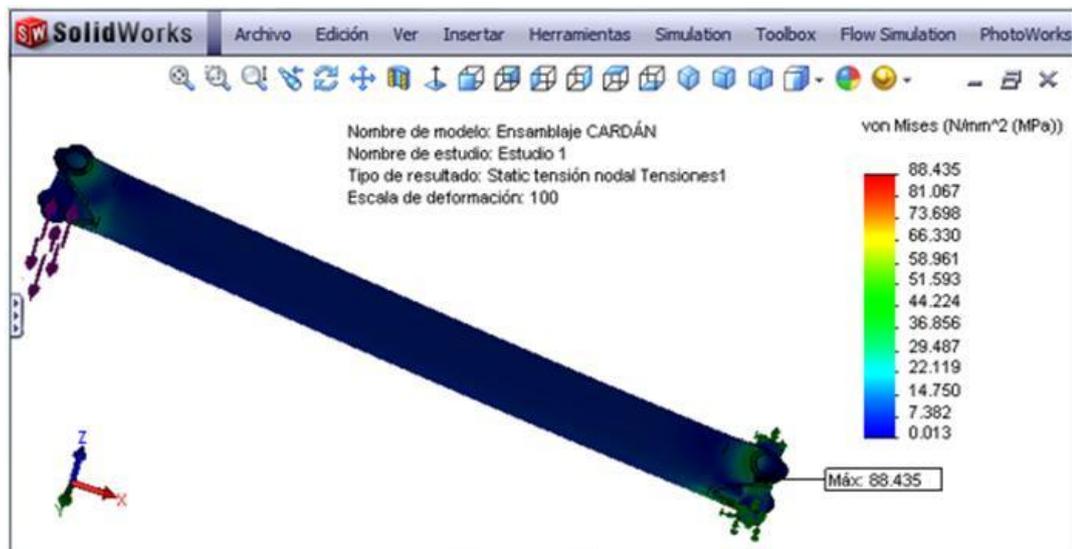
El eje de transmisión se encuentra fabricado con acero fundido aleado, cuyas propiedades mecánicas y físicas se muestra en la tabla II.2.

Tabal II.2 Propiedades del acero fundido aleado

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	190000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson en XY	0.26	N/D
Módulo cortante en XY	78000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7300	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción en X	448.08	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión en X		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	241.28	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica en X	1.5e-005	/K
Conductividad térmica en X	38	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

## 2.4.5 Análisis de esfuerzos y deformaciones

Una vez asignadas las cargas y restricciones al eje de transmisión y ejecutado su análisis de esfuerzos se obtienen los siguientes resultados:



**Figura 2.11 Tensión de Von Mises en el eje de transmisión**

En la figura 2.11 se observa que en el eje de transmisión, la tensión de Von Mises máxima se produce en el agujero del eje, donde se ensambla la cruceta que la une al diferencial y su valor es de 88.44 MPa, sin embargo, al ser esta tensión menor que el límite elástico del material (241.28 MPa), se concluye que el eje no fallará.

En la figura 2.12 se muestra la distribución de los desplazamientos resultantes en el eje de transmisión, siendo su valor máximo igual a 0.863 mm. y se producen en el extremo izquierdo del eje, sin embargo, al ser este valor muy pequeño, no afecta el funcionamiento normal del mismo.

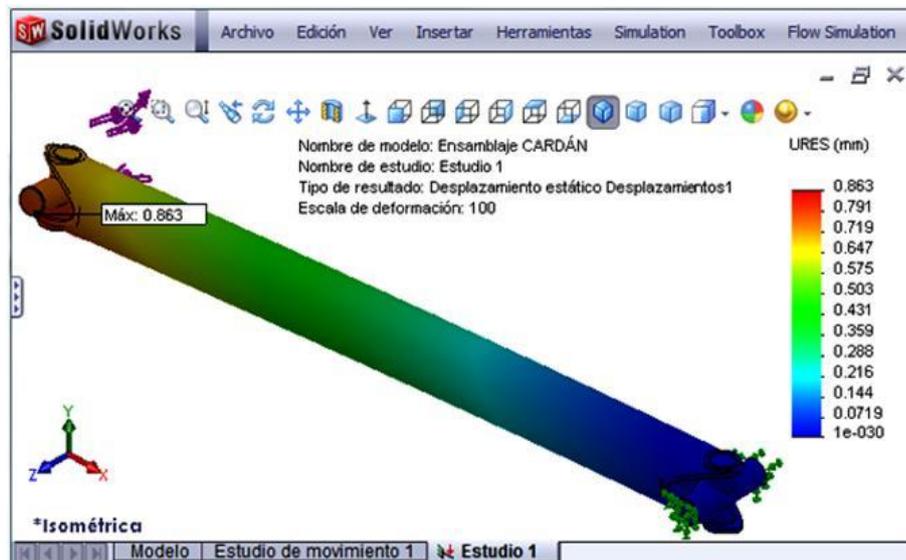


Figura 2.12 Desplazamientos resultantes en el eje de transmisión

En cuanto al factor de seguridad, en la figura 2.13 se observa que las zonas críticas están en color rojo y se encuentran en los extremos del cardán y su valor mínimo de 2.73, por lo que se concluye que el diseño del eje de transmisión es seguro.

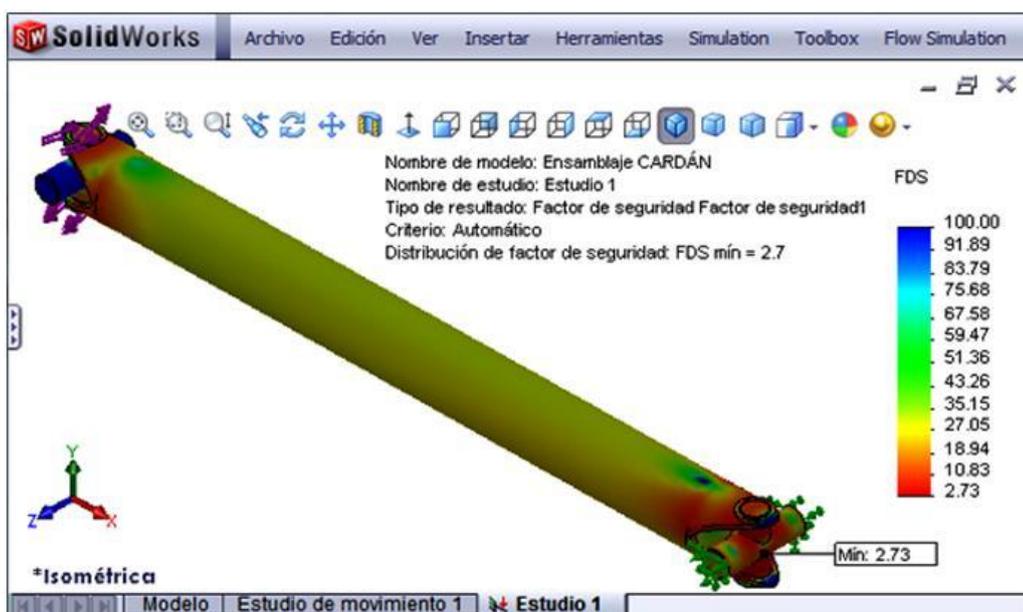


Figura 2.13 Distribución del factor de seguridad en el eje de transmisión

## 2.5 SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS

Para transmitir el movimiento desde el diferencial hasta el tambor del molino, se utilizará un sistema de bandas y poleas debido a que estas permiten cierto grado de desalineación entre ejes y una gran distancia entre centros.

### 2.5.1 Parámetros de diseño

La selección del sistema de transmisión flexible de bandas y poleas, se basará en los siguientes parámetros:

- Potencia de entrada (  $Pot_{motor}$  ) = 25 hp.
- Tipo de impulsor = Motor gasolina 4 cilindros
- Velocidad de rotación del motor (  $\omega_0$  ) = 1099 rpm.
- Máquina a ser impulsada = Molino de bolas
- Velocidad de rotación del molino (  $\omega_2$  ) = 33.1 rpm.
- Diámetro exterior del tambor (  $D_2$  ) = 58"
- Horas de servicio = de 8 a 12 horas (un periodo de molienda).

En base a la relación de transmisión del diferencial (4:1) se determina la velocidad de rotación de la polea a la salida del diferencial (  $\omega_1$  ).

$$\frac{4}{1} = \frac{\omega_0}{\omega_1}$$

$$\omega_1 = \frac{1099 \text{ rpm}}{4}$$

$$\omega_1 = 274.75 \text{ rpm}$$

### 2.5.2 Proceso de selección

En el anexo B.2 se determina que para un motor de combustión interna de 4 cilindros que funciona 12 horas diarias impulsando un molino de bolas, el factor de servicio es 1.6. Así, la potencia de diseño es:

$$Pot_{DIS} = 1.6 \cdot 25 \text{ hp}$$

$$Pot_{DIS} = 40 \text{ hp}$$

A partir del anexo B.3 se determina, que para una potencia de diseño de 40 hp y una velocidad de entrada de 274.75 rpm, se debe utilizar una banda 5V.

En base al diámetro del tambor y las velocidades de entrada y salida se obtiene la relación de transmisión del sistema.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$i = \frac{274.75}{33.1} = 8.3$$

Por lo tanto, el diámetro de paso de la polea de entrada es:

$$i = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$D_1 = \frac{58 \text{ plg}}{8.3}$$

$$D_1 = 7.0 \text{ plg} (0.1778 \text{ m})$$

En el anexo B.4 para una polea acanalada estándar 5V de 7.0 plg. y extrapolando para una velocidad de 274.75 rpm, se obtiene que la potencia específica por banda es 4.35 hp. Además, en el anexo B.5 se observa que para una relación de transmisión de 8.3, la potencia agregada es de 1.0 hp, por lo que la potencia específica total es:

$$Pot_{esp} = 5.65 \text{ hp} + 1.0 \text{ hp} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$Pot_{esp} = 6.65 \text{ hp}$$

En función del espacio disponible debajo del tambor del molino, se asume una distancia entre centros  $C = 55 \text{ plg}$ , entonces la longitud de banda que se necesita es:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$L = 2 \cdot 55 + \frac{\pi}{2}(58 + 7) + \frac{(58 - 7)^2}{4 \cdot 55}$$

$$L = 223.92 \text{ plg}$$

En el anexo B.6 se determina que la longitud de banda 5V estándar más cercana es de 224". El ángulo de la envolvente de la banda en la polea acanalada de 7.0" es:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \text{ sen}^{-1} \left( \frac{D_2 - D_1}{2C} \right) \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \text{ sen}^{-1} \left( \frac{58 - 7}{2 \cdot 55} \right)$$

$$\theta_1 = 124.75^\circ$$

De los anexos B.7 y B.8 se obtiene que los factores de corrección por longitud de la banda y ángulo de la envolvente es respectivamente:

$C_L = 1.09$  y  $C_\theta = 0.84$  . Por lo tanto, la potencia corregida es:

$$Pot_{correg} = 1.10 \cdot 0.84 \cdot 6.65 \text{ hp}$$

$$Pot_{correg} = 6.15 \text{ hp}$$

El número total de bandas requeridas es:

$$N_{bandas} = \frac{Pot_{DIS}}{Pot_{correg}} \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$N_{bandas} = \frac{40}{6.15} = 6.5 \text{ bandas}$$

Se utiliza 6 bandas 5V.

### 2.5.3 Determinación de las fuerzas en las bandas

La fuerza en las bandas se determina a partir de la ecuación de torque:

$$T = F \cdot \frac{D}{2} \quad \text{Ec. 2.15}$$

$$F_{banda} = \frac{2 \cdot T}{D_1}$$

$$F_{banda} = \frac{2 \cdot 162.5 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.1778 \text{ m}}$$

$$F_{banda} = 1827.9 \text{ N}$$

## 2.6 DISEÑO DEL SISTEMA TENSOR DE LAS BANDAS

Este elemento es el encargado de sostener el diferencial y además debe resistir las cargas que generan las bandas que transmiten el movimiento desde el diferencial hasta el molino figura 2.14.

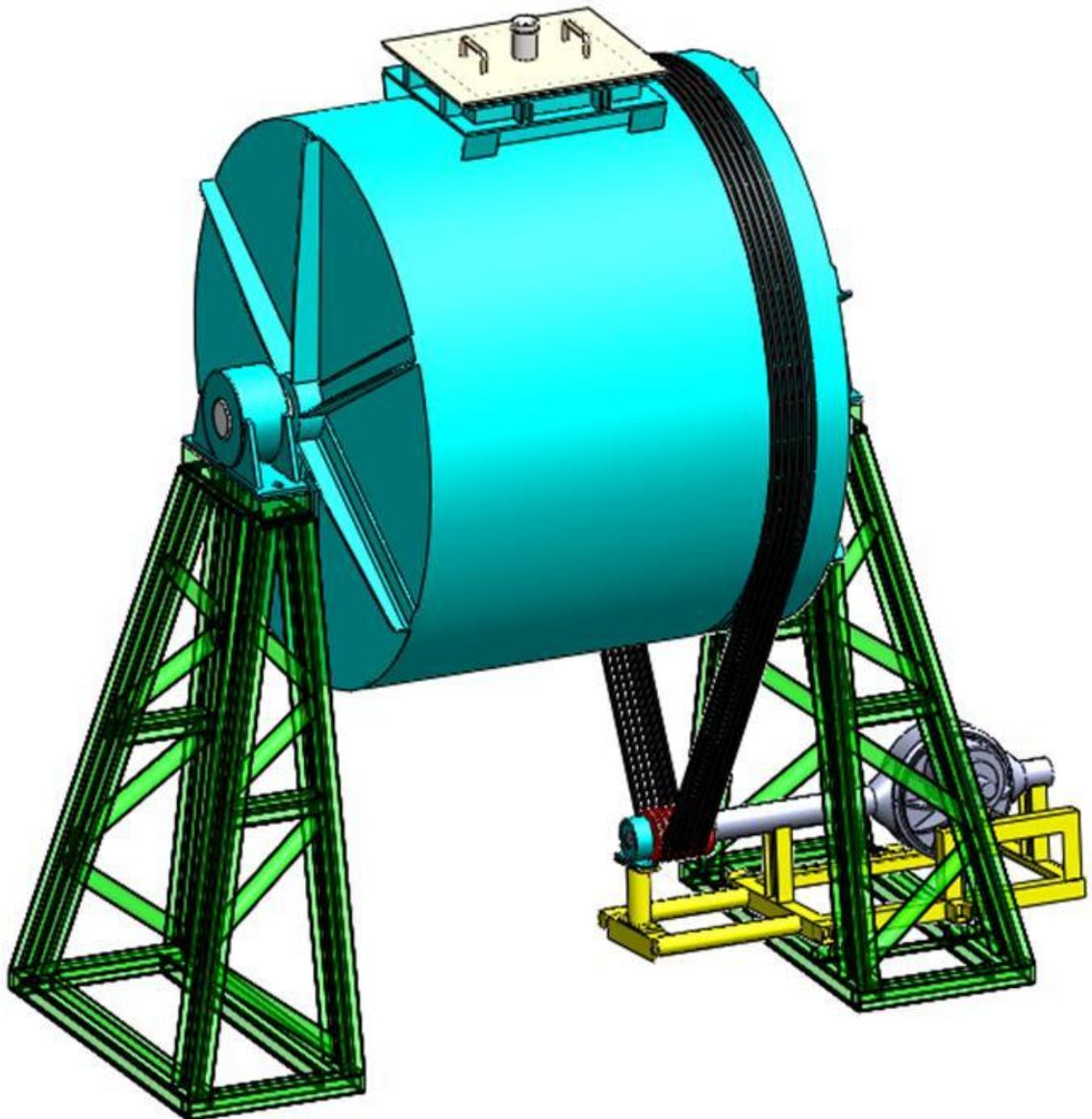


Figura 2.14 Sistema de transmisión del diferencial al molino

### 2.6.1 Cargas del sistema tensor de las bandas

Cuando el molino de bolas entra en funcionamiento a máxima capacidad, la estructura que soporta el motor debe resistir las siguientes cargas:

- Peso aproximado del diferencial = 1000 N
- Torque del motor = 162.5 N m
- Fuerza en las bandas = 1827.9 N

### 2.6.2 Modelado del sistema tensor en SolidWorks

En base a las cargas que debe soportar ésta estructura y tomando en cuenta la forma y el tamaño los diferentes componentes que soporta, se modela en SolidWorks el sistema tensor de las bandas, con la geometría mostrada en la figura 2.15 y las dimensiones indicadas en el anexo B.1.

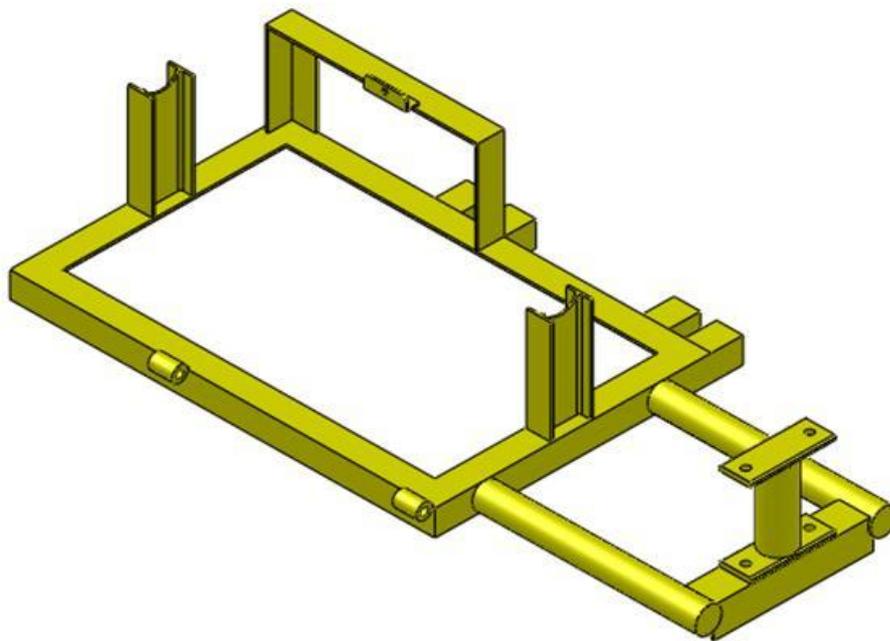


Figura 2.15 Modelo en SolidWorks del sistema tensor de las bandas

### 2.6.3 Asignación de cargas y sujeciones

En base al lugar de aplicación de cada una de las cargas y a los puntos de apoyo de la estructura, al sistema tensor de las bandas se le asignan las cargas y sujeciones que se muestran en la figura 2.16.

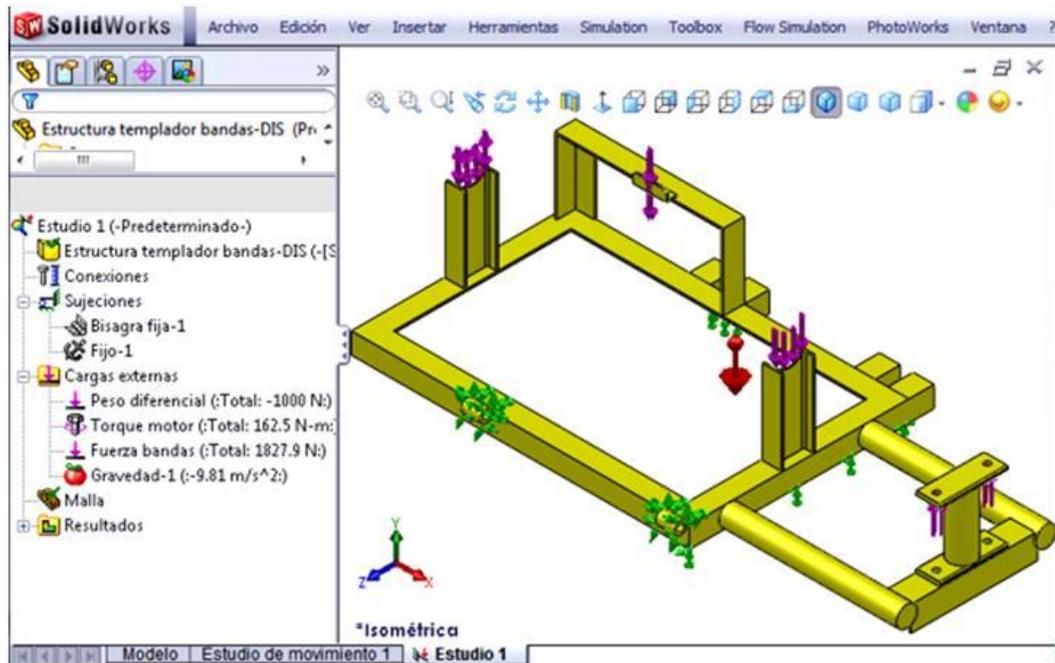


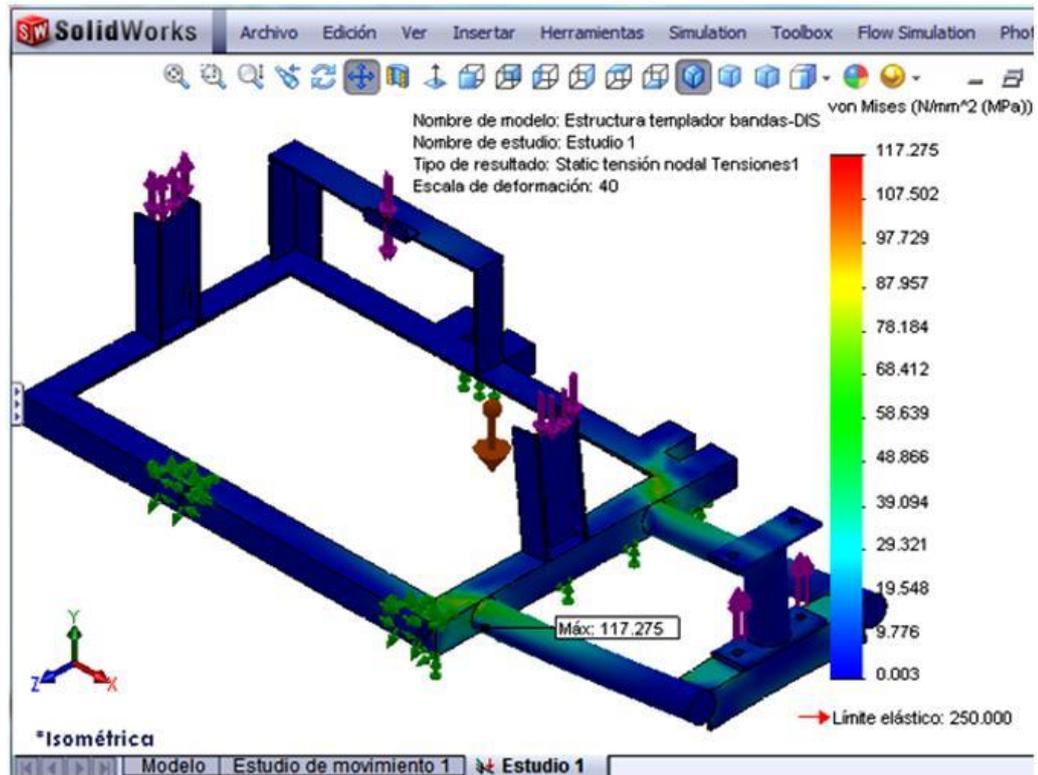
Figura 2.16 Asignación de cargas al sistema tensor de las bandas

### 2.6.4 Asignación de materiales

El sistema tensor de las bandas será construida a partir de diferentes tipos de perfiles estructurales y planchas de acero, los mismos que son de acero estructural ASTM A36, cuyas propiedades mecánicas y físicas se mostraron en la tabla II.1

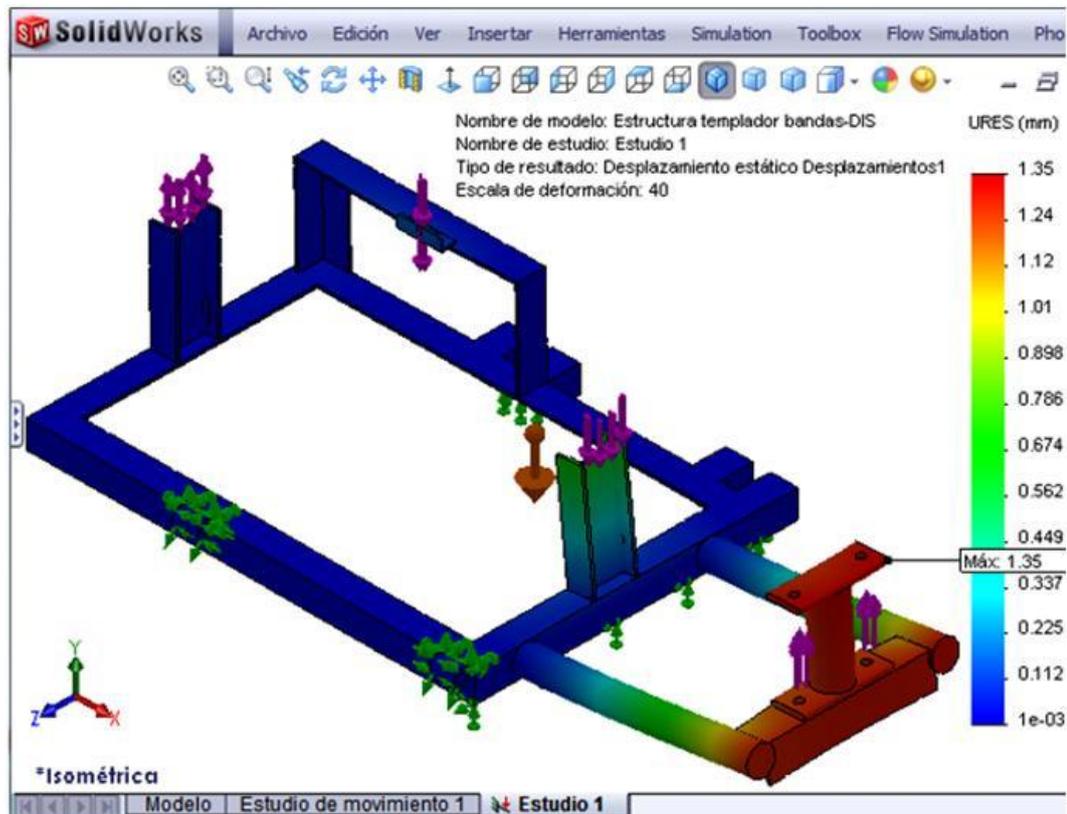
### 2.6.5 Análisis de esfuerzos y deformaciones

Una vez asignadas las cargas y restricciones que actúan sobre el sistema tensor de las bandas se ejecuta su análisis de esfuerzos, obteniéndose los siguientes resultados:



**Figura 2.17 Tensión de Von Mises en el sistema de bandas**

En la figura 2.17 se muestra la distribución del esfuerzo de Von Mises en la estructura del sistema tensor de las bandas, y al analizarla se determina que la máxima tensión ocurre en la base de los tubos que sostienen la chumacera de la polea del diferencial, sin embargo, al ser su valor máximo (117.275MPa) menor que la resistencia a la fluencia del acero ASTM A36, se concluye que la estructura del sistema tensor puede resistir esta tensión máxima sin fallar.



**Figura 2.18 Desplazamientos en el sistema tensor de las bandas**

Al analizar la figura 2.18 se observa que el desplazamiento resultante máximo en la estructura del sistema tensor se produce en el extremo lateral del perfil que soporta el tablero de control, sin embargo al ser su valor máximo igual 1.35 mm, por lo que se considera que este desplazamiento no afecta el correcto funcionamiento del sistema tensor de las bandas.

En cuanto al factor de seguridad, en la figura 2.19 se muestra su distribución y se observa que su valor mínimo ocurre en el mismo lugar donde se produce el máximo esfuerzo de Von Mises y su valor es de 2.13, por lo que se concluye que el diseño del sistema tensor de las bandas es seguro.

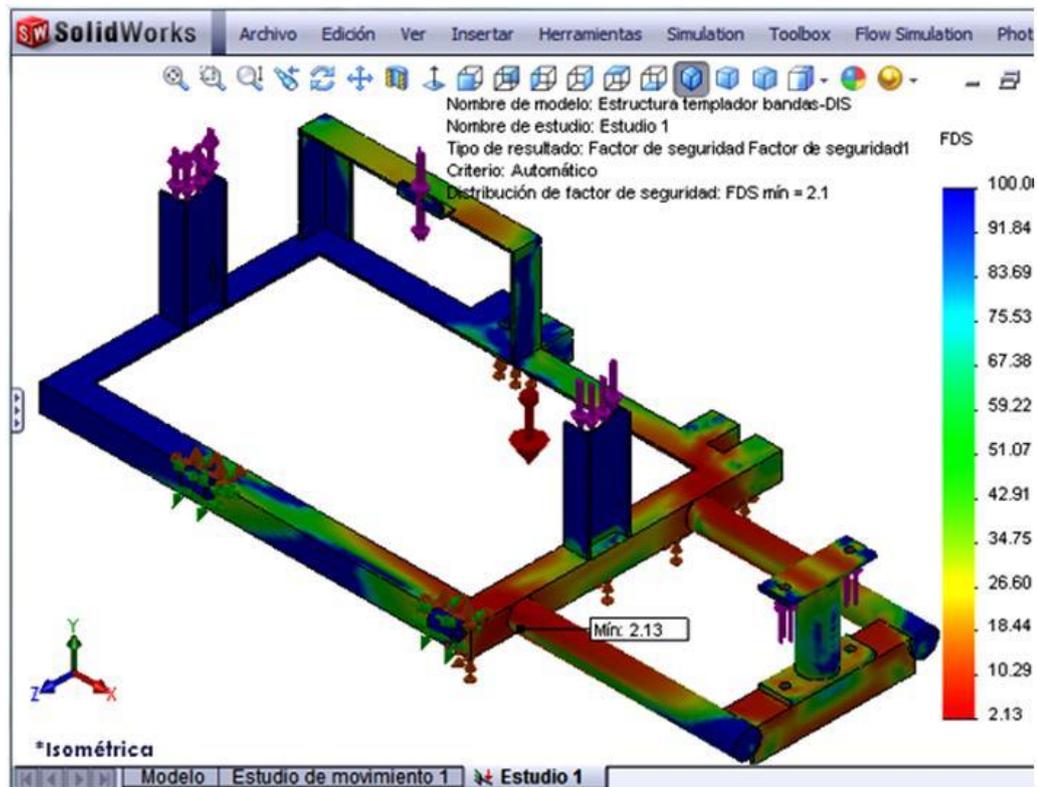


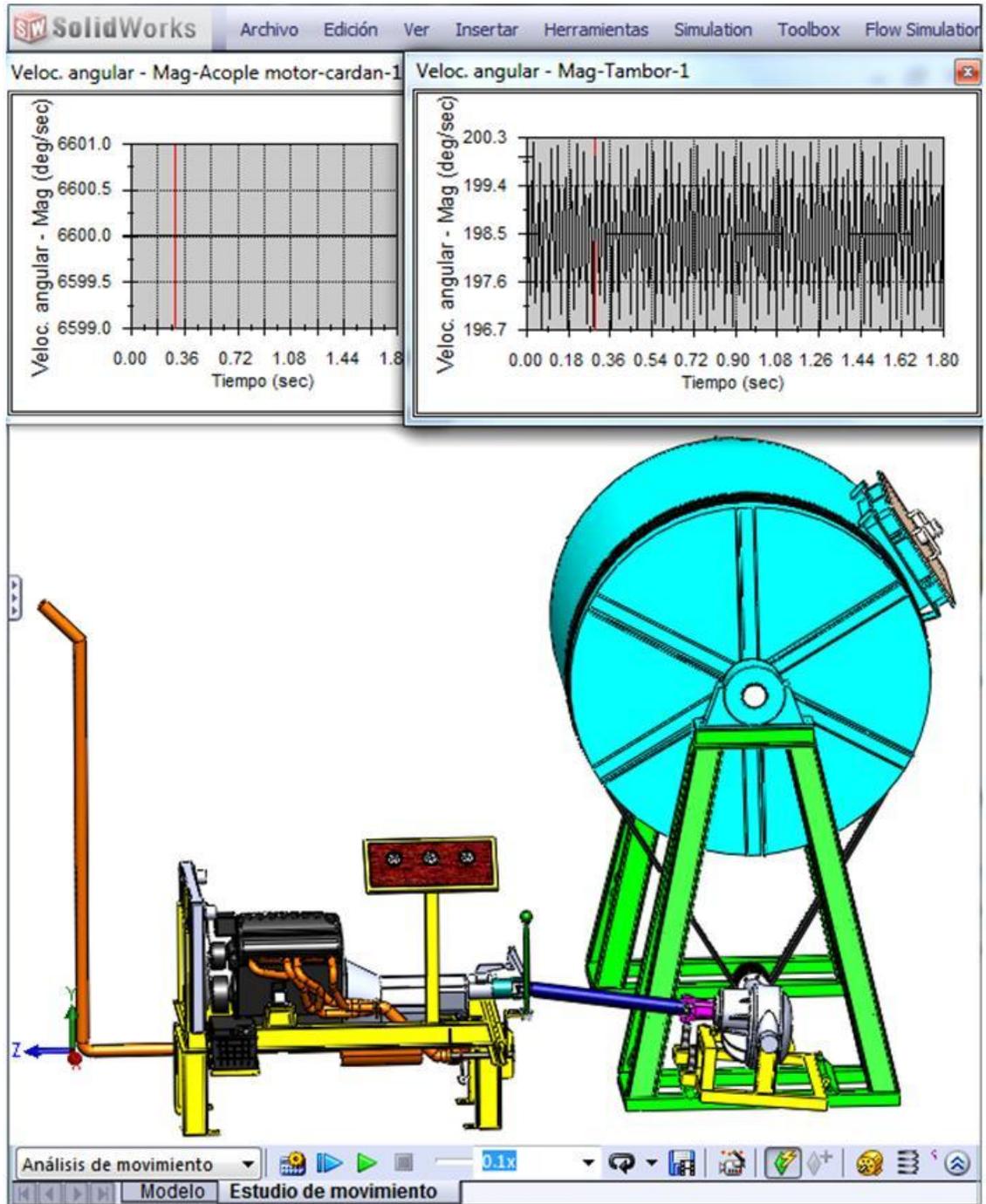
Figura 2.19 Distribución del factor de seguridad en el sistema

## 2.7 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DEL MOLINO DE BOLAS

Una vez modelado y ensamblado los diferentes componentes mecánicos del molino de bolas se ejecuta su análisis de movimiento mediante el programa SolidWorksMotion con el objeto de verificar el correcto funcionamiento cinemático y cinético del sistema generador de potencia del molino.

### 2.7.1 Análisis cinemático del movimiento

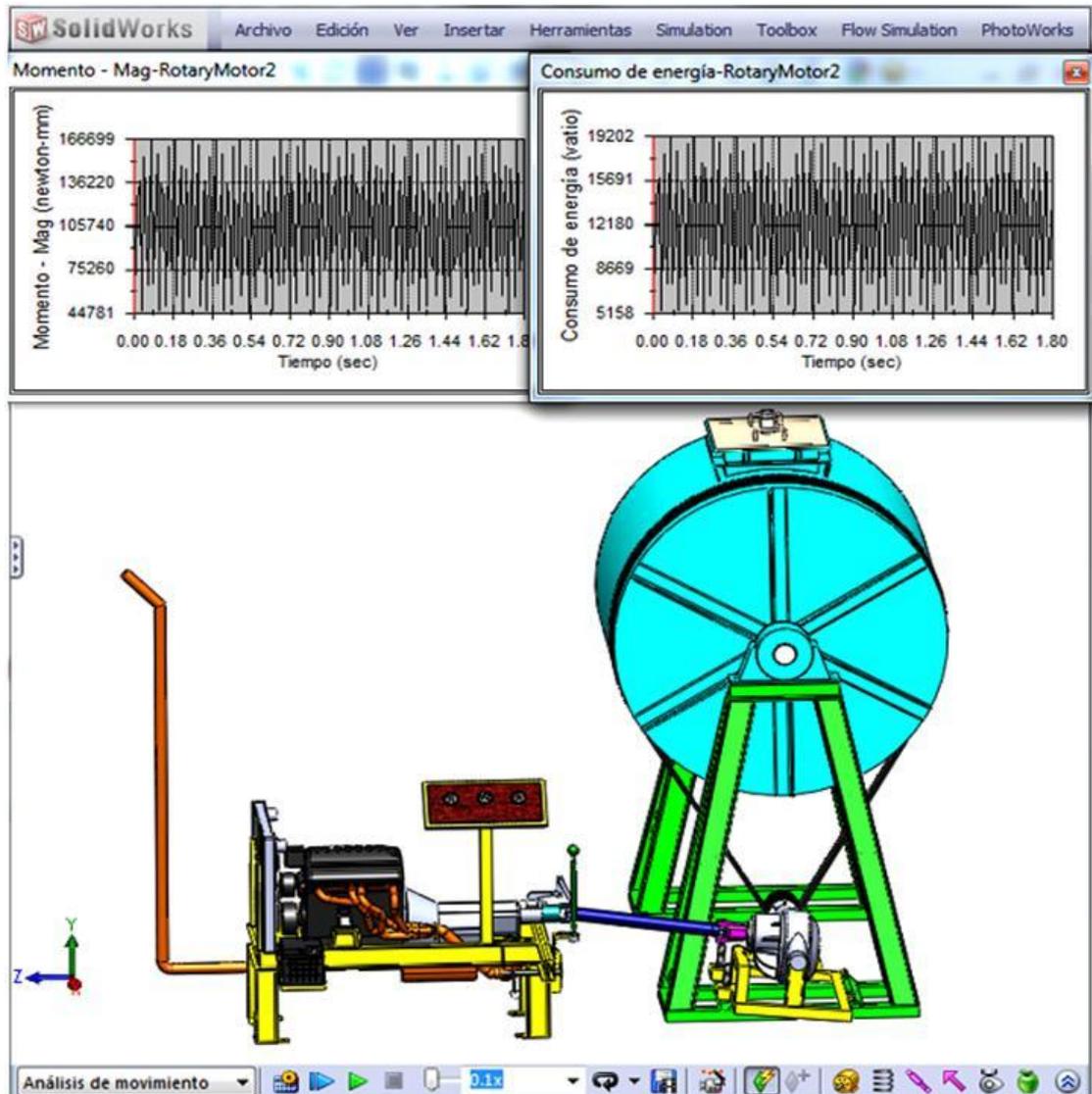
Luego de asignar como dato de entrada la velocidad de rotación del motor de combustión interna (1100 rpm. = 6600 °/s) y ejecutar el estudio de movimiento se obtiene la velocidad de rotación del molino de bolas como se muestra en la figura 2.20.



**Figura 2.20 Análisis cinemático del movimiento del molino**

En la figura 2.20 se observa que la velocidad de giro promedio del tambor del molino es de 198.5  $\text{°/s}$  (33.08 rpm) y este valor es igual a la velocidad real óptima del molino, determinada en la sección 2.1.2.

## 2.7.2 Análisis cinético del movimiento



**Figura 2.21 Análisis cinético del movimiento del molino**

De los resultados del análisis de movimiento de la figura 2.21 se determina que el torque máximo de motor y el máximo consumo de energía (potencia) son respectivamente:

$$166699 \text{ N mm} = 169.99 \text{ N m}$$

$$19202 \text{ W} = 19.20 \text{ KW}$$

Estos valores son muy aproximados a los de 162.5 N m y 18.7 KW determinados en las secciones 2.2 y 2.2.2 respectivamente. Por lo tanto, se concluye que los cálculos son correctos y que el generador de potencia para el molino de bolas cumple con los requerimientos del sistema.

## **CAPITULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN Y ENSAMBLADO**

#### **3.1 INSPECCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Mediante los cálculos realizados en el capítulo II se ha determinado que se necesita de un motor de combustión interna con las siguientes características:

- Cilindrada: 1400cc
- Potencia: 15 - 50 hp
- Tipo de combustible: gasolina
- Giro del motor: 3000 rpm

El motor de la marca Datsun 1400, figura 3.1, cumple con las características de diseño y con los cálculos requeridos, además que disminuye los costos del proyecto en vista que un motor nuevo con mencionadas características tiene un precio demasiado elevado en nuestro medio.



**Figura 3.1 Selección del motor de combustión interna**

El motor de combustión interna fue sometido a una limpieza exterior para posteriormente realizar su desarmado, determinando si las partes internas hay que reemplazar o rectificar. La figura 3.2 muestra el despiece del motor.



**Figura 3.2 Despiece del MCI**

En el proceso de desarmado del cabezote se determinó cambiar sellos, guías de válvulas, chaquetas de biela y bancada así también el rectificado del cabezote como lo muestra la figura 3.3.



**Figura 3.3 Desarmado de partes a reemplazar**

Además se realizó los siguientes reemplazos y comprobaciones:

- Reemplazo de los rines y empaques de cabezote, cárter y múltiples
- Asentamiento de válvulas de admisión y escape
- Inspección de conicidad y ovalamiento en los cilindros del motor
- Verificación de estado de las bielas y bulones de los pistones
- Reemplazo del retenedor del cigüeñal y banda de distribución
- Inspección de conicidad y ovalamiento en los muñones del cigüeñal
- Reemplazo de la tapa del distribuidor, cables de alta tensión, bujías, bomba de agua y bomba de aceite y bomba de gasolina, figura 3.4.



**Figura 3.4 Cambio de la bomba de gasolina**

- Cambio completo del kit del carburador, figura 3.5.



**Figura 3.5 Cambio del kit del carburador**

- Reemplazo del kit de reparación de motor, figura 3.6, para posteriormente realizar el armado del conjunto tres cuartos como son pistones, empaques, rines, cojinetes de biela y bancada.



**Figura 3.6 Kit de reparación de un MCI**

- Pintura de las partes externas del motor como lo muestra la figura 3.7, para luego proceder al armado.



**Figura 3.7 Pintado externo del MCI**

Para el armado del MCI, figura 3.8, se utilizó datos proporcionados por el programa Auto Data para determinar datos del torque y calibraciones.



**Figura 3.8 MCI armado completamente**

Una vez armado el motor, se cambió de disco de embrague que se muestra en la figura 3.9.



**Figura 3.9 Disco y plato de embrague**

## **3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL MCI**

Según los parámetros de diseño establecidos en el capítulo anterior, seleccionamos los materiales y componentes que van a permitir la construcción una estructura sólida y confiable que va a resistir las vibraciones y el peso del MCI durante el proceso de molienda.

### **3.2.1 Adquisición y corte de los materiales**

Para la construcción de la estructura se adquirió los siguientes materiales:

- 1 lb. de electrodos 6011
- 1 lb. de electrodos 6013
- Una viga de acero IPN 100 ASTM A36 (Anexo C.1)
- Una lámina de acero ASTM A36 de 65x6 mm. (Anexo C.2)

A continuación se describe el procedimiento utilizado:

- Cortar dos pedazos de 180 cm. y de 53 cm. del IPN 100 con la ayuda de la amoladora, figura 3.10.



**Figura 3.10 Corte del IPN**

- Cortar pedazos de 15x5 cm. de platina para los soportes o patas de la base de la IPN, figura 3.11.



**Figura 3.11 Corte de platina con amoladora**

- Realizar perforaciones con un taladro fijo, figura 3.12, para colocar los pernos de sujeción con la base del motor.



**Figura 3.12 Perforación en las platinas**

Por seguridad y para obtener un buen proceso de soldadura, las partes cortadas se deben limar y remover las limallas y rebabas que deja el disco de corte de la amoladora.

### **3.2.2 Selección de las variables del proceso de soldadura**

Para ensamblar las partes cortadas se aplicó el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW). A continuación se enumeran los aspectos que fueron prioritarios para escoger este proceso:

- Espesor del material a ser soldado
- Facilidad de obtención en nuestro medio.
- Bajo costo del proceso.
- Accesibilidad de la máquina herramienta.

La tabla III.1 describe los valores de calibración de amperaje que se debe utilizar, el cual está comprendido entre 100 a 135 amperios para un diámetro de electrodo de 1/8" y un espesor de material base de 3 a 4 mm.

**Tabla III.1. Especificaciones de intensidad en amperios**

Cuadro de diámetros del electrodo y de intensidad en función del grosor del metal a soldar		
GROSOR DEL METAL	DIÁMETRO DEL ELECTRODO	INTENSIDAD EN AMPERIOS
0,8 a 1,5 mm	1,6 mm	35 a 50 A
1 a 2 mm	2 mm	50 a 75 A
2 a 3 mm	2,5 mm	75 a 100 A
3 a 4 mm	2,5 ó 3,15 mm	100 a 135 A
4 a 10 mm	3,15 ó 4 mm	135 a 175 A

**Fuente de investigación: AWS (American Welding Society)**

La figura 3.13 muestra la máquina de soldar que fue utilizada la misma que tiene un amperaje máximo de 200 A y sirve para soldar en AC y CC



**Figura 3.13 Máquina soldadora SMAW**

La tabla III.2 muestra las especificaciones según la American Welding Society (AWS) en cuanto a fundente, materiales y escoria para los electrodos 6011 y 6013 que fueron utilizados.

**Tabla III.2 Clasificación de electrodos**

Clasf.	Corriente	Arco	Penetración	Fundente y Escoria
EXX10	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC ó DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC ó DCEN	Mediano	Mediana	Titania - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC ó DCEN ó DCEP	Suave	Ligera	Titania - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC ó DCEN ó DCEP	Suave	Ligera	Titania - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC ó DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
				Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC ó DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Povo de Hierro)
EXX20	AC ó DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC ó DCEN ó DCEP	Mediano	Mediana	Titania - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC ó DCEN ó DCEP	Suave	Ligera	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX27	AC ó DCEN ó DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC ó DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX48	AC ó DCEP	Mediano	Mediana	

DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo DCEN - Corriente Directa Electrodo Negativo  
 Nota: El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente

**Fuente de investigación: AWS (American Welding Society)**

La tabla III.3 describe la designación de los electrodos 6011 y 6013, características que son muy importantes para realizar un correcto proceso de soldadura.

**Tabla III.3 Designación de electrodos**

<b>Clasificación AWS para los metales de aporte de la especificación A5.1</b>				
Electrodo cubierto de Acero "Dulce"				
<b><u>E - X X X X</u></b>				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) Lo identifica como electrodo	(2) y (3) Dos primeros dígitos indican su fuerza tensil x 1000 PSI.		(4) Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación de este electrodo	(5) Indica la usabilidad del electrodo, Ej. : tipo de corriente y tipo de fundente, en algunos casos, tercer y cuarto dígito son muy significativos

**Fuente de investigación: AWS (American Welding Society)**

Ejemplo:

**E 6011**

**E** = Electrodo revestido

**60** = 60 X 1000 PSI = 60.000 PSI de resistencia a la tracción

**1** = Para soldar en cualquier posición (plana, horizontal, vertical y sobre cabeza)

**1** = Funciona con corriente DC y AC en polaridad inversa

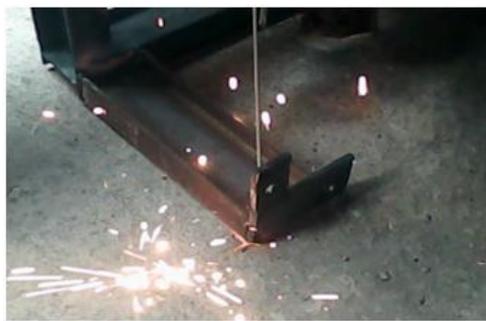
### **3.2.3 Aplicación del proceso de soldadura**

Una vez que verificamos las dimensiones del IPN, se realizó un pre-ensamble utilizando la máquina de soldar SMAW con electrodo 6011, escuadras, posteriormente utilizamos el electrodo 6013 para el acabado final. Figura 3.14.



**Figura 3.14 Unión de IPN con SMAW**

Aplicamos proceso de soldadura SMAW en las platinas, figura 3.15 con electrodo 6013 regulando el amperaje en función de la posición y espesor del material.



**Figura 3.15 Suelda de base metálica**

Finalmente pintamos la estructura de IPN de color negro anticorrosivo figura 3.16.



**Figura 3.16 Base pintada del IPN**

### **3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE EMPOTRADA EN EL PISO**

La base empotrada tiene la función de sujetar firmemente la estructura del IPN que a su vez va a sostener el motor de combustión interna, caja y árbol de transmisión, quienes al entrar en funcionamiento generarán vibraciones muy fuertes.

#### **3.3.1 Adquisición y corte de los materiales**

Para la construcción de esta base se adquirió los siguientes materiales:

- 8 Pernos  $\frac{3}{4}$ " x  $2\frac{1}{2}$ "
- 1 lb. de electrodos 6011
- 1 lb. de electrodos 6013
- 1 Platina de 65x6 mm. de acero ASTM A36
- 1 Ángulo de 100x100 mm. NORMA INEN 1 623: 2000
- 1 Varilla de 1" de acero ASTM A 36

El anexo C.3 muestra las especificaciones técnicas para el ángulo y el anexo C.4 describe las especificaciones de varilla empleados en la construcción de la base empotrada.

A continuación se describe el procedimiento utilizado:

- Con el rayador y flexómetro medimos y señalamos dos pedazos de ángulo de 60 cm. y 116 cm. para después cortar con la ayuda de la amoladora.
- Señalar y cortar cuatro pedazos de varilla de 100 cm.
- Las puntas de las varillas se las doblan en forma de "U", de tal manera que la longitud recta de las varillas quede de 80 cm. como muestra la figura 3.17
- Cortar ocho pedazos de varilla de 10 cm. de longitud.



**Figura 3.17 Materiales medidos y cortados**

### **3.3.2 Aplicación del proceso de soldadura**

Una vez que los ángulos y las varillas se han verificado en sus dimensiones, quedan listos para su unión, utilizamos la soldadora SMAW con electrodo 6011 y un valor de intensidad de 80 amperios. Con la ayuda de una escuadra centrar los ángulos a ser unidos, figura 3.18.



**Figura 3.18 Unión de los ángulos por suelda SMAW**

Los pedazos de varillas de 10 cm. van soldadas distributivamente en las varillas de 80 cm. y ésta a su vez en cada esquina de forma vertical como muestra la figura 3.19.



**Figura 3.19 Unión de varillas con la base y el ángulo.**

Los pernos serán colocados y fijados debidamente en la base para obtener la estructura completa como muestra la figura 3.20.



**Figura 3.20 Base para empotrar completa**

### **3.4 MONTAJE Y ADAPTACIÓN DE SISTEMAS EN EL IPN**

Con los elementos ya construidos el siguiente paso consiste en montar el MCI a la estructura de IPN, así como la adaptación de sus diferentes sistemas como embrague, palanca de cambios, acelerador, sistema de escape entre otros.

### 3.4.1 Montaje del M.C.I. en la estructura metálica

Se debe tomar las medidas en función de la posición y distribución de los diferentes elementos que hacen conjunto con el motor, para posteriormente construir sus bases. Utilizamos el flexómetro, escuadra, planos, nivel y tecla mostrados en la figura 3.21.



**Figura 3.21 Medición de las bases del Motor**

Verificar las medidas y espacios distribuidos para soldar el conjunto de platinas y armar las bases que irán fijas en la estructura de IPN, figura 3.22.



**Figura 3.22 Armado y soldado de las bases**

Una vez instaladas las bases, figura 3.23, eliminamos todas las asperezas o escorias existentes, posteriormente pintamos con pintura negro anticorrosivo.



**Figura 3.23 Base del motor y caja.**

Acoplar el motor, figura 3.24, y sujetar firmemente con los pernos.



**Figura 3.24 Motor montado en la base**

### **3.4.2 Adaptación del sistema de embrague**

En el sistema de embrague no se tuvo dificultades en vista que se contaba con el espacio necesario para la implementación, sin embargo para el sistema de accionamiento hidráulico se adquirió los siguientes materiales:

- Un tubo de 1" de acero estructural ASTM A 5003
- Una platina 65x6 mm. de acero ASTM A36
- Cilindro hidráulico principal con propulsor de varilla
- Cañerías, neoplos, líquido de embrague

Para construir una base para el cilindro principal como lo muestra la figura 3.25, primero cortamos los pedazos de tubo y platina según las dimensiones del plano del diseño.



**Figura 3.25 Corte y acoplamiento del cilindro principal**

Soldamos el conjunto fijo en la estructura de IPN, figura 3.26.



**Figura 3.26 Fijación del cilindro principal**

De la misma manera construimos las bases del pedal de accionamiento como lo muestra la figura 3.27.



**Figura 3.27 Construcción de las bases del pedal**

Colocamos el cilindro secundario en la coraza de la caja de cambios, figura 3.28.



**Figura 3.28 Cilindro secundario**

Usando teflón acoplamos las cañerías y completamos el líquido en el sistema, figura 3.29, posteriormente realizamos el purgado del sistema observando que no haya fugas de las cañerías y neplos.



**Figura 3.29 Purgado del sistema de embrague**

### **3.4.3 Adaptación de la palanca de cambios**

Para esta etapa debemos proveernos de los elementos, materiales y partes integrantes de un sistema de varillaje de una palanca de cambios, para de esta manera tomar medidas y distribuir espacios.

Cortamos pedazos de la platina de acero ASTM A36, figura 3.30, y tubo redondo ASTM A513 de 60cm de longitud. Las especificaciones técnicas del tubo se muestran en el anexo C.5.



**Figura 3.30 Corte de platina ASTM A36 de 10x10cm**

En los extremos del tubo soldar un pedazo de platina de 8x8cm, con su respectivo orificio, esta nos servirá para la unión por sujeción de pernos, después de realizar los cortes siempre limar las rebabas que deja la amoladora, figura 3.3.1



**Figura 3.31 Limpieza de rebabas después del corte**

Una vez concluido el elemento, unir con pernos la salida de la brida de la caja con el tubo adaptado, figura 3.32.



**Figura 3.32 Adaptación de la brida de la caja**

De la misma manera se realiza un trabajo similar al otro extremo del tubo, para obtener en mecanismo como lo indica la figura 3.33.



**Figura 3.33 Palanca de cambios**

#### **3.4.4 Adaptación del sistema de aceleración**

Debido a la conversión del motor móvil a motor estacionario, el sistema de aceleración se debe modificar a mando manual; esto mejora la maniobrabilidad y ayuda al operario a tener confort y visualización del molino, uno de los pernos que sujeta al múltiple de admisión mostrado en la figura 3.34. nos sirve como punto fijo para sujetar una platina de 20x20 cm doblado en forma de “L” que servirá como base del acelerador.



**Figura 3.34 Base para la palanca de aceleración**

El acelerador debe ir a nivel del carburador, aprovechando el varillaje que sale del mismo mostrado en la figura 3.35. Un regulador realizará la graduación de aceleración, éste va unido mediante soldadura a una platina de 15 cm.



**Figura 3.35 Regulación de la aceleración**

#### **3.4.5 Construcción de la base para la batería**

Una base rectangular de 70x30 cm. de ángulo NORMA INEN 1 623: 2000, al igual que lo hemos venido realizando en los procedimientos anteriores se mide, corta e instala en con proceso de soldadura en la estructura en el IPN representada en la figura 3.36, a esto se añade dos platinas de 30 cm a los laterales que actúan como refuerzos.



**Figura 3. 36 Soldadura de la base para la batería**

### **3.4.6 Modificación del sistema de refrigeración del M.C.I.**

Parte esencial del mantenimiento y larga vida útil del motor consiste en mantener el buen funcionamiento del sistema de refrigeración, el cual en este caso tiene que operar en condiciones de escasa ventilación y elevadas temperaturas. Al usar el radiador original de motor Datsun 1400cc se tuvo problemas de recalentamiento, debido a que el mismo tiene apenas 3 panales y es de dimensiones 50 cm. x 52 cm. en sentido vertical, figura 3.37.



**Figura 3.37 Radiador original**

Por esta razón se utilizó un radiador de Ford 350 con 4 panales y dimensiones de 55 x 85 cm. y con circulación de refrigerante tipo horizontal, condiciones por las cuales nos obligaron a cambiar las tomas de agua del radiador, figura 3.38.



**Figura 3.38 Cambio de toma de agua del radiador**

La figura 3.39, muestra el nuevo radiador cuyas características permitieron un mejor desempeño del MCI.



**Figura 3.39 Radiador adaptado**

Además de aumentar el tamaño del radiador es importante que el ventilador gire a mayor velocidad, por lo tanto al reducir el diámetro de la polea de la bomba de agua obtendremos mayor número de vueltas a bajas y altas revoluciones como lo muestra la figura 3.40.



**Figura 3.40 Polea reducida**

Finalmente se seleccionó un ventilador de mayor diámetro y de 8 aspas como lo muestra la figura 3.41, el cual aumentará la eficiencia de flujo del aire brindando al motor de combustión interna un mejor desempeño.



**Figura 3.41 Ventilador con mayor diámetro**

### **3.4.7 Construcción del múltiple de gases de escape**

Siguiendo las dimensiones establecidas en el diseño y con la ayuda del flexómetro y rayador tomamos las medidas y disposición de espacios para construir el múltiple de escape. Los pasos son los siguientes:

- Cortar pedazos de 60 cm. de tubo ASTM A 513 de 2½", para la salida del múltiple de escape hasta el final de la estructura.
- Para las uniones en esquina de las estructura construir codos de 90° como lo muestra en figura 3.42.



**Figura 3.42 Construcción del múltiple de escape**

Para reducir emisiones de gases contaminados, tales como el CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PPM se ha provisto de un catalizador, éste dispositivo se lo instala a la salida de los gases de escape y es indispensable para su óptimo rendimiento que se encuentre en temperaturas de 110 y 350 °C. Los catalizadores trabajan en una sola dirección por eso debemos tomar muy en cuenta las señales, en este caso viene grabado una flecha, que indica la salida y entrada, figura 3.43.



**Figura 3.43 Sentido de montaje del Catalizador**

A continuación cortar un pedazo de 40 cm. de tubo ASTM A513 de 2½” para acoplar un codo de 90°, posteriormente fijar con puntos de suelda el silenciador el cual es indispensable para reducir ruidos, figura 3. 44.



**Figura 3.44 Pre ensamble del silenciador**

Ensamblamos todas las juntas con cordones de suelda continua SMAW para obtener el sistema de escape mostrado en la figura 3.45.



**Figura 3.45 Sistema de escape**

Posteriormente realizar mediciones desde la salida del silenciador hasta los exteriores de la estructura donde se ventilarán los gases de escape, figura 3.46.



**Figura 3.46 Mediciones para evacuar gases de escape**

El tubo de escape debe tener una salida a la parte superior para que los gases suban a la atmósfera evitando así asfixias en los operarios, figura. 4.47.



**Figura 3.47 Instalación del conducto de evacuación de gases**

Instalamos abrazaderas en todo el sistema de escape para evitar ruidos o vibraciones provenientes del motor, figura 3.48.



**Figura 3.48 Instalación de abrazaderas de sujeción**

### **3.4.8 Implementación del tablero de control**

El tablero tiene que ser ubicado de acuerdo a las condiciones del operador, con la finalidad de mantener una correcta visibilidad de los relojes de comprobación, molino y de los demás componentes. A continuación se describe el procedimiento empleado:

- Cortar dos pedazos de 25cm. y 52 cm. de tubo cuadrado ASTM A513 de  $\frac{3}{4}$ "; formar un cuadro y soldar, después en el interior colocar un pedazo de madera como indica la figura 3.49.



**Figura 3.49 Estructura del tablero terminado**

- Construir un pedestal de tubo cuadrado de 2", que sostenga al tablero y unirlo a su vez con 4 pernos de 1/3" a la IPN, figura 3.50.



**Figura 3.50 Pedestal del tablero**

A continuación se instalan los indicadores de medición al tablero, tales como:

- Tacómetro.- A través del cual se podrá visualizar las rpm. requeridas en el MCI para girar el tambor del molino entre 33 a 43 rpm. Figura 3.51.



**Figura 3.51 Tacómetro**

- Medidor de temperatura.- El cual nos indicará la temperatura del sistema de refrigeración del MCI. Figura 3.52



**Figura 3.52 Reloj de temperatura**

- Luz indicadora de carga de batería.- Advierte un mal funcionamiento del sistema de carga. Figura 3.53.



**Figura 3.53 Luz de carga de la batería**

- Luz de advertencia de presión de aceite.- Indica el mal funcionamiento del sistema de lubricación del MCI. Figura 3.54.



**Figura 3.54 Luz de presión de aceite**

- Switch.- Permite encender o apagar el MCI. Figura 3.55



**Figura 3.55 Interruptor de encendido**

- Fuente de energía.- Permite energizar accesorios adicionales como una lámpara de pruebas. Figura 3.56.



**Figura 3.56 Fuente de energía CA.**

La figura 3.57 muestra el tablero instalado con todos los indicadores.



**Figura 3.57 Tablero de Control**

### **3.5 INSTALACIÓN DE BASES DEL MOLINO Y DEL M.C.I.**

Una vez que están construidas todas las bases del equipo, se procede a fundir las mismas con hormigón en el piso, durante el proceso hay que verificar que estén centradas, alineadas y niveladas para que el acoplamiento sea perfecto. En el caso del tambor del molino es importante controlar el centrado porque si el mismo tiende a cargar a solo lado, va a producir un serio desgaste en las chumaceras y de esta manera el tambor se descarrile y caiga. El área designada para este proyecto es de 7 x 3 m. mostrados en la figura 3.58.



**Figura 3.58 Terreno de la fábrica Novel S.A**

Nivelamos el terreno y colocamos piedras de apoyo, a continuación excavamos dos rectángulos de 135 x 52 cm. y de 80 cm. de profundidad, con una separación entre sí de 152 cm, dejando 2 metros de separación desde el filo de la plataforma asignada, figura 3.59.



**Figura 3.59 Plantilla de hormigón para las bases**

Para mejor dureza de la plancha de hormigón y para evitar trizaduras se procede a colocar mallas tendidas de varilla de  $\frac{1}{2}$ ", según se observa en la figura 3.60.



**Figura 3.60 Mallas de varilla tendida**

Después de colocar el hormigón armado, acoplamos las bases metálicas manteniendo el respectivo alineamiento y centrado como se muestra en la figura 3.61.



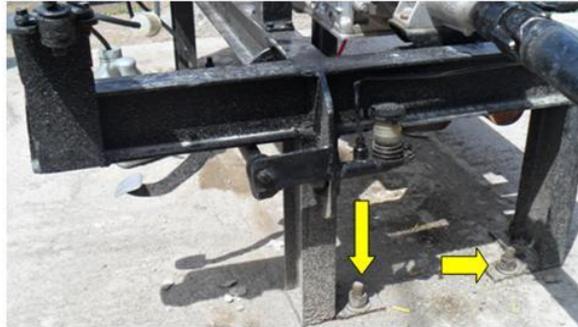
**Figura 3.61 Colocación de las bases metálicas**

Una vez fundida la base de la estructura de IPN mostrado en la figura 3.62, verificamos los niveles correspondientes y de la misma manera repetir el paso para fundir la base del motor.



**Figura 3.62 Base del molino empotrada en el piso**

Cuando ya se han endurecido las bases en el piso, acoplamos la estructura de de IPN, uniéndolo con pernos y arandelas de alta presión como se muestra en la figura 3. 63.



**Figura 3.63 Estructura IPN acoplado a la base empotrada**

### **3.6 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA TENSOR**

Basándonos en el diseño preliminar y una vez que se ha realizado la simulación del sistema comprobando su funcionamiento se procede a construir la estructura del sistema de tensor de las bandas, a continuación se describe el procedimiento utilizado:

- Cortar y soldar las partes de un rectángulo de 81x52 cm. de ángulo 50x50 NORMA INEN 1623: 2000
- En el rectángulo anterior, soldar un pedazo de IPN de 45 cm. en el lado mas corto y en la parte central para realizar un soporte que va a sostener al diferencial, figura 3.64.



**Figura 3.64 Sistema tensor**

- Para el otro lado de la estructura cortar dos pedazos de tubo de 2 ½" de 47cm, cerrando el cuadro con un pedazo de ángulo de 26 cm. de las mismas características anteriores, figura 3.65. Posteriormente soldar un pedazo de tubo de 15 cm. en forma vertical y céntrica con relación al ángulo deseado.



**Figura 3.65 Diferencial montado en el templador**

### **3.7 MONTAJE Y ACOPLAMIENTO DEL DIFERENCIAL**

Considerando que en la viabilidad del proyecto estuvo considerado el uso de recursos propios de la fábrica, se utilizó un diferencial de FORD 350 de propiedad de la misma, al cual se le realizó una serie de pruebas con la finalidad de determinar su correcto funcionamiento. La figura 3.66 muestra el diferencial utilizado.



**Figura 3.66 Diferencial utilizado**

A continuación se describen las operaciones a las que fue sometido el diferencial:

- Cambio de aceite, calibración, asentamiento, comprobación y limpieza de sus engranajes, figura 3. 67.



**Figura 3.67 Limpieza y comprobación del diferencial**

- Corte y suspensión de uno de los ejes para el montaje y acoplamiento en la base empotrada en el piso. Figura 3.68.



**Figura 3.68 Corte de diferencial**

- Acoplamiento de una polea de 6 ranuras para bandas en “V” como lo muestra la figura 3.69.



**Figura 3.69 Polea de 6 ranuras**

### **3.8 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL EJE DE IMPULSIÓN**

Después de realizar el diseño para el sistema de impulsión se determinó que el mejor sistema es el de tipo impulsión directo por cardán, en vista que la entrega de torque es directa y no presenta pérdidas.

Para transmitir el giro del MCI con el diferencial lo que se hace es adaptar un árbol de transmisión con las mismas crucetas y bridas como el mostrado en la figura 3.70.



**Figura 3.70 Adaptación de la brida de salida de la caja**

En el otro extremo se trabaja de manera similar, haciendo coincidir la entrada del diferencial, con una cruceta, figura 3.71.



**Figura 3.71 Adaptación de la cruceta**

Al final se obtiene una distancia entre ejes de 67cm. La figura 3.72 muestra el eje impulsor acoplado.



**Figura 3.72 Ajustar el árbol de transmisión**

Después de realizar una inspección y calibraciones finales procedemos a pintar toda la estructura, además que realizamos un ajuste de las bandas, La figura 3.73 muestra el conjunto armado el cual se encuentra ensamblado y listo para las respectivas pruebas de funcionamiento y puesta a punto.



**Figura 3.73 Proyecto completado**

### **3.9 CUADROS DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS NOVEL N°3 S.A.**

## CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS

DIAGRAMA DE PROCESOS

MÉTODO ACTUAL     MÉTODO PROPUESTO    FECHA: 01-08-2010    PÁGINA 1 DE 4

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:  
ESTRUCTURA PARA EL MCI

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:  
COSTRUCCIÓN

RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS		
	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	POR QUE CUANDO	DIA-GRAMA DE FLUJO	
<input type="radio"/> OPERACIONES	8								
<input checked="" type="checkbox"/> TRANSPORTE	2						QUÉ DONDE	QUIEN COMO	
<input type="checkbox"/> INSPECCIONES	9								
<input type="checkbox"/> RETRASOS									
<input checked="" type="checkbox"/> ALMACENAM.	2						ESTUDIADO POR:		
DIST. RECORRID.		FT		FT		FT	MILTON GUANOLUISA BYRON SANTAMARIA		
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN TRANSPORTE INSPECCIÓN RETRASO ALMACENAMIENTO			DIST. EN. KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UN I	CÁLCULO DE TIEMPO/COST O
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	CARRO DE MANO	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	1		
2	MEDICIÓN PLATINA, IPN, ANGULO	METRO Y CALIBRADOR	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
3	CORTE	AMOLADORA	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		20		
4	DESBASTE		<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
5	DOBLADO		<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
6	PERFORADO	TALADRO	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		8		
7	MEDICIONES		<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		20		
8	SOLDADO	SMAW	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		40		
9	PULIDO		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		20		
10	FONDO		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		1		
11	PINTADA	SOPLATE	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		1		
12	PEGADO DE ADHESIVOS		<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
13	ALMACENAMIENTO	TALLER	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		1		

## CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS

DIAGRAMA DE PROCESOS

MÉTODO ACTUAL  MÉTODO PROPUESTO FECHA: 01-08-2010 PÁGINA 2 DE 4

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:  
BASE EMPOTRADA EN EL PISO

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:  
COSTRUCCIÓN

RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS		DIA-GRAMA DE FLUJO
	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	POR QUE	CUANDO	
○ OPERACIONES	6								
⇒ TRANSPORTE	3						QUÉ DONDE	QUIEN COMO	
□ INSPECCIONES	6								
◇ RETRASOS									
▽ ALMACENAM.	5						ESTUDIADO POR:		
DIST. RECORRID.		FT		FT		FT	MILTON GUANOLUISA BYRON SANTAMARIA		

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN TRANSPORTE INSPECCIÓN RETRASO ALMACENAMIENTO	DIST. EN. KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULO DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	CARRO DE MANO	● ⇒ □ D ▽		4		
2	MEDICIÓN ANGULO, VARILLAS	FLEXOMETRO	● ⇒ □ D ▽				
3	CORTE	AMOLADORA, CIERRA	● ⇒ □ D ▽		4		
4	DESBASTE		○ ⇒ □ D ▽				
5	DOBLADO		○ ⇒ □ D ▽				
6	PERFORADO		○ ⇒ □ D ▽		4		
7	MEDICIONES		● ⇒ □ D ▽		4		
8	SOLDADO	SMAW	● ⇒ □ D ▽				
9	PULIDO		○ ⇒ □ D ▽				
10	FONDO		○ ⇒ □ D ▽				
11	PINTADA		○ ⇒ □ D ▽				
12	PEGADO DE ADHESIVOS		○ ⇒ □ D ▽				
13	ALMACENAMIENTO	TALLER	● ⇒ □ D ▽		1		

## CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS

DIAGRAMA DE PROCESOS

MÉTODO ACTUAL     MÉTODO PROPUESTO    FECHA: 01-08-2010    PÁGINA 3 DE 4

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:  
MÚLTIPLE DE GASES DE ESCAPE

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:  
COSTRUCCIÓN

RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS		DIA-GRAMA DE FLUJO
	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	POR QUE	CUANDO	
○ OPERACIONES	7								
⇒ TRANSPORTE	2						QUÉ DONDE	QUIEN COMO	
□ INSPECCIONES	7								
⊖ RETRASOS									
▽ ALMACENAM.	5						ESTUDIADO POR:		
DIST. RECORRID.		FT		FT		FT	MILTON GUANOLUISA BYRON SANTAMARIA		

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN TRANSPORTE INSPECCION RETRASO ALMACENAMIENTO	DIST. EN. KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULO DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	CARRO DE MANO	● ⇒ □ ⊖ ▽		1		
2	MEDICIÓN, TUBO REDONDO	FLEXOMETRO, ESCUADRA	● ⇒ □ ⊖ ▽		8		
3	CORTE	CIERRA, AMOLADORA	● ⇒ □ ⊖ ▽		2		
4	DESBASTE		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
5	DOBLADO		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
6	PERFORADO		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
7	MEDICIONES	FLEXOMETRO	● ⇒ □ ⊖ ▽		4		
8	SOLDADO	SMAW	● ⇒ □ ⊖ ▽		4		
9	PULIDO		○ ⇒ □ ⊖ ▽		1		
10	FONDO		○ ⇒ □ ⊖ ▽		1		
11	PINTADA		○ ⇒ □ ⊖ ▽		1		
12	PEGADO DE ADHESIVOS		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
13	ALMACENAMIENTO	TALLER	● ⇒ □ ⊖ ▽		1		

## CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS

DIAGRAMA DE PROCESOS

MÉTODO ACTUAL     MÉTODO PROPUESTO    FECHA: 01-08-2010    PÁGINA 4 DE 4

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:  
TENSOR DE BANDAS DEL MOLINO

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:  
COSTRUCCIÓN

RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS		DIA-GRAMA DE FLUJO
	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	NUM.	TIEMPO	POR QUE	CUANDO	
○ OPERACIONES	10								
⇒ TRANSPORTE	3						QUÉ DONDE	QUIEN COMO	
□ INSPECCIONES	8								
⊖ RETRASOS									
▽ ALMACENAM.	2						ESTUDIADO POR:		
DIST. RECORRID.		FT		FT		FT	MILTON GUANOLUISA BYRON SANTAMARIA		

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN TRANSPORTE INSPECCION RETRASO ALMACENAMIENTO	DIST. EN. KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULO DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	CARRO DE MANO	● ⇒ □ ⊖ ▽		3		
2	MEDICIÓN ANGULO, TUBO REDONDO	FLEXOMETRO, ESCUADRA	● ⇒ □ ⊖ ▽				
3	CORTE	AMOLADORA, CIERRA	● ⇒ □ ⊖ ▽		6		
4	DESBASTE		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
5	DOBLADO		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
6	PERFORADO	TALADRO	● ⇒ □ ⊖ ▽		4		
7	MEDICIONES		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
8	SOLDADO	SMAW	● ⇒ □ ⊖ ▽		8		
9	PULIDO		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
10	FONDO		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
11	PINTADA	SOPLETE	● ⇒ □ ⊖ ▽		2		
12	PEGADO DE ADHESIVOS		○ ⇒ □ ⊖ ▽				
13	ALMACENAMIENTO	TALLER	● ⇒ □ ⊖ ▽		1		

## **CAPITULO IV**

### **PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **4.1 VERIFICACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Realizar la puesta a punto y pruebas del equipo es un proceso de gran importancia, el cual va a mejorar las condiciones de funcionamiento del mismo, tratando de obtener la máxima potencia y rendimiento entregados por el motor de combustión interna, además de brindar confiabilidad y un correcto encendido bajo diferentes condiciones climáticas y de trabajo. A continuación se indican otras ventajas:

- Prolongar la vida útil del motor de combustión interna y del tren de propulsión
- Mejorar la seguridad del equipo, su desempeño y condiciones en el trabajo.
- Determinar el número de óptimo rpm. para un eficiente proceso de molienda.
- Obtener ahorro de combustible y reducción de gases contaminantes.

A continuación se enumeran las especificaciones técnicas de proyecto ejecutado:

LARGO (l): 3400 mm.

MOTOR: DATSUN

ANCHO (a): 3400 mm.

CILINDRADA: 1400 cc.

ALTO motor (hm): 1000 mm.

POTENCIA: 60HP.

Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran el molino de bolas con sus medidas.



**Figura 4.1 Dimensiones del molino en vista frontal**



**Figura 4.2 Dimensiones del molino en vista lateral**

## 4.2 CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS

Para realizar la calibración de válvulas tanto de admisión (A) y escape (E), lo recomendable es hacerlo con el motor apagado, pero si ya se ha encendido el motor se puede hacerlo en caliente con la tapa del radiador destapada. Un ciclo dura  $720^{\circ}$  o dos vueltas del cigüeñal, dependiendo del número de cilindros serán el número de explosiones, para este motor que es de 4 cilindros  $720/4= 180^{\circ}$  es decir que cada  $180^{\circ}$  existe una explosión.

Si calibramos por el orden de encendido, para éste caso es 1-3-4-2, una vez desmontado la tapa balancines, dejar el primer cilindro en el PMS o al final de la carrera de compresión, inicio de la explosión y calibrar las dos válvulas (VA-VE), con la galga 0,010 pulgadas, como lo muestra la figura 4.3, luego girar  $180^{\circ}$  el cigüeñal en dirección de las manecillas del reloj y calibrar las válvulas del tercer cilindro y así sucesivamente.



**Figura 4.3 Galga o laminilla de calibración**

Por el método de solape-traslape, dejar el primer pistón en el PMS inicio de trabajo, el cuarto quedaría en cruce, con la ayuda de la tabla IV.1 calibramos las válvulas de admisión y escape.

**Tabla IV.1 Datos para calibrar válvulas**

180 <sup>0</sup>	360 <sup>0</sup>	540 <sup>0</sup>	720 <sup>0</sup>	
EXP	ESC	ADM	COM	1
ESC	ADM	COM	EXP	2
ADM	COM	EXP	ESC	3
COM	EXP	ESC	ADM	4

Del cilindro 1 calibrar la VA y VE, del cilindro 2 calibrar la VA y del 3 VE, girar 360<sup>0</sup> del cigüeñal, entonces el primer cilindro queda en cruce; calibrar VA y VE del cuarto cilindro, el 3 inicia compresión calibrar VA, el segundo inicia admisión y calibrar VE. Siempre se calibran las válvulas que se están moviendo, introduciendo la lámina calibrada y actuando sobre el tornillo y la contratuerca, y finalmente tapar el tren de balancines.

### **4.3 CALIBRACIÓN DEL RUPTOR**

El sistema de encendido que dispone este motor es del tipo convencional por ruptor, con un condensador que permite el corte instantáneo de corriente y a la vez absorbe la corriente que se induce cuando se abren los contactos del ruptor haciendo caer la corriente en el primario repentinamente hasta cero provocando el corte instantáneo deseado.

Lo primero que hacemos es realizar una limpieza y lubricación de todo el distribuidor, luego colocamos un ruptor y condensador nuevos, para posteriormente aflojar con el desarmador el tornillo de sujeción hasta que el calibrador de láminas de número 0.018 pulgadas ingrese entre los contactos como lo muestra la figura 4.4, finalmente cuando se obtiene la apertura ideal se aprieta el tornillo de sujeción.



**Figura 4.4 Calibración del ruptor**

#### **4.4 CALIBRACION DE BUJÍAS**

Los niveles de emisiones contaminantes dependen del potencial eléctrico que llega a las bujías y del tiempo de encendido, siendo necesarias la calibración y limpieza de las bujías, para esto utilizamos el calibrador de láminas; la laminilla 0.032 de pulgada, se lo introduce entre los electrodos como lo muestra la figura 4.5. Golpeando los electrodos se da las aperturas deseadas, luego se las coloca en su posición de funcionamiento.



**Figura 4.5 Calibración de bujías**

## 4.5 PRUEBAS DE LA BATERIA

### 4.5.1 Nivel del electrolito

Utilizando guantes de caucho remover las 6 tapas de la batería teniendo cuidado de evitar el contacto del ácido a la piel o a los ojos, mirar en los vasos de la batería para controlar el nivel del electrolito, figura 4.6. El líquido debe estar a 1cm por encima de las placas, esto significa que esta bien, como en este caso.



**Figura 4.6 Inspección del electrolito.**

### 4.5.2 Densidad de la batería

Comprobar la densidad del electrolito utilizando el hidrómetro o densímetro, el cual es diseñado para probar la batería, recoger el electrolito en el instrumento y mirar el flotador interno, una escala indica el estado relativo de carga de la batería se lo mide de acuerdo al flotador, en este caso es 1290 gr/cc que indica un alto estado de carga de la batería, figura 4.7. Las medidas deben ser las mismas en cada celda.



**Figura 4.7 Comprobación con el densímetro**

A continuación, el estado de carga de una batería, según el valor de la densidad del electrolito:

- 100% Cargada de 1250 a 1290 gr/cc
- 75% Cargada de 1230 a 1240 gr/cc
- 50% Cargada de 1200 a 1220 gr/cc
- Totalmente descargada de 1100 a 1150 gr/cc

#### 4.5.3 Prueba de carga

Luego con un multímetro escogiendo la posición de voltios corriente directa (CD) y las sondas positivas y negativas conectadas a los bornes de la batería, sin poner en contacto, la lectura de voltaje es de 13.49, significa que la batería esta totalmente cargada, figura 4.8.



**Figura 4.8 Comprobación de la batería con el multímetro**

Posteriormente se debe poner en marcha al motor, subir a unas revoluciones algo superiores a las de ralenti, sólo un poco por encima, en esta situación el voltaje debe subir respecto a la anterior medición si el sistema de carga funciona. Se debe obtener mediciones superiores a las anteriores mediciones. El voltaje ideal se encuentra en un rango entre 13.5 y 14,5 voltios como mucho, figura 4.9. Si al acelerar el motor obtenemos voltajes claramente superiores a los 14,8 podríamos estar

ante un problema de sobrecarga provocado por alguna anomalía del regulador de voltaje. Para este caso la batería marcó 14,5 voltios.



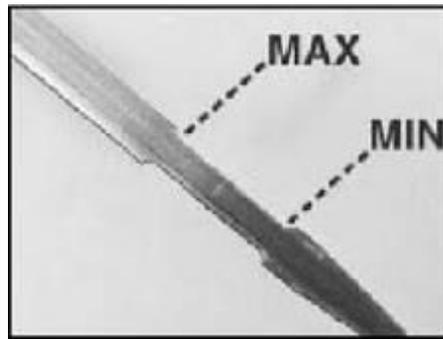
**Figura 4.9 El voltaje ideal de la Batería**

## **4.6 VERIFICACIÓN DE NIVELES DE FLUIDOS**

### **4.6.1 Nivel de aceite de motor**

Considerando que el motor Datsun 1500cc año 1985 está recién reparado se determinó que a las 20 horas se realizará el primer cambio de aceite y cada 100 horas los futuros cambios de acuerdo a manuales de generadores operados en similares condiciones de revoluciones y cilindrada. El primer cambio se debe realizar imperiosamente para reemplazar el aceite que está con limallas y rebabas que son productos de la fricción que hay entre piezas móviles que se están acoplando y tomando la forma de ensamblaje después de la reparación.

Drenar el aceite aflojando el tapón imantado de vaciado, cambiar el filtro, esto se lo realiza con el motor caliente ( $90^{\circ}$  aproximadamente), posteriormente los pasos a seguir para el llenado del aceite es viceversa, es decir colocar el tapón, reajustar el filtro, reponer el aceite la medida para estos motores es de 1 galón es decir 3.75 litros. Se debe usar aceite 20W50 y después de un tiempo hasta que baje el fluido hacia el cárter con la ayuda de la bayoneta se puede medir y controlar el nivel de llenado, figura 4.10.



**Figura 4.10 Medición de aceite**

#### **4.6.2 Nivel de aceite de transmisión y caja de velocidades**

De la misma manera con el diferencial y caja caliente se destapar primero el tapón de llenado que esta al costado de la caja, figura 4.11, esto es para no crear resistencia a la evacuación del fluido, posteriormente sacar el tapón de drenado y dejar escurrir por completo. Para su llenado los pasos a tomar son en forma viceversa, hay que usar aceite SAE 90.



**Figura 4.11 Tapón de llenado del aceite**

Esta vez no contamos con un medidor, lo que se hace es llenar el aceite por el tapón del costado hasta que rebose, ésta será la medida, luego procedemos a colocar el tapón.

Para el diferencial los procedimientos son los mismos, en vista de que también se dispone de tapón de llenado, figura 4.12.



**Figura 4.12 Cambio de aceite del diferencial**

#### **4.6.3 Reemplazo y verificación del líquido refrigerante**

Para el reemplazo del líquido debe aflojar las mangueras que conectan el depósito inferior del radiador con el motor, el agua es drenada totalmente, figura 4.13 y se reemplaza con 2 galones de refrigerante de color verde.



**Figura 4.13 Reemplazo del agua por el refrigerante**

Para comprobar el nivel se lo hace visualmente para ver el llenado del agua, si observa que está muy bajo hay que completarlo, si el motor esta frío no hay ningún problema para completarlo, si está caliente es necesario encenderlo para poder reponer el agua pero hay que tener cuidado al retirar la tapa para evitar accidentes. Las partes internas del motor cuando está en funcionamiento están trabajando a altas temperaturas y si son sometidas a cambios bruscos de temperatura, se

parten, se cristalizan o se funden, razón por la cual se debe completar el agua con el motor en funcionamiento.

#### **4.6.4 Verificación del nivel de líquido de embrague**

En el envase se encuentra dos indicadores que nos indican “LLENO” y “VACIO”, el nivel del líquido debe estar en lleno, significa que esta en ópticas condiciones. Figura 4.14.



**Figura 4.14 Comprobación de nivel del embrague**

### **4.7 VERIFICAR TEMPLADO DE LAS BANDAS**

#### **4.7.1 Banda del alternador**

Para ajustar la correa de mando del alternador afloje los pernos del brazo de ajuste y el pivote, si quiere aflojar la correa para poder quitarla, empuje el alternador hacia el motor, cuando la correa se afloje, despréndala de sus poleas, luego, vuelva a colocar una correa nueva en las poleas. Para ajustar la tensión de una correa, aplique una palanca contra la parte sólida de la caja del alternador y separe el alternador del motor, hasta que se estire bien la correa, el método que use para determinar la tensión puede ser: el de los presión, figura 4.15, o el empleo de un medidor correspondiente, para una mayor exactitud, use un medidor.



**Figura 4.15 Tensión de las bandas**

Si no dispone un medidor, presione la correa hacia abajo y siga tirando del alternador hasta que la correa muestre una deflexión de 0.5 a 1.25 cm (1/4 a 1/2")

#### **4.7.2 Bandas del molino**

Estas correas o bandas miden 5 metros de diámetro aproximadamente, van colocadas rodeando el tambor del molino el cual está provisto de unas guías que impiden su desplazamiento cuando el molino está en etapa de trabajo, además que se unen con la polea de la salida del diferencial, figura 4.16.



**Figura 4.16 Templado de las bandas del molino**

Como en el caso anterior del alternador, se puede comprobar su tensión manualmente con la fuerza del brazo, figura 4.17, para esto se utiliza el templador en forma de bisagra que se encuentra en la base, figura 4.17, con dos pernos este templador va ajustando las 6 bandas del tambor.



**Figura 4.17 Tensión y Tensor de la banda**

#### **4.8 SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO**

La sincronización del encendido permite obtener un mejor rendimiento, una mayor durabilidad, un menor consumo y en definitiva, mantener las prestaciones del motor, poner a punto el sistema de encendido, significa hacer saltar de la bujía en el cilindro en el momento oportuno, es decir,

disponer el distribuidor de tal forma que las chispas salten en las bujías cuando los cilindros estén en condiciones de realizar la explosión. El empleo de una pistola estroboscópica ofrece mayores garantías por que se puede conseguir una puesta a punto más precisa, rápida y cómoda.



**Figura 4.18 Puesta a punto con la pistola estroboscópica**

Conectar los cables de corriente de la pistola a la batería del vehículo, es decir cable color rojo de la pistola al borne positivo de la batería, el cable negro de la pistola al borne negativo de la batería y el cable con la pinza capacitiva sobre el aislante del cable de alta tensión que une el distribuidor con la bobina, también hay que desconectar el tubo de vacío que viene del motor a la capsula del distribuidor.

Se pone el motor en funcionamiento a ralentí y, cada vez que pase la corriente por el conductor al que esta acoplado la pinza, la lámpara emite un rayo de luz, figura 4.18, con el cual al ser dirigido sobre las marcas de la polea podrá apreciarse el ángulo de avance o retraso al encendido. Hay que considerar que frecuentemente se coloca 14 grados de adelanto para este nivel de altitud, pero este caso el motor se convirtió en estacionario así que no tendrá flujo de aire para su ventilación, por lo tanto se dejó con 10 grados de adelanto.

## **4.9 PUESTA A PUNTO DEL CARBURADOR**

En el carburador tiene lugar la mezcla de gasolina con aire en la proporción adecuada según el motor lo necesite, al carburador ingresa por un lado la gasolina impulsada por una bomba de alimentación y por otro lado el aire exterior a través de un filtro de aire, el cual es aspirado por el pistón.

### **4.9.1 Ajuste de tornillos de ajuste de combustible.**

- Tornillo de altas: Regula la máxima cantidad de combustible que puede entrar en el motor, en la práctica básicamente regula las máximas revoluciones (rpm) del motor indirectamente de la temperatura de funcionamiento del motor.
- Tornillo de bajas: regula la mezcla en revoluciones bajas, es decir, regula la progresividad del motor durante la aceleración, figura 4.19.



**Figura 4.19 Regulación de combustible**

### **4.9.2 Ajuste de ralentí**

Para ajustar el ralentí, con el motor caliente y sin acelerar, gire el tornillo de velocidad y de riqueza, figura 4.20, el cual regula la proporción de aire y gasolina, cuando el motor esté caliente, acelerar a fondo, podrá ocurrir que el motor que al acelerar se para, porque que la aguja de bajas este

demasiado abierta o demasiado cerrada, si es de baja el motor se para de golpe, si es de alta tarda algo más en pararse.



**Figura 4.20** Reglaje del ralentí

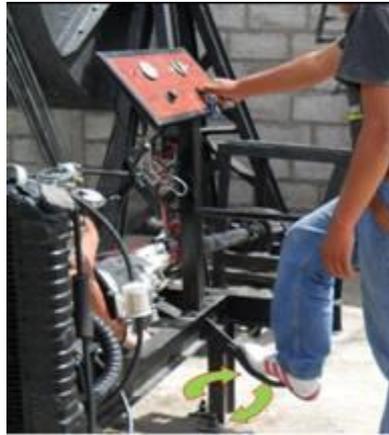
Pruebe a arrancar el motor y calentarlo acelerando suavemente, dejarlo al ralentí sin tocar, si se para solo es porque la aguja de baja esta demasiado abierta y "se ahoga", cierre media vuelta y probar de nuevo, si continúa cerrar de cuarto en cuarto de vuelta hasta que aguante al menos medio minuto sin ahogarse y no se pare al acelerar de golpe.

Si por el contrario al dejarlo al ralentí el motor no se para, la aguja de bajas esta muy cerrada y al acelerar no hay suficiente combustible que lo mantenga en marcha, abra el tornillo de bajas media vuelta y probar hasta que se solucione.

#### **4.10 COMPROBACION DEL EMBRAGUE**

Una prueba esencial que se le hace al embrague es comprobar que no haya ruidos al pisar el pedal, estos son producidos generalmente por el cojinete de empuje, cuyo rodamiento axial está mal engrasado, en mal estado, o por rotura de alguna de las puntas del diafragma, para esta prueba se mantiene pisado el pedal y luego se lo quita, figura 4.21, en ese momento se escucha el sonido del conjunto del embrague si el sonido

cambia como a un sonido característico de un roce de metal a metal, ahí podemos definir las fallas de los componentes ya mencionados.



**Figura 4.21 Ruidos al accionar el embrague**

Con el motor ya funcionando y caliente procedemos a pasar las marchas y si no se escucha que las velocidades "rascan" al entrar, concluimos que está bien pero si es lo contrario, esto es debido a un reglaje defectuoso del embrague, que hace que el disco no se suelte por completo y por lo tanto impide el desembragado completo, al solucionar este problema y si sigue en lo mismo la única opción sería el desgaste de los sincronizados en la caja de velocidades.

El embrague no patina debido a que se puso un disco de embrague nuevo pero en caso contrario es debido al desgaste excesivo de los forros del disco, o a que dichos forros están engrasados, en este caso hay que desmontar el embrague para comprobar el disco, si patina a alta velocidad solamente, la causa será posiblemente que los muelles o diafragma han perdido elasticidad o alguno está roto; el patinado también puede ser debido a un reglaje defectuoso.

#### 4.11 RPM ÓPTIMAS PARA EL MOLINO CON CARGA MÁXIMA.

Para esto se utiliza un cronómetro y señalamos un punto de referencia en el molino, para contar las vueltas, esto se lo puede hacer sin problemas ya que la velocidad es baja, figura 4.22.



**Figura 4.22** Conteo de giros del molino

Cabe recalcar que el molino no se lo puede accionar vacío, pues las piedras o bolas que están en su interior se golpearían con la recubierta interior del molino que es de un material llamado alúmina de porcelana. Por esta razón se carga el molino, según los siguientes pasos:

- Primero se debe retirar la tapa con la ayuda de otra persona debido a su gran peso, podemos observar en la misma que esta recubierta de material de alúmina, como se muestra en la figura 4.23.



**Figura 4.23** Tapa del molino

- El caolín y la arcilla se los llenan en sacos y con la ayuda de la balanza se va midiendo 100 libras en cada costal es decir un quintal, figura 4.24, se pone 21 quintales de arcilla y 9 quintales de caolín más o menos en porcentaje de 70% de arcilla y 30% de caolín.



**Figura 4.24 Pesando el material**

- Colocar 1 quintal de carbonato de calcio que es debidamente adquirida, también 1 quintal de talco, 15 Kilos de Sodio y 80 litros de agua, figura 4.25.



**Figura 4.25 Cargando agua al molino**

Todos estos materiales se los sube por la escalera de carga, por lo cual se necesita la ayuda de varias personas, y luego estos materiales se los introducen al molino por la tapa, figura 4.26.



**Figura 4.26 Llenado del molino**

Una vez adentro todos los materiales podemos observar que no se debe llenar el tambor al 100%, figura 4.27. Debido a que las bolas o piedras necesitan espacio para poder triturar el material.



**Figura 4.27 Espacio necesario para la molienda**

Finalmente se vuelve a poner la tapa y se asegura la misma con una llave de tubo, figura 4.28. La presión y peso que soportara la tapa es muy fuerte por eso tiene 8 pernos que ayudan a su sellado.



**Figura 4.28 Asegurando la tapa del molino**

- Una vez lleno el molino se enciende el M.C.I, después de llegar a la temperatura normal de funcionamiento se acopla su giro al molino por medio de las marchas, de la misma manera que se lo hace en un vehículo normal
- Contamos las vueltas o giros, según los expertos la recomendación esta en el rango de 30 a 40 giros según el material obtenido, luego regulamos la velocidad de giro de acuerdo a las especificaciones de molienda

Utilizando un tacómetro de RPM se concluye que el molino trabajara óptimamente en tercera marcha a 2000 rpm por 8 horas. En estas condiciones el motor mantuvo 85 °C de temperatura. El consumo de combustible será de 10 galones por cada jornada de molienda que es de 8 horas, lo que en dinero nos da un equivalente a \$14.80. Esto significa un ahorro económico de \$65,20, en vista que en fábricas similares el alquiler solo del molino cuesta \$80.

#### **4.12 VERIFICAR LA MATERIA PRIMA PROCESADA**

Una de las formas de comprobar el material obtenido es por su densidad al momento de retirar la tapa, debe tener un aspecto a “sopa de avena”, figura 4.29.



**Figura 4.29 Material con aspecto a “sopa de avena”**

Otra forma es introduciendo el brazo hasta la altura de los codos luego al sacarlo dejar que caiga en forma de “chorro”, figura 4.30, entonces se observará que la pequeña película de mezcla que queda pegada en el brazo se seca al transcurso de 30 segundos.



**Figura 4.30 Comprobación del material obtenido**

Pero la mejor forma de comprobar que la materia obtenida es buena es vaciándolo en los moldes, figura 4.31.



**Figura 4.31 Material relleno en los moldes**

Al llenar los moldes la mezcla deberá secarse pronto y al abrir el molde las imágenes no se deberán trisarse, figura 4.32.



**Figura 4.32 Imágenes en el molde**

Ya comprobado que la materia obtenida es de buena calidad, es pasada a los diferentes procesos para dar un acabado final, como son:

- Rasgado o limpieza de líneas y rebabas, figura 4.33.



**Figura 4.33 Limpieza de rebabas y líneas**

- Secado y endurecido en el horno que alcanza temperaturas de 1200 °C, figura 4.34.



**Figura 4.34 Horno de cerámica**

- Finalmente limpieza, pintura y decoración en forma manual, figura 4.35.



**Figura 4.35 Decoraciones**

- Para obtener el producto final, figura 4.36.



**Figura 4.36 Productos finales**

Cabe recalcar que cada artesano de cerámicas tiene sus propias fórmulas de molienda y preparación de mezcla que son cuidadas secreta y celosamente, éstas son adquiridas por años de experiencias y pruebas, de estas fórmulas de preparación depende la calidad del material y por ende lo fino y delicado de sus modelos.

#### **4.13 CONTROL DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES**

El Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador a través de organismos de control en la ciudad de Quito imponen el uso de sistemas de catalizador para los motores a gasolina con la finalidad de seguridad al operario y controlarlas emisiones de gases contaminantes; esta medida también es indispensable en la ciudad de Latacunga, debido a su altitud y topografía, que demandan un esfuerzo mayor de las máquinas, además del creciente aumento de la polución en la ciudad, lo que deriva en una mayor generación de gases y partículas, por esta razón nuestro proyecto fue sometido a pruebas de emisiones de gases con y sin catalizador.

##### **4.13.1 Equipo utilizado**

Para realizar la prueba con el catalizador que se incorporó en el MCI del molino, se utilizó un analizador de gases marca RAG GasCheck para motores a gasolina y diesel, que cumple las normas de precisión internacionales AST/BAR97 e ISO3930. El equipo tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Método de medición:

- En GASES, medida continua, grabación de datos y medidas, diagnóstico y gráficas.
- En OPACIDAD tres tipos de pruebas: medida continua, media de varias aceleraciones (totalmente configurable por el usuario)
- Prueba según norma UNE82503.
- Medidas de opacidad en % y coeficiente de absorción luminosa  $K$  ( $m^{-1}$ ).

Los anexos D.1, D.2 y D.3 muestran todas las especificaciones técnicas del equipo utilizado.

#### 4.13.2 Procedimiento de medición

Al M.C.I. se realizó dos etapas de medición, con el catalizador incorporado y sin el catalizador, el analizador de gases fue facilitado por el Colegio “Ramón Barba Naranjo”. El procedimiento que a continuación se detalla cumple con la norma INEN NTE 2204:99.

##### Primera etapa: Con el catalizador

- Dejar encendido al motor por 15 minutos con la transmisión en marcha neutral.
- Verificar que el sistema de escape del motor no tenga fugas, figura 4.37, esto nos ayudará obtener datos más precisos y reales.



**Figura 4.37 Revisión del tubo de escape**

- Encender el analizador de gases figura 4.38



**Figura 4.38 Analizador de gases**

- Colocar la sonda flexible en la salida del tubo de escape, figura 4.39, teniendo precaución que la toma y cables no obstaculicen la movilidad.



**Figura 4.39 Sonda flexible en la salida del tubo de escape**

- Con el motor en marcha mínima normal se procede a la toma de datos, esperando que las lecturas se estabilicen; se configura el equipo para imprimir, obteniéndose así una hoja de datos, la misma que presenta en porcentajes la cantidad de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno; las partes por millón de residuos de hidrocarburos.

#### **Segunda etapa: Sin el catalizador**

- Esperando que se enfríe el motor, se procede a retirar el catalizador del sistema de escape del motor aflojando las abrazaderas que lo unen, figura 4.40.



**Figura 4.40 Desmontaje del catalizador.**

- Repetir el procedimiento de medición anteriormente expuesto.

#### 4.13.3 Datos obtenidos

Los datos obtenidos se los va a procesar y comparar de acuerdo a la norma INEN NTE 2003:99, la cual basa la revisión técnica vehicular (RTV) de la ciudad de Quito, que a continuación se detalla en la tabla IV.2

**Tabla IV.2 Valores máximos de emisiones de vehículos a gasolina**

<b>Año modelo</b>	<b>CO (%V) Monóxido de carbono</b>	<b>HC (ppm) Hidrocarburos</b>	<b>O<sub>2</sub> (%V) Oxigeno</b>
2000 y posteriores	2	200	5
1990 - 1999	3.5	450	5
Menor a 1989	7	1100	5

**Fuente de investigación: Revisión Técnica Vehicular**

En las tablas IV.3 y IV.4 se muestran los datos obtenidos de las mediciones con el analizador de gases, en las dos etapas es decir con y sin el catalizador.

**Tabla IV. 3 Concentración de monóxido de carbono (CO)**

<b>Vehículo</b>		<b>Gases de escape (%)</b>	
		<b>Sin Catalizador</b>	<b>Con catalizador</b>
<b>MARCA</b>	<b>C.C</b>	<b>CO % vol.</b>	<b>CO % vol.</b>
Datsun	1400	3.67	0.707

**Tabla IV.4 Concentración de ppm de HC**

Vehículo		Gases de escape	
		Sin Catalizador	Con catalizador
MARCA	C.C	ppm HC	ppm HC
Datsun	1400	266	100

#### 4.13.4 Procesamiento de datos

A continuación, en las tablas IV.5 y IV.6, se realiza la comparación con los valores permitidos por las normas, para de esta manera cuantificar la disminución de gases contaminantes.

**Tabla IV. 5 Concentración de CO y valores permitidos**

VEHÍCULO		Gases de escape (%)		Valor permitido por la NORMA
		Sin Catalizador	Con catalizador	
MARCA	C.C	CO	CO	CO
Datsun	1400	3.67	1.707	2.00

**Tabla IV.6 Concentración de ppm de HC y valores permitidos**

Vehículo		Gases de escape		Valor permitido por la NORMA
		Sin Catalizador	Con catalizador	
MARCA	C.C	ppm HC	ppm HC	ppm HC
Datsun	1400	266	100	200

Como se puede observar, el catalizador redujo significativamente la emisión de los gases contaminantes disminuyendo la contaminación ambiental.

#### **4.14 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS DEL PROYECTO**

Una vez que se finalizó con todas las pruebas de funcionamiento y desempeño del equipo se realizó una comparación con equipos importados de similares características y de difícil acceso. A continuación se muestran las ventajas más relevantes de nuestro proyecto.

- Rendimiento al 90% eficaz para ensayos de larga duración y operación prolongada en condiciones de alta temperatura y humedad.
- Amplia gama de velocidades para alcanzar condiciones mínimas de granulometría.
- Inicio controlado mediante la puesta en marcha del MCI con tablero de control que facilita el monitoreo del MCI en funcionamiento.
- Presenta una capacidad de función muy estable y buena calidad a prueba de fricción.

- Tiene una óptima compensación a las vibraciones y dirección de giro en dos sentidos.
- Es un equipo de poca inversión en comparación a otros tipos de modelos que proporcionan productos con granulosidad uniforme.
- Fácil operación y adaptabilidad a otros materiales además de su uso bajo normas de seguridad.
- Calidad superior en la fineza del producto final con un volumen de producción es más alto que las máquinas del mismo tipo.
- Mantenimiento al motor de combustión interna, tren motriz y poleas de fácil acceso y sin complicaciones.
- Contaminación reducida de gases de escape en lo que comprende al motor de combustión interna alcanzando el estándar nacional de protección ambiental.

## V. CONCLUSIONES

- El molino de bolas basa su funcionamiento en que el movimiento de las bolas dentro del tambor es afectado por el efecto Coriolis el cual sostiene que la diferencia de velocidad entre las bolas y los recipientes se traducen en una acción combinada de fuerzas de choque y fricción que libera gran cantidad de energía dinámica.
- La velocidad crítica de rotación del molino es aquella en la que la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor anula la influencia que la gravedad ejerce sobre las bolas que caen, anulando por lo tanto su función, por lo que no realizan su trabajo de molienda.
- La selección del motor de combustión interna se basa en el torque mínimo necesario y en la potencia total requerida para hacer girar el molino, para determinar la potencia requerida en el motor es recomendable utilizar un margen de seguridad del 20 al 30 % debido a las pérdidas en el sistema.
- De los resultados del análisis de movimiento en el diseño se determina que el torque máximo de motor y el máximo consumo de energía (potencia) son respectivamente 169.99 N m y 19.20 KW sobre los cuales hay que seleccionar el M.C.I. más adecuado.
- Se elaboraron dos sólidas estructuras con I.P.N para el molino y para el generador de potencia las cuales están sujetas sobre una base empotrada con hormigón armado permitiendo disminuir al mínimo las vibraciones ocasionadas por el giro del motor y del molino. Los materiales empleados son de bajo costo y fácil acceso en el mercado.
- Las pruebas de campo experimentales revelaron el eficiente trabajo de un motor Datsun 1600 a una amplia gama de velocidades, demostrando una correcta generación de potencia con un mínimo de pérdidas, bajo consumo de combustible y con la opción de invertir el giro para colocar los materiales previos a la molienda.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar las etapas de diseño con el programa de aplicación **SolidWorks®**, mismo que permite realizar un análisis real del generador considerando esfuerzos, pérdidas y posibles daños previos a la construcción.
- Utilizar todos los implementos de seguridad industrial antes de realizar algún tipo de mantenimiento al equipo y evitar realizar comprobaciones cuando esté el motor se encuentre en funcionamiento.
- Para similares proyectos hay que utilizar un radiador de mayores dimensiones al original considerando que se trata de un motor estacionario con escasa ventilación y que gira a una velocidad constante.
- No llenar el molino al 100% de su volumen, ya que no dará espacio para las bolas de acero que son llevadas hasta cierta altura y caen para moler y golpear los materiales.
- Verificar en cada proceso de molienda la calidad de la materia prima obtenida en vista que los elementos del generador y molino se encuentran en proceso de acoplamiento.
- Realizar este tipo de proyectos en lugares con la suficiente maquinaria industrial y que disponga de las condiciones adecuadas de seguridad, ya que al hacerlo por separado se pierde tiempo y existe la posibilidad de que los elementos no se acoplen con facilidad.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- LAIBLE J: “Análisis estructural”. 1 Edición; Mc Graw-Hill; México 1992
- NORTON R. “Diseño de Maquinas”. Mc Graw-Hill. Ed. México 1999 P. 759 3.
- MOTT ROBERT L. “Resistencia de materiales”; 3 Edición, Prendice-Hall
- HISPANOAMÉRICA. S.A. México, 1996.
- JOSEPH EDWARD SHIGLEY. “Teoría de máquinas y mecanismos”
- MANUAL DE SOLIDWORKS 2008.
- TUMA J: “Análisis estructural”. 1 Edición; Schawn Mc Graw-Hill
- J.M.ALONSO. “Técnicas del automóvil”. Parafinito (Min); Madrid; 1996.
- CACTRO M. “Tecnología de los oficios metalúrgicos” ; 2 Edición; CEAC; Madrid 1985.
- CROUSE W. “Equipo eléctrico y electrónico del automóvil”. México: Alfaomega. 1992.
- <http://www.zenithcrusher.com>
- [kefidmachinery@hotmail.com](mailto:kefidmachinery@hotmail.com)
- [www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html](http://www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html)

## **VIII ANEXOS**

## **ANEXO B.1 ESPECIFICACIONES M.C.I.**

Nombre: datos tecnicos

Dirección:

Fabricante: Nissan

Modelo: datsun

Año: 1976

Matrícula:

Tel - privado:

Kilometraje:

Tel - oficina:

Número de trabajo:

Tel - móvil

Fecha

Notas		Valor especificado	Valor medido
<b>Identificación del vehículo</b>			
Nº de cilindros	Tipo	4/OHV	
Cilindrada (Fiscal)	cc	1428	
Relación de compresión	:	9,0	
Adecuado para gasolina sin plomo		No	
Octanaje mínimo	RON	88	
Sistema de encendido	Tipo	SZ	
Sistema de encendido	Descripción	CB	
Sistema de combustible	Marca	Nikki	
Sistema de combustible	Tipo	213283-372	
Sistema de combustible	Descripción	Carb-FJ	
<b>Sistema de encendido</b>			
Bobina de encendido	Marca	Hanshin	
Bobina de encendido	Tipo	HP5-13E	
Resistencia compensadora	Ohmio	1,6	
Resistencia primaria	Ohmio	1,5	
Orden de encendido		1-3-4-2	
Distribuidor (módulo de control del motor)	Marca	Hitachi	
Distribuidor (módulo de control del motor)	Nº	D411-95	
Separación entre contactos/entrehierro de disparo	mm	0,45-0,55	
Ángulo de cierre	°(%)	48-55 (54-61)	
<b>Reglaje y emisiones</b>			
Reglaje del encendido		o = sin + = con vacío o	
Reglaje del encendido - básico APMS	°Motor/rpm	8/650	
Reglaje del encendido - alternativo	°Motor/rpm	AT=8/700	
Avance del encendido		Sin vacío y reglaje del avance inicial	
Comprobaciones avance del encendido	°Motor/rpm	4-8/2000	
Comprobaciones avance del encendido	°Motor/rpm	10-14/3000	
Comprobaciones avance del encendido	°Motor/rpm	16-20/4000	
Comprobación de vacío	+ = avance o = retraso	+	
Gama de vacío	°Motor	16-20	
Inicio vacío	mbar	266	
Fin vacío	mbar	519	
Régimen de ralentí	rpm	650	
Temperatura del aceite para prueba de CO	°C	60	
Nivel de CO al ralentí - tubo de escape	Vol. % CO	2,0-3,0	
Nivel de HC al ralentí	ppm	400	

Fabricante: Nissan	Modelo: 140/160/180 1,4	(c) Autodata Limited 2007
Código de motor: L14	Potencia: 63 (85) 6000	11/08/2010
Reglado para:	Año: 1973-77	V6.410 /Autodata

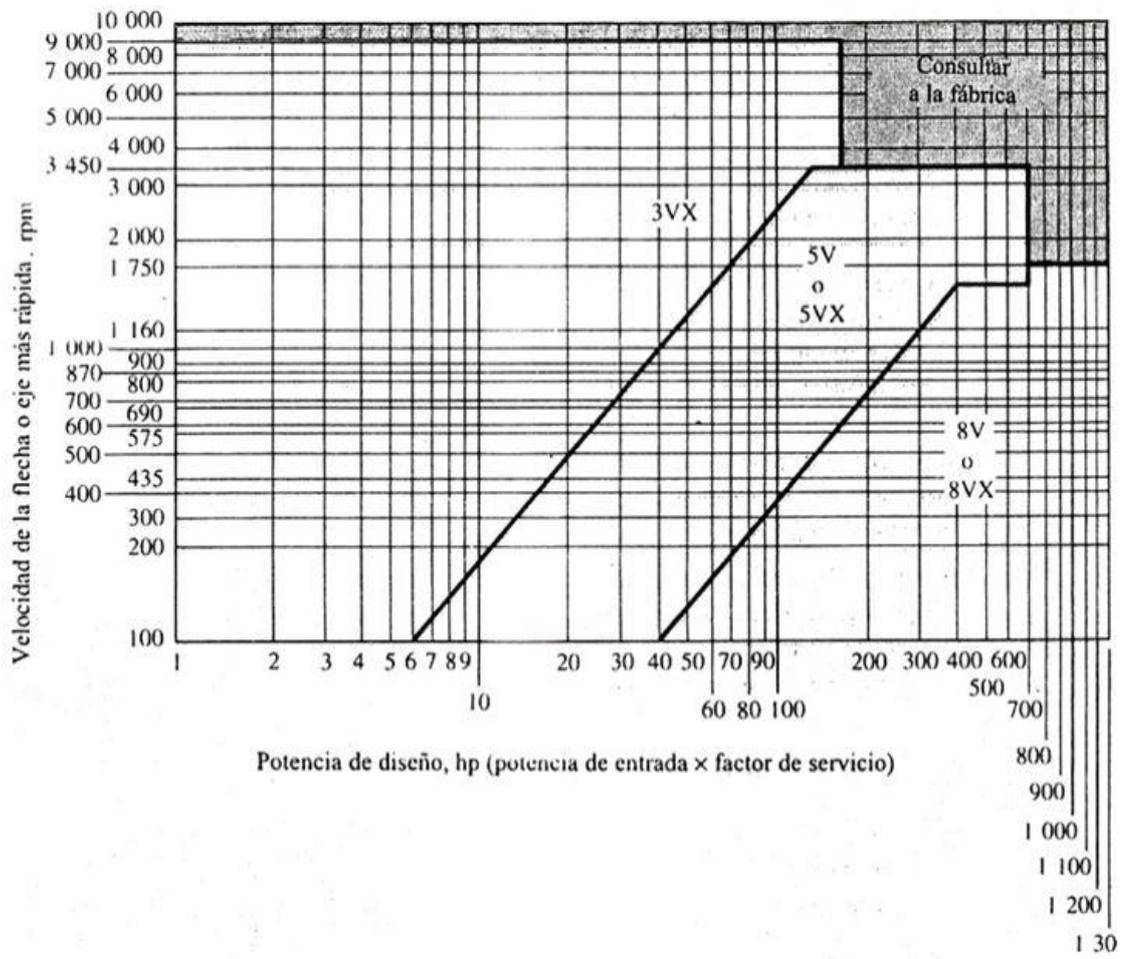
## ANEXO B.2 FACTORES DE SERVICIO

Tipo de máquina que es impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: torque normal <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en derivación Motores: de cilindro múltiple			Motores de CA: torque alto <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores: de 4 o menos cilindros		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrífugas, transportadores, ligeras	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, herramientas para máquinas, mezcladores, transportadores, grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes o recipientes, máquinas textiles, molinos de martillo, transportadores, pesadas	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bola, malacates, extruidoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que pueda ahogarse	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

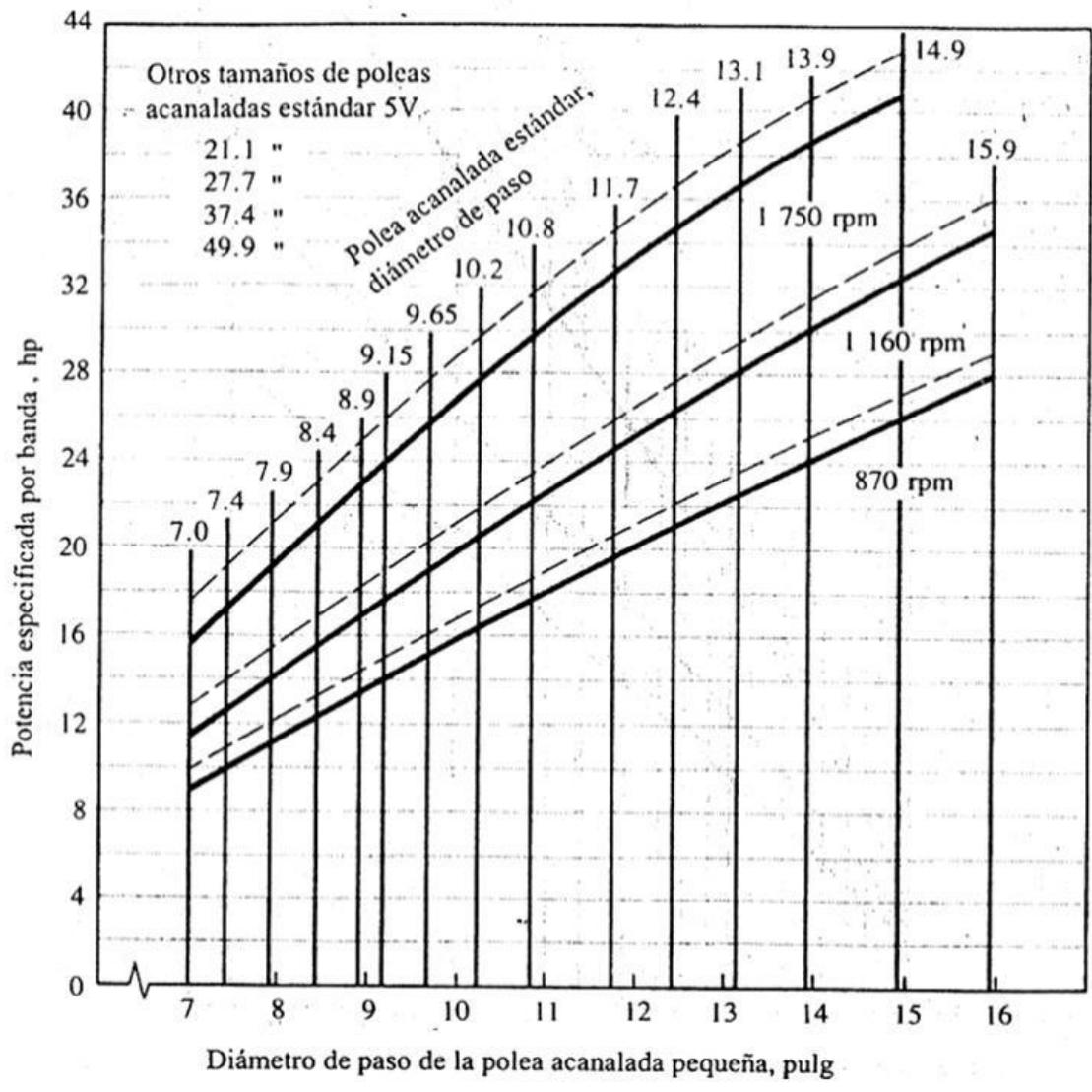
<sup>a</sup>Sincrónicos, de fase dividida, de tres fases con torque (par) de arranque o torque (par) al paro menor que 250% del torque con carga total.

<sup>b</sup>De fase única, trifásico con torque (par) de arranque o torque (par) al paro mayor que 250% del torque con carga total.

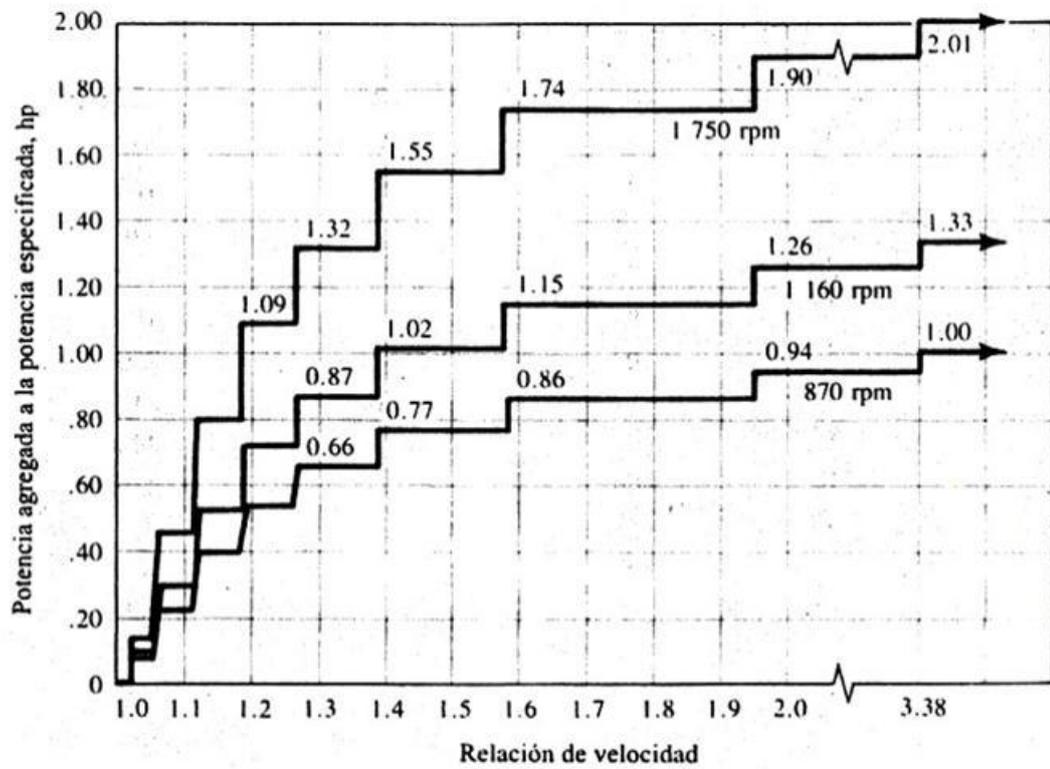
## ANEXO B.3 APLICACIONES DE BANDAS



## ANEXO B.4 POTENCIAS DE BANDAS



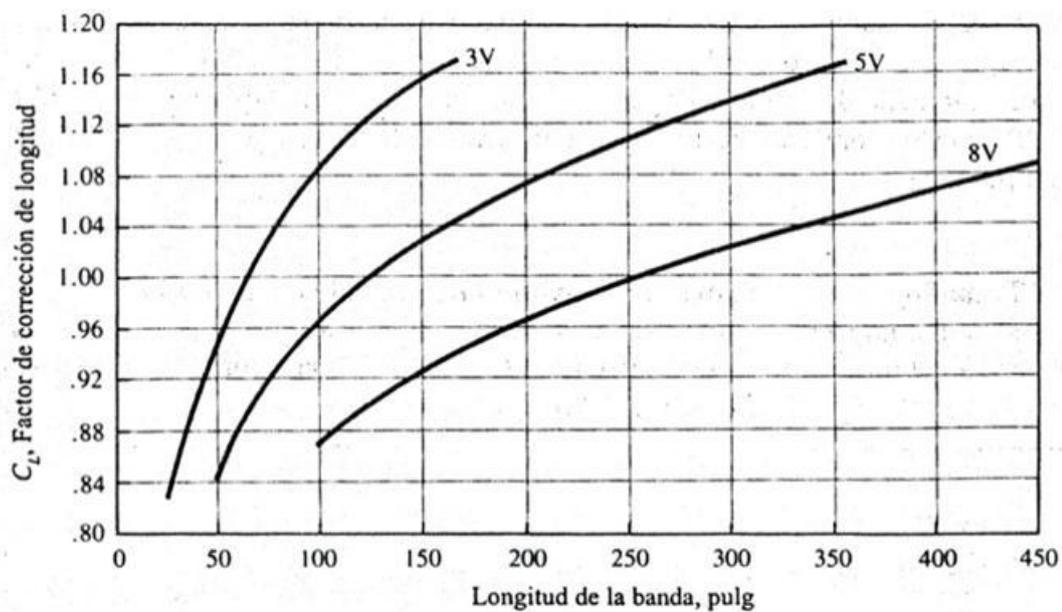
**ANEXO B.5 POTENCIA AGREGADA EN BANDAS**



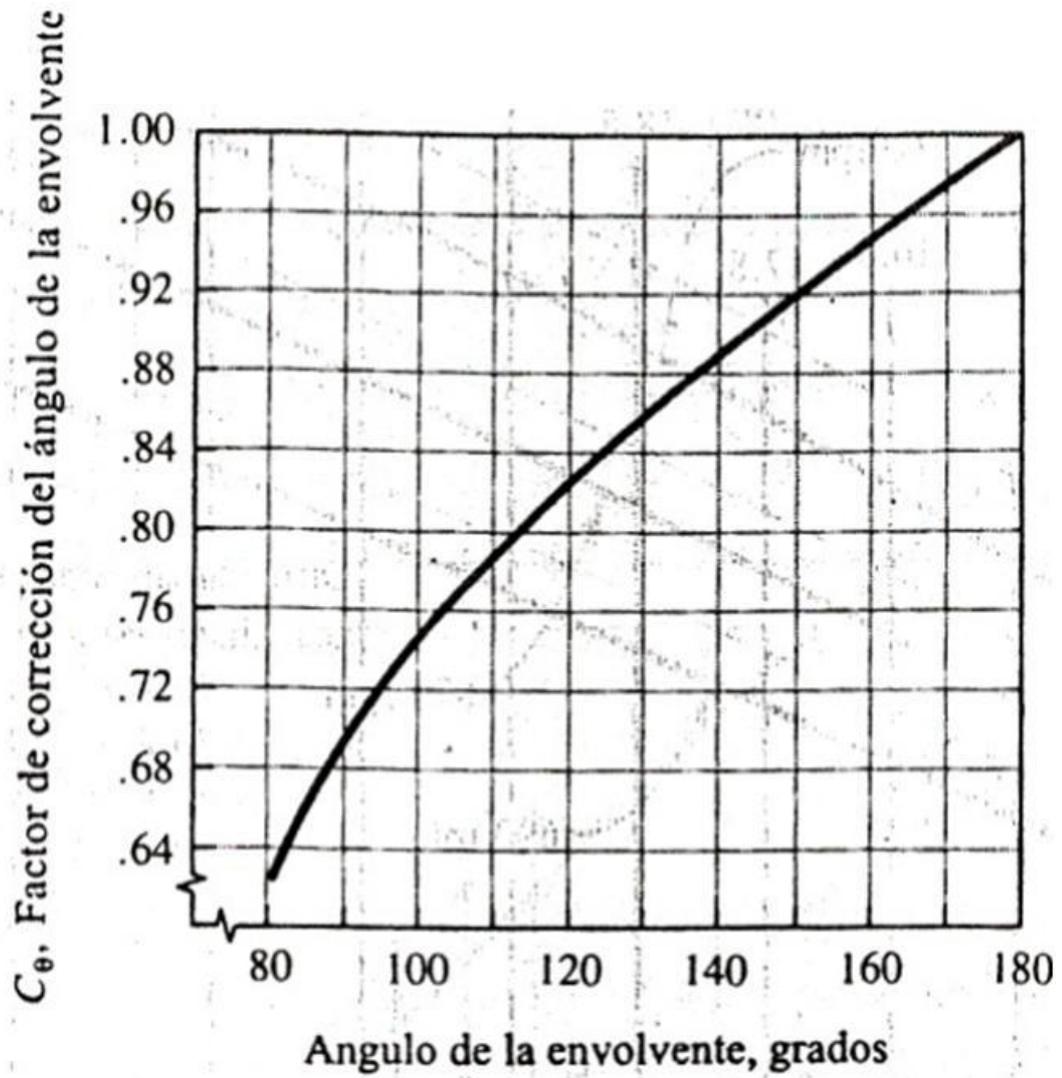
## ANEXO B.6 LONGITUDES DE BANDAS

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	

### ANEXO B.7 FACTORES DE CORRECCIÓN DE BANDAS



## ANEXO B.8 FACTOR DE CORRECCION DEL ÁNGULO ENVOLVENTE



## ANEXO C.1. ESPECIFICACIONES DEL IPN



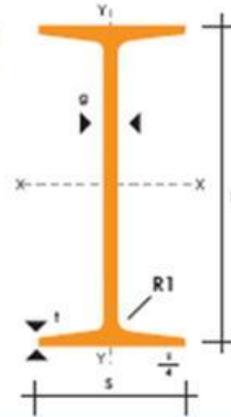
DIPAC®

PRODUCTOS DE ACERO

PERFILES LAMINADOS  
IPN

Especificaciones Generales

- Calidad: ASTM A 36
- Otras calidades: Previa Consulta
- Largo normal: 6,00m y 12,00m
- Otros largos: Previa Consulta
- Acabado: Natural
- Otro acabado: Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION PESOS				PROPIEDADES			
	h	s	g	t	R	R1	cm <sup>2</sup>	Kg/m	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	
IPN 80	80	42	3.90	5.90	30.90	2.30	7.58	5.95	77	6.29	19.50	3.00	
IPN 100	100	50	4.50	6.80	4.50	2.70	10.60	8.32	171	12.20	34.20	4.88	
IPN 120	120	58	5.10	7.70	5.10	3.10	14.20	11.20	328	21.50	54.70	7.41	
IPN 140	140	66	5.70	8.60	5.70	3.40	18.30	14.40	573	35.20	81.90	10.70	
IPN 160	160	74	6.30	9.50	6.30	3.80	22.80	17.90	935	54.70	117.00	14.80	
IPN 180	180	82	6.90	10.40	6.90	4.10	27.90	21.90	1450	81.30	161.00	19.80	
IPN 200	200	90	7.50	11.30	7.50	4.50	33.50	26.30	2140	117.00	214.00	26.00	
IPN 220	220	98	8.10	12.20	8.10	4.90	39.60	31.10	3060	162.00	278.00	33.10	
IPN 240	240	106	8.70	13.10	8.70	5.20	46.10	36.20	4250	221.00	354.00	41.70	
IPN 260	260	113	9.40	14.10	9.40	5.60	53.40	41.90	5740	288.00	442.00	51.00	
IPN 300	300	125	10.80	16.20	10.80	6.50	69.10	54.20	9800	451.00	653.00	72.20	
IPN 340	340	137	12.20	18.30	12.20	7.30	86.80	68.10	15700	647.00	923.00	98.40	
IPN 360	360	143	13.00	19.50	13.00	7.80	97.10	75.20	19610	818.00	1090.00	114.00	
IPN 400	400	155	14.40	21.60	14.40	8.60	118.00	92.60	29210	1160.00	1460.00	149.00	
IPN 450	450	170	16.20	24.30	16.20	9.70	147.00	115.00	45850	1730.00	2040.00	203.00	
IPN 500	500	185	18.00	27.00	18.00	10.80	180.00	141.00	68740	2490.00	2750.00	268.00	
IPN 550	550	200	19.00	30.00	19.00	11.90	213.00	167.00	99180	3490.00	3610.00	349.00	



## ANEXO C.2. ESPECIFICACIONES DE PLATINAS



**PERFILES LAMINADOS  
PLATINAS**

**Especificaciones Generales**

<b>Calidad</b>	ASTM A 36 SAE 1008
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



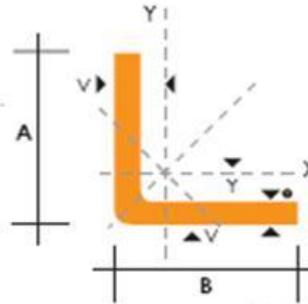
DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.93	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00

## ANEXO C.3. ESPECIFICACIONES DE ÁLGULOS



### PERFILES ESTRUCTURALES ANGULOS "L" DOBLADO Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	NEN 1 623: 2000
<b>Otras calidades</b>	Previa consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 m
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Espesores</b>	Desde 1,5 hasta 12 mm
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y		EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	i	X=Y	i	i
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm	cm
100	100	5	45.18	7.53	9.59	95.50	13.10	3.16	2.73	4.01	1.95
100	100	6	54.72	9.12	11.40	112.50	15.58	3.14	2.78	4.00	1.92
100	100	8	71.76	11.96	14.95	144.63	20.29	3.11	2.87	3.97	1.89
100	100	10	88.14	14.69	18.36	173.85	24.73	3.08	2.97	3.94	1.83
100	100	12	105.12	17.52	21.83	201.12	28.98	3.05	3.06	3.92	1.82
100	100	14	120.42	20.07	24.78	225.60	32.98	3.02	3.16	3.89	1.75
125	125	5	56.94	9.49	12.10	190.00	20.80	3.96	3.35	5.03	2.46
125	125	6	69.12	11.52	14.40	224.55	24.67	3.95	3.40	5.02	2.44
125	125	8	90.96	15.16	18.95	290.90	32.29	3.92	3.49	4.99	2.47
125	125	10	112.14	18.69	23.36	353.10	39.63	3.89	3.59	4.96	2.35
125	125	12	134.28	22.38	27.63	411.29	46.63	3.86	3.68	4.94	2.32
125	125	14	154.44	25.74	31.78	465.43	53.38	3.83	3.78	4.91	2.27
150	150	6	83.52	13.92	17.40	393.59	35.88	4.75	4.03	6.04	2.94
150	150	8	110.16	18.36	22.95	512.45	47.10	4.72	4.12	6.01	2.92
150	150	10	136.14	22.69	28.36	625.31	57.95	4.69	4.21	5.98	2.87
150	150	12	163.14	27.24	33.60	732.00	68.50	4.67	4.31	5.96	2.84
150	150	14	183.60	30.60	37.78	833.33	78.62	4.64	4.40	5.93	2.79
175	175	6	99.18	16.53	20.41	631.44	49.14	5.56	4.65	7.06	3.45
175	175	8	131.22	21.87	26.90	825.00	64.70	5.53	4.74	7.03	3.43
175	175	10	160.20	26.70	33.40	1010.00	79.80	5.50	4.84	7.01	3.39
175	175	12	192.54	32.09	39.60	1190.00	94.50	5.47	4.93	6.98	3.35
175	175	14	222.24	37.04	45.80	1360.00	109.00	5.44	5.03	6.95	3.35
200	200	6	112.32	18.72	23.40	949.53	64.50	6.37	5.28	8.08	3.95
200	200	8	148.56	24.76	30.95	1243.96	85.02	6.34	5.37	8.05	3.32
200	200	10	184.14	30.69	38.36	1527.52	105.05	6.31	5.46	8.02	3.39
200	200	12	221.14	36.94	45.60	1800.00	125.00	6.28	5.55	8.00	3.36
200	200	14	256.26	42.71	52.80	2060.00	144.00	6.25	5.65	7.97	3.42
250	250	6	141.12	23.52	29.40	1874.06	101.46	7.98	6.53	10.12	4.97
250	250	8	186.96	31.16	38.95	2464.09	134.06	7.95	6.62	10.09	4.34
250	250	10	232.14	38.69	48.36	3037.01	166.04	7.92	6.71	10.06	4.37
250	250	12	280.08	46.68	57.63	3593.42	197.44	7.90	6.80	10.04	4.38
250	250	14	324.54	54.09	66.78	4132.57	228.32	7.87	6.90	10.01	4.32

## ANEXO C.4. ESPECIFICACIONES VARILLA REDONDA



### Especificaciones Generales

#### VARILLA REDONDA



Calidad	ASTM A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00 m.
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

DENOMINACION	DIAMETRO		PESO		AREA
	mm	kg/m	kg/6m	cm2	
VRL 5,5	5.5	0.34	2.04	0.43	
VRL 8	8.0	0.50	2.96	0.63	
VRL 10	10.0	0.62	3.70	0.79	
VRL 12	12.0	0.89	5.33	1.13	
VRL 15	15.0	1.39	8.32	1.77	
VRL 18	18.0	2.00	11.98	2.55	
VRL 22	22.0	2.98	17.90	3.80	
VRL 24,5	24.0	3.70	22.20	4.71	

## ANEXO C.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TUBO REDONDO



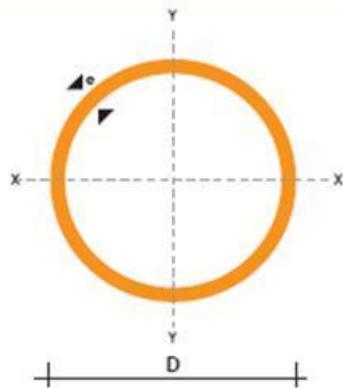
### TUBO MECANICO REDONDO

#### Especificaciones Generales

Norma:	ASTM A 513
Recubrimiento:	Negro o galvanizado
Largo Normal:	6 mts
Otros largos:	Previa consulta
dimensiones:	Desde 1/2" a 2 1/2"
Espesor:	Desde 0,6 mm a 1,5 mm

#### NOMENCLATURA

A=	Area de la selección transversal del tubo, cm <sup>2</sup>
I=	Momento de inercia de la sección, cm <sup>4</sup>
W=	Módulo resistente de la sección, cm <sup>3</sup>
i=	Radio de giro de la sección cm



	DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
	Pulg	mm	e mm	P kg/m	A cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
1/2		12.70	0.60	1.14	0.23	0.04	0.07	0.43
			0.75	1.44	0.28	0.05	0.08	0.42
			0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
			1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
			1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8		15.88	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
			0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53
			0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
			1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
			1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4		19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.16	0.65
			0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65
			0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
			1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
			1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8		22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76
			0.75	0.52	0.50	0.29	0.26	0.76
			0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
			1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
			1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1		25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88
			0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87
			0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
			1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
			1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4		31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
			1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
			1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2		38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
			1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
			1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4		44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
			1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
			1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8		47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
			1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
			1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2		50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
			1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
			1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8		60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2		63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

## ANEXO D.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANALIZADOR DE GASES

GAS	RANGO DE PRECISION	RESOLUCION
CO	15 % vol.	+/-3% de lectura 0.01%vol
CO <sub>2</sub>	20 % vol.	+/-3% de lectura 0.01%vol
HC	1500 ppm vol. (hexano)	+/-3% de lectura 0.01ppm vol
O <sub>2</sub>	25 % ppm vol.	+/-5% de lectura 0.01%vol
NO <sub>x</sub>	500 ppm vol.	+/-5% de lectura 1ppm vol

## ANEXO D.2 CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE GASES

Tiempo de respuesta	(0 a 95%):<14 seg.
Tiempo de calentamiento	14 seg.
Temperatura de trabajo	+2 a 45 °C
Humedad	95% max. (no condensada)
Tiempo de operación del sensor de O <sub>2</sub>	Aproximadamente 2 años
Alimentación	110-220 Vca +/-10% o 12Vcc, 2.5 A
Tamaño	36 cm* 12cm
Peso	4km

### ANEXO D.3 DETALLE DE ACCESORIOS

ACCESORIOS INCLUIDOS
Cables de alimentación
Sonda de toma de gases
Manguera con filtros
Pinza para medir rpm
Impresora
Cables conexión PC
Software 95 en adelante

## **IX ARTÍCULO PARA LA REVISTA**

# GENERADOR DE POTENCIA PARA UN MOLINO DE BOLAS DE LA FÁBRICA DE CERÁMICAS “NOVEL N°3 S.A”

Guanoluisa Y. Milton E. AUTOR 1

Santamaria N. Byron M. AUTOR 1

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Marquéz de Maenza S/N Latacunga, Ecuador

Email: [miltony15@gmail.com](mailto:miltony15@gmail.com), [bay2117tqm@hotmail.com](mailto:bay2117tqm@hotmail.com)

**Resumen.-** El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un generador de potencia para un molino de bolas de la fábrica de cerámicas NOVEL N° 3 S.A. ubicada en la ciudad de Latacunga, el cual va a ser utilizado para la producción de cerámica, mismo que sirve como materia prima para la elaboración de adornos decorativos que produce esta empresa. Aplicando procesos y tecnología de bajo costo que permiten construir un molino impulsado mediante un motor de combustión interna y tren motriz para transferir el movimiento hacia un tambor de molienda, utilizando el método tradicional de bandas de sujeción.

## I. INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto se realizó en la Provincia de Cotopaxi, ciudad de Latacunga en las instalaciones de la fábrica de cerámicas “NOVEL N° 3 S.A”; la finalidad es demostrar en forma práctica el ahorro de recursos medio ambientales y económicos, al utilizar un M.C.I para impulsar un molino de bolas, reduciendo el consumo de combustible y obteniendo bajos porcentajes de gases contaminantes expulsados al medio ambiente obteniendo un equipo que puede ser utilizado a nivel profesional en empresas relacionadas al campo de la cerámica.

## II. MOLINOS DE BOLA PARA CERÁMICAS ACCIONADOS CON M.C.I

En este caso específico los motores a utilizar son los M.C.I, donde la combustión de la mezcla aire-combustible se inicia con la chispa de una bujía, que al disponer además de una caja de cambios tenemos varias gamas de relaciones de transmisión, haciendo que el motor pueda trabajar a varias velocidades de acuerdo al requerimiento, el MCI funciona con gasolina, combustible de fácil alcance y obtención inmediata además que se puede funcionar en cualquier lugar no importa que no haya fluido eléctrico (corriente trifásica),

debido a su alta potencia no necesita de ayuda para sus primeros giros, ya que la caja de cambios nos entrega en primera marcha alto torque y baja velocidad, lo que con un motor eléctrico es necesario de “ayuda adicional” para dar los primeros giros y para que luego la inercia haga su trabajo, también la caja de velocidades nos ayuda a la maniobrabilidad del molino es decir, para la descarga y carga del material en el tambor se lo puede manipular y sostener o mantener en un cierto grado de posición, lo que con un motor eléctrico no lo podemos hacer, hablando del medio ambiente, al MCI se le puede proveer de reductor de gases (catalizador) para bajar las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, sin olvidar que un MCI bien mantenido, calibrado, reparado es de bajas emisiones de contaminación.

## III. PROCEDIMIENTO.

### a) Diseño mecánico.

Para el cálculo de la potencia requerida en la molienda es necesario tomar en cuenta los diferentes parámetros como dimensiones, formas, materiales, ventajas y desventajas de las partes existentes del molino.

La velocidad crítica  $N_C$  se determina en función del diámetro interno del tambor del molino  $D$  :

$$N_C = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

$$N_C = \frac{42.3}{\sqrt{1.324}}$$

$$N_C = 36.76 \text{ rpm}$$

Donde:

$$D = (1480 - 2(8 + 70)) \text{ mm} = 1324 \text{ mm} = 1.324 \text{ m}$$

Debido que a nivel industrial, los molinos operan a una fracción de la velocidad crítica, que varía entre un 70% y 90%, para el presente diseño se tomará el 90%, por lo que la velocidad real óptima del molino de bolas es:

$$N_R = 0.9 \cdot N_C$$

$$N_R = 33.1 \text{ rpm}$$

No existe en la actualidad una fórmula teórica que permita el cálculo exacto de la potencia demandada por un molino bolas, por lo tanto, para determinar la potencia requerida para hacer girar el tambor del molino se emplea la expresión de DAWN, la misma que es una expresión empírica desarrollada para el dimensionamiento de molinos de bolas:

$$KW_{netos} = 0.284 \cdot D \cdot A \cdot W \cdot N$$

$$KW_{netos} = 0.284 \cdot 1.324 \cdot (1.073 - 0.3) \cdot 1.5 \cdot 33.1$$

$$KW_{netos} = 14.4 \text{ KW}$$

Donde:

$D$  = Diámetro interior del tambor del molino (m) = 1.324 m

$$A = (1.073 - J)$$

$J$  = Fracción de carga del volumen del Molino = 30% = 0.3

$W$  = Peso del molino sin carga (ton) = 1.5 ton

$N$  = Velocidad de rotación del molino (rpm) = 33.1 rpm.

La selección del motor de combustión interna se basa en el torque mínimo necesario y en la potencia total requerida para hacer girar el molino

Para determinar la potencia requerida en el motor de combustión interna es recomendable utilizar un margen de seguridad del 20 al 30 % con el objeto de contemplar las diferentes pérdidas del sistema, por lo tanto, la potencia mínima que debe entregar el motor es:

$$Pot_{motor} = 14.4 \text{ KW} + 0.3 \cdot 14.4 \text{ KW}$$

En base a los parámetros calculados en la secciones anteriores y tomando en cuenta los requerimientos de la empresa (necesidad de utilizar un motor de combustión interna) además el presupuesto disponible, se procede con la selección del motor.



Figura 1. Motor seleccionado

La estructura de soporte es la encargada de sujetar al motor seleccionado y todos sus componentes y accesorios (caja de cambios, radiador, batería, tablero de control, etc.), así como también; debe ser capaz de soportar las cargas generadas debido al movimiento del motor.

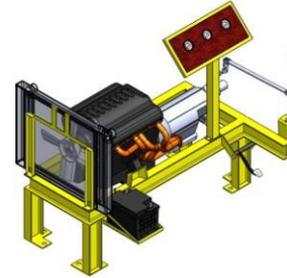


Figura 2. Componentes y accesorios de la estructura soporte

El eje de transmisión utilizado en el sistema de generación de potencia del molino de bolas, es el cardán de un automóvil Datsun 1400

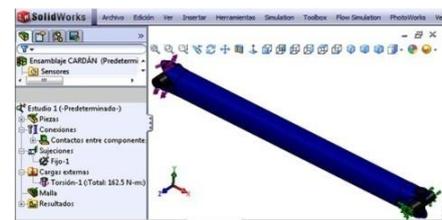


Figura 3. Distribución del factor de seguridad en el eje de transmisión

El sistema tensor de las bandas es elemento es el encargado de sostener el diferencial y además debe resistir las cargas que generan las bandas que transmiten el movimiento desde el diferencial hasta el molino.

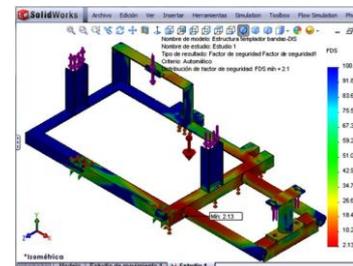
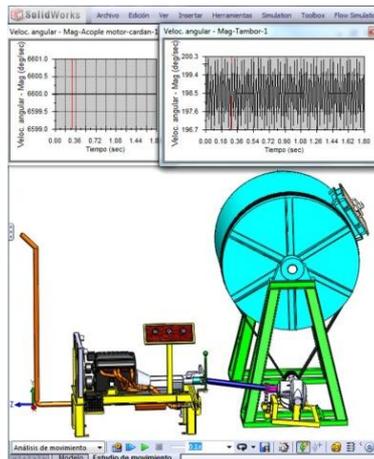


Figura 4. Distribución del factor de seguridad en el sistema.

Luego de asignar como dato de entrada la velocidad de rotación del motor de combustión interna (1100 rpm. = 6600 %/s) y ejecutar el estudio de movimiento se obtiene la velocidad de rotación del molino de bolas.



**Figura 5. Análisis cinemático del movimiento del molino**

**b) Implementación y ensamblado.**

El motor de combustión interna fue sometido a una limpieza exterior para posteriormente realizar su desarmado, determinando si las partes internas hay que reemplazar o rectificar



**Figura 6. Despiece del MCI**

Para el armado del MCI, se utilizó datos proporcionados por el programa Auto Data para determinar datos del torque y calibraciones.



**Figura 7. MCI armado completamente**

Para construir la estructura para el motor se utilizó, IPN, platina, varillas, angulos etc, aplicamos proceso de soldadura SMAW en las platinas, con electrodo 6013 regulando el amperaje en función de la posición y espesor del material. La base empotrada tiene la función de sujetar firmemente la estructura del IPN que a su vez va a sostener el motor de combustión interna, caja y árbol de transmisión, quienes al entrar en funcionamiento generarán vibraciones muy fuertes.



**Figura 8. Base para empotrar completa**

Con los elementos ya construidos el siguiente paso consiste en montar el MCI a la estructura de IPN, así como la adaptación de sus diferentes sistemas como embrague, palanca de cambios, acelerador, sistema de escape entre otros. Se debe tomar las medidas en función de la posición y distribución de los diferentes elementos que hacen conjunto con el motor, para posteriormente construir sus bases. Utilizamos el flexómetro, escuadra, planos.



**Figura 9. Motor montado en la base**

Para el varillaje de las marchas debemos proveernos de los elementos, materiales y partes integrantes de un sistema de varillaje de una palanca de cambios, para de esta manera tomar medidas y distribuir espacios.

Cortamos pedazos de la platina de acero ASTM A36 y tubo redondo ASTM A513 de 60cm de longitud.

Debido a la conversión del motor móvil a motor estacionario, el sistema de aceleración se debe modificar a mando manual.



**Figura 10. Adaptacion de los accesorios**

Al usar el radiador original de motor Datsun 1400cc se tuvo problemas de recalentamiento, debido a que el mismo tiene apenas 3 panales y es de dimensiones 50 cm. x 52 cm. en sentido vertical. Por esta razón se utilizó un radiador de Ford 350 con 4 panales y dimensiones de 55 x 85 cm. y con circulación de refrigerante tipo horizontal, también se disminuyó el diámetro de la polea de la bomba de agua, se proveo de un radiador con más aletas y mayor diámetro.



**Figura 11. Adaptaciones**

Para la construcción del múltiple de escape e implementación del silenciador y el catalizador que reduce emisiones de gases contaminados, tales como el CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PPM, éste dispositivo se lo instala a la salida de los gases de escape.



**Figura 12. Sistema de escape**

El tablero tiene que ser ubicado de acuerdo a las condiciones del operador, con la finalidad de mantener una correcta visibilidad de los relojes de comprobación, molino y de los demás componentes.

Una vez listo todos los componentes se realiza el trabajo en e campo la cual es cavar la simiente para colocar las bases q van fundidas con hormigón.



**Figura 13. Colocación de las bases metálicas**

Una vez fundidas las bases colocar el motor con su estructura, para finalmente colocar el cardan, tensar las bandas, revisar el diferenciador, limpiar, cambiar de aceite y colocarlo.



**Figura 14. Puesta apunto  
c) Puesta a punto y pruebas de funcionamiento**

Para realizar la calibración de vá admisión (A) y escape (E), lo re hacerlo con el motor apagado, pero si ya se ha encendido el motor se puede hacerlo en caliente con la tapa del radiador destapada.



**Figura 15. Galga o laminilla de calibración**

El sistema de encendido que dispone este motor es del tipo convencional por ruptor, con un condensador que permite el corte instantáneo de corriente y a la vez absorbe la corriente que se induce cuando se abren los contactos del ruptor haciendo caer la corriente en el primario repentinamente hasta cero provocando el corte instantáneo deseado.



**Figura 16. Calibración del ruptor**

Los niveles de emisiones contaminantes dependen del potencial eléctrico que llega a las bujías y del tiempo de encendido, siendo necesarias la calibración y limpieza de las bujías. Realizar pruebas en la batería, utilizando guantes de caucho remover las 6 tapas de la batería teniendo cuidado de evitar el contacto del ácido a la piel o a los ojos. Las pruebas consisten en verificar el electrolito, densidad y carga de la batería.



**Figura 17. Pruebas en la batería**

La sincronización del encendido permite obtener un mejor rendimiento, una mayor durabilidad, un menor consumo y en definitiva, mantener las prestaciones del motor, poner a punto el sistema de encendido, significa hacer saltar de la bujía en el cilindro en el momento oportuno.



**Figura 18. Puesta a punto con la pistola estroboscópica**

En el carburador tiene lugar la mezcla de gasolina con aire en la proporción adecuada según el motor, a un carburador ingresa por un lado la gasolina impulsada por una bomba de alimentación y por otro lado el aire exterior a través de un filtro de aire, el cual es aspirado por el pistón.



**Figura 19. Calibración del carburador**

Una vez concluido todo se carga el molino para moler.



**Figura 20. Proyecto completado**

La única forma de comprobar la calidad obtenida es, procesándolo, es decir, poniéndole en los moldes, luego pintándoles para finalmente poner en el horno.



**Figura 21. Productos finales**

Adicionalmente se realiza la medición de gases y comparación con los valores permitidos por las normas, para de esta manera cuantificar la disminución de contaminación del motor.

**Tabla I. Concentración de CO y valores permitidos**

VEHÍCULO		Gases de escape (%)		Valor permitido por la NORMA
		Sin Catalizador	Con catalizador	
MARCA	C.C	CO	CO	CO
Datsun	1400	3.67	1.707	2.00

Determinando que el M.C.I cumple con los valores permitidos por las normas INEN NTE 2003:99.

#### IV. CONCLUSIONES

- El molino de bolas basa su funcionamiento en que el movimiento de las bolas dentro del tambor es afectado por el efecto Coriolis el cual sostiene que la diferencia de velocidad entre las bolas y los recipientes se traducen en una acción combinada de fuerzas de choque y fricción que libera gran cantidad de energía dinámica.
- La velocidad crítica de rotación del molino es aquella en la que la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor anula la influencia que la gravedad ejerce sobre las bolas que caen, anulando por lo tanto su función, por lo que no realizan su trabajo de molienda.
- La selección del motor de combustión interna se basa en el torque mínimo necesario y en la potencia total requerida para hacer girar el molino, para determinar la potencia requerida en el motor es recomendable utilizar un margen de seguridad del 20 al 30 % debido a las pérdidas en el sistema.
- Las pruebas de campo experimentales revelaron el eficiente trabajo de un motor

Datsun 1600 a una amplia gama de velocidades, demostrando una correcta generación de potencia con un mínimo de pérdidas, bajo consumo de combustible y con la opción de invertir el giro para colocar los materiales previos a la molienda.

#### **V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] NORTON R. "Diseño de Maquinas". Mc Graw-Hill. Ed. México 1999.
- [2] Cary H, Manual de soldadura moderna, Segunda edición, Editorial Hispanoamericana, México, 1980.
- [3] MOTT ROBERT L. "Resistencia de materiales"; 3 Edición, Prendice-Hall
- [4] MANUAL DE SOLIDWORKS 2008.

## **X PLANOS**



Latacunga, Marzo de 2011

**LOS AUTORES:**

---

Milton Efrain Guanoluisa Yugla

---

Byron Marcelo Santamaria Núñez

**EL DIRECTOR DE CARRERA:**

---

Ing. Juan Castro Clavijo

**UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:**

---

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar  
Secretario Académico