



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA  
ENSAYOS EN DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA  
TÉCNICA ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2”**

**CALERO CALERO FREDDY VIDAL  
CARRERA GUANOLUISA DAMIÁN ALEXANDER**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-06-18

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**CARRERA GUANOLUISA DAMIÁN ALEXANDER**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS EN  
DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA TÉCNICA ASTM G65 / COGUANOR  
41087 h2”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Pablo Sinchiguano  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Miguel Aquino  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-06-18

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**CALERO CALERO FREDDY VIDAL**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS EN  
DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA TÉCNICA ASTM G65 / COGUANOR  
41087 h2”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Pablo Sinchiguano  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Miguel Aquino  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CARRERA GUANOLUISA DAMIÁN  
ALEXANDER

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
PARA ENSAYOS EN DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA TÉCNICA  
ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2”

**Fecha de Examinación:** 2015-07-20

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Pablo Sinchiguano DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CALERO CALERO FREDDY VIDAL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS EN DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA TÉCNICA ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2”

**Fecha de Examinación:** 2015-07-20

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Pablo Sinchiguano DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Carrera Guanoluisa Damián Alexander

---

Calero Calero Freddy Vidal

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Silvia y Segundo, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar la distancia. A todos y cada uno de mis hermanos y hermanas que con sabios consejos estuvieron presentes cada día.

A Evellyn mi amada esposa porque siempre ha estado a mi lado brindándome su amor y apoyo incondicional. A mi hermosa hija que es mi inspiración de superación. Porque sin ellos no hubiera logrado esta meta.

**Damián Carrera Guanoluisa**

Este trabajo lo dedico a Dios por guiarme en mi camino, darme salud y fortaleza para seguir adelante en cada uno de mis propósitos ,a mis padres en especial a mi amada madre Lucrecia Calero por su infinito amor y consejos, a mis lindos hermanos Carlos , Vinicio, Verónica ,Karina y mis queridos sobrinos David y Victoria quienes son la razón de mi existencia y porque siempre han estado a mi lado brindándome su amor y apoyo gracias a ellos he estado rodeado siempre de felicidad y calor de un hogar todos los días de mi vida y así poder llegar a culminar esta meta tan anhelada por todos.

**Freddy Calero Calero**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme fortaleza y con su bendición poder lograr mis metas, a mi familia y amigos, en especial a mi madre, a mi esposa y a mi hija las cuales son mi motivo de inspiración y pilares fundamentales, gracias por brindarme todo el apoyo, cariño, comprensión y confianza para culminar una etapa más de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener tan honorable profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Miguel Aquino e Ing. Pablo Sinchiguano, por brindarme su amistad y asesoramiento en la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se lograron elaborar el presente documento, además a mi compañero de tesis por su amistad, paciencia y comprensión en este trabajo.

**Damián Carrera Guanoluisa**

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios por darnos la oportunidad de vida y estar siempre con nosotros para superar todos los obstáculos y llenarnos de bendiciones con nuestras familias y amigos que hemos conocido en este periodo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos la oportunidad de obtener un título profesional para desempeñarnos de la mejor forma.

Al Ing. Pablo Sinchiguano Director de Tesis e Ing. Miguel Aquino Asesor por su valioso apoyo y conocimiento en el desarrollo de este proyecto para terminar con éxito la carrera.

De manera muy especial a todos los docentes de la Facultad y amigos que nos han acompañado y colaborado durante nuestra formación.

**Freddy Calero Calero**

## CONTENIDO

	<b>Página.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación técnica.....	1
1.3 Justificación económica.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general..	3
1.4.2 Objetivos específicos:.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Historia de la fricción y el desgaste.....	4
2.1.1 <i>Análisis de la fricción y desgaste</i> ..	5
2.1.2 <i>Estudio de la fricción</i> .....	5
2.1.3 <i>Tipos de rozamiento</i> .....	5
2.1.3.1 <i>Fuerza de rozamiento estático</i> ..	6
2.1.3.2 <i>Fuerza de rozamiento cinética</i> ..	6
2.1.4 <i>Tipos de desgaste</i> .....	6
2.1.4.1 <i>Desgaste por adhesión</i> .....	7
2.1.4.2 <i>Desgaste por fatiga</i> ..	7
2.1.4.3 <i>Desgaste por corrosión</i> ..	7
2.1.4.4 <i>Desgaste por cavitación</i> ..	8
2.1.4.5 <i>Desgaste por abrasión</i> .....	8
2.2 Variables que afectan al desgaste .....	9
2.2.1 <i>Variables relacionadas con la naturaleza del material</i> .....	9
2.2.2 <i>Variables relacionadas con el servicio</i> .....	9
2.3 Medición del desgaste .....	10
2.3.1 <i>Medición del desgaste por medio de pérdida de masa</i> .....	10
2.3.2 <i>Medición lineal del desgaste</i> ..	11
2.3.3 <i>Medición del área de desgaste</i> ..	11
2.3.4 <i>Medición del volumen de desgaste</i> ..	12
2.4 Tamaño de grano según FEPA .....	12
2.5 Material abrasivo .....	13

2.5.1	<i>Tipos de materiales abrasivos normalizados..</i>	14
2.6	Descripción del ensayo de abrasión según norma técnica ASTM G 65-00	14
2.6.1	<i>Material abrasivo para aceros..</i>	14
2.6.2	<i>Flujo de material abrasivo..</i>	15
2.6.3	<i>Probetas estándar para el ensayo..</i>	16
2.6.4	<i>Tipos de procedimientos de ensayo.</i>	16
2.6.4.1	<i>Procedimiento A.</i>	16
2.6.4.2	<i>Procedimiento B.</i>	16
2.6.4.3	<i>Procedimiento C.</i>	16
2.6.4.4	<i>Procedimiento D.</i>	17
2.6.4.5	<i>Procedimiento E.</i>	17
2.6.5	<i>Equipo de ensayo de abrasión para aceros.</i>	17
2.6.6	<i>Parámetros del ensayo a abrasión..</i>	18
2.6.7	<i>Parámetros de diseño del equipo de abrasión.</i>	18
2.6.7.1	<i>Tiempo de ensayo..</i>	19
2.6.7.2	<i>Carga aplicada.</i>	19
2.6.7.3	<i>Rueda de caucho.</i>	19
2.6.8	<i>Características del motor.</i>	19
2.7	Adoquín	20
2.7.1	<i>Definición.</i>	20
2.7.2	<i>Clasificación de los adoquines.</i>	20
2.7.2.1	<i>Por su forma según norma INEN 1483..</i>	21
2.7.2.2	<i>Por su uso según norma INEN 1488.</i>	22
2.7.3	<i>Normas INEN para adoquín.</i>	22
2.8	Aplicación del ensayo a abrasión en adoquín	23
2.8.1	<i>Descripción del ensayo de abrasión según norma COGUANOR NTE 41087 h2</i>	23
2.8.1.1	<i>Material abrasivo para adoquín de hormigón.</i>	23
2.8.1.2	<i>Flujo de material abrasivo para adoquín (Hormigón)..</i>	23
2.8.2	<i>Probetas estándar para el ensayo de abrasión en adoquines (Hormigón).</i>	24
2.8.3	<i>Equipo de ensayo de abrasión según norma COGUANOR NTE41087 h2.</i>	25
2.9	Parámetros del ensayo a abrasión en adoquines	26
2.10	Métodos alternativos para ensayos de desgaste por abrasión	26
2.10.1	<i>Abrasión de aceros según norma G 105-02.</i>	26

2.10.1.1	<i>Herramientas para el ensayo</i> .....	27
2.10.1.2	<i>Procedimiento según norma ASTM G 105-02</i> .....	27
2.10.2	<i>Abrasión de adoquines (Según norma ASTM C 131-03, ASTM C 535, NTC 98)</i> .....	28
2.10.2.1	<i>Herramientas para el ensayo</i> .....	29
2.10.2.2	<i>Procedimiento según norma ASTM C 131-03</i> .....	29
2.10.3	<i>Abrasión de adoquín según norma EN 13892-3, COGUANOR 41087</i> .....	30
2.10.3.1	<i>Herramientas para el ensayo</i> .....	30
2.10.3.2	<i>Procedimiento según norma COGUANOR 41087 h2 - ensayo Böhme</i> .....	31
2.11	<i>Selección del equipo de abrasión a construir</i> .....	32
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL EQUIPO DE ENSAYO</b> .....	<b>34</b>
3.1	<i>Generalidades</i> .....	34
3.2	<i>Descripción del equipo</i> .....	34
3.2.1	<i>Descripción del equipo de abrasión para aceros</i> .....	34
3.2.2	<i>Descripción del equipo de abrasión para adoquín</i> .....	35
3.3	<i>Diseño del sistema de abrasión aplicado en acero</i> .....	36
3.3.1	<i>Variables de diseño de la transmisión del equipo de abrasión para acero</i> .....	36
3.3.1.1	<i>Cálculo de la fuerza de tensión (T)</i> .. .....	36
3.3.1.2	<i>Cálculo de la fuerza de rozamiento (F<sub>r</sub>)</i> .....	39
3.3.1.3	<i>Cálculo de la fuerza normal (F<sub>N</sub>)</i> .....	40
3.3.1.4	<i>Cálculo del peso (W<sub>D</sub>) del disco</i> .....	40
3.3.2	<i>Diseño estático del eje de transmisión para equipo según ASTM G65</i> .....	40
3.3.2.1	<i>Cálculo de fuerzas en la transmisión por cadena</i> .. .....	41
3.3.2.2	<i>Cálculo de esfuerzos en la transmisión por cadena</i> .....	45
3.3.3	<i>Análisis por fatiga en base a fluctuaciones</i> .....	46
3.3.4	<i>Diseño del eje a carga dinámica</i> .....	47
3.3.5	<i>Verificación mediante software del eje de transmisión</i> .....	49
3.3.6	<i>Selección de chaveta-chavetero en los piñones y disco abrasivo para acero</i> ..	51
3.3.7	<i>Selección de chumaceras para eje de transmisión</i> .....	53
3.4	<i>Diseño del sistema de abrasión aplicado a adoquín</i> .....	55
3.4.1	<i>Variables de diseño de la transmisión del equipo de abrasión para adoquín</i> ..	55
3.4.1.1	<i>Cálculo de la fuerza de tensión (T)</i> .. .....	56
3.4.1.2	<i>Determinación del número de dientes en el piñón de baja velocidad</i> .....	56

3.4.1.3	<i>Cálculo de la fuerza normal (<math>F_N</math>)</i> .....	58
3.4.1.4	<i>Cálculo de la fuerza de rozamiento (<math>F_r</math>)</i> .....	59
3.4.1.5	<i>Cálculo del peso (<math>W_D</math>) del disco</i> .....	59
3.4.2	<i>Diseño estático del eje de transmisión para equipo según COGUANOR</i> .....	59
3.4.2.1	<i>Cálculo de Fuerzas en la transmisión por cadena</i> .....	59
3.4.2.2	<i>Cálculo de esfuerzos en la transmisión por cadena</i> .....	63
3.4.3	<i>Análisis por fatiga en base a fluctuaciones</i> .....	64
3.4.4	<i>Diseño del eje a carga dinámica</i> .....	65
3.4.5	<i>Verificación mediante software del eje de transmisión</i> .....	67
3.4.6	<i>Selección de chaveta y chavetero</i> .....	68
3.4.7	<i>Selección de la chumacera del eje</i> .....	68
3.5	<i>Diseño de la estructura</i> .....	69
3.5.1	<i>Cargas que actúan en la estructura</i> .. .....	69
3.5.1.1	<i>Cargas debido a las tolvas de almacenamiento</i> .....	71
3.5.1.2	<i>Carga por el peso del espécimen (adoquín)</i> .. .....	72
3.5.2	<i>Comprobación de resistencia en ANSYS 14.5</i> .....	73
3.6	<i>Diseño del brazo (palanca)</i> .....	74
3.6.1	<i>Verificación del brazo sometido a carga</i> .....	75
3.7	<i>Porta probeta</i> .....	76
3.7.1	<i>Porta probetas para aceros</i> .....	76
3.7.2	<i>Porta espécimen móvil de adoquín</i> .....	77
3.7.2.1	<i>Mecanismo de fijación del espécimen</i> .....	77
3.8	<i>Discos metálicos abrasivos</i> .....	78
3.8.1	<i>Disco vulcanizado para ensayos en aceros</i> .....	78
3.8.2	<i>Disco metálico ancho para ensayos</i> .....	78
3.9	<i>Tolvas</i> .....	79
3.9.1	<i>Tolva de almacenamiento para arena sílice</i> .....	79
3.9.2	<i>Tolva superior de almacenamiento para aluminio</i> .....	79
3.9.2.1	<i>Tolva inferior de regulación</i> .....	80
3.10	<i>Geometría del brazo soporte de tolvas</i> .....	80
3.11	<i>Válvulas</i> .....	81
3.11.1	<i>Válvula de regulación de arena sílice</i> .....	81
3.11.2	<i>Válvula de regulación de flujo de arena abrasiva (Aluminio marrón)</i> .....	81
3.11.2.1	<i>Conducto para material abrasivo</i> .....	81

3.11.2.2	<i>Boquilla para ensayo en aceros..</i>	82
3.12	Recolección del material abrasivo .....	82
3.13	Diseño circuito eléctrico .....	82
<b>4.</b>	<b>TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....</b>	<b>84</b>
4.1	Generalidades .....	86
4.2	Construcción del equipo de abrasión .....	86
4.2.1	<i>Bastidor del equipo.....</i>	86
4.2.2	<i>Tolvas para el material abrasivo.....</i>	86
4.2.3	<i>Brazo soporte de tolvas. .</i>	87
4.2.4	<i>Ejes de transmisión.....</i>	88
4.2.5	<i>Discos abrasivos.....</i>	88
4.2.6	<i>Porta probetas y sujeción de espécimen.....</i>	89
4.2.7	<i>Brazo (palanca).....</i>	90
4.2.8	<i>Boquilla.....</i>	90
4.3	Ensamble de las partes del equipo .....	91
4.3.1	<i>Motoreductor.....</i>	91
4.3.2	<i>Fijación de las ruedas abrasivas.....</i>	91
4.3.3	<i>Unión de tolvas a la estructura.....</i>	92
4.3.4	<i>Colocación de válvulas de control.....</i>	92
4.3.5	<i>Montaje de la cadena de transmisión.....</i>	92
4.3.6	<i>Montaje total y pintura del equipo.....</i>	93
4.4	Manual de operación .....	93
4.5	Limpieza .....	94
4.6	Manual de mantenimiento .....	95
4.6.1	<i>Mantenimiento del sistema eléctrico.....</i>	95
4.6.2	<i>Mantenimiento del sistema mecánico.....</i>	95
4.6.2.1	<i>Mantenimiento de sección para ensayo de aceros.....</i>	95
4.6.2.2	<i>Mantenimiento de sección para ensayo de adoquines.....</i>	95
4.7	Plan de seguridad.....	96
4.7.1	<i>Uso de equipo de protección personal.....</i>	96
<b>5.</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO.....</b>	<b>97</b>
5.1	Requerimientos y recomendaciones para ensayo según norma ASTM G-65	101
5.1.1	<i>Probeta de Acero.....</i>	101

5.1.2	<i>Calibración del equipo según norma ASTM G65..</i>	102
5.1.3	<i>Guía de laboratorio del ensayo de abrasión en aceros.....</i>	103
5.2	Requerimientos y recomendaciones para ensayo según norma COGUANOR 41087 h2 .....	109
5.2.1	<i>Probeta de adoquín..</i>	109
5.2.2	<i>Preparación de la probeta de adoquín.....</i>	109
5.2.3	<i>Calibración del equipo según norma COGUANOR NTG 41087 h2.....</i>	110
5.2.3.1	<i>Material de calibración.....</i>	110
5.2.4	<i>Trazado del contorno de la huella de desgaste..</i>	111
5.2.4.1	<i>Aceptación o rechazo de la huella.....</i>	112
5.2.4.2	<i>Resultados del ensayo de abrasión con disco metálico ancho.....</i>	112
5.2.5	<i>Guía de Laboratorio del ensayo de abrasión de adoquín .....</i>	113
<b>6.</b>	<b>PRUEBAS DEL EQUIPO Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....</b>	<b>118</b>
6.1	Pruebas del equipo .....	118
6.1.1	<i>Pruebas del equipo según norma ASTM G65. ....</i>	118
6.1.2	<i>Pruebas del equipo según norma COGUANOR 41087.....</i>	121
6.2	Resultados de los ensayos.....	124
6.2.1	<i>Resultados de ensayos en aceros.....</i>	124
6.2.2	<i>Resultados de ensayos de adoquines.....</i>	132
<b>7.</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>138</b>
7.1	Costos directos.....	138
7.1.1	<i>Costos de materiales y accesorios mecánicos .....</i>	138
7.1.2	<i>Costos de materiales y accesorios eléctricos .....</i>	140
7.1.3	<i>Costos por maquinaria a utilizar.....</i>	140
7.1.4	<i>Costos materiales y abrasivos .....</i>	141
7.1.5	<i>Costos de mano de obra .....</i>	141
7.1.6	<i>Total de costos directos .....</i>	142
7.2	Costos indirectos.....	142
7.3	Costos totales.....	142
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>143</b>
8.1	Conclusiones.....	143
8.2	Recomendaciones .....	144

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

		Página.
1	<i>Medidas de granos para discos de desbaste y otros tipos de abrasivos</i> .....	12
2	<i>Escala de Mohs de dureza de los minerales</i> .....	13
3	<i>Tamaño de tamices</i> .....	14
4	<i>Dimensiones de la probeta según norma ASTM G 65</i> .....	15
5	<i>Parámetros de ensayo según norma ASTM G 65</i> .....	16
6	<i>Características técnicas del moto-reductor</i> .....	19
7	<i>Adoquines según norma INEN 1483</i> .....	20
8	<i>Adoquines por su uso según norma INEN 1488</i> .....	21
9	<i>Normas INEN sobre adoquines</i> .....	21
10	<i>Dimensiones de la probeta según norma COAGUNOR NTG 41087 h2</i> .....	23
11	<i>Parámetros de ensayo según norma COAGUNOR NTG 41087 h2</i> .....	24
12	<i>Selección de equipo del ensayo de abrasión de aceros</i> .....	30
13	<i>Selección de equipo del ensayo de abrasión de adoquines</i> .....	30
14	<i>Dimensiones de chavetas y chaveteros</i> .....	48
15	<i>Propiedades de chumacera SKF para eje 1</i> .....	50
16	<i>Diámetro de piñones</i> .....	51
17	<i>Dimensiones de chavetas</i> .....	62
18	<i>Propiedades de chumacera SKF para eje 2</i> .....	62
19	<i>Manual de operaciones</i> .....	86
20	<i>Guía de actividades</i> .....	91
21	<i>Materiales y accesorios mecánicos</i> .....	131
22	<i>Materiales y accesorios eléctricos</i> .....	133
23	<i>Maquinaria y equipo a utilizar</i> .....	133
24	<i>Costos de materiales y abrasivos</i> .....	134
25	<i>Costos de mano de obra</i> .....	134
26	<i>Total de costos directos</i> .....	134
27	<i>Costos indirectos</i> .....	135
28	<i>Costos total</i> .....	135

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Representación de la Fe (Reposo).....	6
2 Representación de la Fe (Movimiento $v \neq 0$ ).....	6
3 Superficie desgastada por adhesión.....	7
4 Superficie desgastada por fatiga.....	7
5 Superficie desgastada por corrosión.....	7
6 Superficie desgastada por cavitación.....	8
7 Superficie desgastada por abrasión.....	8
8 Volumen perdido en un perno.....	10
9 Huella de desgaste a abrasión sobre bloque.....	11
10 Materiales Abrasivos.....	13
11 Flujo de arena laminar óptimo.....	15
12 Esquema del equipo de abrasión para acero según norma ASTM G 65.....	17
13 Rueda de caucho.....	18
14 Adoquín.....	19
15 Forma de adoquines.....	20
16 Tolva (inferior) de control y distribución del flujo.....	22
17 Esquema del equipo de abrasión en adoquín según COAGUNOR 41087 h2..	24
18 Equipo de abrasión Los Ángeles.....	25
19 Equipo de abrasión húmeda.....	27
20 Equipo de abrasión Böhme.....	28
21 Esquema de fuerzas actuantes el brazo palanca.....	36
22 Diagrama de tensiones en cadena.....	37
23 Eje para disco abrasivo para acero.....	38
24 Diagrama de cargas disco abrasivo para acero.....	38
25 Diagrama de cargas en el plano YZ.....	39
26 Diagrama de fuerzas y momentos cortantes en el plano YZ.....	39
27 Diagrama de cargas en el plano XZ.....	40
28 Diagrama de fuerzas y momentos cortantes en el plano XZ.....	40
29 Fluctuación de esfuerzos.....	42
30 Eje de transmisión 1.....	43
31 Factor de seguridad en el eje.....	45

32	Desplazamientos en el eje.....	46
33	Chaveta y chavetero.....	47
34	Eje para disco abrasivo para adoquín.....	54
35	Diagrama de cargas de eje para adoquín.....	54
36	Diagrama de cargas en el plano YZ.....	55
37	Diagramas de fuerzas y momentos cortantes en el plano YZ.....	55
38	Diagrama de cargas en el plano XZ.....	56
39	Diagramas de fuerzas y momentos cortantes en el plano XZ.....	56
40	Fluctuación de esfuerzos.....	58
41	Eje de transmisión 2.....	59
42	Coeficiente de seguridad en eje de transmisión.....	61
43	Vista isométrica de deformaciones en el eje.....	61
44	Geometría en vista isométrica de la estructura.....	63
45	Vista de plano XY de las fuerzas que ejerce el motorreductor.....	63
46	Tolvas de almacenamiento de abrasivo.....	64
47	Esquema de fuerzas producidas por las tolvas.....	64
48	Aplicación de cargas.....	66
49	Factor de seguridad en la bancada.....	66
50	Deformaciones máxima y mínima en la bancada.....	67
51	Esfuerzos equivalentes.....	67
52	Brazo palanca.....	68
53	Efecto de la carga aplicada en el brazo.....	68
54	Deformaciones unitarias.....	69
55	Porta probetas de aceros.....	69
56	Porta espécimen móvil para probeta de adoquín.....	70
57	Mecanismo de fijación del espécimen.....	70
58	Disco abrasivo para aceros.....	71
59	Disco abrasivo para adoquín.....	71
60	Tolva para arena sílice.....	72
61	Tolva para corindón.....	72
62	Tolva inferior de regulación.....	72
63	Brazo porta tolvas.....	73
64	Válvula de esfera de 3/4.....	73

65	Válvula de esfera de 1 1/4.....	74
66	Boquilla para ensayo en aceros.....	74
67	Arranque del motor trifásico.....	75
68	Simbología de procesos según norma ASME.....	76
69	Diagrama de procesos de la construcción del equipo.....	77
70	Bastidor.....	78
71	Tolvas.....	79
72	Tolva regulación.....	79
73	Pedestal.....	79
74	Ejes de transmisión para acero.....	80
75	Ejes de transmisión para acero.....	80
76	Disco abrasivo vulcanizado.....	80
77	Disco ancho abrasivo para adoquín.....	81
78	Porta probetas de acero.....	81
79	Porta espécimen (adoquín) móvil.....	81
80	Brazo.....	82
81	Boquilla según norma ASTM G65.....	82
82	Fijación del motor.....	83
83	Fijación de las ruedas a la bancada.....	83
84.	Colocación de cadena de transmisión.....	84
85	Ensamble total.....	85
86	Equipo de protección personal.....	88
87	Diagrama de flujo del proceso para ensayos de abrasión.....	89
88	Dimensiones de probeta de acero.....	94
89	Dimensiones de probeta de adoquín.....	101
90	Medición de la huella.....	103
91	Medición de la velocidad del motoreductor.....	110
92	Arena de sílice tamizada.....	110
93	Flujo constante de la arena de sílice.....	111
94	Pesas.....	111
95	Prueba en el durómetro.....	111
96	Probetas ensayadas en el durómetro.....	112
97	Huella de la probeta de acero después del ensayo.....	112

98	Balanza analítica SHIMA D2V AUX220.....	112
99	Reducción de velocidad.....	113
100	Recipiente de un litro.....	113
101	Huella de la probeta de adoquín después del ensayo.....	114
102	Distancia longitudinal de la huella.....	114
103	Distancia transversal de la huella.....	114
104	Estructura del acero AISI D2 a 200X (procedimiento A).....	122
105	Estructura del acero AISI D2 a 200X (procedimiento B).....	124

## SIMBOLOGÍA

w	Carga	N, kgf
v	Velocidad	m/s
g	Gravedad	m/s <sup>2</sup>
U <sub>e</sub>	Coefficiente de rozamiento estático	-
U <sub>k</sub>	Coefficiente de rozamiento dinámico	-
F <sub>e</sub>	Fuerza de rozamiento estático	N
F <sub>k</sub>	Fuerza de rozamiento dinámico	N
F <sub>r</sub>	Fuerza de rozamiento	N
h	Altura	m, mm
θ	Angulo	°
t	Ancho	mm
m	Masa	kg
ρ	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>
V	Volumen	mm <sup>3</sup>
N	Número de revoluciones	rpm
P, H	Potencia del motor	Hp
T	Torque	Nm
Z, T	Número de dientes del piñón	-
i	Relación de transmisión	-
P	Paso	mm, in
S	Velocidad de la cadena	ft/min
T, L	Fuerza de tensión	N
F <sub>n</sub>	Fuerza normal	N
WD	Peso del disco	N
D, d, Ø	Diámetro	mm, in
r, R	Radio	mm, in
n	Factor de seguridad	-
A <sub>s</sub>	Área del adoquín	mm <sup>2</sup>
W <sub>s</sub>	Peso de la cartulina con la forma de la probeta	gr
W	Peso del rectángulo de la cartulina	gr
e	Distancia de centros entre los dos piñones	mm, in
D <sub>p</sub>	Diametral pitch del piñón mayor	mm, in

dp	Diametral pitch del piñón menor	mm, in
M	Momento flector	Nm
$\sigma_F$	Esfuerzo de flexión	kgf/cm <sup>2</sup>
$\tau_F$	Esfuerzo de torsión	kgf/cm <sup>2</sup>
$\tau_c$	Esfuerzo de corte	kgf/cm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub>	Resistencia a la fluencia	Mpa
Se	Límite de resistencia a la fatiga	kgf/cm <sup>2</sup>
Sé	Límite de resistencia de la muestra	kgf/cm <sup>2</sup>
Sut	Resistencia mínima a la tensión	
Ka	Factor de superficie	-
Kb	Factor de tamaño	-
Kc	Factor de confiabilidad	-
Kd	Factor de temperatura	-
Kf	Factor de efectos diversos	-
Ke	Factor de concentración de tensiones	-
$\sigma_{apl}$	Esfuerzo de aplastamiento en la chaveta	kgf/cm <sup>2</sup>
C <sub>R</sub>	Carga estática	KN
C <sub>o</sub>	Carga estática	KN
AVL	Perdida de volumen ajustado	mm <sup>3</sup>
V <sub>c</sub>	Valor de calibración	mm
L <sub>h</sub>	Longitud de la huella resultante	mm
f <sub>s</sub>	Factor de aplicación de carga en rodamientos	-
f <sub>l</sub>	Factor de esfuerzos dinámicos	-
f <sub>n</sub>	Factor de velocidad	-
F1	Fusible (protección de línea y cortocircuito)	-
K1	Contactador	-
F2	Protección del motor contra sobrecargas	-
M1	Motor trifásico	-

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ANSI	American National Standard Institute
AISI	American Iron and Steel Institute
ISO	Institute Standard Organization
EN	Norma Europea
COAGUNOR	Comisión Guatemalteca de Normas
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
NTG	Norma Técnica Guatemalteca
NTC	Norma Técnica Colombiana

## LISTA DE ANEXOS

- A** Norma ASTM G65-00 método de ensayo para determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de acero
- B** Norma COAGUNOR 41087 h2 -método de ensayo para determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto
- C** Iteración para cálculo de masas según norma ASTM G 105-02
- D** Selección del tipo de cadena
- E** Selección del número de dientes
- F** Diámetro del piñón
- G** Peso ( $W_D$ ) del disco en acero 1018 en gramos
- H** Régimen de fatiga
- I** Propiedades del material
- J** Factores de superficie
- K** Factor de tamaño
- L** Factor de confiabilidad
- M** Factor de temperatura
- N** Sensibilidad a la muesca o entalle
- Ñ** Factor teórico de concentración de esfuerzos
- O** Selección de chavetas
- P** Factor de esfuerzos dinámicos
- Q** Factor de velocidad
- R** Factor de aplicación de carga en rodamientos
- S** Selección de chumaceras
- T** Peso ( $W_D$ ) en gramos del disco de acero A36
- U** Selección tubo cuadrado estructural ASTM A 500 catálogo DIPAC
- V** Perfil angular de 30 x 30 x 3 catálogo DIPAC
- W** Selección de tubo redondo mecánico ASTM A513 catálogo DIPAC
- X** Selección de plancha ASTM A36 catálogo DIPAC
- Y** Propiedades de los materiales abrasivos
- Z** Documentos previos al ensayo
- 1A** Norma ASTM E122-00

## RESUMEN

Se ha diseñado y construido una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según las normas técnicas ASTM G 65 -00 / COGUANOR NTG 41087, las cuales muestran similitud del principio físico, a fin de determinar experimentalmente la resistencia por abrasión en aceros y adoquín con la finalidad de fomentar la mejora y garantizar la calidad de los materiales ensayados.

La metodología aplicada en esta tesis se apoya en el cálculo matemático y uso de software para el diseño considerando parámetros de resistencia al desgaste establecidos en normas como son: potencia, velocidad, contrapeso, flujo y tipo de material abrasivo, tiempos de ensayo, dimensiones; así también la selección adecuada de alternativas para el prototipo de la máquina.

El ensayo de abrasión consiste en producir desgaste mediante la caída del flujo constante de abrasivo que pasa tangencialmente entre el disco rotativo y la superficie de desgaste de la probeta, dependiendo de la norma y aceros a utilizar en el ensayo existen procedimientos establecidos como A, B, C, D y E. El desgaste abrasivo se calculó mediante ecuaciones matemáticas partiendo de los ensayos realizados en acero AISI D2 mediante el procedimiento B, debido a su alta resistencia; y de forma similar en adoquín vehicular de hormigón.

Los resultados obtenidos se presentan por fases es así que en la fase de diseño se desarrollaron los planos de la máquina, selección de materiales para la construcción y finalmente las pruebas de funcionamiento; consecuentemente se recomienda ahondar en la fase experimental y validación de los métodos de ensayos; contribuyendo al mejoramiento de la calidad en los procesos productivos descritos.

## **ABSTRACT**

It is designed a test machine for abrasive service according to the technical standards ASTM G65/COGUANOR NTG 4187 h2 , which show similarity of physical principle for the purpose of determine experimentally the abrasion resistance in paving stones and steels in order to develop improved and ensure the quality of the materials tested.

The methodology used in this thesis is based on the mathematical calculation and use of software for the design considering parameters of wear resistance established in standards such as: power, speed, counter balance, flowed and the type of abrasive material, test times, dimensions; also the proper selection of alternatives for the prototype of the machine.

The abrasion test is to produce wear by the fall of the constant flow of abrasive which passes tangentially between the rotary disk and the wear surface of the test tube depending on the standard and steel used in the testing procedures are established as A, B, C, D and E. The abrasive wear was calculated using mathematical equations bases on tests performed on steel AISI D2 by the method B, due to its high resistance and a manner similar in vehicular concrete paving stones.

The results are presented in phases. That is way, in the design phase it was developed the plans of the machine, selection of building materials and finally performance tests developed. Therefore it is recommended to delve into the experimental phase and validation of test methods; contributing to the quality improvement in the processes outlined production.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Cuando dos superficies solidas entran en contacto directo y con movimiento relativo uno con respecto del otro se produce un desgaste o abrasión, este efecto puede incidir en la pérdida de material en el área de contacto, y afecta el costo por mantenimiento de equipo y maquinarias agrícolas, de minería, construcción de viviendas, mantenimiento de carreteras. Cave recalcar que la fuerza necesaria para producir este desgaste es una medida de la fricción la cual está en dirección opuesta al movimiento de las superficies.

El desgaste es una característica de la topografía y naturaleza de las superficies de los materiales por lo que es importante estudiar los esfuerzos de contacto y tipos de movimiento, en la actualidad se producen muchos productos con materiales metálicos y las exigencias que tengan cualidades mejores para garantiza un mejor trabajo y una mayor durabilidad, por esta razón es necesario el conocimiento de las características mecánicas y las condiciones a las que van a estar sometidos los materiales.

El estudio y determinación del ensayo (considerado como volumétrico) en materiales como acero y una aplicación del mismo principio en adoquines de hormigón es el objeto del presente trabajo el cual servirá como aporte en la caracterización de las propiedades físicas de los materiales a ensayar.

### 1.2 Justificación técnica

En Ecuador existe una variedad de empresas que se dedican a la fabricación de productos de materiales metálicos y hormigón en sus aplicaciones están expuestos a la abrasión en todo momento y para la entrega a sus clientes estos productos y garantizar la durabilidad es necesario que se realicen ensayos, uno de ellos es el de abrasión según normas internacionales.

Existen máquinas tanto para ensayo de desgaste abrasivo para acero, como para adoquín de hormigón que han permitido el estudio del desgaste abrasivo a lo largo de los años en distintas condiciones por separado.

Este trabajo comprende del diseño y construcción de una máquina con doble utilización; para realizar ensayos de desgaste por abrasión para cualquier tipo de acero según la norma técnica ASTM G-65, además de la aplicación del mismo principio para ensayos en adoquines basada en la norma Guatemalteca COGUANOR 41087 h2 y es equivalente a la norma Europea EN 1338:2003, lo cual se mostrara a lo largo de la tesis.

Los ensayos de abrasión en este caso para acero y adoquín se basan en el mismo principio y la misma finalidad. En el caso de la máquina de abrasión para ensayos en acero el principio básico es hacer incidir un flujo de arena cuarzo contra una probeta que es expuesta al contacto con un disco cubierto de una capa exterior de caucho preferiblemente de clorobutilo que envuelve su periferie. Por otro lado, en el caso de la máquina de abrasión para ensayo en adoquines tiene como principio básico generar un contacto entre el espécimen y el disco de mayor espesor.

Mediante el presente proyecto se pretende atender las necesidades de los productores de dichos materiales, así como también la sociedad, mediante la realización de prácticas de abrasión en los materiales descritos en este trabajo.

### **1.3 Justificación económica**

Las empresas de hoy en día están destinadas a desenvolverse en un mundo cada vez más competitivo que las obliga a adoptar nuevos modelos y estrategias industriales que resuelvan problemas relacionados con el manejo de la marca, canales de distribución de productos, certificaciones de calidad, altos costos de producción, deficiencias en procesos y la existencia de inventarios para satisfacer las inestabilidades de la demanda, entre otros.

Por lo tanto el desarrollo de una máquina de ensayos de abrasión con mayor alcance es un aporte importante de certificaciones de calidad.

## **1.4 Objetivos**

**1.4.1** *Objetivo general.* Diseñar y construir una máquina para realizar ensayos de desgaste abrasivo en acero y adoquines según norma técnica ASTM G-65 y COGUANOR 41007 h2 respectivamente.

**1.4.2** *Objetivos específicos:*

Determinar el desgaste producido en los especímenes.

Evaluar los resultados, que cumplan las condiciones establecidas por la normas de ensayos de abrasión.

Elaboración de guías de laboratorio de los diferentes especímenes a realizarse.

Medir el tamaño de la huella provocada por el disco abrasivo en el adoquín.

Evaluar el desgaste abrasivo en adoquín según norma técnica COGUANOR 41087 h2.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Historia de la fricción y el desgaste

La historia de la fricción es muy amplia y se inicia en los años 3500 A.C lo cual indica el afán que tuvieron nuestros antepasados por la fricción y que hoy hacen parte de la cultura humana, con las primeras aplicaciones que aparecieron una de ellas es el uso de la fricción entre dos materiales para producir fuego. La segunda aplicación es con el uso de la rueda para los movimientos de traslación con el objetivo de disminuir el trabajo de llevar objetos pesados, ya en ese entonces los egipcios tenían un conocimiento acerca de la fricción y utilizaban el agua, la grasa de los animales como lubricante para disminuir la fricción.

El primero en establecer un acercamiento a la fricción fue Leonardo Da Vinci quien redujo las leyes que gobiernan en un bloque deslizándose sobre una superficie plana, pero este aporte paso desapercibido mucho tiempo. Entre los investigadores se destaca Coulomb (1785), quien estableció que la fricción dependía de la naturaleza del material, extensión de la superficie, tiempo de contacto la superficie y la velocidad de deslizamiento.

También Morín (1833) emitió su concepto de deslizamiento ante la fricción de rodadura con estos dos criterios se llegó a la conclusión que la fricción se da por fuerzas adhesivas entre las superficies en contacto. Finalmente Bowden y Tabor (1942) hacen sus estudios de fricción a nivel microscópico y determinan que la superficie real de contacto es muy pequeña la cual aumenta con la presión y se explica la relación que existe entre la fuerza normal y la fuerza de fricción.

A principios del siglo XX es donde toma mayor importancia con la Revolución Industrial y el rápido avance de la tecnología en las máquinas lo que permitió que se

investigue a fondo la fricción, lubricación y desgaste, desarrollada por la ciencia conocida como tribología.

**2.1.1** *Análisis de la fricción y desgaste.* Entiéndase por desgaste la pérdida o degradación de los materiales, cuando dos cuerpos están en contacto y movimiento directo debido a una fuerza de presión que los mantiene unidos, esto se ve afectado principalmente en las superficies de los materiales luego de que han sido sometidos a ciertas condiciones de trabajo ya sean en elementos mecánicos o equipos industriales.

Fricción es una fuerza de oposición al movimiento que se presenta cuando un cuerpo empieza a deslizarse sobre otro cuerpo o superficie con movimiento relativo uno con respecto al otro.

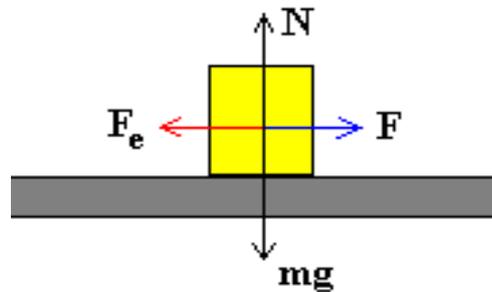
**2.1.2** *Estudio de la fricción.* La fricción es un fenómeno que se ha tratado desde muchos años atrás proviene del latín “fricare” que significa rozamiento o frotamiento la cual se presenta como una pérdida de energía cinética cuando los cuerpos están en movimiento, fue el francés Guillaume Amontons en 1699 quien estableció las dos leyes empíricas de la fricción pero finalmente Charles Agustín Coulomb en 1785 comprobó estas leyes fundamentales y contribuyo con una tercera ley de este fenómeno llamado fricción.

- 1ª ley: La fuerza de fricción es paralela a la dirección del movimiento y su valor depende de la carga  $W$  y su sentido es opuesto al movimiento.
- 2ª ley: El valor de la fuerza no depende del área en contacto.
- 3ª ley: La fuerza de fricción es independiente a la velocidad de deslizamiento.

**2.1.3** *Tipos de rozamiento.* Existen dos tipos de rozamiento el estático y el cinético, y fue Euler en 1748 quien explicó la diferencia que existía entre los dos tipos de rozamiento. . El primero es la resistencia que se debe vencer para poner en movimiento a un cuerpo con respecto a otro que se encuentra en contacto. El segundo es la resistencia que presenta un cuerpo pero cuando ya está en movimiento.

**2.1.3.1 Fuerza de rozamiento estático.** Es la fuerza que está presente entre dos cuerpos que están en reposo, y como la aceleración es cero entonces la fuerza aplicada es igual a la fuerza que se opone al movimiento; es decir, la fuerza de rozamiento estática  $F_e$ .

Figura 1. Representación de la  $F_e$  (reposo)

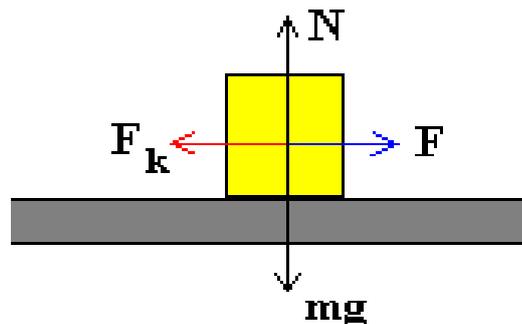


Fuente: Autores

$$\text{Dónde: } F_e = \mu_e N \quad (1)$$

**2.1.3.2 Fuerza de rozamiento cinética.** La fuerza aplicada es mayor a la fuerza de rozamiento estático y el cuerpo empieza a deslizarse, además cuando el movimiento es a velocidad constante entonces la fuerza aplicada es igual a la fuerza de rozamiento  $F_k$ .

Figura 2. Representación de la  $F_e$  (Movimiento  $v \neq 0$ )



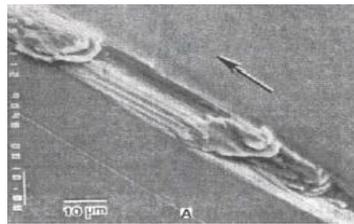
Fuente: Autores

$$\text{Dónde: } F_k = \mu_k N \quad (2)$$

**2.1.4 Tipos de desgaste.** Inicialmente se hizo una clasificación de acuerdo a la naturaleza del material y superficies en contacto, pueden ser metales y no metales pero pueden cambiar de acuerdo al tipo de lubricación utilizado.

**2.1.4.1** *Desgaste por adhesión.* Ocurre por la destrucción de los enlaces de atracción que mantienen unidos a los átomos de las dos superficies en contacto, cuando se aplica una fuerza para separar dichas superficies, esto permite que parte del material arrancado del menos resistente se transfiera al otro de mayor resistencia así esta gana mayor rugosidad. El material desprendido tiene forma de partículas pequeñas que normalmente se transfieren a la otra superficie.

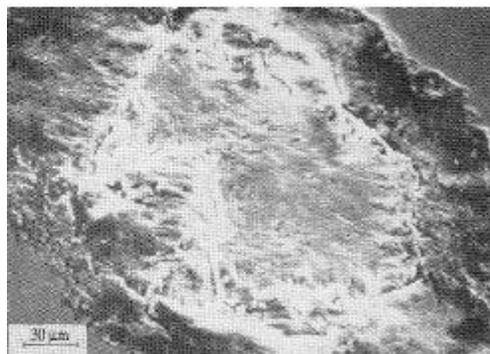
Figura 3. Superficie desgastada por adhesión



Fuente: (ASM Internacional Handbook Committee, 1990)

**2.1.4.2** *Desgaste por fatiga.* Se produce por la repetitividad del movimiento y cuando las piezas son sometidas a elevados esfuerzos lo que provoca que las capas superficiales sufran deformaciones y se desprendan partículas, en la mayoría de los casos se generan alteraciones en la estructura cristalina y en el tamaño de grano. El picado es un ejemplo de desgaste por fatiga esto se puede observar claramente en los rodamientos, engranes etc.

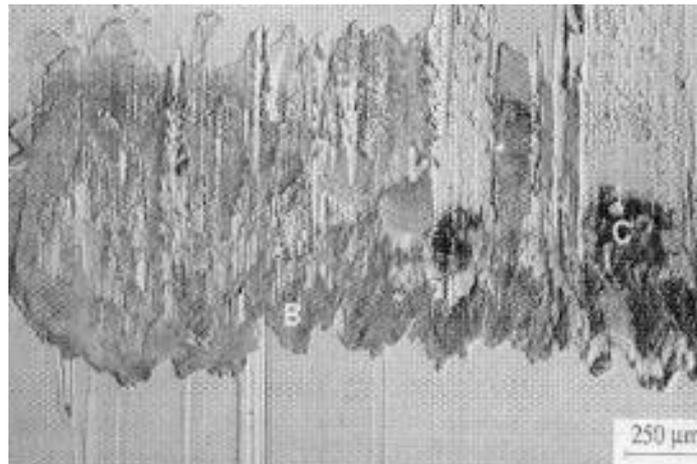
Figura 4. Superficie desgastada por fatiga



Fuente: (ASM Internacional Handbook Committee, 1990)

**2.1.4.3** *Desgaste por corrosión.* Se da debido a las reacciones químicas donde el oxígeno reacciona con el medio ambiente y provoca el deterioro del material haciéndolo más frágil y reduciendo considerablemente su resistencia.

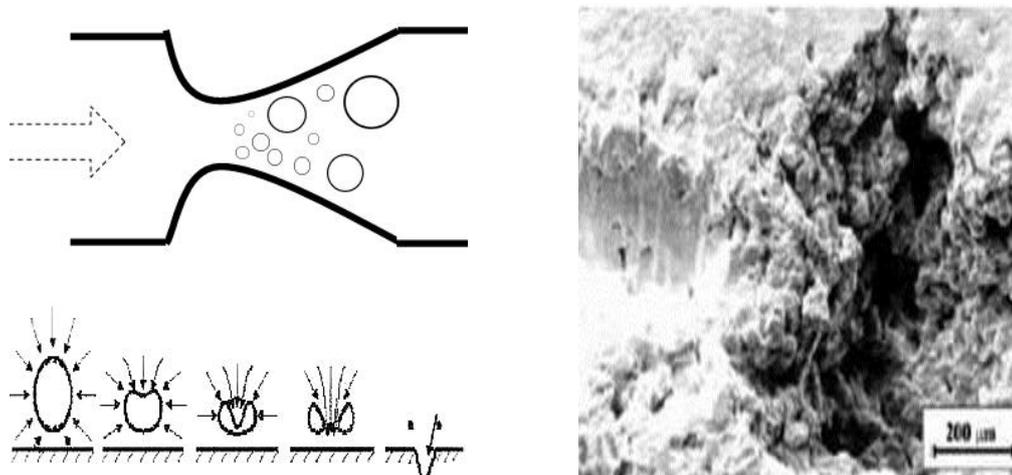
Figura 5. Superficie desgastada por corrosión



Fuente: (ASM Internacional Handbook Committee, 1990)

**2.1.4.4** *Desgaste por cavitación.* Es encontrado generalmente en equipos hidráulicos y es provocado por un fluido ya sea este líquido o gaseoso que está en movimiento que por defecto de bajas de presión, hierve el fluido con lo que aparecen burbujas de vapor las cuales causan una implosión generando un desgaste conocido como cavitación.

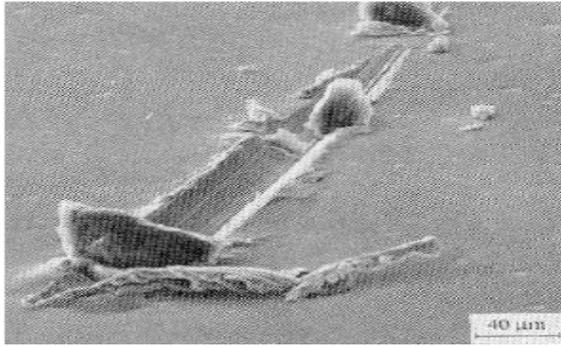
Figura 6. A) Efecto de cavitación B) Superficie desgastada por cavitación



Fuente: <http://grupos.emagister.com/imagen/cavitacion/1409-621730>

**2.1.4.5** *Desgaste por abrasión.* Se da como la remoción del material de la superficie cuando permanecen atrapadas partículas duras entre las dos superficies en contacto que provocan el desprendimiento del material o la penetración en cualquiera de las superficies que tenga menor dureza, este desgaste puede darse en estado seco o húmedo.

Figura 7. Superficie desgastada por abrasión



Fuente: (ASM Internacional Handbook Committee, 1990)

## 2.2 Variables que afectan al desgaste

Son varios los factores que intervienen en el desgaste pues resulta bastante complejo estudiar la forma como es eliminado el material ocasionando un daño irreversible en la superficie, de igual forma afecta a la economía pues se tiene que hacer un mantenimiento ya sea correctivo o preventivo para su correcto funcionamiento. Las variables que afectan principalmente al desgaste son:

### 2.2.1 Variables relacionadas con la naturaleza del material:

- Dureza
- Tenacidad
- Composición química
- Estructura química

La dureza es variable que se puede alterar mediante un tratamiento térmico para darle mayor o menor resistencia al desgaste en la parte superficial del material.

### 2.2.2 Variables relacionadas con el servicio:

- Materiales en contacto

- Temperatura
- Presión
- Velocidad
- Acabado superficial
- Lubricación y corrosión

Se debe mencionar que el desgaste no depende solo de una variable para que se genere dicho desgaste sino que puede existir una combinación de varias variables o puede intervenir más de un tipo de desgaste en un mismo proceso, es por eso importante saber identificar cual es el tipo y variables que están presentes en el desgaste para estudiarlo.

### 2.3 Medición del desgaste

El ensayo de abrasión se basa en determinar el volumen perdido ( $\text{mm}^3$ ). Lo cual permite la comparación de materiales con diferentes densidades. Por lo general la alteración de la probeta se realiza de forma indirecta, sea por, pérdida de masa, medición lineal o del área de desgaste, en el caso que la sección desgastada sea demasiado irregular y asimétrica o cuando se desee un resultado con alto nivel de exactitud es necesario el cálculo del volumen perdido directamente.

**2.3.1 Medición del desgaste por medio de pérdida de masa.** Es el método más utilizado y confiable debido a que los valores se determinan en forma cuantitativa. Consiste en pesar la probeta antes y después del ensayo, ya que con la variación de pesos se determina la diferencia de masas, con lo cual se puede determinar el volumen perdido.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

Dónde:

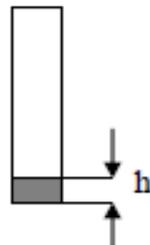
$V$  = Volumen perdido

$M$  = Masa perdida

$\rho$  = Densidad del material

**2.3.2 Medición lineal del desgaste.** Se basa en la medición de las variaciones dimensionales, fácil de realizar pero inexacto en pequeñas cantidades de desgaste. Valido para el ensayo de pernos sobre el disco de abrasión se realiza el ensayo mediante la medición de  $h$  (Figura 8), donde los materiales con mayor altura ( $h$ ) son los que poseen menor resistencia a la abrasión. Para calcular de volumen perdido se multiplica la superficie de aplicación por la diferencias de alturas ( $h$ ).

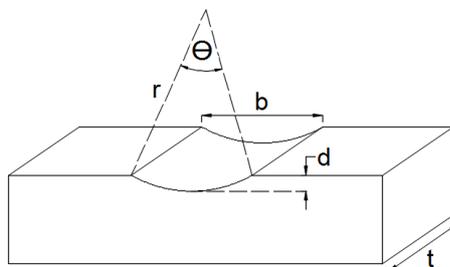
Figura 8. Volumen perdido en un perno



FUENTE: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/7947/1/76.pdf>

**2.3.3 Medición del área de desgaste.** Utilizado para la abrasión producida de probetas en forma de bloque sometido al desgaste por medio de un disco rotatorio. Después del ensayo se observa un rectángulo, con una sección transversal curvada (Figura 9) la cual se puede calcular mediante la ecuación (4).

Figura 9. Huella de desgaste a abrasión sobre bloque



FUENTE: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/7947/1/76.pdf>

$$V = \frac{D^2 t}{8} \left[ 2 \sin^{-1} \frac{b}{D} - \sin \left( 2 \sin^{-1} \frac{b}{D} \right) \right] \quad (4)$$

Dónde:

$V$  = Volumen perdido

$D$  = Diámetro del disco

$t$  = Ancho de la huella de desgaste

$$b = D \sin \frac{\theta}{2}$$

**2.3.4** *Medición del volumen de desgaste.* La carga es el factor más importante seguido de la dureza superficial del material para determinar la medición del volumen de material desgastado, esto lo explico Archard en su ecuación:

$$V = \frac{kWL}{3H} \quad (5)$$

El volumen perdido es casi directamente proporcional a la carga aplicada esto lo afirma Archard, no se debe olvidar que si se hace el ensayo de desgaste con un material que ha sido sometido a tratamiento térmico se tomara la dureza superficial de la muestra mas no la dureza del material.

## **2.4** **Tamaño de grano según FEPA**

Los diámetros medios de los macrogrits presentados en la tabla 1, son estimados puesto que el FEPA (Federación Europea de Fabricantes de Productos Abrasivos) estándar “F” se define como un rango y no como un valor único.

El tamaño de grano de una granulometría determinada no es uniforme sino que contiene porcentajes de mayor y menor tamaño alrededor del nominal.

Por ejemplo un grano F80 contiene un porcentaje de F70 y otro de F90, y se define un grano por el tamaño medio de la partícula, en este caso es 0.185 mm.

Tabla 1. Medidas de granos para discos de desbaste y otros tipos de abrasivos.

Macrogrits		Microgrits	
Designación	Diámetro en $\mu\text{m}$	Designación	Diámetro en $\mu\text{m}$
F10	2085	F230	53
F20	1040	F240	44.5
F30	625	F280	36.5
F40	438	F320	29.2
F54	310	F360	22.8
F60	260	F400	17.3
F70	218	F500	12.8
F80	185	F600	9.3
F90	154	F800	6.5
F100	129	F1000	4.5
F120	109	F1200	3
F150	82	F1500	2
F180	69	F2000	1.2

Fuente: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212006000300019&lang=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000300019&lang=es)

## 2.5 Material abrasivo

Material químico o natural formado por granos abrasivos de morfología lo más redonda posible encargados de actuar sobre otros materiales, de cualquier índole produciendo remoción de material por medio de la fricción producida, su dureza aumenta el porcentaje de desgaste sin tomar en cuenta la dureza del material de la superficie. Pueden ser en líquido, polvo, mixtos, aglutinados con materiales de resinas.

Figura 10. Materiales Abrasivos



Fuente: <http://www.cielosur.com/gerardo2.php>

**2.5.1** *Tipos de materiales abrasivos normalizados.* El tipo de material empleado para producir desgaste de abrasión depende del material dispuesto a ensayar. Existen materiales con diversa resistencia al desgaste abrasivo y obedecerá a su composición microscópica.

Tabla 2. Escala de Mohs de dureza de los minerales

<b>Dureza</b>	<b>Mineral</b>	<b>Equivalente diario</b>
10	Diamante	Diamante sintético
Intermedio	Carburo de silicio	Carborundo
9	<b>Corindón</b>	Rubí
8	Topacio	Papel abrasivo
7	<b>Cuarzo</b>	Cuchillo de acero
6	Ortoclasa/feldespato	Cortaplumas
5	Apatito	Vidrio
4	Fluorita	Clavo de hierro
3	Calcita	Moneda de bronce
2	Yeso	Una del dedo
1	Talco	Polvos de talco

Fuente: <http://www.cielosur.com/gerardo2.php>

## **2.6 Descripción del ensayo de abrasión según norma técnica ASTM G 65-00**

La norma ASTM G 65-00 define el desgaste por abrasión como la disminución de masa, la cual resulta de la caída de flujo abrasivo que pasa tangencialmente entre el disco de acero vulcanizado y la superficie de desgaste de la probeta, produciendo una huella.

**2.6.1** *Material abrasivo para aceros.* El material utilizado como abrasivo debe poseer ciertas condiciones que le permitan llevar a cabo su función eficientemente de desgaste, por lo que el material para desgastar cualquier tipo de acero según la norma ASTM G65-00 es arena de cuarzo de grano redondeado tipificado AFS (50 – 70) de arena de prueba.

Dicho material debe estar completamente seco con humedad relativa  $\leq 0.5\%$ . (ASTM Committee on Standards, 2000)

Tabla 3. Tamaño de tamices

Tamaño del tamiz	Apertura del tamiz		Retenido en tamiz
	No.	$\mu\text{m}$	In
			%
40	425	0.0165	Ninguno
50	300	0.0117	5 máx.
70	212	0.0083	95 min
100	150	0.0059	No pasa

FUENTE: (ASTM Committee on Standards, 2000)

**2.6.2** *Flujo de material abrasivo.* El flujo del abrasivo para la prueba de laboratorio debe ser constante y estar entre 300 a 400 gr/min (0.66 a 0.88 lb/min), lo cual es garantizado por la sección de salida de la de la boquilla, por lo tanto debe examinarse periódicamente que no se encuentre tapada, o con algún defecto que modifique el área de caída de la arena ya que esto ocasionara medidas erróneas. Antes de comenzar el ensayo se debe garantizar una cortina uniforme de arena como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Flujo de arena laminar óptimo



FUENTE: (ASTM Committee on Standards, 2000)

**2.6.3** *Probetas estándar para el ensayo.* La selección de los materiales y preparación de las probetas es muy importante para realizar el ensayo, pues deben tener medidas estándar recomendadas por la ASTM.

Tabla 4. Dimensiones de la probeta según norma ASTM G 65-00

Acero	Unidades	
	in	mm
<b>Largo</b>	3	76
<b>Ancho</b>	1	25
<b>Espesor</b>	0,5	12,7

FUENTE: (ASTM Committee on Standards, 2000)

**2.6.4** *Tipos de procedimientos de ensayo.* Estos ensayos constan de cinco procedimientos recomendados por la norma y son apropiados para los diferentes grados de resistencia al desgaste y los resultados se obtiene de una manera cuantitativa como la perdida de volumen y para llegar a una uniformidad entre laboratorios se decidió que el volumen perdido solo se midiera en milímetros cúbicos,  $1mm^3 = 6.102 \times 10^{-5} in^3$  para cada uno de los procedimientos especificados. (ASTM Committee on Standards, 2000)

**2.6.4.1** *Procedimiento A:* Es una pérdida relativamente severa que clasifica los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen a la abrasión extrema. Es particularmente útil en la clasificación de los materiales de media resistencia a la abrasión extrema.

**2.6.4.2** *Procedimiento B:* Es una variación a corto plazo del procedimiento A. Se puede utilizar para materiales resistentes altamente abrasivos, pero es particularmente útil en la clasificación a los materiales resistentes a la abrasión media y baja. El procedimiento B puede utilizarse cuando el volumen de pérdida del procedimiento A superen 100mm<sup>3</sup>.

**2.6.4.3** *Procedimiento C:* Es una variación corto plazo del A en revestimientos delgados.

**2.6.4.4 Procedimiento D:** Es una variación de la carga más ligera del procedimiento A, que es particularmente útil en la clasificación de metales de baja resistencia a la abrasión. También se utiliza en materiales de clasificación de un tipo o de materiales que serían muy cerca en las tasas de pérdida de volumen como el desarrollado por el procedimiento A.

**2.6.4.5 Procedimiento E:** Es una variación a corto plazo del procedimiento B, que es útil en la clasificación de los materiales con resistencia a la abrasión media o baja.

Tabla 5. Parámetros de ensayo según norma ASTM G 65-00

<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Procedimiento</b>	<b>Carga</b>		<b>Tiempo</b>	<b>Rotación del disco</b>		<b>Abrasión lineal</b>	
	N	Lb	min	RPM	Total Rev.	m	Ft
<b>A</b>	130	30	30	200	6000	4309	14138
<b>B</b>	130	30	10	200	2000	1436	4711
<b>C</b>	130	30	0.5	200	100	71.8	236
<b>D</b>	45	10.1	30	200	6000	4309	14138
<b>E</b>	130	30	5	200	1000	718	2360

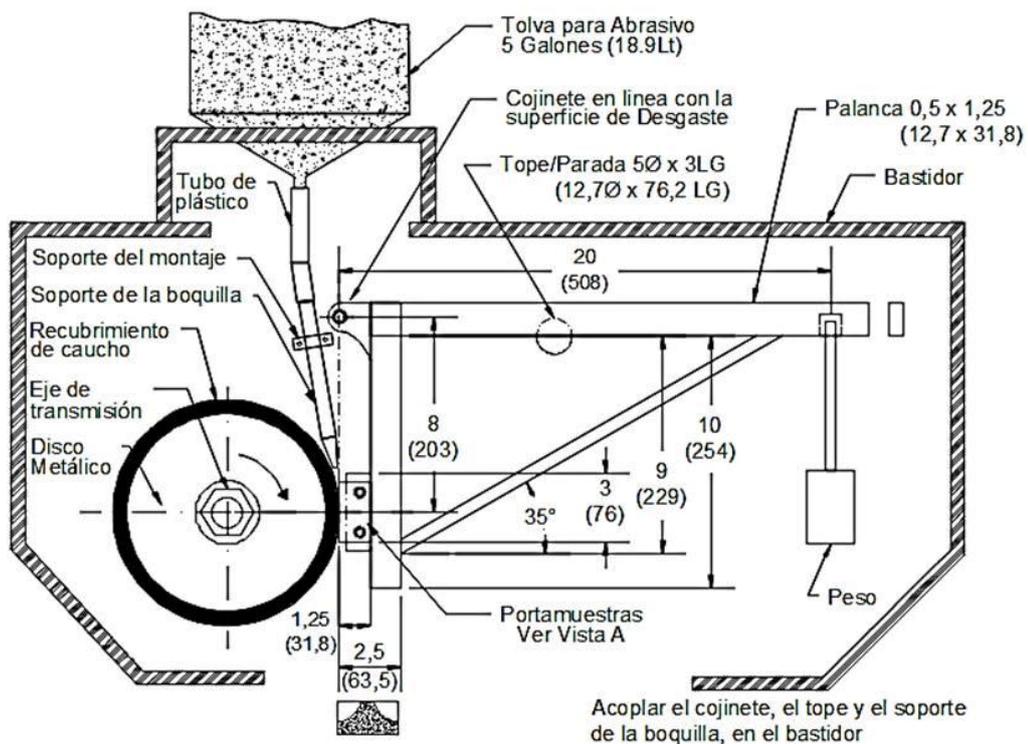
Fuente: (ASTM Committee on Standards, 2000)

Podemos observar que existen variaciones de la carga aplicada y el número de rpm para los diferentes procedimientos y material que se utilice para los ensayos de abrasión, pero la norma no es clara y tampoco específica cual es el procedimiento más adecuado para determinar la pérdida de volumen por abrasión.

**2.6.5 Equipo de ensayo de abrasión para aceros.** Se debe mencionar que existen diferentes tipos de máquinas por el cual se puede medir la abrasión, pero el objetivo de este trabajo es específicamente al equipo estandarizado según la norma técnica ASTM G 65-00 y COGUANOR NTE41087 h2.

En el caso del acero este equipo de ensayo consta principalmente de una tolva la cual contiene el material abrasivo y un conducto para que fluya constantemente el abrasivo gracias a una boquilla, además de un disco de acero recubierto con caucho que gira a 200 rpm y que hará contacto con la probeta estandarizada, un brazo que sirve para hacer presión y control de la carga cuando la probeta está en contacto con el disco de caucho, y un porta probetas para la sujeción de la misma.

Figura 12. Esquema del equipo de abrasión según norma ASTM G 65-00



Fuente: (ASTM Committee on Standards, 2000)

**2.6.6 Parámetros del ensayo a abrasión.** Los valores que determinan la capacidad de severidad de un material sometido a la abrasión, son la el contrapeso o carga, el tiempo de ensayo, el número de revoluciones por minuto, el tipo de procedimiento (para aceros), valores mostrados en la Tabla 5.

**2.6.7 Parámetros de diseño del equipo de abrasión.** Los parámetros de diseño han sido tomados en cuenta de acuerdo al procedimiento que establece la norma y son: A, B, C, D y E. En función de eso se ha determinado los siguientes factores a considerar para el diseño:

**2.6.7.1** *Tiempo de ensayo.* El tiempo que demora cada ensayo lo establece la norma ASTM G65-00 dependiendo del procedimiento a emplear.

**2.6.7.2** *Carga aplicada.* La fuerza o carga que se aplica en el brazo de la máquina para ejercer presión en entre la probeta y rueda para generar el desgaste, es un parámetro esencial para realizar el ensayo y depende directamente del tipo de material o procedimiento el cual se mencionó en la Tabla 5.

**2.6.7.3** *Rueda de caucho.* El disco es de acero de 9" de diámetro incluido el recubrimiento exterior que es de caucho con una dureza de 60 shore y tolerancia de  $\pm 2$ , esta dureza garantiza que la arena abrasiva produzca desgaste en la probeta cuando ejerce presión sin que se destroz ni se incruste en el caucho. Esta rueda solo se podrá utilizar hasta cuando se haya desgastado un 0,25 % del tamaño original es decir tenga una medida de disco de 8.5 in, cuando se llegue a esta medida se cambiara el recubrimiento.

Figura 13. Rueda de caucho



FUENTE: Autores

**2.6.8** *Características del motor.* Para garantizar que los ensayos se realicen según lo especificado en la norma se seleccionó un motoreductor para tener velocidades de salida especialmente bajas, para ello se monta en la entrada un reductor de engranajes cilíndricos como un segundo reductor. En este caso debe limitarse la potencia del motor de acuerdo con el par de salida máximo admisible del reductor, el motoreductor seleccionado tiene las siguientes características.

Tabla 6. Características técnicas del moto-reductor

Marca	SEW	
Potencia	1 HP	
Torque de salida	250 Nm	
Reducción	1/1	
Velocidad de salida	200 rpm	

Fuente: Catálogo SEW

Cabe recalcar que por cuestiones de estética y economizar se utilizara un moto-reductor con transmisión para ambos tipos de ensayo, ya que satisface ambas necesidades. La velocidad de salida está dentro del rango aceptable de la norma y es de  $(200 \pm 10 \text{ rpm})$  bajo la acción de la carga en el acero. Para el adoquín se reducirá a 75 rpm de salida.

## 2.7 Adoquín

**2.7.1 Definición.** Son bloques macizos comúnmente prefabricados elaborados de concreto que es un conglomerado artificialmente compuesto de agua, cemento y agregados (fino y grueso) generalmente de forma prismática que resiste bastante bien las cargas de compresión debido a los materiales de construcción y sus procesos rigurosos de control de calidad.

Figura 14. Adoquín



Fuente: Autores

**2.7.2 Clasificación de los adoquines.** Existen diversas clasificaciones dependiendo de la forma, tamaño, geometría, resistencia y aplicación de adoquines, su utilización depende de necesidad del sitio en el cual será ubicado.

Figura 15. Formas de adoquines



Fuente: <http://movil.precsa.com.gt/adoquin.html>

**2.7.2.1** *Por su forma según norma INEN 1483.* El Instituto Ecuatoriano de Normalización subdivide a los adoquines considerando la forma y tipo de unión por esterilla o simplemente agrupados uno junto al otro.

Tabla 7. Adoquines según norma INEN 1483

Tipo	Características
A	Adoquines dentados que se unen entre sí por los cuatro lados, pueden colocarse en esterilla, resisten la expansión de las juntas paralelamente por su geometría plana al unirse, tanto longitudinalmente como transversalmente.
B	Adoquines dentados que se unen con el otro solamente en dos de sus lados, no pueden colocarse en esterilla y que, por su geometría plana, al unirse resisten la expansión de juntas paralelamente en los longitudinales de los adoquines.
C	Adoquines rectangulares de perfil sencillo que no se unen y dependen de su precisión dimensional y de su colocación para desarrollar el punteo.

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1483.pdf>

**2.7.2.2** *Por su uso según norma INEN 1488.* Los adoquines de hormigón se clasifican dependiendo del uso basándose en el tipo de tránsito (peso) a soportar.

Tabla 8. Adoquines por su uso según norma INEN 1488

<b>Tipo de uso</b>	<b>Número de vehículos por día &gt; a 3 Ton</b>	<b>Repeticiones de eje estándar después de 20 años de servicio</b>	<b>Forma del adoquín (INEN 1483)</b>	<b>Resistencia a compresión a los 28 días (MPa)</b>
<b>Peatonal</b>	0	0	A, B, C	20
<b>Estacionamiento y calles residenciales</b>	0 – 150	0 - $4,5 \times 10^5$	A, B, C	30
<b>Caminos secundarios y calles principales</b>	150 – 1500	$4,5 \times 10^5$ - $4,5 \times 10^6$	A	40

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana, 1986)

**2.7.3** *Normas INEN para adoquín.* El Instituto Ecuatoriano de Normalización es un grupo de reglas y especificaciones en el cual existen normativas relacionadas con el control de calidad de los adoquines de hormigón, dichas referencias describen una serie de ensayos a los que los adoquines son sometidos antes de su colocación para un correcto trabajo.

Cave recalcar que actualmente **NO** existe una normativa ecuatoriana para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines, por lo tanto en este proyecto se empleara la norma COGUANOR 41087 h2 la cual se basa en la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, además es esencialmente equivalente a la norma europea NE 1338; 2003 específicamente en sus anexos G y H.

Tabla 9. Normas INEN sobre adoquines

<b>Norma INEN</b>	<b>Descripción</b>
1483	Terminología y clasificación
1484	Muestreo
1485	Determinación de la resistencia a la compresión
1486	Determinación de las dimensiones, área total, y área de superficie de desgaste
1487	Determinación de la porción soluble en ácido del árido fino
1488	Requisitos

**Fuente:** [www.normas-inen.gob.ec](http://www.normas-inen.gob.ec)

## **2.8 Aplicación del ensayo a abrasión en adoquín**

### **2.8.1 Descripción del ensayo de abrasión según norma COGUANOR NTE 41087 h2**

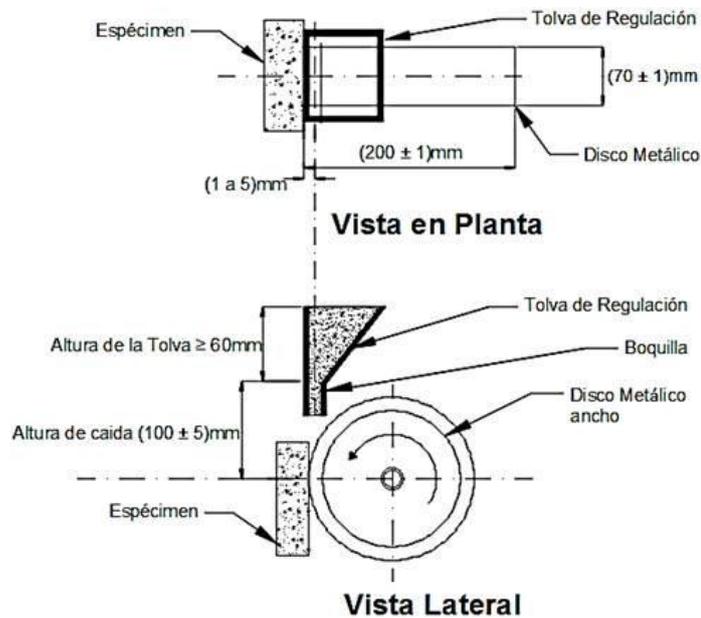
Se sigue todos procedimientos descritos en la norma para obtener datos confiables de desgaste.

**2.8.1.1 Material abrasivo para adoquín de hormigón.** El material abrasivo requerido para realizar el ensayo en adoquines es el corindón (aluminio blanco fundido) con un tamaño de grano de F80 (tamaño medio de la partícula es 0.185 mm) de acuerdo a la norma ISO 8486-1, cuya dureza es mayor que la del hormigón del adoquín.

**2.8.1.2 Flujo de material abrasivo para adoquín (hormigón).** La efusión del material abrasivo procedente de la tolva inferior debe ser constante, con caudal mayor a 2.5 L/min. El nivel mínimo del abrasivo en la tolva inferior de control y la distribución del flujo debe ser mayor a 25 mm, medidos por encima del nivel superior de la boquilla.

La separación entre el nivel superior de la boquilla y el plano horizontal que coincide con el del eje del disco metálico, debe ser  $(100 \pm 5)$  mm. La caída vertical del flujo de material abrasivo debe ser  $(1 - 5)$  mm a partir del plano del espécimen (plano tangente al disco metálico) y hacia el centro del disco de abrasión.

Figura 16. Tolva (inferior) de control y distribución del flujo



FUENTE: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

**2.8.2** *Probetas estándar para el ensayo de abrasión en adoquines (Hormigón).* La selección de los materiales y la preparación de la probeta de adoquín según su aplicación es indispensable para realizar el ensayo y medidas estándar (COGUANOR, 2012).

El espécimen de prueba puede ser una unidad completa, o una fracción extraída de la unidad con uno o más cortes considerando que la parte superior del material (superficie de desgaste), tenga una dimensión mínima de  $(100 \times 70) \text{ mm}$ . Pueden ser nuevos o extraídos de un piso o pavimento existente.

La cara superior del espécimen debe ser plana, con una tolerancia de  $\pm 1 \text{ mm}$ , en dos direcciones perpendiculares, medida sobre la dimensión transversal de la probeta. La tolerancia de planicidad se debe determinar mediante una regla recta y laminillas calibradas (galgas) de acero de  $1 \text{ mm}$ .

Si la cara superior está por fuera de las tolerancias descritas anteriormente se debe pulir, hasta alcanzar la tolerancia requerida. En caso de que el material a ensayar tenga pronunciaciones superficiales notables, se debe desbastar la superficie hasta lograr la tolerancia indicada anteriormente.

El espécimen de ensayo debe de estar en óptimas condiciones (limpio y seco). Su superficie se debe limpiar con una brocha, justo antes del ensayo, y se debe manchar el área de ensayo con un tinte superficial delgado, de base acuosa o alcohol, por ejemplo un marcador de punta suave y gruesa, o un spray de un color contrastante con el espécimen, para facilitar la determinación de la huella.

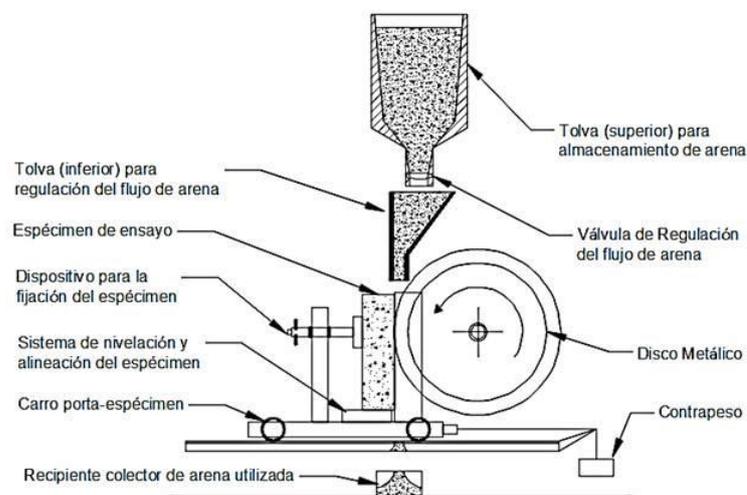
Tabla 10. Dimensiones de la probeta según norma COGUANOR NT 41087

Adoquín	Unidades	
	In	mm
<b>Largo</b>	5,905	150
<b>Ancho</b>	3,937	100
<b>Espesor</b>	2,362	60

Fuente: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

**2.8.3** *Equipo de ensayo de abrasión según norma COGUANOR NTE41087 h2.* El equipo se basa en el mismo principio, por pérdida de volumen, con un disco de acero que girara a 75 rpm el cual hará contacto en el espécimen, un carro porta-muestras con un contrapeso produciendo presión entre la probeta y el disco produciendo un rozamiento causado por la caída de flujo del abrasivo. Este ensayo nos proporciona la longitud de la huella dejada por el disco, lo que corresponde a la cuerda del cilindro que penetra en la muestra

Figura 17. Esquema de equipo de abrasión en adoquín según COGUANOR



FUENTE: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

## 2.9 Parámetros del ensayo a abrasión en adoquines

Los valores que determinan la capacidad de severidad de un material sometido a la abrasión, son la el contrapeso o carga, el tiempo de ensayo, el número de revoluciones por minuto, mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de ensayo según norma COGUANOR 41087 h2

Material	Carga		Tiempo	Rotación del disco
	N	Lb	min	rpm
Adoquín de hormigón	45	10,23	1	75

Fuente: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

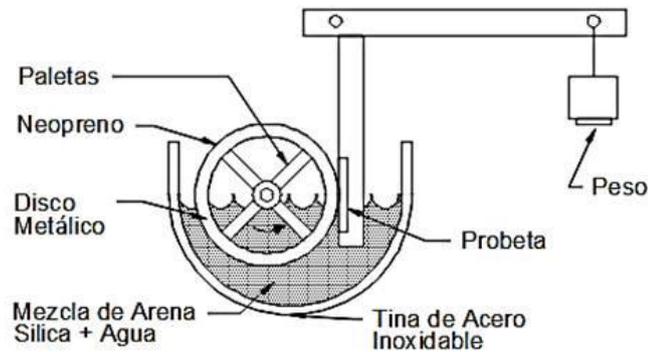
## 2.10 Métodos alternativos para ensayos de desgaste por abrasión

Existen varias alternativas para calcular el desgaste principalmente basadas en normas las cuales han sido estudiadas para diferentes materiales y aplicaciones presentadas a continuación.

**2.10.1 Abrasión de aceros según norma G 105-02.** El procedimiento está basado en el desgaste del espécimen por medio del contacto del disco de acero de 7 pulgadas de diámetro y recubierto de caucho con la probeta, en un ambiente húmedo, y debe girar a  $(245 \pm 5)$  rpm (ASTM Committee on Standards, 2002).

El fin de este ensayo es determinar la pérdida de volumen en milímetros cúbicos, además dicho ensayo tiene gran similitud con el empleado por nosotros con el uso de la norma. El riesgo de desgaste en cualquier ensayo de abrasión dependerá del abrasivo, tamaño de grano, la frecuencia de contacto con la partícula abrasiva, carga aplicada, tiempo de ensayo etc.

Figura 18. Equipo de abrasión húmeda



Fuente: Norma ASTM G 105-02

#### 2.10.1.1 Herramientas para el ensayo

- Equipo de ensayo disco/caucho húmedo con  $(245 \pm 5)$  RPM y un total de 5000RPM
- Arena de cuarzo de grano redondeado tipificado por AFS 50/70
- Agua des-ionizada
- Contrapeso de (222) N o 9,5kg
- Balanza con precisión de 0,0001gr

#### 2.10.1.2 Procedimiento según norma ASTM G 105-02

1. Lavar con cuidado la cámara de pruebas antes de cada ensayo.
2. Ensamblar el disco y medir su dureza mínimo tomando 4 lecturas y registrar.
3. Antes del ensayo se debe limpiar la probeta, secarla y desmagnetizarla.
4. Pesar la probeta con 0,0001 gr de precisión y acoplar en el equipo, además verter 1,5kg de cuarzo de arena y 0,94kg de agua.

5. Encender el equipo a 245 rpm y aplicar carga.
6. Luego de acabar el ensayo se apaga el equipo, retira la probeta, secar y volver a pesar.
7. El mismo procedimiento se realiza para los tres discos con 50, 60, 70 Shore.
8. Se calculó el valor de masa perdida de las tres probetas de cada material.

$$Masa\ perdida\ normalizada = \left( \frac{177,8 \times 12,7 \text{ Masa actual perdida}}{Diametro\ actual \times Ancho\ actual} \right) \quad (6)$$

9. Se normaliza la pérdida de masa obtenida logarítmicamente, por medio de una línea de cuadrados (Anexo C).
10. Finalmente se calcula el volumen perdido por medio de la ecuación.

$$Volumen\ perdido = \left( \frac{Masa\ perdida \times 1000}{Densidad} \right) \quad (7)$$

**2.10.2 Abrasión de adoquines** (Según norma ASTM C 131-03, ASTM C 535, NTC 98). Este método de ensayo ha sido adaptado a varias normas con el mismo principio y es utilizado para cuantificar la degradación de los agregados minerales hasta de 37,5mm de diámetro, además sirve como un indicador de la calidad global estructural del agregado porcentualmente (ASTM Committee on Standards, 2003).

Para lo cual se utilizará la máquina Los Ángeles, dicho equipo se compone de un cilindro hueco de acero con una abertura que permitirá el ingreso del material, debe girar de manera uniforme con (30- 33) rpm y producirá el desgaste mediante el contacto entre las esferas y el material a ensayar, luego del ensayo el material debe ser tamizado por la malla #12, cabe recalcar que el material de desgaste no debe exceder al 50% de masa total, puesto que dicho material no sería apto para el uso. Debe indicarse que este equipo se utiliza más para aplicaciones industriales donde el proceso de fabricación es continuo.

Figura 19. Equipo de abrasión Los Ángeles



Fuente:[http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com\\_virtuemart&view=productdetails&virtuemart\\_product\\_id=158&virtuemart\\_category\\_id=15&lang=es](http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=158&virtuemart_category_id=15&lang=es)

#### **2.10.2.1 Herramientas para el ensayo**

- Máquina de Los Ángeles ( $30 \pm 3$ ) rpm
- Esferas de acero de  $\varnothing = (46,38 - 47,63)$  mm y masa (390 - 445) gr c/u.
- Tamices de 1 ½in, 1in, ¾in, ½in, ⅜in y tamiz de fondo.
- Recipientes para acumulación de material tamizado.
- Estufa con capacidad de ( $110 \pm 5$ ) C.
- Balanza con precisión de 1gr.

#### **2.10.2.2 Procedimiento según norma ASTM C 131-03**

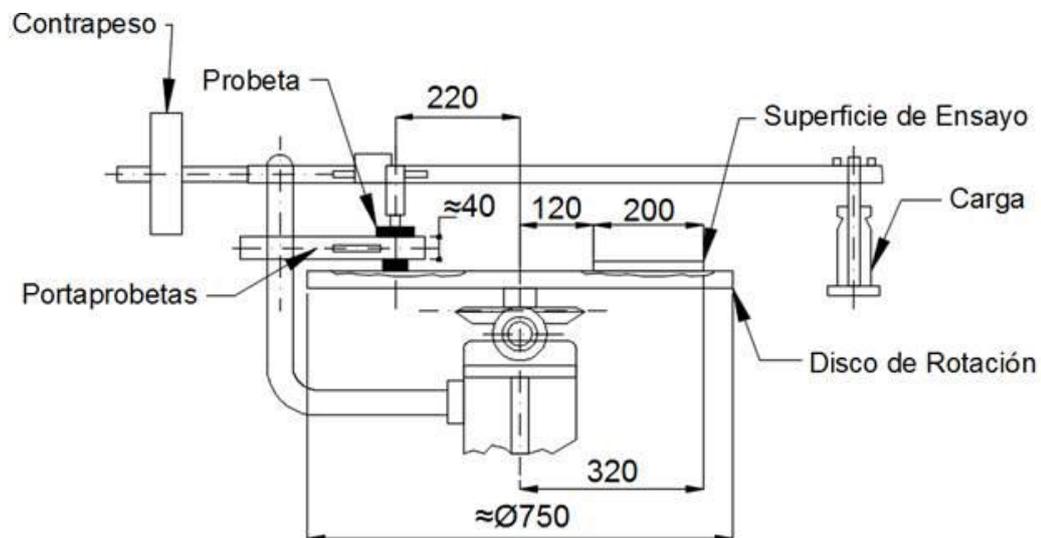
1. Inicialmente se toma una muestra del árido a ensayar y debe estar seco.
2. Se tamiza en las mallas de 1in, ¾in, ½in, ⅜in y tamiz de fondo con una masa, con una masa no filtrada en cada tamiz de ( $1250 \pm 25$ ) gr y masa total de ( $5000 \pm 10$ ) gr.
3. Verter el árido y las esferas dentro de la máquina de Los Ángeles.

4. Iniciar el ensayo con un total de 500 rpm.
5. Luego de apagar la maquina se retirara el material.
6. Tamizar en la malla # 12 y pesar nuevamente.
7. Finalmente se calcula el porcentaje de desgaste por medio de la ecuación.

$$\% \text{ Desgaste} = \left( \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

**2.10.3 Abrasión de adoquín según norma EN 13892-3, COGUANOR 41087.** Es aplicable en materiales inorgánicos y no-metálicos, por medio del disco horizontal giratorio de  $\varnothing = 750\text{mm}$  que debe girar a  $(30 \pm 1)$  rpm y es conocido como el ensayo de Böhme. En el ensayo se determina el desgaste de abrasión por medio de la pérdida del volumen de la probeta de adoquín. (COGUANOR, 2012 pp. 14-18)

Figura 20. Equipo de abrasión Böhme



Fuente: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

### 2.10.3.1 Herramientas para el ensayo

- Equipo de abrasión Böhme.

- Aluminio fundido (carburo de silicio grano 80)
- Estufa con capacidad de  $(110 \pm 5)$  C.
- Contrapeso de  $(294 \pm 3)$  N
- Balanza con precisión de 0,1gr
- Calibrador
- Lijas o lima, esponjas

#### **2.10.3.2 Procedimiento según norma COGUANOR 41087 h2 - ensayo Böhme**

- Primeramente se prepara la probeta en forma de planchas cuadradas o cubos de  $(71 \pm 1,5)$  mm de borde, además determinar su densidad.
- Pesar la probeta con precisión de 0,1 gr, además debe estar seca.
- Fijar la probeta en el equipo de Böhme.
- Verter 20 gr de abrasivo sobre la superficie de contacto entre el disco de Böhme y la probeta, además ubicar el contrapeso.
- Iniciar el ensayo, con la precaución que el abrasivo se mantenga distribuido uniformemente sobre la superficie de contacto.
- Ensayar la probeta durante 22 rpm por 16 repeticiones; después de cada repetición se limpia el disco, se rota la probeta  $90^\circ$  y se añade el abrasivo.
- Al finalizar el ensayo retiramos la probeta y se procede a pesar.
- Por último se calcula la pérdida media del volumen de la probeta  $\Delta V$ .

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho R} \quad (9)$$

Dónde:

$\Delta V$  = Pérdida de volumen después de los 16 ciclos en  $\text{mm}^3$

$\Delta m$  = Pérdida de masa después de los 16 ciclos en gr

$\rho R$  = densidad en  $\text{gr}/\text{mm}^3$

## 2.11 Selección del equipo de abrasión a construir

A continuación se presenta la selección del equipo de abrasión se aceros y de adoquines según criterios de comparación considerando el mayor beneficio, siendo cero (0) para menor elección y uno (1) como el más óptimo teniendo mayor puntuación en las máquinas a seleccionar.

En base a la ponderación de la tabla 12 y tabla 13 se optó por el equipo de abrasión seca según ASTM G 65-00 para ensayos de aceros y el equipo de ensayo según COGUANOR 41087 h2 para el caso de adoquines de hormigón, cave recalcar que ambos equipos tienen el mismo principio de funcionamiento como es los discos abrasivos, similar velocidad de rotación, contrapesos, tolvas de almacenamiento, tolvas de control, flujo, válvulas de control, porta probetas, material abrasivo, ensayos de desgaste etc.

Por lo tanto se construirá un solo cuerpo de la máquina de tal manera que se pueda optimizar recursos uniendo ambas máquinas por medio de la transmisión desde el motor hacia los discos abrasivos cumpliendo los parámetros establecidos en las dos normas de tal forma que podamos tener una máquina segura y confiable para obtener resultados permisibles según normas para desgaste abrasivo.

El método de criterio ponderados es el más fácil y rápido de realizarlo pero hay q conocer las características técnicas de cada máquina.

Tabla 12. Selección de equipo del ensayo de abrasión de aceros

Criterio de comparación	Alternativas		
	Abrasión seca ASTM G 65-00	Abrasión húmeda ASTM G 105-02	Ideal
Aplicabilidad en diversos materiales	1	0	1
Visibilidad durante el ensayo	1	0	1
Infraestructura sencilla	1	1	1
Fácil mantenimiento	1	0	1
Menor ruido	0	1	1
Menor tiempo de ensayo	1	0	1
Menor contaminación	0	1	1
Manipulación manual	1	1	1
Exactitud de resultados	1	1	1
Facilidad de montaje-desmontaje	1	0	1
Puntuación total	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Equipo seleccionado</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	

Fuente: Autores

Tabla 13. Selección de equipo del ensayo de abrasión de adoquines

Criterio de comparación	Alternativas			
	COGUANOR 41087 h2	Máquina Ángeles ASTM C 131-03	Ensayo de Böhme COGUANOR 41087	Ideal
Aplicabilidad en diversos materiales	1	0	0	1
Visibilidad durante el ensayo	1	1	1	1
Infraestructura sencilla	1	0	1	1
Fácil mantenimiento	1	0	1	1
Menor ruido	1	0	0	1
Menor tiempo de ensayo	1	0	0	1
Menor contaminación	0	1	1	1
Manipulación manual	1	1	1	1
Exactitud de resultados	1	1	1	1
Facilidad de montaje-desmontaje	1	0	0	1
Puntuación total	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
<b>Equipo seleccionado</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	

Fuente: Autores

Las puntuaciones fueron de 8 y 9 respectivamente estableciendo así la máquina a construir.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL EQUIPO DE ENSAYO

#### 3.1 Generalidades

La abrasión se puede medir por medio de una máquina para generar desgaste en diferentes materiales bajo condiciones estrictas de normas internacionales, es importante conocer este desgaste porque con estos resultados sabremos la durabilidad y resistencia que presentan los aceros y adoquines en condiciones de trabajo.

La máquina de abrasión permite medir el desgaste en los aceros con la pérdida de masa en los especímenes que se sometan a las pruebas, de forma diferente se mide la resistencia en los adoquines se utiliza el método de ensayo de arena y disco metálico ancho dando un resultado en el espécimen en forma de una huella, la cual se puede medir y cuantificar su resultado.

#### 3.2 Descripción del equipo

El equipo de abrasión según la norma ASTM G65 consta de varias partes, pero este trabajo se tiene un alcance para realizar ensayos de abrasión en adoquines la máquina en si está conformada de la siguiente manera.

##### 3.2.1 Descripción del equipo de abrasión para aceros.

- Disco metálico con un recubrimiento de caucho (vulcanizado)
- Porta probetas
- Boquilla
- Válvula

- Tolva de arena
- Brazo (palanca)
- Carga aplicada
- Arena abrasiva (arena sílice)
- Moto reductor de 1Hp de 200rpm de salida

### **3.2.2** *Descripción del equipo de abrasión para adoquín.*

- Disco metálico ancho
- Porta espécimen móvil
- Guías para rodaje.
- Mecanismo de fijación del espécimen
- Tolva de almacenamiento de arena
- Tolva de regulación
- Válvula de control
- Material abrasivo (aluminio marrón)
- Contrapeso
- Sistema de transmisión por cadena

### 3.3 Diseño del sistema de abrasión aplicado en acero

**3.3.1** *Variables de diseño de la transmisión del equipo de abrasión para acero.* Como se menciona en la norma ASTM G65 para las pruebas de ensayo se requiere de:

- La potencia del motor debe ser de 0,7 kW (1 hp)
- El disco metálico de 9in de diámetro
- El motor debe girar a  $200 \pm 10$  rpm

Adicionalmente a estas condiciones se necesita de las fuerzas que van actuar en el eje de transmisión y son las siguientes:

- La fuerza de tensión ( $T$ ) que transmite la cadena a través del piñón
- La fuerza normal ( $F_N$ ) ejercida en el disco como producto de la reacción de la carga aplicada según los procedimientos de la Tabla 5.
- La fuerza de rozamiento ( $F_r$ ) entre el caucho y el metal.
- El peso ( $W_D$ ) del disco.

**3.3.1.1** *Cálculo de la fuerza de tensión ( $T$ ).* Para determinar el valor de la tensión hay que seleccionar la transmisión como se mencionó anteriormente esta será por medio de cadena, el catalogo utilizado para este procedimiento es el Rexnord. Por conveniencia y comodidad del diseño de la estructura y soporte del sistema de abrasión de realizo transmisión de  $i = 1$ .

Con los siguientes datos procedemos a operar el catálogo:

$N_2$  = número de revoluciones de salida en el motor = 200 rpm

$N_1$  = número de revoluciones en el eje = 200 rpm

$P$  = Potencia del motor = 0,7-kW (1-hp)

Número de hileras = 1

Con el valor de potencia y número de hileras trazamos una línea horizontal, hasta intersectar con la línea vertical correspondiente a las rpm de la rueda pequeña y nos sale una cadena # 40. (Anexo D)

Luego nos ubicamos en el (anexo E) correspondiente de una cadena # 40, y seleccionamos el número de dientes del piñón con los valores de potencia y rpm de la rueda pequeña.

$Z_1$  = 14 dientes, como la relación de transmisión seleccionada es igual a 1 entonces:

$Z_2$  = 14 dientes

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (11)$$

$$i = \frac{14}{14} = 1$$

Con  $Z_1$  y  $Z_2$  podemos encontrar el diametral pitch en el (anexo F) y me da un valor de 2,247 in cuyo valor nos servirá para tomar el diámetro del piñón montado en el eje de transmisión.

*Distancia de centros.* Por medio de la ecuación 12 (REXNORD, 2009)

$$e \geq Dp + \frac{dp}{2} \quad (12)$$

Dónde:

$e$  = distancia de centros entre los dos piñones

Dp = diametral pitch del piñón mayor

dp = diametral pitch del piñón menor

$$e \geq 2,247 + 2,247/2 \geq 3,37 \text{ in}$$

En nuestro caso como tenemos disponibilidad de espacio vamos a dejar una distancia de centros de:  $e = 8 \text{ in}$

*Velocidad de la cadena.*

$$S = \frac{TPN}{12} \quad (13)$$

**T** = # de dientes del piñón

**P** = Paso en (in)

**N** = Número de rpm

Esto valores se toman para cualquiera de los dos piñones ya sean el conductor o el conducido, ya que la velocidad será la misma en la cadena.

$$S = \frac{14(0,5)(200)}{12} = 117 \frac{ft}{min}$$

*Fuerza de tensión que transmite al eje.*

$$L = \frac{33000H}{S} \quad (14)$$

Dónde:

**H** = Potencia del motor. (Hp)

**L** = Fuerza de tensión transmitida al eje

$$L = \frac{33000(1)}{117} = 282 \text{ lbf} = 128 \text{ Kgf}$$

$$L = 1255 \text{ N} = F1$$

Torque que trasmite al eje

$$T = L * R \quad (15)$$

Dónde:

**R** = radio del piñón

$$T = 282 \text{ lbf} \left( \frac{2,247}{2} \text{ in} \right) = 316,88 \text{ lbf. in}$$

$$T = 35,77 \text{ N. m}$$

Nota: Para este tipo de transmisión la lubricación es de tipo A: (manual) según lo especifica el catálogo.

**3.3.1.2** *Cálculo de la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ).* Esta fuerza tiene dirección contraria al movimiento del disco rotatorio en contacto con la probeta, para encontrar su valor se debe saber cuál es el coeficiente de fricción  $\mu$  entre caucho y acero y como no se encuentra tabulado dicho, en vista de eso se ha tomado un valor de 0,9 el cuál es un valor apropiado por seguridad en los cálculos pertinentes.

La fuerza norma se la calcula en el literal 3.3.1.3 ver más adelante.

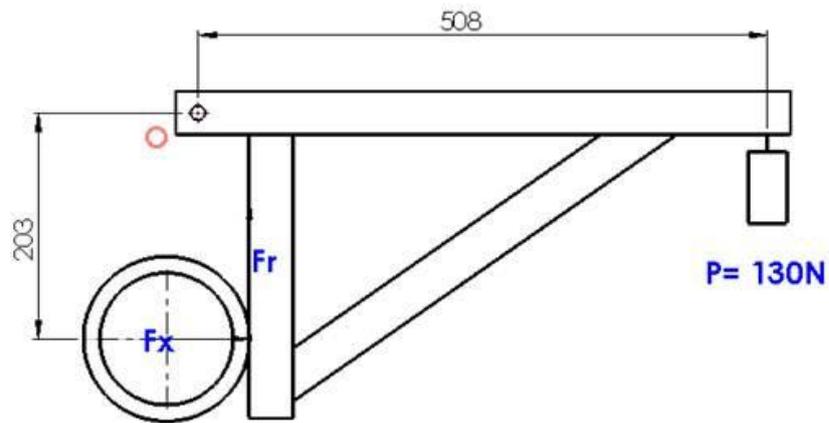
$$F_r = \mu. N \quad (16)$$

$$F_r = 0,9(325N)$$

$$F_r = 292,5 \text{ N}$$

**3.3.1.3 Cálculo de la fuerza normal ( $F_N$ ).** Esta fuerza es la que se ejerce en el brazo en contacto con el disco metálico vulcanizado en la dirección “X” transmitida por la carga aplicada en la palanca, tomaremos la carga mayor que se aplica según el procedimiento establecido en la norma ASTM para materiales altamente resistentes al desgaste.

Figura 21. Esquema de fuerzas actuantes el brazo palanca



Fuente: Autores

$$\sum M_0 = 0 \quad (17)$$

$$P(0,508m) - F_x(0,2032m) = 0$$

$$F_x = \frac{130N(0,508m)}{0,2032m} = 325N$$

**3.3.1.4 Cálculo del peso ( $W_D$ ) del disco.** Este peso se lo calculo mediante el software Solidwords para un acero AISI 1018. A este peso se le suma el peso del caucho que cubre la superficie exterior del disco. (anexo G)

$$W_D = 37,73N$$

$$W_D \approx 38N$$

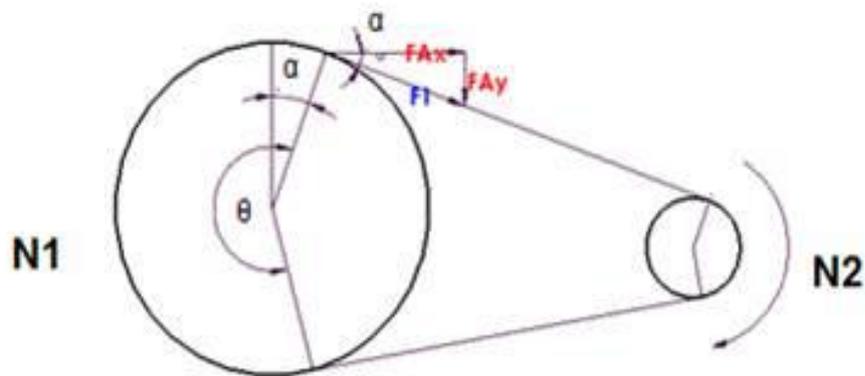
**3.3.2 Diseño estático del eje de transmisión para equipo según ASTM G65.**

**3.3.2.1 Cálculo de fuerzas en la transmisión por cadena.** El sistema de transmisión se va a accionar por un moto-reductor con las características mencionadas anteriormente.

Datos de diámetros en catalinas:  $d = 2,247$  plg

$$D = 6,055 \text{ plg}$$

Figura 22. Diagrama de tensiones en cadena



Fuente: Autores

De la Figura 22 se tiene las siguientes ecuaciones:

$$F_{Ax} = F_1 \cdot \sin \alpha$$

$$F_{Ay} = F_1 \cdot \cos \alpha$$

Dónde:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} * \left( \frac{D - d}{2l} \right) \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{180}{\pi} * \left( \frac{6,055 - 2,247}{2 * 30} \right)$$

$$\alpha = \frac{180}{\pi} * \left( \frac{3,808}{60} \right)$$

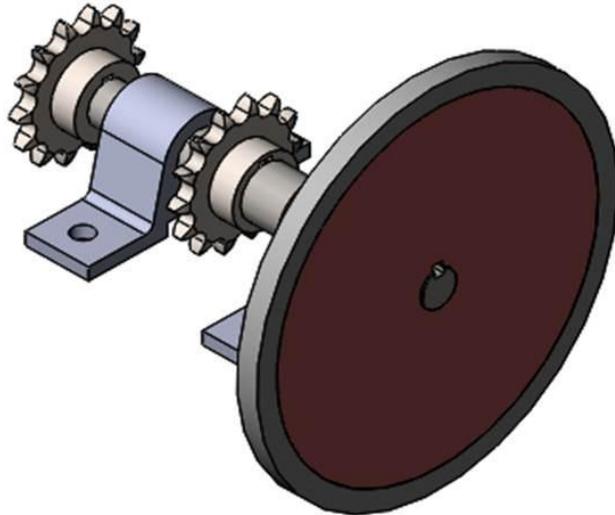
$$\alpha = 3,64^\circ$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$F_{Ax} = 1247,47 \text{ N}$$

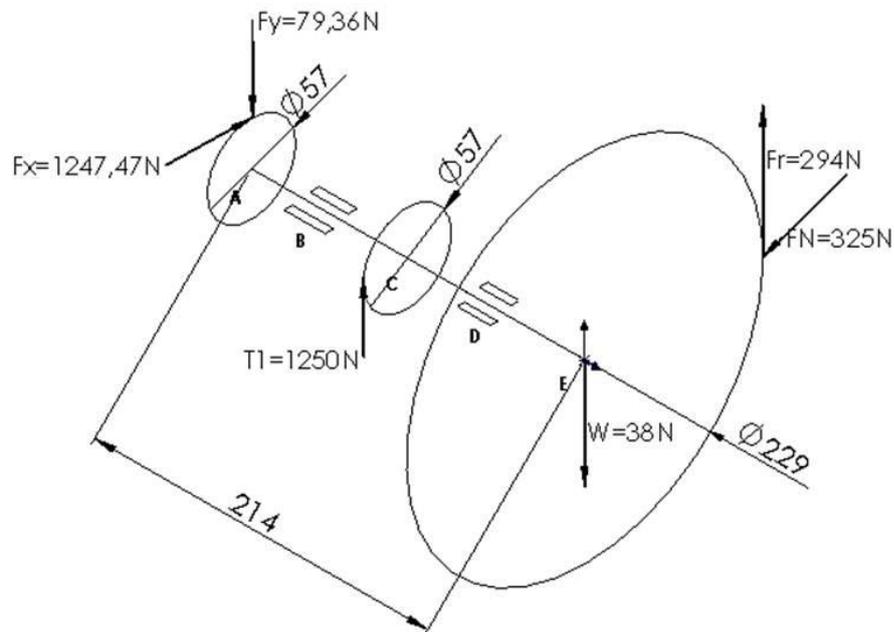
$$F_{Ay} = 79,36 \text{ N}$$

Figura 23. Eje para disco abrasivo para acero



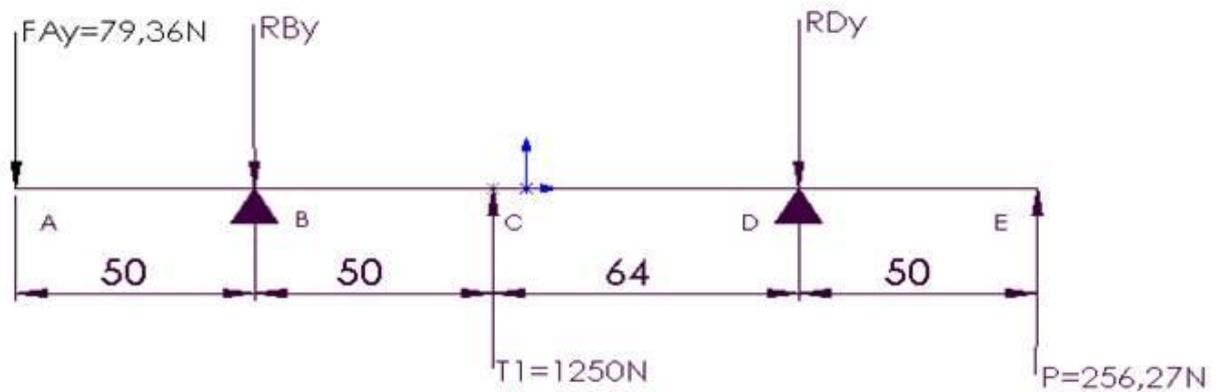
Fuente: Autores

Figura 24. Diagrama de cargas disco abrasivo para acero



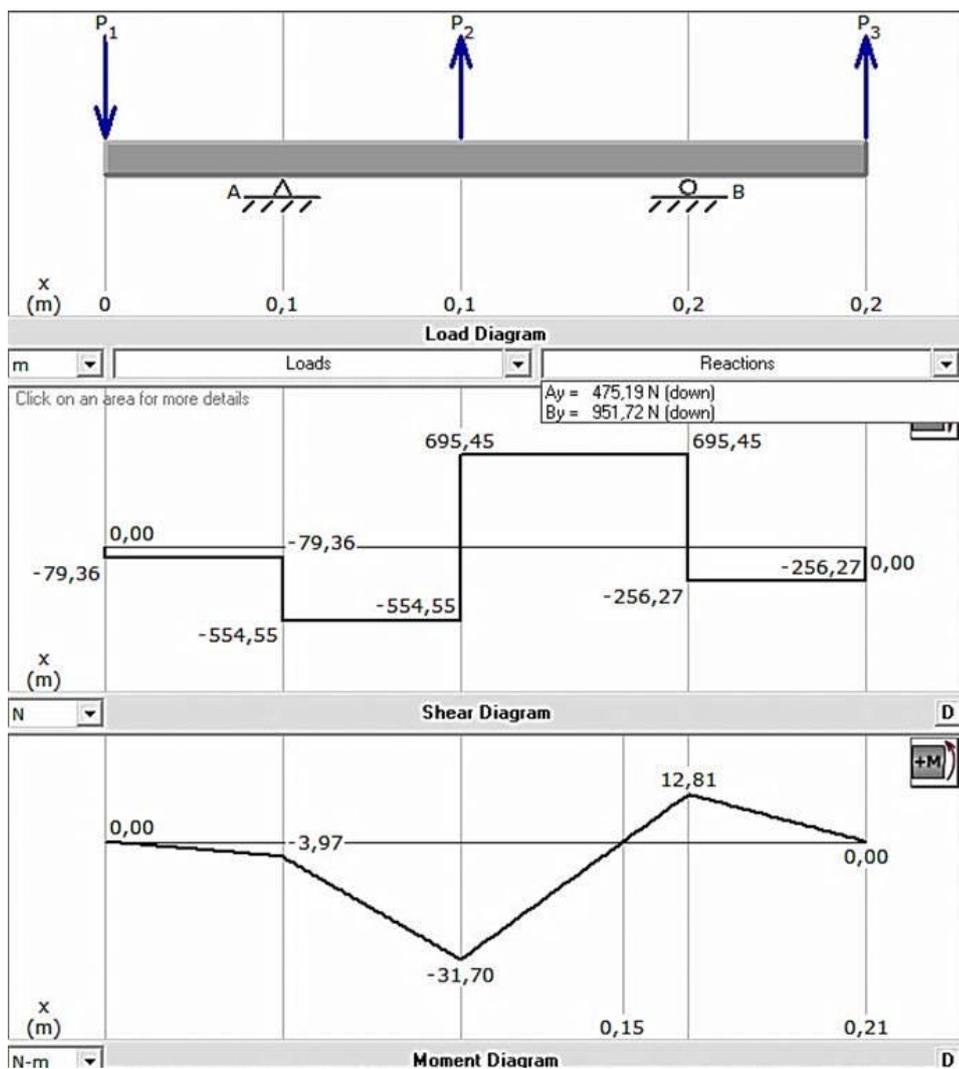
Fuente: Autores

Figura 25. Diagrama de cargas en el plano YZ



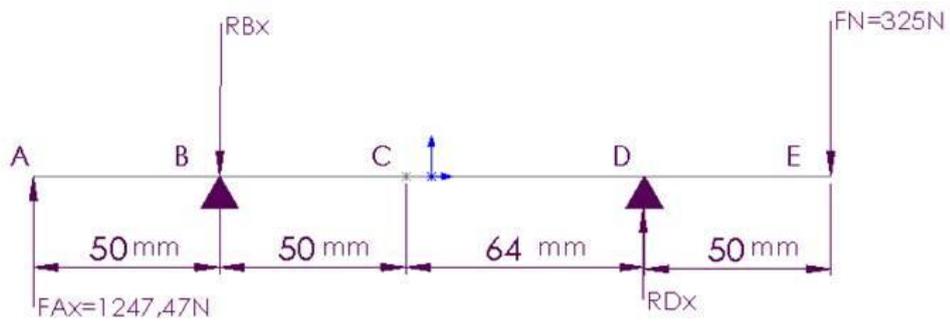
Fuente: Autores

Figura 26. Diagrama de fuerzas y momentos cortantes en el plano YZ



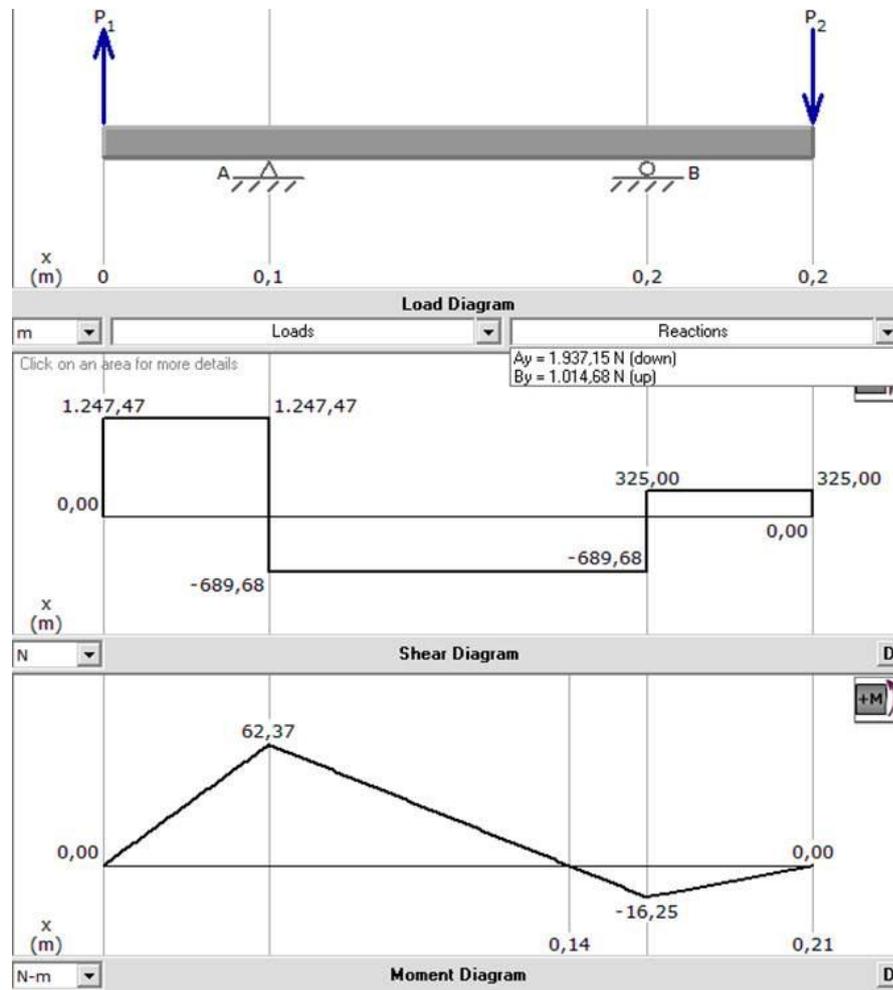
Fuente: Autores

Figura 27. Diagrama de cargas en el plano XZ



Fuente: Autores

Figura 28. Diagrama de fuerzas y momentos cortantes en el plano XZ



Fuente: Autores

De las condiciones de equilibrio en la figura 26 y figura 28, se obtiene los valores de las reacciones:

$$R_{Bx} = 1937,15 \text{ N}$$

$$R_{Dx} = 1014,68 \text{ N}$$

$$R_{By} = 475,19 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = 951,72 \text{ N}$$

De los diagramas de momentos en sus respectivos planos se puede observar que el momento máximo ocurre en el punto **B**.

$$M_{Byz} = 3,97 \text{ N.m}$$

$$M_{Bxz} = 62,37 \text{ N.m}$$

$$M_{BT} = \sqrt{(3,97)^2 + (62,37)^2}$$

$$M_{BT} = 62,5 \text{ N.m}$$

### 3.3.2.2 Cálculo de esfuerzos en la transmisión por cadena. (BUDYNAS, et al., 2003)

El esfuerzo de flexión es:

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (19)$$

Dónde:  $d$  = Diámetro del eje

$M$  = Momento flector máximo

El esfuerzo de torsión es:

$$\tau_f = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (20)$$

Dónde: T = Torque

Ecuación de esfuerzos combinados según:

$$\text{Von Misses} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_f^2} = \frac{S_Y}{n} \quad (21)$$

Reemplazando las ecuaciones:

$$\sqrt{\left(\frac{32M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} = \frac{S_Y}{n} \quad (22)$$

Dónde:

n = Factor de seguridad, te toma valores  $\geq 2,5$  para diseños estáticos

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del acero 1018, y es igual a 220 MPa

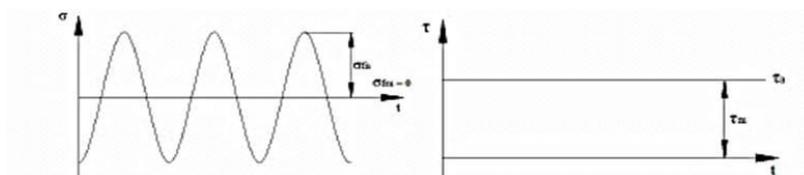
Despejando el diámetro de la ecuación 18 se tiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 (2,5)}{\pi(220 \times 10^6)} * \sqrt{62,5^2 + \frac{3}{4}(36)^2}}$$

$$d = 2,07 \text{ cm}$$

### 3.3.3 Análisis por fatiga en base a fluctuaciones

Figura 29. Fluctuación de esfuerzos



Fuente: Autores

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{fa} = \frac{\frac{32M}{\pi d^3} - (-)\frac{32M}{\pi d^3}}{2} = \frac{\frac{32(62,5)}{\pi(0,02)^3} + \frac{32(62,5)}{\pi(0,02)^3}}{2}$$

$$\sigma_{fa} = 811,464 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{ma} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 0 \quad (23)$$

Según Von Mises

$$\sigma_{equ}(a) = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + 3(\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2} \quad (24)$$

$$\sigma_{equ}(a) = \sigma_{fa}$$

$$\sigma_{equ}(a) = 811,464 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + 3(\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2} \quad (25)$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{3(\tau_{Tm})^2}$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{3\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} = \sqrt{3\left(\frac{16(36)}{\pi(0,02)^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{equ}(m) = 404,78 \text{ Kgf/cm}^2$$

### 3.3.4 Diseño del eje a carga dinámica.

Figura 30. Eje de transmisión 1



Fuente: Autores

*Límite de fatiga*

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S_e' \quad (26)$$

Dónde:

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

$S_e'$  = Límite de resistencia de la muestra

$K_a$  = Factor de superficie

$K_b$  = Factor de tamaño

$K_c$  = Factor de confiabilidad

$K_d$  = Factor de temperatura

$K_f$  = Factor de efectos diversos

$K_e$  = Factor de concentración de tensiones

Como predomina la flexión:

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \quad (\text{anexo H}) \quad (27)$$

Para un acero de transmisión 1018 las propiedades del material es: (anexo I)

$$S_{ut} = 4080 \frac{Kgf}{cm^2}$$

Cálculo de los factores de modificación:

$K_a = 0,92$  Para un maquinado (anexo J)

$K_b = 1,189d^{-0,097} = 1,89(22)^{-0,097} = 1,41$  (anexo K)

$K_c = 0,897$  Para una confiabilidad de 0,9 (anexo L)

$K_d = 1$  (anexo M)

Sensibilidad a la entalla

$q = 0,62$  Para  $r = 0,035$  plg (anexo N)

Factor teórico de concentración de esfuerzos (anexo Ñ)

$$K_t = 1,35 \text{ Para } D/d \text{ de } 1,1906$$

$$K_f = q(K_t - 1) + 1 = 0,62(1,35 - 1) + 1 = 1,217$$

$$K_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{q(K_t - 1) + 1} = 0,821$$

Reemplazando en la ecuación 23:

$$S_e = 0,92 * 1,41 * 0,897 * 1 * 0,821 * (0,5 * 4080 \text{ Kg}f/\text{cm}^2)$$

$$S_e = 1948,83 \text{ Kg}f/\text{cm}^2$$

De la aplicación de criterio lineal de Soberderg se tiene:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (28)$$

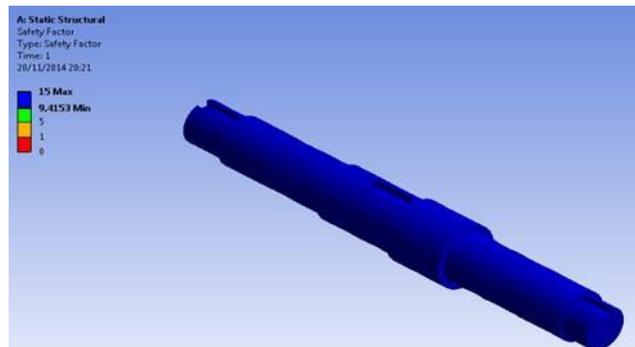
$$\frac{811,464}{1948,82} + \frac{404,78}{2243,37} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1,67$$

**3.3.5 Verificación mediante software del eje de transmisión.** Para el análisis estático del eje de transmisión en ANSYS es necesario seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar el tipo de material del eje
- Ubicar los puntos de soportes (chumaceras)
- Introducir las fuerzas que actúan en el eje ver Figura 31.
- Determinar el tipo de estudio que se desea analizar cómo, factor de seguridad, deformación total, análisis de tensiones etc.
- Generar resultados.

Figura 31. Factor de seguridad en el eje



Fuente: Autores

Se observa que el eje no falla lo que indica que está bien seleccionado el material porque tiene una buena resistencia a las tensiones.

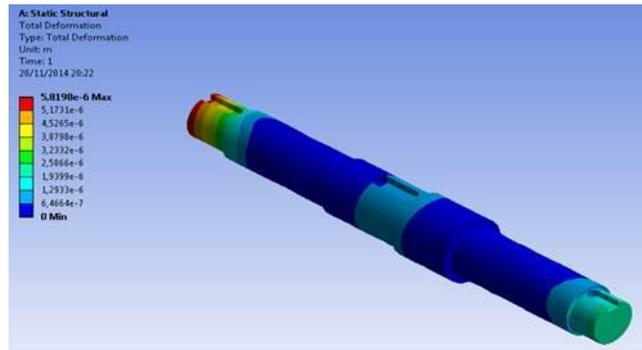
*Análisis de desplazamiento:* Para verificar las deformaciones se toma el límite proporcional establecido según la AISC

$$L/360 \tag{29}$$

Se toma el valor de la longitud del eje de 232 mm y asumiendo que la flecha permisible es de L/360 se tiene:

$$\frac{L}{360} = \frac{232mm}{360} = 0,64 mm$$

Figura 32. Desplazamientos en el eje



Fuente: Autores

Como la deformación calculada en el software, ver la Figura 32 es de 0,0058 mm y es menor a la permisible se concluye que el eje tiene una rigidez aceptable.

### 3.3.6 Selección de chaveta-chavetero en los piñones y disco abrasivo para acero.

Esfuerzo de corte en la chaveta:

$$\tau_c = \frac{P}{b \cdot l} \leq \frac{0,577 S_y}{n} \quad (30)$$

Dónde:

$n = 1$  factor de seguridad en la chaveta

$S_y = 210 \text{ MPa}$  para un acero 1020 (anexo I)

Fuerza de corte en la chaveta:

$$P = \frac{T}{r} \quad (31)$$

$T = 36 \text{ N.m}$  Torque ejercido en el eje

$r = 0,025 \text{ m}$  radio del eje

$$b \geq \frac{d}{4} \quad (32)$$

$$\frac{0,025}{4} = 0,00625$$

Reemplazando se tiene:

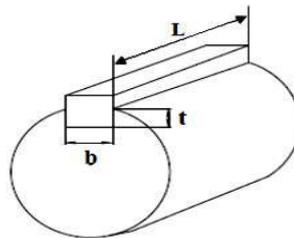
$$l \geq 1,5mm$$

Esfuerzo de aplastamiento en la chaveta:

$$\sigma_{apl} = \left( \frac{P}{\frac{h}{2} * l} \right) \leq \frac{S_y}{n} \quad (33)$$

$$h = 9,2mm$$

Figura 33. Chaveta y chavetero



Fuente: Autores

De igual manera se puede seleccionar las dimensiones de chaveta y chavetero por medio del catálogo (Anexo Ñ) cuyas medidas se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Dimensiones de chavetas y chaveteros

Descripción	Ø del eje (mm)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Chaflán R1 (mm)
Chaveta del disco de abrasión	22	12,7	6	6	0,2
Chaveta en el piñón 1	24,5	22	8	8	0,2
Chaveta en el piñón 2	22	22	6	6	0,2

Fuente: Autores

### 3.3.7 Selección de chumaceras para eje de transmisión

$$d = 2,38\text{cm}$$

$$N = 200\text{ rpm}$$

$$R_{Dy} = 951,72\text{ N}$$

$$R_{Dx} = 1014,68\text{ N}$$

$$F_r = \sqrt{R_{Dx}^2 + R_{Dy}^2} \quad (34)$$

$$F_r = \sqrt{(1014,68)^2 + (951,72)^2} = 1391,16\text{N}$$

*Carga axial equivalente*

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad (35)$$

Si:  $F_a = 0$

$$X_0 = 1$$

$$P_0 = F_r$$

*Carga dinámica. Capacidad básica de carga:*

$$C_R = \frac{f_L}{f_n \cdot f_H} * F_r \quad (36)$$

Del catálogo para rodamientos se obtiene los siguientes datos (SKF, 2000):

$$f_H = 1$$

$f_L = 2,71$  para 10000 horas como vida útil (anexo P)

$f_n = 0,55$  para 200 rpm (anexo Q)

$f_s = 1,5$  para exigencias de trabajo en impactos ligeros (anexo R)

Reemplazando los datos en la ecuación 32 se tiene:

$$C_R = 6,45 \text{ kN}$$

*Carga estática necesaria:*

$$C_0 = f_s * P_0 = F_r * f_s \quad (37)$$

$$C_0 = 2,086 \text{ kN}$$

Con estos datos seleccionamos el rodamiento de las siguientes características:

$d = 2,38 \text{ cm}$

Código: 61905

$C_0 = 4,3 \text{ kN}$

$C = 7,02 \text{ kN}$

*Vida útil del rodamiento:* Reemplazando datos en ecuación 36.

$$7,02 \text{ kN} = \frac{f_L}{0,584 * 1} * 1,39616 \text{ kN}$$

$$f_L = 2,93$$

$f_L$  corresponde a una vida útil mayor de 10000 horas

Como:

$$C_{0\ req} = 2,086\ kN$$

$$C_{0\ tab} = 4,3\ kN$$

$$C_{0\ req} < C_{0\ tab} \quad (38)$$

En la Tabla 15 se muestra las chumaceras seleccionadas por catálogo. (anexo S)

Tabla 15. Propiedades de chumacera SKF para eje 1

Eje	Designación	Cant.	Diámetro Eje (in)	Cap. de carga (kN)		Soporte
				Dinám. C	Estát. C <sub>0</sub>	
Abrasión en acero	YAR 205-100	2	1	10,8	6,95	SY25FJ

Fuente: Autores

### 3.4 Diseño del sistema de abrasión aplicado a adoquín

#### 3.4.1 Variables de diseño de la transmisión del equipo de abrasión para adoquín.

Según la norma COGUANOR 41087 h2 para las pruebas de ensayo se requiere de:

- El disco ancho metálico de 200 mm ± 1 mm de diámetro y 70 mm ± 1mm de ancho.
- El disco debe girar a una velocidad de 75 revoluciones en 60s ± 3s.
- Se sugiere que el disco sea movido por un motor eléctrico, con un motoreductor que garantice las revoluciones especificadas.
- Adicionalmente a estas condiciones se necesita de las fuerzas que van actuar en el eje de transmisión y son las siguientes:
  - La fuerza de tensión (T) que trasmite la cadena a través del piñón
  - La fuerza normal (F<sub>N</sub>) ejercida en el disco como producto de la reacción de la carga aplicada en el extremo, para producir una huella en el adoquín.

- La fuerza de rozamiento ( $F_r$ ) entre el disco de acero y el metal de abrasión.
- El peso ( $W_D$ ) del disco.

**3.4.1.1** *Cálculo de la fuerza de tensión (T).* Tensión calculada por la ecuación 13.

**3.4.1.2** *Determinación del número de dientes en el piñón de baja velocidad.* Con los siguientes datos procedemos a manejar al catálogo: (REXNORD, 2009)

$N_2$  = Número de revoluciones de salida en el eje de abrasión para acero = 200 rpm

$N_1$  = Número de revoluciones en el eje de abrasión para adoquín = 75 rpm

P= Potencia del motor = 0,7-kW (1-hp)

Número de hileras = 1

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (39)$$

$$i = \frac{200}{75} = 2,66$$

Con el valor de potencia y número de hileras trazamos una línea horizontal, hasta intersectar con la línea vertical correspondiente a las rpm de la rueda pequeña y nos sale una cadena # 40. (anexo D)

Luego nos ubicamos en el (anexo E) correspondiente de una cadena # 40, y seleccionamos el número de dientes del piñón con los valores de potencia y rpm de la rueda pequeña.

$Z_1$ = 14 dientes

Con los valores encontrados reemplazando y despejando de la ecuación 38 se tiene:

$Z_2 = 38$  dientes

Con  $Z_1$  y  $Z_2$  puedo encontrar el diametral pitch ver (anexo F), mostrados en la tabla 16.

Tabla 16. Diámetro de piñones

Piñón	# dientes	Diametral pitch (in)
Z1	14	2,247
Z2	38	6,055

Fuente: Autores

También se debe calcular la distancia de centros (recomendado), por medio de la siguiente ecuación ver catálogos Rexnord.

$$e \geq Dp + \frac{dp}{2}$$

$e$  = Distancia de centros entre los dos piñones

$Dp$  = Diametral pitch del piñón mayor

$dp$  = Diametral pitch del piñón menor.

$$e \geq 6,055 + \frac{2,247}{2} \geq 7,18 \text{ in}$$

$$e = 30 \text{ in}$$

Velocidad de la cadena

$$S = \frac{TPN}{12}$$

$T$  = # de dientes del piñón

$P$  = Paso en (in)

$N$  = Número de rpm

Esto valores se toman para cualquiera de los dos piñones ya sean el conductor o el conducido, ya que la velocidad será la misma en la cadena.

$$S = \frac{38(0,5)(75)}{12} = 118 \frac{pie}{mit}$$

Fuerza de tensión que transmite al eje

$$L = \frac{33000H}{S} n$$

Dónde: H = Potencia del motor (hp)

$$L = \frac{33000(1)}{118} = 280 \text{ lbf} = 128 \text{ Kgf}$$

$$L = 1255 \text{ N}$$

Torque que trasmite al eje

$$T = L * R$$

Dónde: R= Radio del piñón.

$$T = 282\text{lbf} \left( \frac{6,055}{2} \text{ in} \right) = 841.32 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$T = 95 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**3.4.1.3** *Cálculo de la fuerza normal ( $F_N$ ).* Esta fuerza normal se lo determinara con exactitud cuándo se calibre la maquina según lo especifica la norma, pero para efectos de cálculo se tomara un valor bastante aproximado a dicha fuerza tomando en cuenta los parámetros de desgaste a producir y la huella que deberá dejar en el adoquín, se ha tomado una fuerza de:

$$F_N = 15 \text{ Kgf} = 147 \text{ N}$$

**3.4.1.4** *Cálculo de la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ).* Como no se conoce el coeficiente de rozamiento  $\mu$  ni por catálogos ni de manera experimental para la fricción que existe entre estos materiales se ha tomado un valor de 0,9 siendo este valor una aproximación al límite máximo que puede tener todo coeficiente de rozamiento.

$$F_r = \mu \cdot N$$

$$F_r = 0,9(147N) = 132,3 N$$

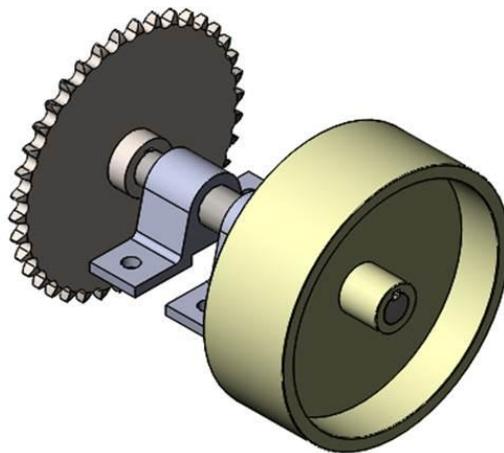
**3.4.1.5** *Cálculo del peso ( $W_D$ ) del disco.* Este peso se lo cálculo mediante el software Solidwords para un acero al carbono A36 (anexo T).

$$W_D = 44,85N$$

**3.4.2** *Diseño estático del eje de transmisión para equipo según COGUANOR*

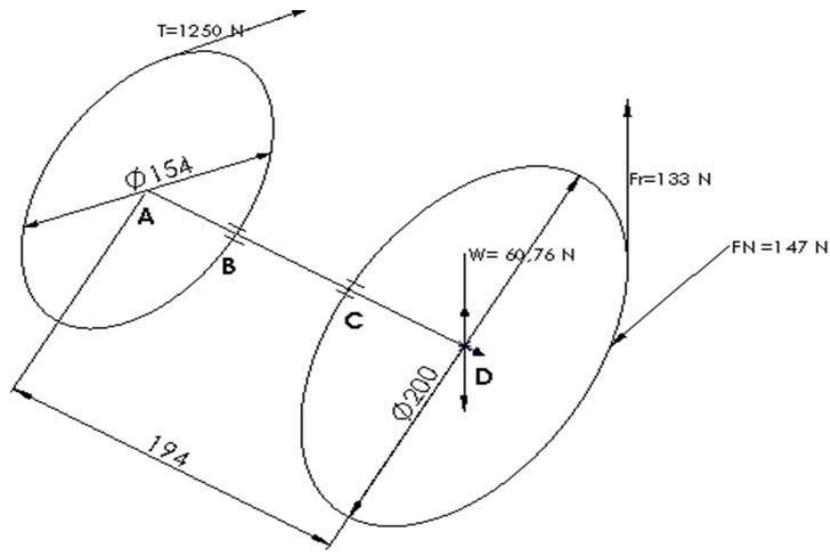
**3.4.2.1** *Cálculo de Fuerzas en la transmisión por cadena.* Se debe conocer cuál es las cargas aplicada en el árbol o eje.

Figura 34. Eje para disco abrasivo para adoquín



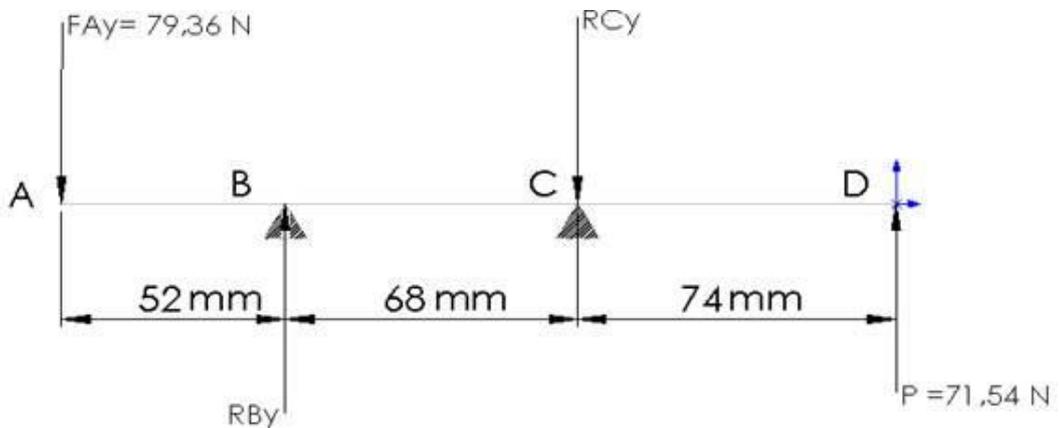
**Fuente:** Autores

Figura 35. Diagrama de cargas de eje para adoquín



Fuente: Autores

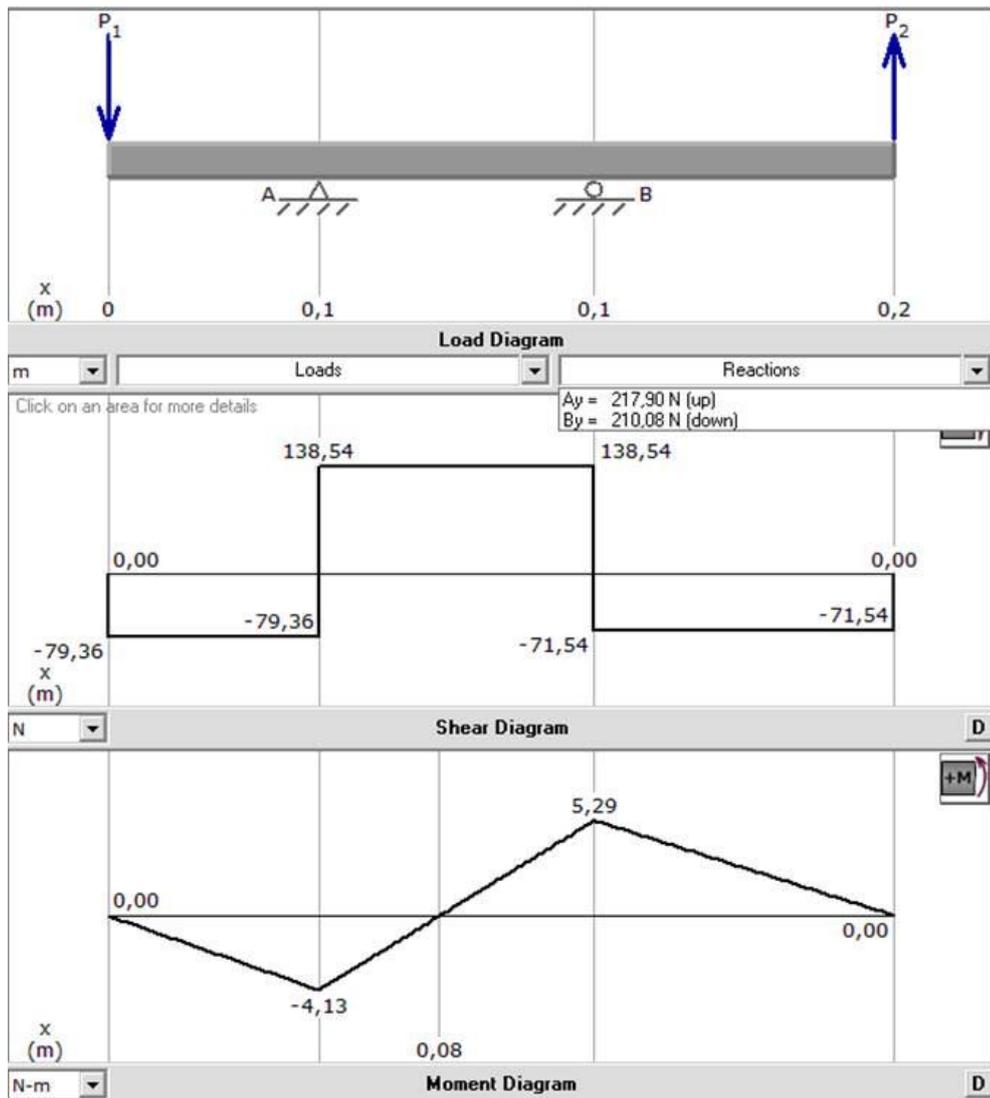
Figura 36. Diagrama de cargas en el plano YZ



Fuente: Autores

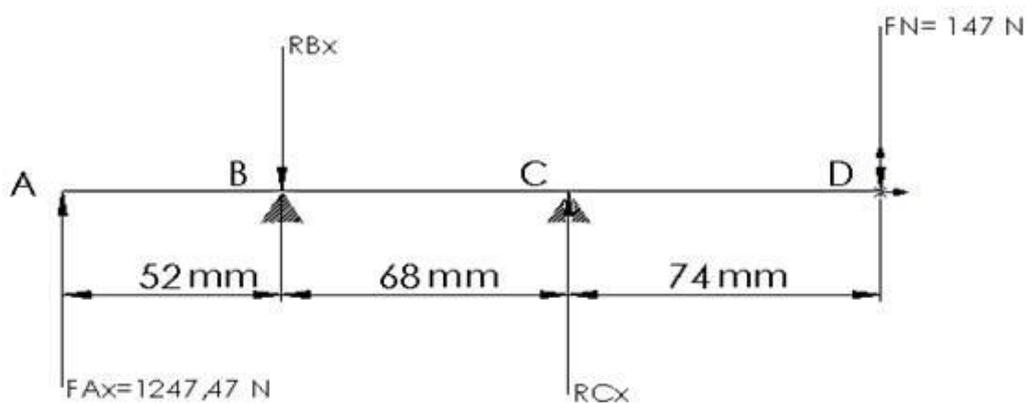
Todas las fuerzas actuantes en el eje se aplican en el mismo, conociendo sus respectivos valores y las distancias exactas donde van a ser colocadas para hacer una representación en sus respectivos planos y así determinar las reacciones y momentos en el árbol. Para los resultados confiables se utilizó el software MDSolids 3.5

Figura 37. Diagramas de fuerzas y momentos cortantes en el plano YZ



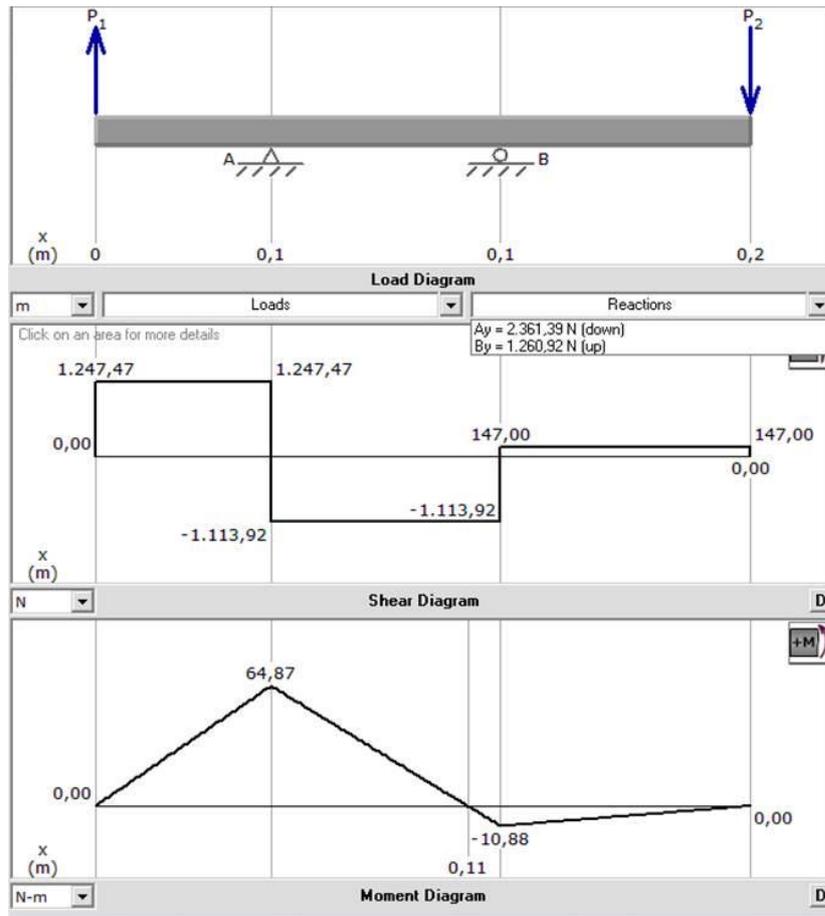
Fuente: Autores

Figura 38. Diagrama de cargas en el plano XZ



Fuente: Autores

Figura 39. Diagramas de fuerzas y momentos cortantes en el plano XZ



Fuente: Autores

De las condiciones de equilibrio en las figuras 37 y figura 39 obtenemos los valores de las reacciones:

$$R_{Bx} = 2361,39 \text{ N}$$

$$R_{Cx} = 1260,92 \text{ N}$$

$$R_{By} = 217,9 \text{ N}$$

$$R_{Cy} = 210,08 \text{ N}$$

De los diagramas de momentos en sus respectivos planos se puede observar que el momento máximo ocurre en el punto **B**.

$$M_{Byz} = 4,13 \text{ N.m}$$

$$M_{Bxz} = 64,87 \text{ N.m}$$

$$M_{BT} = \sqrt{(4,13)^2 + (64,87)^2}$$

$$M_{BT} = 65 \text{ N.m}$$

### 3.4.2.2 Cálculo de esfuerzos en la transmisión por cadena.

El esfuerzo de flexión es:

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Dónde:

d = Diámetro del eje

M = Momento flector máximo

El esfuerzo de torsión es:

$$\tau_f = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Dónde: T = Torque

Ecuación de esfuerzos combinados según:

$$\text{Von Misses} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_f^2} = \frac{S_Y}{n}$$

$$\sqrt{\left(\frac{32M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} = \frac{S_Y}{n}$$

Dónde:

$n$  = Factor de seguridad, te toma valores  $\geq 2,5$  para diseños estáticos

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del acero 1018, y es igual a 220MPa

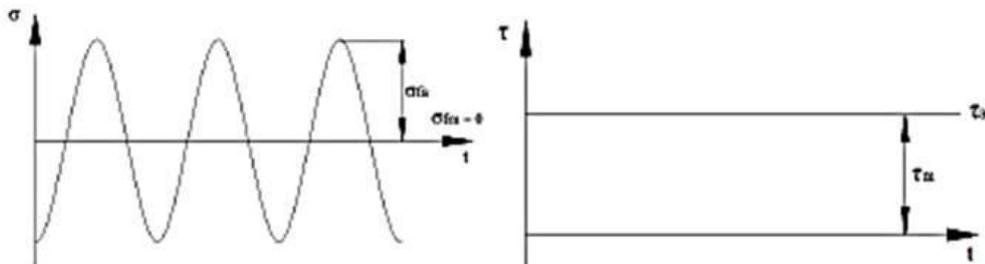
Despejando el diámetro de la ecuación se tiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 (2,5)}{\pi(220 \times 10^6)} * \sqrt{65^2 + \frac{3}{4} (95)^2}}$$

$$d = 2,28cm$$

### 3.4.3 Análisis por fatiga en base a fluctuaciones

Figura 40. Fluctuación de esfuerzos



Fuente: Autores

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{fa} = \frac{\frac{32M}{\pi d^3} - (-)\frac{32M}{\pi d^3}}{2} = \frac{\frac{32(65)}{\pi(0,0228)^3} + \frac{32(65)}{\pi(0,0228)^3}}{2}$$

$$\sigma_{fa} = 569,62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ma} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 0$$

Según Von Mises:

$$\sigma_{equ}(a) = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + 3(\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2}$$

$$\sigma_{equ}(a) = \sigma_{fa}$$

$$\sigma_{equ}(a) = 569,62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + 3(\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2}$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{3(\tau_{Tm})^2}$$

$$\sigma_{equ}(m) = \sqrt{3\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} = \sqrt{3\left(\frac{16(95)}{\pi(0,0228)^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{equ}(m) = 720,98 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 3.4.4 Diseño del eje a carga dinámica

Figura 41. Eje de transmisión 2



Fuente: Autores

Límite de fatiga

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S_e'$$

Dónde:

$S_e$  = límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

$S_e'$  = Límite de resistencia de la muestra

$K_a = \text{Factor de superficie}$

$K_b = \text{Factor de tamaño}$

$K_c = \text{Factor de confiabilidad}$

$K_d = \text{Factor de temperatura}$

$K_f = \text{Factor de efectos diversos}$

Cálculo de los factores:

$K_a = 0,92 \text{ Para un maquinado}$

$K_b = 1,89d^{-0,097} = 1,89(22,8)^{-0,097} = 1,39$

$K_c = 0,897 \text{ Para una confiabilidad de } 0,9$

$K_d = 1$

$K_f = q(K_t - 1) + 1 = 0,62(1,35 - 1) = 1,217$

$K_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{q(K_t - 1) + 1}$

$q = 0,62 \text{ Para } r = 0,035 \text{ plg}$

$K_t = 1,35 \text{ Para } D/d \text{ de } 1,1906$

$K_e = 0,821$

Reemplazado los datos:

$$S_e = 0,92 * 1,39 * 0,897 * 1 * 0,821 * (0,5 * 4080 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$S_e = 1921,18 \text{ Kgf/cm}^2$$

De la aplicación de criterio lineal de Soberderg se tiene:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{569,62}{1921,18} + \frac{720,98}{2243,37} = \frac{1}{n}$$

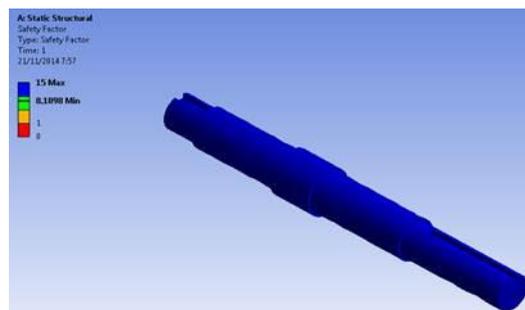
$$0,2965 + 0,3214 = \frac{1}{n}$$

$$n = 1,62$$

**3.4.5 Verificación mediante software del eje de transmisión.** Para el análisis estático del eje se sigue los mismos pasos indicados en la sección. A continuación se muestra los resultados obtenidos.

Factor de seguridad

Figura 42. Coeficiente de seguridad en eje de transmisión



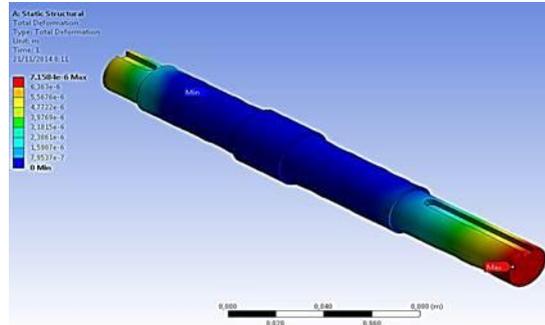
**Fuente:** Autores

*Deformaciones.* Para verificar las deformaciones se toma el límite proporcional establecido según la AISC L/360

Se toma el valor de la longitud del eje de 238mm y asumiendo que la flecha permisible es de L/360 se tiene:

$$\frac{L}{360} = \frac{238\text{mm}}{360} = 0,661$$

Figura 43. Vista isométrica de deformaciones en el eje



**Fuente:** Autores

Como se observa en la figura 43 el eje tiene un desplazamiento de 0,001758 mm y es inferior al desplazamiento permisible por lo tanto se concluye que el eje está bien diseñado.

**3.4.6 Selección de chaveta y chavetero.** En la tabla 17 se muestra sus respectivas dimensiones tomadas de catálogo (anexo O)

Tabla 17. Dimensiones de chavetas

Descripción	Ø del eje (mm)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Chaflán R1 (mm)
Chaveta del disco grande de abrasión	22	70	8	8	0,2
Chaveta en el piñón 3	22	22	8	8	0,2

**Fuente:** Autores

**3.4.7 Selección de la chumacera del eje.** De manera similar que se hizo el cálculo en el literal se hace en este apartado, por cuya razón a continuación se muestra la tabla 18 con las características de la chumacera tomada del catálogo SKF para chumaceras de piso.

Tabla 18. Propiedad de las chumaceras SKF para Eje 2

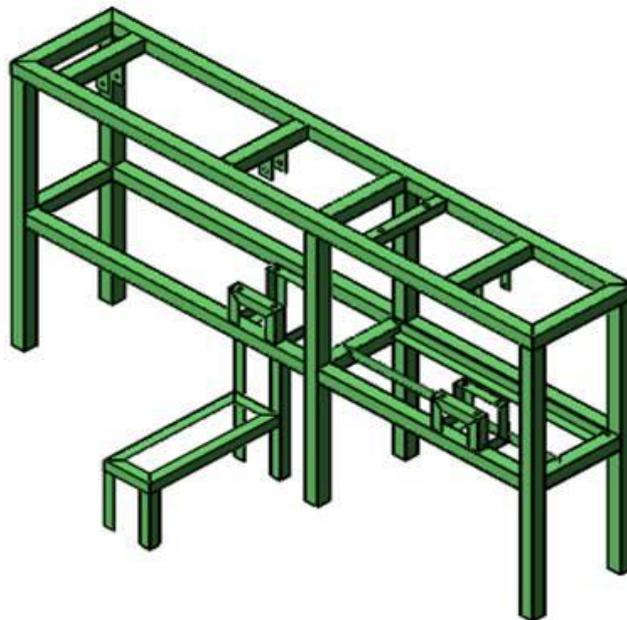
Eje	Designación	Cantidad	Diámetro eje (in)	Capacidad de carga kN		Soporte
				Dinámica C	Estático C <sub>0</sub>	
Abrasión en adoquín	YAR 205-100	2	1	10,8	6,95	SY25FJ

Fuente: Autores

### 3.5 Diseño de la estructura

El diseño de la estructura es muy indispensable ya que sirve para soportar las cargas y elementos que conforman la máquina de abrasión, permitiendo confiabilidad tanto en rigidez como deformación por lo cual está construida de un tubo estructural cuadrado de 40mm y 2 mm de espesor (anexo U) lo que le permite disminuir su peso sin perder sus propiedades de resistencia.

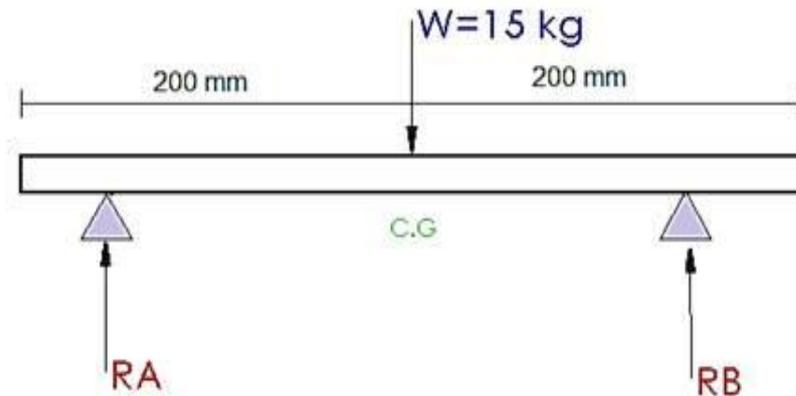
Figura 44. Geometría en vista isométrica de la estructura



Fuente: Autores

**3.5.1 Cargas que actúan en la estructura.** Acciones debido al peso del motoreductor. El peso del conjunto motoreductor es de 15 kg y su centro de gravedad y reacciones en la estructura es como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Vista de plano XY de las fuerzas que ejerce el motoreductor



Fuente: Autores

Las reacciones calculadas mediante software son las siguientes:

$$R_A = 73,5 \text{ N}$$

$$R_B = 73,5 \text{ N}$$

Como en el programa ANSYS se va realizar un análisis como presión entonces:

$$P = \frac{F}{A} \quad (40)$$

Dónde:

$A$  = Área del perfil angular de 30 x 30 x 3

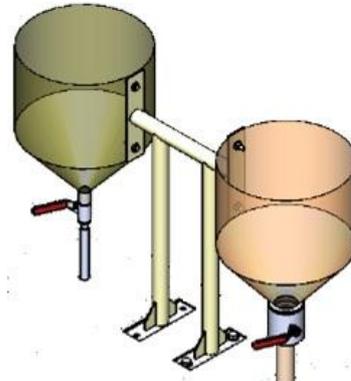
$F$  = Fuerza o reacción = 73,5 N

$$P = \frac{73,5 \text{ N}}{0,012 \text{ m}^2}$$

$$P = 6125 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

### 3.5.1.1 Cargas debido a las tolvas de almacenamiento.

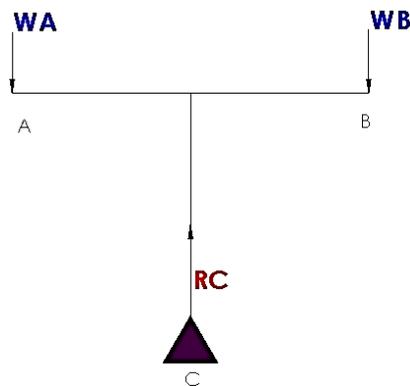
Figura 46. Tolvas de almacenamiento de abrasivo



Fuente: Autores

Esta fuerza se va transmitir a la estructura a través del elemento vertical (tubo mecánico) de la siguiente manera.

Figura 47. Esquema de fuerzas producidas por las tolvas



Fuente: Autores

Dónde:

$$W_A = \gamma \cdot V \quad (41)$$

$\gamma = \frac{4,05 \text{ g}}{\text{cm}^3}$  peso específico del corindon (anexo Y)

$$V = 19 \text{ L (Volumen)}$$

$$W_A = 726,18 \text{ N}$$

$$W_B = \rho \cdot g \cdot V \quad (42)$$

$$\rho = \frac{2,634 \text{ g}}{\text{cm}^3} \text{ densidad de arena silice (anexo Y)}$$

$$W_B = 490,45 \text{ N}$$

$$\sum_{F_y} = 0$$

$$2R_C - W_A - W_B = 0$$

$$2R_C = W_A + W_B = 1216,63 \text{ N}$$

$$R_C = 608,315 \text{ N}$$

De igual forma el análisis es por presión en el elemento que trasmite la fuerza.

Dónde:

A = Área del perfil angular de 30 x 30 x 3

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1216,63 \text{ N}}{0,0057 \text{ m}^2}$$

$$P = 213443,85 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**3.5.1.2 Carga por el peso del espécimen (adoquín).** Este peso es de 20 N calculado en software Solidworks y cómo va a estar en contacto en las guías que le permiten deslizarse libremente este peso se divide para las dos guías quedando para cada una un valor de carga de 10 N (figura 52).

Dónde:

A = Área del perfil angular por donde se desliza el porta espécimen.

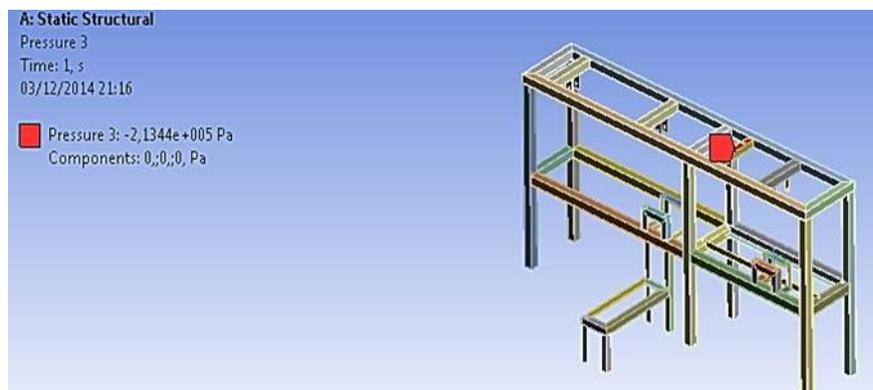
$$P = \frac{F}{A} = \frac{10\text{ N}}{0,0174\text{m}^2}$$

$$P = 574,71 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Reacciones en apoyos (*chumaceras*). Estos valores se calcularon en 3.3.2 y 3.4.2.

**3.5.2** *Comprobación de resistencia en ANSYS 14.5.* Con todas las cargas conocidas que actúan en la estructura se procede hacer el análisis en el programa obteniendo los siguientes resultados.

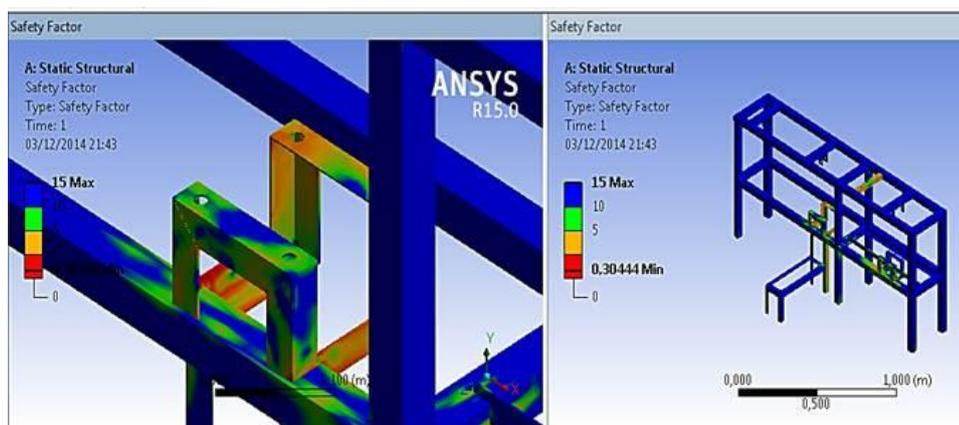
Figura 48. Aplicación de cargas



Fuente: Autores

Resultados:

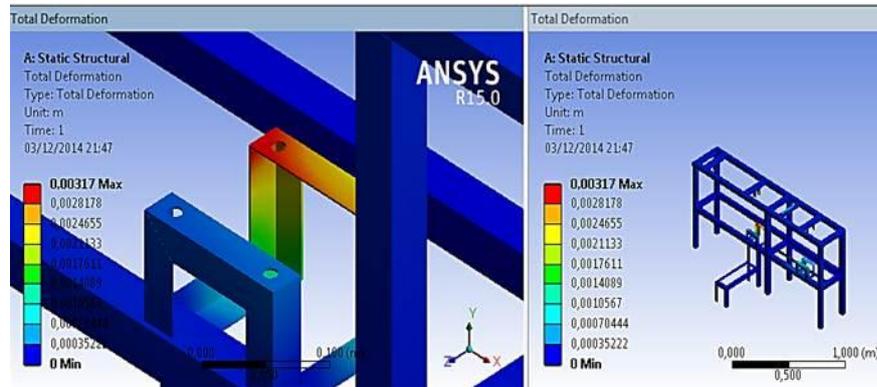
Figura 49. Factor de seguridad en la bancada



Fuente: Autores

En la figura 50 se puede ver que hay un coeficiente de seguridad de 0,3044 en una pequeña parte de un elemento lo que nos indica que si va soportar sin ningún problema las cargas que actúan en esa zona de trabajo.

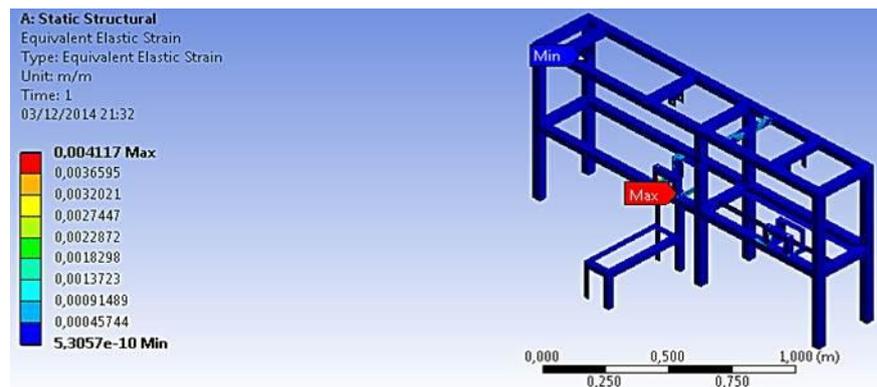
Figura 50. Deformación máxima y mínima en la bancada



Fuente: Autores

Como se observa la máxima deformación ocurre en un elemento de la bandada que va soportar el discos abrasivo, específicamente donde va colocada la chumacera y tiene una flecha de 0,00317 mm y se puede concluir que es aceptable para este propósito, ya que se encuentra por debajo del límite permisible de deformaciones.

Figura 51. Esfuerzos equivalentes



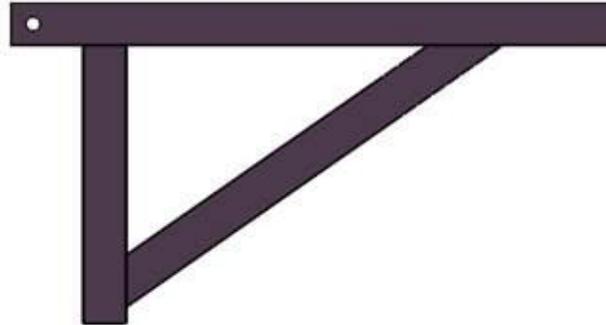
Fuente: Autores

### 3.6 Diseño del brazo (palanca)

Es el elemento que permite aplicar la carga sobre la probeta para generar un desgaste, este mecanismo está compuesto de acero estructural cuadrado de 4 cm por 2mm de

espesor (anexo U), para obtener las medidas y forma específica se lo cortó, soldó y taladro como indica la figura 52.

Figura 52. Brazo palanca

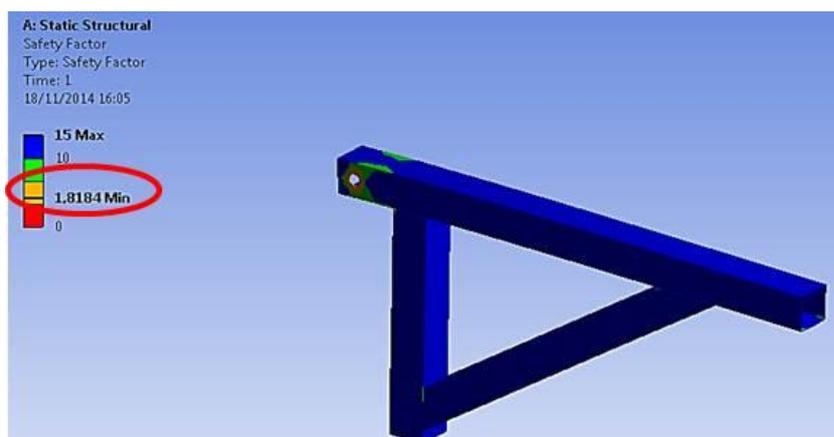


Fuente: Autores

**3.6.1 Verificación del brazo sometido a carga.** Para un pre diseño del brazo es necesario aplicar una fuerza en el extremo del brazo (palanca) la misma que especifica la norma ASTM G65.

El análisis se realiza en el software ANSYS 14.5. Los parámetros principales para realizar este análisis es conocer la fuerza aplicada, los soportes fijos, tipo de mallado, material de los elementos a analizar

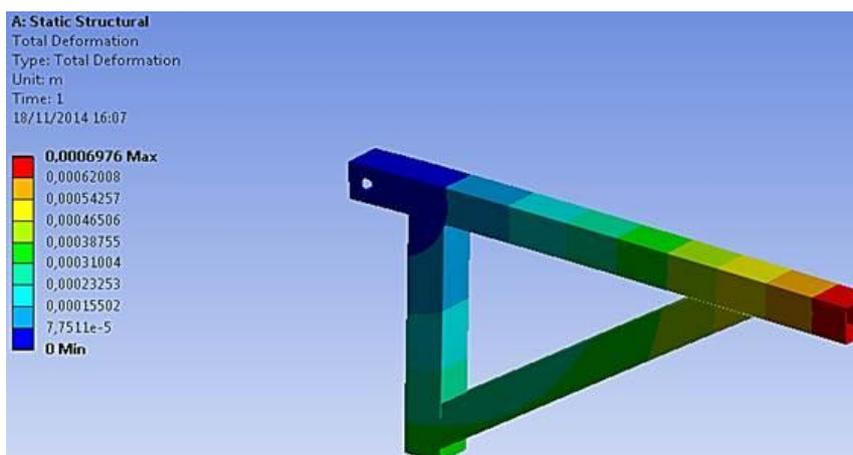
Figura 53. Efecto de la carga aplicada en el brazo



Fuente: Autores

Se puede observar que el factor de seguridad en la zona más crítica es de 1,82 lo que permite trabajar con seguridad.

Figura 54. Deformaciones unitarias



Fuente: Autores

Se puede ver en la figura 54 que no se tiene mayor inconveniente en cuanto a deformaciones ya que el color de mayor exigencia el rojo está en deformaciones aceptables para este acero por lo tanto el material es adecuado para la construcción del brazo.

### 3.7 Porta probeta

**3.7.1** *Porta probetas para aceros.* La función del porta probetas es sostener la probeta, permitiendo que no se mueva durante el ensayo, este elemento se lo diseño de acuerdo a las medidas de la probeta e indicaciones de la norma, y se mantendrá unido al brazo por medio de suelda en uno de sus lados.

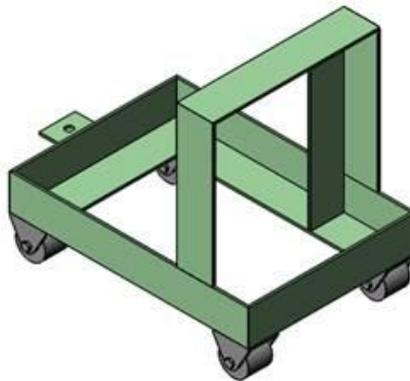
Figura 55. Porta probetas de aceros



Fuente: Autores

**3.7.2** *Porta espécimen móvil de adoquín.* El carro porta espécimen debe ser rígido y debe ir montado sobre un sistema de rieles y rodamientos, que garantice su libre desplazamiento, bajo la acción de un contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco metálico. Debe poseer un sistema para la sujeción del espécimen, que permita nivelarlo y alinearlos. El material utilizado es un perfil angular de 30 x 30 x 3. (anexo V)

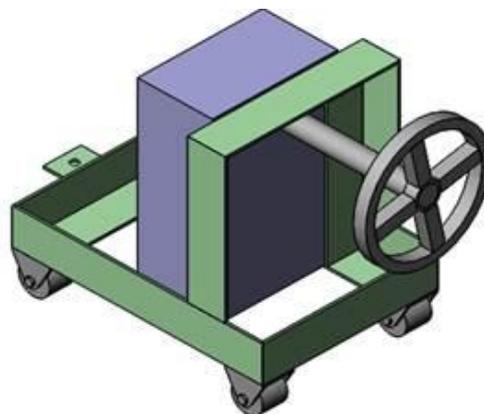
Figura 56. Porta espécimen móvil para probeta de adoquín



Fuente: Autores

**3.7.2.1** *Mecanismo de fijación del espécimen.* Este sistema para la sujeción está instalado en el porta espécimen móvil de adoquín para que permita sujetarlo, nivelarlo y alinearlos con el fin de que la superficie a ser ensayada sea lo más paralelo posible al plano tangente del disco de abrasión en el punto de contacto. Está construido de un perno de anclaje, unido a la estructura del porta espécimen por medio de una tuerca soldada que permite su avance en sentido bidireccional y dirección horizontal.

Figura 57. Mecanismo de fijación del espécimen

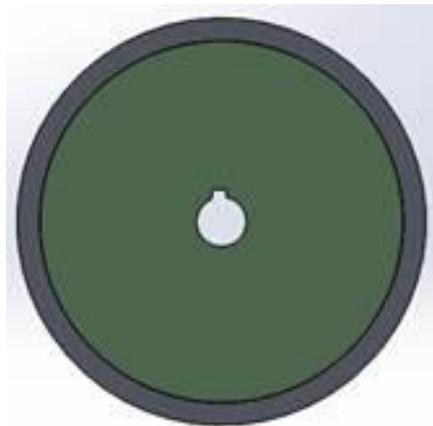


Fuente: Autores

### 3.8 Discos metálicos abrasivos

**3.8.1** *Disco vulcanizado para ensayos en aceros.* El disco cuenta con un recubrimiento de caucho el mismo que cumple las condiciones de dureza de  $60 \pm 2$  shore A, esto para que el material abrasivo no penetre en el caucho y así producir un desgaste libre entre la arena sílice y la probeta a ensayar, este disco se mantiene unido al eje de transmisión por medio del sistema de sujeción chaveta-chavetero.

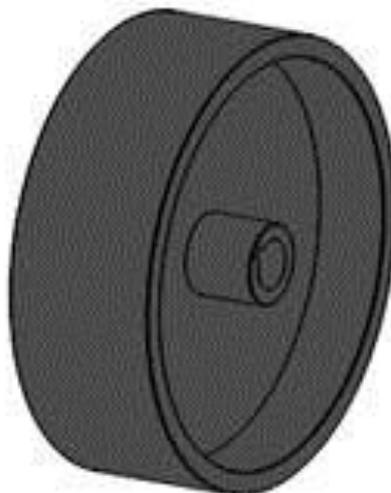
Figura 58. Disco abrasivo para Aceros



Fuente: Autores

**3.8.2** *Disco metálico ancho para ensayos.* El diseño del disco es de acuerdo a la norma, este se mantendrá unido al eje de transmisión por la sujeción chaveta chavetero.

Figura 59. Disco abrasivo para Adoquín



Fuente: Autores

### 3.9 Tolvas

**3.9.1** *Tolva de almacenamiento para arena sílice.* La función de la tolva es de almacenar el material abrasivo suficiente para realizar las pruebas de desgaste, la misma está construida con planchas de acero laminada al caliente de 2 mm de espesor. (anexo X)

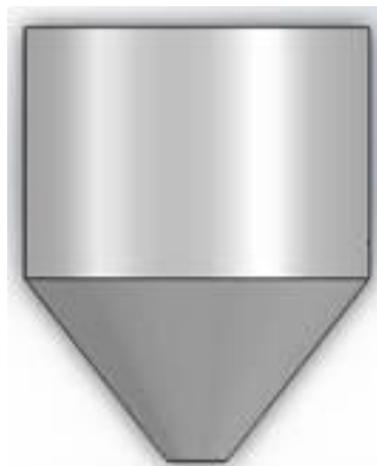
Figura 60. Tolva para arena sílice



Fuente: Autores

**3.9.2** *Tolva superior de almacenamiento para aluminio.* Es similar a tolva para aceros.

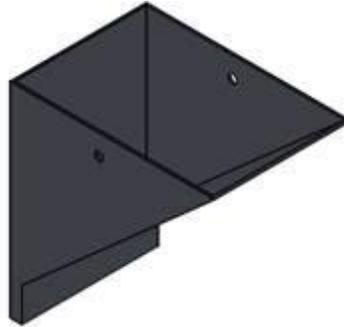
Figura 61. Tolva para aluminio marrón



Fuente: Autores

**3.9.2.1 Tolva inferior de regulación.** La función de esta tolva es principalmente de control y distribución del flujo, su forma es de cuña para permitir cubrir toda el área del disco de material abrasivo.

Figura 62. Tolva inferior de regulación

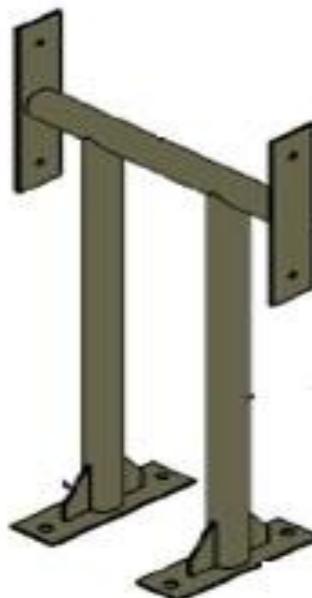


Fuente: Autores

### 3.10 Geometría del brazo soporte de tolvas

El brazo se lo diseño tubo redondo mecánico (anexo W) de manera simétrica para que sostenga a las dos tolvas que van a estar en la máquina de abrasión, permitiendo que sea de fácil montaje, ya que está unido a la estructura y a las tolvas por medio de tornillos.

Figura 63. Brazo porta tolvas



Fuente: Autores

### 3.11 Válvulas

**3.11.1** *Válvula de regulación de arena sílice.* Este instrumento mecánico es el que permite controlar el flujo de arena desde la tolva de almacenamiento hacia la boquilla cuando se realiza el ensayo, gracias a su apertura de trabajo entre 0 y 90°. El diámetro de la válvula de esfera es de 3/4.

Figura 64. Válvula de esfera de 3/4



Fuente: <http://www.agrigan.es/imagenes/productos/productos/842.jpg>

**3.11.2** *Válvula de regulación de flujo de arena abrasiva (Aluminio marrón).* El principio de esta válvula es trabajar al 100 % abierta mientras se realiza el ensayo, esto para que permita el llenado de la tolva inferior de regulación con una altura mínima de llenado a 90mm por encima de la apertura de salida del material abrasivo en la tolva de regulación de esta forma se tendrá un flujo másico constante mayor o igual a 2.5 L/min sobre la probeta.

Figura 65. Válvula de esfera de 1 1/4

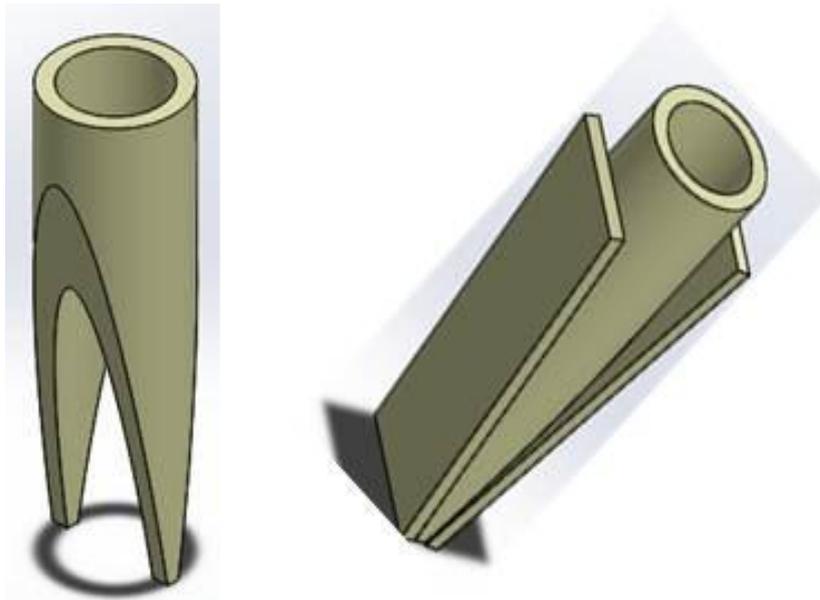


Fuente: <http://www.agrigan.es/imagenes/productos/productos/842.jpg>

**3.11.2.1** *Conducto para material abrasivo.* Tubería que permite transportar el material abrasivo al lugar de ensayo y está unida a la tolva de almacenamiento, entre la válvula de flujo y la boquilla de dosificación.

**3.11.2.2 Boquilla para ensayo en aceros.** Las dimensiones y forma de boquilla se lo realizo de acuerdo a la norma ASTM G65 para que permita proporcionar un flujo constante del material abrasivo comprendido entre 300 a 400 g/min, por lo que tiene forma puntiaguda para llegar al sitio específico.

Figura 66. Boquilla para ensayo en aceros



Fuente: Autores

### **3.12 Recolección del material abrasivo**

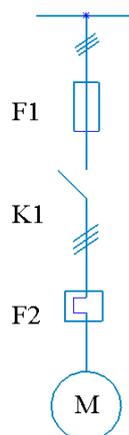
Cuando se inicia el ensayo se abre la válvula que permite caer el material abrasivo al punto de contacto entre el espécimen y la rueda para dar lugar al desgaste

Todo este material debe ser recogido en un recipiente para evitar la contaminación en el lugar y los desperdicios del mismo.

### **3.13 Diseño circuito eléctrico**

El diagrama del circuito de potencia del motor tiene su conexión al motor trifásico con un arranque estrella-triángulo siendo este el más conocido y utilizado, permitiendo de esta forma tener seguridad en caso de sobrecargas en el sistema eléctrico del motor.

Figura 67. Arranque del motor trifásico



Fuente: Autores

F1= Fusible (protección de línea y cortocircuito)

K1= Contactor

F2= Protección del motor contra sobrecargas

M= Motor trifásico

Para el control de encendido y apagado se conecta dos pulsadores ON- OFF y están unidos a la estructura de la máquina en la parte superior de la misma

Arranque directo

Este método se emplea únicamente en máquinas de una potencia inferior a 5Kw.

Un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar.

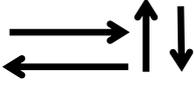
Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se reduzca la caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su ventaja principal es el elevado par de arranque, que es 1.5 veces el nominal.

## CAPÍTULO IV

### 4. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

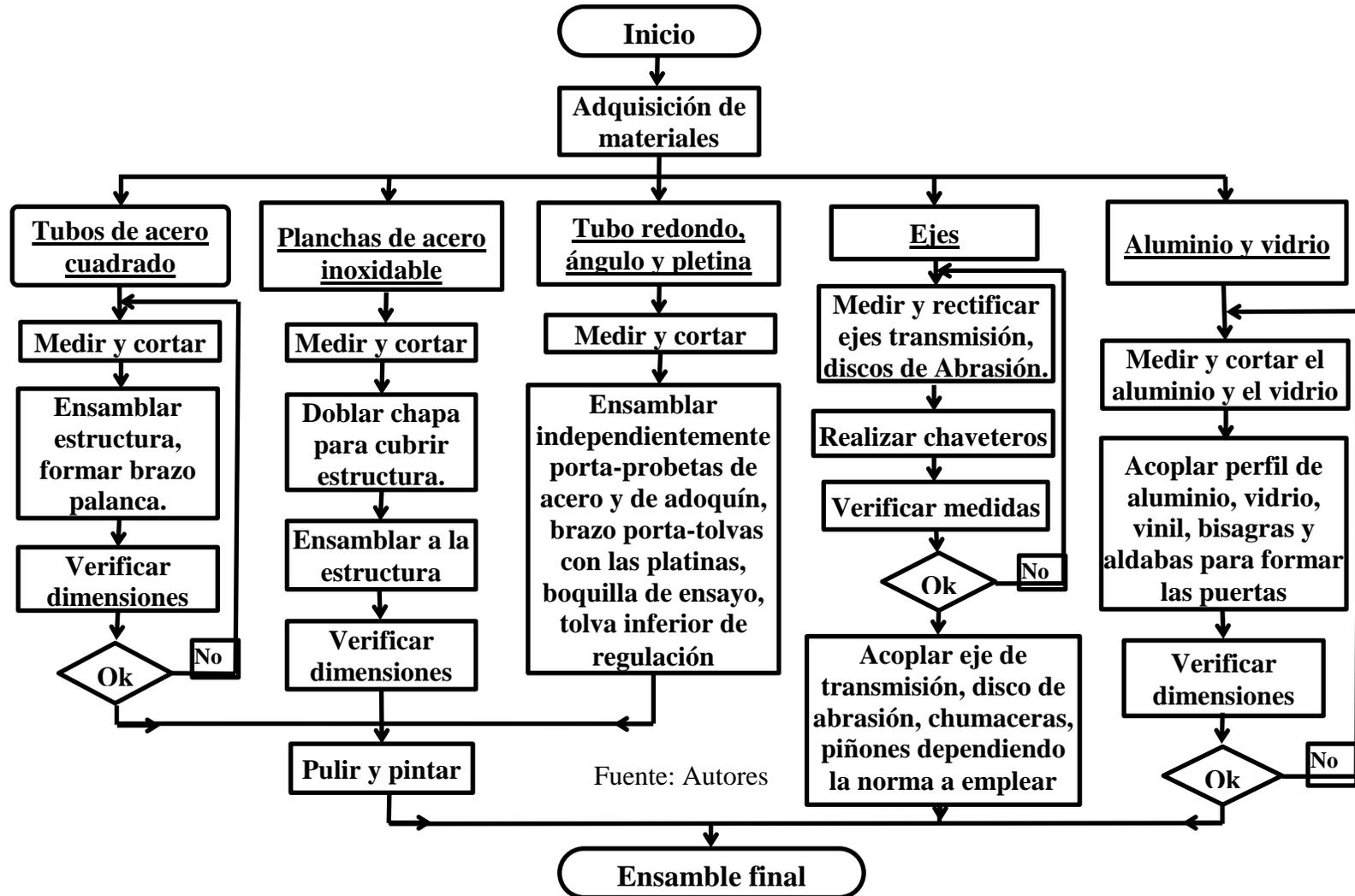
Para resumir el proceso de ensayo de abrasión se realizó el siguiente diagrama de flujo basado en la simbología de la norma ANSI (figura 68), el cual ha sido adaptado para el desarrollo del estudio para aceros y adoquines, utilizando la máquina que fue construida con fundamento en las normas ASTM G-65 y COGUANOR 41087 h2 respectivamente.

Figura 68. Simbología de procesos según norma ANSI

	<b>Terminal.-</b> Indica el inicio o final del flujograma.
	<b>Operación.-</b> Representa la realización de una operación.
	<b>Decisión.-</b> Indica un punto de dentro del flujo en que son posibles varios caminos.
	<b>Conector de página.-</b> Conecta o enlaza a otra hoja diferente.
	<b>Conector.-</b> Representa conexión o enlace.
	<b>Documento.-</b> Incorpora cualquier tipo de documento que entre, se use, forme o salga procedimiento.
	<b>Línea de flujo.-</b> Conecta los símbolos señalando el orden

Fuente: Norma ANSI

Figura 69. Diagrama de procesos de la construcción del equipo



## 4.1 Generalidades

Habiendo verificado y analizado conjuntamente las normas técnicas ASTM G65 y la COGUANOR NTG 41087 h2, se procede a la construcción del equipo, para la determinación de resistencia al desgaste por abrasión en aceros y adoquines de concreto, teniendo como referencia los planos de despiece y conjunto de todos los elementos que forman el equipo. Para realizar la máquina de abrasión es necesario aplicar procedimientos de procesos de manufactura, así como el uso de máquinas herramientas entre otras cosas.

## 4.2 Construcción del equipo de abrasión

**4.2.1 Bastidor del equipo.** Para la construcción del bastidor se ha seleccionado un tubo estructural cuadrado ASTM A 500 de 2 mm de espesor con las medidas especificadas en los planos, utilizando herramientas como disco de corte para obtener todos los elementos, taladro, pulidora y finalmente una soldadora para la unión.

Figura 70. Bastidor



Fuente: Autores

**4.2.2 Tolvas para el material abrasivo.** Son diseñadas con un material de plancha ASTM A336 de 2mm de espesor con capacidad de almacenamiento de 19 lts suficiente para realizar los ensayos, permitiendo tener simetría con la geometría de la máquina y son de fácil desmontaje ya que está unido al brazo de tolvas por medio de tornillos.

En el proceso de construcción fue necesario doblar en dos partes, una como un cilindro y la otra como un cono y finalmente unidas mediante suelda, en su parte inferior están unidas a unos pequeños neplos para adaptarse con la válvula de flujo de los abrasivos.

Figura 71. Tolvas



Fuente: Autores

Figura 72. Tolva regulación



Fuente: Autores

**4.2.3** *Brazo soporte de tolvas.* El brazo consta de dos tubos redondos de material ASTM A513 y está unido a unas placas en los extremos de sus medidas las mismas que tienen agujeros para unirse tanto con las tolvas como en la bancada de la máquina, brindando estabilidad y soporte entre las tolvas y el equipo.

Figura 73. Pedestal



Fuente: Autores

**4.2.4 Ejes de transmisión.** Los ejes son de acero de transmisión AISI 1018 y se han mecanizado en el torno, dando las dimensiones indicadas en los planos de construcción también se realizó los chaveteros que conjuntamente con las chavetas son el mecanismo por el cual se acoplaran los piñones a los arboles de transmisión.

Figura 74. Ejes de transmisión para acero



Fuente: Autores

Figura 75. Ejes de transmisión para adoquín



Fuente: Autores

**4.2.5 Discos abrasivos.** Estos elementos de desgaste son de acero 1018 y un acero A36 como lo especifica la norma, para cada caso particular se ha hecho un mecanizado en el torno de todos los detalles necesarios según el diseño, posteriormente se realizó un vulcanizado de caucho cuya dureza es 60 shore A en el disco de acero 1018.

Figura 76. Disco abrasivo vulcanizado para ensayos en aceros



Fuente: Autores

Figura 77. Disco ancho abrasivo para adoquín



Fuente: Autores

**4.2.6** *Porta probetas y sujeción de espécimen.* Los porta-probetas se diseñaron de acuerdo a las medidas de las probetas tanto de acero como de adoquín en hormigón, su proceso de construcción fue de corte, taladrado y suelda en los elementos a acoplarse.

Figura 78. Porta probetas de acero



Fuente: Autores

Figura 79. Porta espécimen (adoquín) móvil



Fuente: Autores

**4.2.7 Brazo (palanca).** En la construcción de este brazo es necesario unir dos elementos de tubo estructural para darle la forma, y hacer dos agujeros en un elemento el primero para que sirva como punto de soporte entre la bancada y el brazo y el segundo que es necesario para mantenga en posición totalmente horizontal cuando no se realice ningún tipo de ensayo esto es posible gracias a un tornillo que hace la función de soporte en la parte derecha del brazo.

Figura 80. Brazo



Fuente: Autores

**4.2.8 Boquilla.** Para la elaboración de la boquilla se ha tomado un tubo redondo mecánico ASTM A513 (anexo W) se debe realizar dos cortes en forma de cuña en uno de sus extremos, seguidamente se debe soldar una placa que cubra todo el corte realizado en los dos lados hasta obtener la forma establecida en la norma. En el otro extremo de la boquilla se debe hacer un roscado para acoplarse con el resto del ducto de arena abrasiva procedente de la tolva.

Figura 81. Boquilla según norma ASTM G65



Fuente: Norma ASTM G65

### 4.3 Ensamble de las partes del equipo

**4.3.1 Motoreductor.** Está ubicado en la parte inferior de la bancada el cual se encuentra fijado a la estructura por medio de pernos de sujeción, en el eje del motor exactamente en el extremo se coloca un piñón para la transmisión de movimiento por cadena hacia el eje para desgaste abrasivo de aceros.

El motor tiene adecuado un sistema que le permite elevarse o bajar para ajustarse al tensado apropiado de la cadena y para fácil desmontaje en caso de existir un problema.

Figura 82. Fijación del motor



Fuente: Autores

**4.3.2 Fijación de las ruedas abrasivas.** Las ruedas son colocadas en los ejes de transmisión los mismos que están unidos a la estructura de la máquina por medio de las chumaceras de piso.

Figura 83. Fijación de las ruedas a la bancada



Fuente: Autores

**4.3.3** *Unión de tolvas a la estructura.* Se instalan en la estructura respetando las medidas establecidas y se mantendrán fijas por medio de tornillos para su fácil desmontaje.

**4.3.4** *Colocación de válvulas de control.* Estas válvulas están unidas a las tolvas de almacenamiento en su parte superior, la válvula de mayor diámetro queda libre en su parte inferior mientras que la de menor diámetro está unida al ducto de material abrasivo y boquilla.

**4.3.5** *Montaje de la cadena de transmisión.* Esta cadena se coloca desde el piñón de 14 dientes hasta el piñón de 38 dientes, pasando por una tercer piñón (rueda loca) este último piñón tiene un sistema para moverse verticalmente en ambos sentidos esto con el propósito de tensar la cadena y sea de fácil montaje y desmontaje cuando se realice cualesquiera de los ensayos de desgaste.

Figura 84. Colocación de cadena de transmisión



Fuente: Autores

**4.3.6 Montaje total y pintura del equipo.** El equipo se lo construyó con la ayuda del taller “EQUA-EQUIPO”, en la ciudad de Riobamba debido a la necesidad de maquinaria y herramientas de exactitud para la alineación de las cadenas tanto del motor hacia el eje del disco abrasivo para aceros y posteriormente al eje del disco abrasivo para adoquín, así también el mecanismo de rueda loca para su respectiva tensión de cadena.

Posteriormente se procedió a pintar el equipo en dos etapas la primera capa de pintura (blanco) con la función de formar una base y la segunda capa de pintura para dar un mejor acabado.

Figura 85. Ensamble total



Fuente: Autores

#### 4.4 Manual de operación

Es indispensable que antes de operar el equipo se realice la lectura meticulosa del manual de operación y mantenimiento. Si realizamos una adecuada instalación (mecánica y eléctrica), se lleva a cabo el plan de mantenimiento y operación correcta del manual, el equipo no presentara problemas de ningún tipo. El plan de mantenimiento va relacionado directamente con la buena operación del mismo, el usuario debe tener conocimientos de las precauciones de seguridad antes de utilizarlo.

Tabla 19. Manual de operación

<b>Paso</b>	<b>Actividad</b>
1	Colocar el equipo para ensayos de abrasión en una superficie horizontal, con espacio para realizar la actividad del ensayo y en un lugar libre de humedad.
2	Asegurarse que el botón ON-OFF este en la posición de apagado.
3	Enchufar la alimentación eléctrica, verificando que tenga una entrada de 120 V.
4	Colocar la probeta en el porta probetas y fijar.
5	Encender el equipo pulsando el botón ON.
6	Añadir los pesos adecuados sea para el brazo (palanca) o para el contrapeso dependiendo del tipo de material, según la Tabla 5.
7	Llenar la tolva con el material abrasivo previamente calibrado, debe estar seco.
8	Abrir la válvula de control y distribución de flujo de la tolva y dejar caer el material. No iniciar la rotación del disco hasta que se establezca la cortina uniforme, la tasa de flujo debe ser medido con anterioridad al ensayo.
9	Luego de regular la relación de transmisión, encender el equipo y esperar 5 segundos para estabilizar de la máquina.
10	Medir el tiempo con el cronometro dependiendo del material, según Tabla 5.
11	Después de ejecutar el ensayo retirar la probeta y volver a pesar.
12	Al final de la operación del equipo, desconectar la fuente de alimentación eléctrica, cerrar la válvula de la tolva de alimentación de abrasivo

Fuente: Autores

#### **4.5 Limpieza**

Es de suma importancia para conservar el equipo en condiciones aptas de uso. Se recomienda realizar una limpieza del equipo luego de cada serie de ensayos, utilizando franela y guapes secos.

Además se debe realizar la recolección de todo tipo de desecho generado por la máquina y/o materiales empleados.

## **4.6 Manual de mantenimiento**

Para obtener una larga duración del equipo y de cada accesorio en conjunto es necesario el uso de mantenimiento preventivo o correctivo cuando sea necesario, contemplando las situaciones más críticas que podrían averiar el sistema eléctrico así como cada una de las partes mecánicas, lo cual entorpecería el ensayo.

**4.6.1** *Mantenimiento del sistema eléctrico.* Realizar inspección visual del sistema eléctrico (botonera, cableado), esto se lleva a cabo cuando el equipo esta encendido de manera que se pueda apreciar el correcto funcionamiento de los componentes eléctricos.

**4.6.2** *Mantenimiento del sistema mecánico.* Observar el correcto estado de la transmisión (ejes, cadenas, piñones, rodamientos) de manera visual y auditiva, y revisar el estado de cada uno de sus componentes, y engrasar cuando sea necesario el ruido excesivo es un indicativo que hay q poner atención en este apartado.

Además revisar frecuentemente el nivel de aceite en la trasmisión del motor-reductor para evitar su avería.

**4.6.2.1** *Mantenimiento de sección para ensayo de aceros.* La huella de desgaste debe tener forma rectangular y profundidad uniforme en toda la sección de la huella, caso contrario se debe calibrar el equipo como indica el apartado **5.1.2**. Además se debe cambiar el caucho del disco vulcanizado cuando el diámetro sea  $\leq 215,9\text{mm}$  (8,5in).

**4.6.2.2** *Mantenimiento de sección para ensayo de adoquines.* Se debe verificar el correcto estado de todos sus componentes y homogeneidad en la huella de la probeta, caso contrario se debe calibrar el equipo como se indica en el apartado **5.2.2**, cada vez que se haya realizado 400 ensayos o cada dos meses (lo que ocurra primero) y cada vez que se abastezca de un nuevo lote de abrasivo o cambio de disco.

## 4.7 Plan de seguridad

- Antes de conectar el equipo a la fuente de energía, se debe verificar que sea el voltaje necesario y que el equipo este en modo OFF.
- El equipo debe ser desconectado antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento.
- El técnico de laboratorio debe estar presente al momento de realizar cualquier tipo de práctica.
- Por seguridad ante el arranque del equipo deben estar presente dos personas: uno para encender el equipo y controlar el tiempo de ensayo, y otro para verificar la apertura y cierre de la válvula de paso e inspeccionar el correcto funcionamiento del sistema.

**4.7.1** *Uso de equipo de protección personal.* En lo posible se debe controlar el uso adecuado uso del EPP (equipo de protección personal) dentro de la zona de ensayo.

Con el fin de asegurar el resguardo de las personas durante el ensayo expuestas a golpes o a la contaminación producida por el polvo, es obligatorio el uso de EPP.

Figura 86. Equipo de protección personal



Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

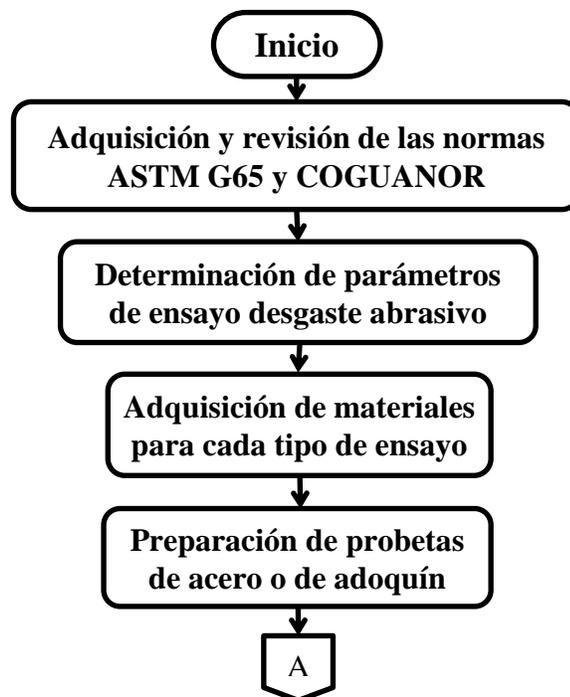
### 5. MÉTODO DE ENSAYO

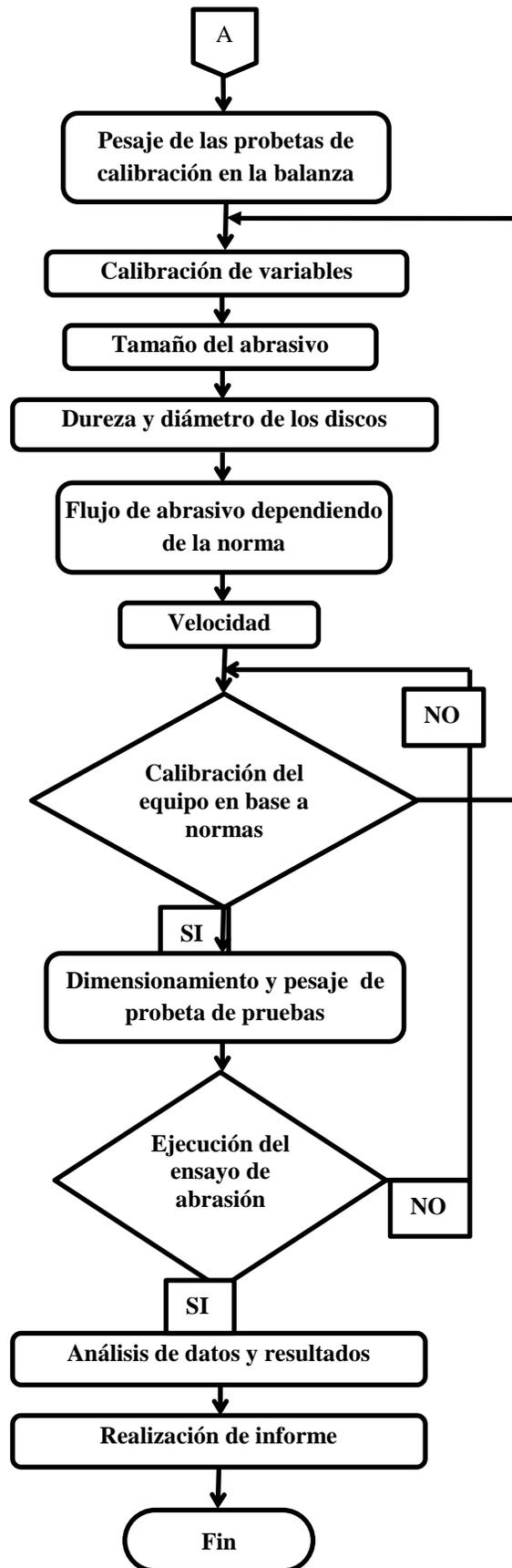
Dependiendo del tipo de material a ensayar se empleara un procedimiento o norma.

Para el procedimiento de ensayo se debe seguir una serie de pasos secuenciales, recomendaciones y requisitos prescritos en la norma ASTM G65 en el caso de ensayos en aceros, y la norma COGUANOR NTG 41087 h2 para adoquines (hormigón), considerando la geometría de la probeta y sus dimensiones demandadas para el respectivo ensayo, espesores, peso, etc.

Para resumir el proceso de ensayo de abrasión se realizó el siguiente diagrama de flujo basado en la simbología de la norma ANSI, el cual ha sido adaptado en el desarrollo de estudio de aceros y adoquines.

Figura 87. Diagrama de flujo del proceso para ensayos de abrasión





Fuente: Autores

Se ha elaborado una guía de acuerdo a los requisitos, condiciones y recomendaciones establecidas en las normas técnicas ASTM G65-00, COGUANOR NTG 41087 h2.

Tabla 20. Guía de actividades

<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Documento</b>	<b>Responsable</b>
1	La empresa interesada elabora la solicitud para realizar ensayos de Abrasión de materiales utilizados	FM-SS-01	Representante legal de la empresa.
2	Revisión de la solicitud y programación de actividades para realización de los ensayos en los materiales.	FM-PE-01	Técnico del laboratorio
3	Concretar fecha y hora en que se realizara el ensayo.	FM-PE-01	Técnico del laboratorio
4	El solicitante deberá proporcionar al menos 3 muestras de cada material a ensayar, 36 horas antes de la prueba.	FM-SS-01	Representante legal de la empresa.
5	Preparar las muestras a las medidas necesarias para la realización del ensayo. Es decir estandarizar la longitud, anchura y espesor de las probetas.	FM-RM-01	Técnico de laboratorio.
6	Preparación del equipo dependiendo el tipo de material (acero o adoquín), regulación de transmisión	Dependiendo del material leer: anexo A, o anexo B.	Técnico de laboratorio.
7	Preparación de Instrumentos de medición utilizados en el ensayo (cronómetro, calibrador pie de rey, bascula, lupa)	Preparación de instrumentos de medición	Técnico de laboratorio.

8	Toma de datos de los materiales antes del ensayo (número de muestras, tipo material, espesor, anchura, longitud, etc.)	Hoja de datos dependiendo del material	Técnico de laboratorio.
9	Colocar la probeta en el porta-muestras con la cara de desgaste en dirección del disco	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
10	Añadir los contrapesos adecuados, dependiendo del tipo de probeta a ensayar dependiendo de la tabla 5.	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
11	Llenar la tolva respectiva con el material abrasivo previamente calibrado	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
12	Abrir la válvula de control y distribución de flujo de la tolva y dejar caer el material.	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
13	Luego de regular la relación de transmisión, encender el equipo y esperar 3 segundos para estabilizar de la máquina.	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
14	Computar el tiempo con el cronometro manual dependiendo del material examinado, según la tabla 5.	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
15	Cuando la prueba se haya ejecutado por completo retirar la probeta y volver a pesar	Manual de operación	Técnico de laboratorio.

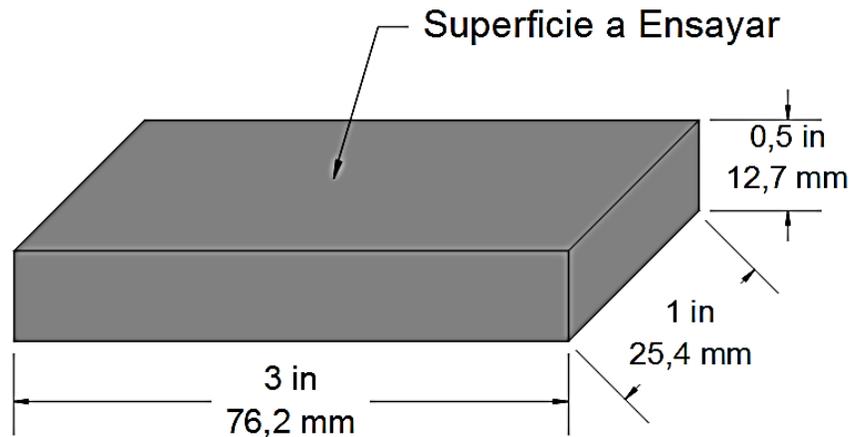
16	Observar la forma de la cicatriz	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
17	En el caso de la probeta de acero, calcular el volumen perdido de la misma, y el ajuste del volumen perdido. Si la probeta fuera de adoquín, calcular la longitud de la huella resultante	Manual de operación (procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
18	Transcribir y evaluar los resultados en la hoja de reporte final del ensayo	(Procedimiento de ensayo)	Técnico de laboratorio.
19	Para la realización de un nuevo ensayo verificar que todos los instrumentos queden limpios y en buen estado	Hoja de datos (dependiendo del material)	Técnico de laboratorio.
20	Elaboración del informe técnico del ensayo de abrasión de materiales.		Técnico del laboratorio
21	Aprobación y emisión del informe		Técnico del laboratorio
22	Facturación de los servicios	Factura	Personal Respectivo

Fuente: Autores

## 5.1 Requerimientos y recomendaciones para ensayo según norma ASTM G-65

**5.1.1** *Probeta de Acero.* El espesor máximo que debe tener la probeta de acero es de 12,7 milímetros el cual debe ser constante en toda su longitud. Las dimensiones están especificadas en la Figura 88.

Figura 88. Dimensiones de probeta de acero



Fuente: Autores

Preparación de la probeta de acero. El acabado superficial de los especímenes debe ser plano, liso, seco y libre de escala. Los defectos de superficie tales como: porosidad y rugosidad pueden alterar los resultados de la prueba, y dichos elementos se deben evitar a menos que la propia superficie se encuentra bajo investigación. Y pueden ser cualquier tipo de acero incluyendo metales forjados o piezas fundidas, En caso que la cara de desgaste presente irregularidad se debe lijar hasta obtener regularidad en la cara.

**5.1.2** *Calibración del equipo según norma ASTM G65.* Para considerar una calibración del equipo reduciendo la cantidad de errores, es de suma importancia la manufactura de cada componente con la mayor exactitud posible. Además se necesitaría de un tacómetro para verificar que el disco girara a  $(200 \pm 10)$  rpm.

La cantidad de flujo de material abrasivo debe caer constante, y uniforme sobre la probeta, por lo cual se implementó pequeñas aletas en el interior de la boquilla de la tolva de distribución. El flujo de abrasivo se puede calibrar dejando caer cierta cantidad de arena en un minuto y dependiendo de la misma se procederá a abrir o cerrar la boquilla, dependiendo de la necesidad hasta obtener  $(300 \text{ a } 400)$  gr/min.

### 5.1.3 Guía de laboratorio del ensayo de abrasión en aceros

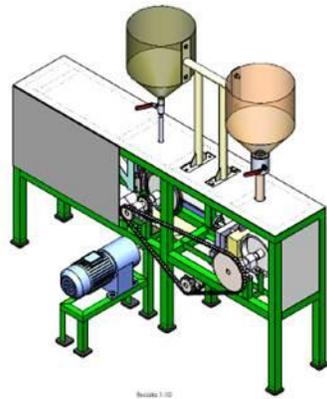
**Tema:** Ensayo de abrasión en aceros según norma ASTM G-65

	Laboratorio					May-2015 Revisión 00	
	Guía de laboratorio						
	Ensayo de abrasión de: aceros Según norma ASTM G 65-00						
<p><b>1. Objetivos</b></p> <p>Medir el desgaste abrasivo volumétricamente del espécimen.  Evaluación de los resultados, que cumplan las condiciones establecidas por la norma de ensayos de abrasión.</p> <p><b>2. Fundamento teórico</b></p> <p>Este método de ensayo consta de cinco procedimientos de laboratorio para determinación de los diferentes grados de resistencia al desgaste de materiales metálicos a la abrasión por medio de la prueba de arena/caucho seco, los resultados se obtiene de una manera cuantitativa como la pérdida de volumen.</p> <p><i>Parámetros del ensayo a abrasión.</i>- Los valores que determinan la capacidad de severidad de un material sometido a la abrasión, son la el contrapeso o carga, el tiempo de ensayo, el número de revoluciones por minuto, el tipo de procedimiento (para aceros), valores mostrados en la tabla.</p>							
<b>Parámetros de ensayo</b>							
Procedimiento	Carga		Tiempo	Rotación del disco		Abrasión lineal	
	N	Lb	min	RPM	Total Rev.	m	Ft
<b>A</b>	130	30	30	200	6000	4309	14138
<b>B</b>	130	30	10	200	2000	1436	4711
<b>C</b>	130	30	0.5	200	100	71.8	236
<b>D</b>	45	10.1	30	200	6000	4309	14138
<b>E</b>	130	30	5	200	1000	718	2360

### 3. Equipo

El equipo de ensayo consta principalmente de una tolva la cual contiene el material abrasivo y un conducto para que fluya constantemente el abrasivo gracias a una boquilla, además de un disco de acero recubierto con caucho que gira a 205 rpm y que hará contacto con la probeta estandarizada, un brazo que sirve para hacer presión y control de la carga cuando la probeta está en contacto con el disco de caucho, y un porta probetas para la sujeción de la misma.

### 4. Esquema del equipo



### 5. Recursos

- Mínimo 3 probetas de cada material.
- Material abrasivo (arena de sílice de grano AFS (50 – 70))
- Equipo de ensayos de abrasión.
- Cronómetro.
- Calibrador pie de rey.
- Bascula analítica.

### 6. Procedimiento de ensayo

1. Preparar el equipo de abrasión y disponer en la transmisión prevista con la relación entre piñones de 1 : 1.
2. Limpiar el equipo, instrumentos y la probeta. En el caso de probetas que tengan magnetismo residual deben ser desmagnetizadas antes de ensayar.

3. Tomar las medidas de la probeta y pesarla con exactitud de 0,001gr (y 0,0001gr respecto al procedimiento C).
4. Fijar el espécimen en el porta-probetas, añadir el peso adecuado en el brazo (palanca) y tener ligeramente levantado.
5. Verificar que la válvula de paso de la tolva este cerrada y llenar la tolva respectiva con el abrasivo (aluminio marrón) previamente calibrado (caso contrario tamizar), debe estar seco.
6. Abrir la válvula de control y distribución de flujo de la tolva y dejar caer el material a flujo constante de (300 - 400) gr/min, caso contrario regular flujo. No iniciar la rotación del disco hasta que se establezca la cortina uniforme.
7. Encender el equipo, espere 3seg hasta que se estabilice la velocidad, dejar caer el brazo y poner en marcha la prueba.
8. Computar el tiempo dependiendo del procedimiento empleado, según la tabla.
9. Retirar la probeta y volver a pesar.
10. Observar la forma de la cicatriz y compararla con patrones de la norma ASTM G65, puesto que una marca no uniforme indica alineación incorrecta del disco revestido de caucho, cave recalcar que la concentricidad del disco debe estar dentro de 0,05mm de la lectura del indicador en el diámetro.
11. Calcular el volumen perdido de la misma, según la norma.

$$V = \frac{\text{masa perdida}}{\text{densidad}} \times 1000$$

12. Calcular la perdida de volumen corregido AVL producido por el desgaste del disco

$$AVL = V \times \frac{228,6 \text{ mm}}{\text{diametro del disco despues del ensayo}}$$

13. Elaborar la ficha de reporte del ensayo de Abrasión según la norma ASTM G65.

Ficha de Reporte del ensayo de acero

<b>Ensayo de disco con caucho / abrasivo seco</b>					
<b>Procedimiento ASTM G-65: ____</b>					
<b>Material abrasivo:</b>					
<b>Ajuste de volumen perdido AVL</b>		mm <sup>3</sup>	<b>Tiempo ensayo:</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>		%	<b>Cantidad aprox</b>		
<b>Datos del ensayo</b>					
<b>Descripción del material:</b>			<b>Rpm:</b>		
<b>Tratamiento térmico:</b>			<b>Dureza de disco</b>		
<b>Dureza:</b>			<b>Ancho de disco</b>		
<b>Preparación de la superficie:</b>			<b>Diámetro del disco</b>		
<b>Probeta no.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Largo de la probeta (mm)</b>					
<b>Ancho de la probeta (mm)</b>					
<b>Espesor de la probeta (mm)</b>					
<b>Carga (N):</b>					
<b>Flujo de arena (gr/min):</b>					
<b>Masa inicial (gr):</b>					
<b>Masa final (gr):</b>					
<b>Masa perdida (gr):</b>					
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>):</b>					
<b>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</b>					
<b>Volumen perdido corregido AVL</b>					
<b>Comentarios</b>					
<b>Nombre de la empresa:</b>					
<b>Técnico del laboratorio:</b>					
<b>Fecha de realización:</b>					

**7. Conclusiones:**

.....  
.....  
.....

**8. Recomendaciones:**

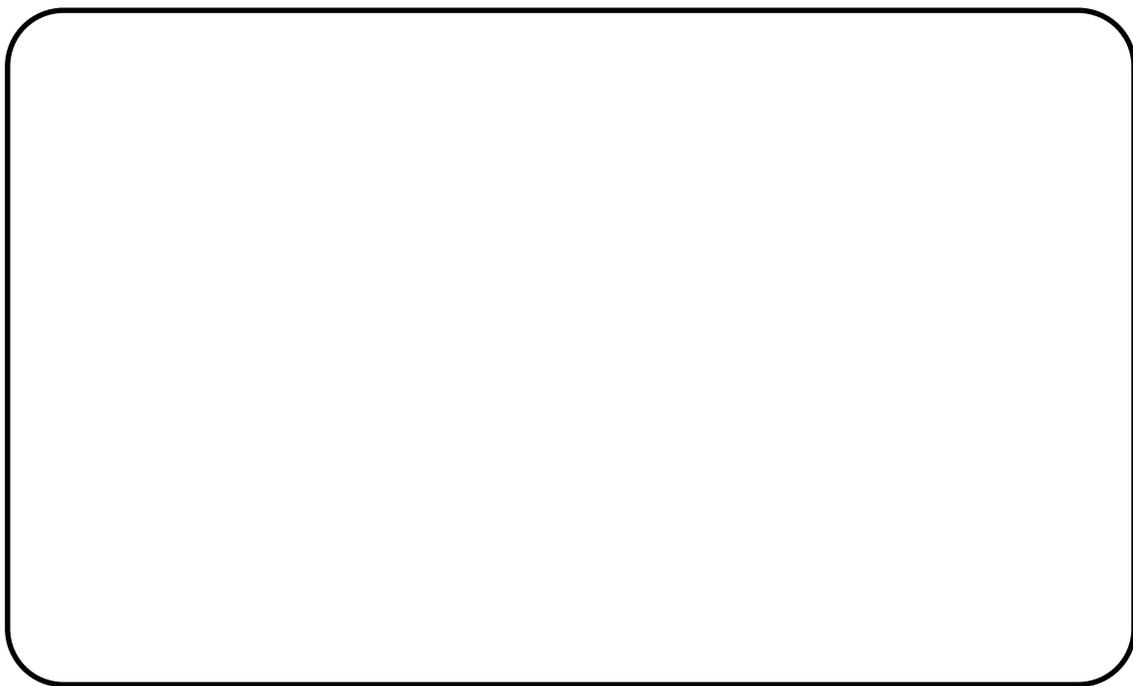
.....  
.....  
.....

.....

Técnico de laboratorio

**Anexos**

Imágenes antes del ensayo



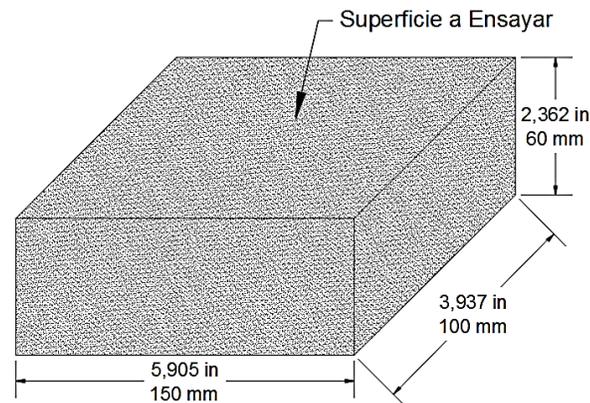
Imágenes después del ensayo



## 5.2 Requerimientos y recomendaciones para ensayo según norma COGUANOR 41087 h2

**5.2.1** *Probeta de adoquín.* El espécimen ensayar puede ser una unidad completa, o un trozo de la misma producto de uno o varios cortes. Puesto que dicho material es frágil, y por comodidad en el ensayo el espesor será de 60 milímetros (espesor de la unidad completa), el cual debe ser constante en toda su longitud. Las dimensiones están especificadas en la figura 87.

Figura 89. Dimensiones de probeta de adoquín



Fuente: Autores

**5.2.2** *Preparación de la probeta de adoquín.* El espécimen de ensayo debe de estar limpio y seco. Su superficie se debe limpiar con una brocha, justo antes del ensayo, y se debe marcar el área de ensayo con un marcador de punta suave y gruesa, o un spray de un color contrastante con el prototipo, para facilitar la determinación de la huella. El espécimen se debe fijar firmemente al carro porta-probetas, además se debe verificar su alineación y desplazamiento del carro.

En el caso que la cara de desgaste presente una textura rugosa o está por fuera de las tolerancias descritas anteriormente se debe pulir, hasta obtener la tolerancia requerida. Si el material a ensayar tenga relieves o texturas muy pronunciadas, se debe cortar la superficie hasta lograr la tolerancia indicada anteriormente.

**5.2.3** *Calibración del equipo según norma COGUANOR NTG 41087 h2.* Para la toma de datos reales se recomienda calibrar la máquina cada dos meses o 400 huellas producidas, cuando se adquiriera un nuevo lote de abrasivo o un nuevo disco.

Primeramente se debe verificar el caudal de flujo del abrasivo mediante el vertido del material, desde una altura de aproximadamente 100 mm, dentro de un recipiente previamente pesado, con paredes lisas de altura  $(90 \pm 10)$  mm, y de volumen conocido cuando se llene hasta el borde, que debe ser aproximadamente de 1L. A medida que el contenedor se llena, el vertido se elevará para mantener la altura de caída de aproximadamente 100 mm. Cuando el contenedor se llena, se debe golpear su parte superior, se debe enrasar, y pesar para determinar la masa del abrasivo contenida en el volumen conocido, es decir, la densidad. El abrasivo debe pasar a través de la máquina de desgaste durante  $(60 \pm 1)$  s, y ser recogido bajo la rueda de abrasión en un contenedor previamente pesado de al menos 3 L de capacidad. El contenedor lleno debe ser pesado y, con la densidad determinada anteriormente, se puede comprobar que el caudal del flujo del abrasivo es mayor o igual a 2.5 L/min.

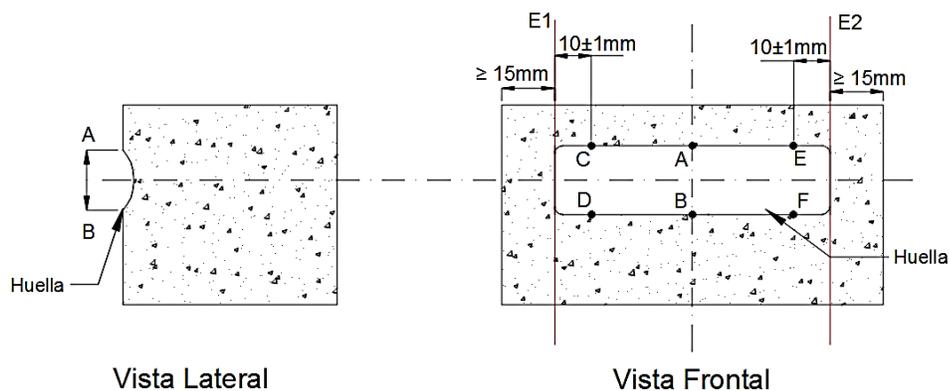
Se debe verificar la ortogonalidad de los soportes del espécimen, y que cada una de las piezas móviles se desplace con libertad y facilidad.

**5.2.3.1** *Material de calibración.* Para calibrar la máquina se debe utilizar una probeta de referencia de “Mármol Boulonnais” o se lo puede reemplazar por “Lunel Demi-Clair”, espesor  $\geq 50$  mm, “contre-passe 2 faces”, pulido mediante muela de grano 100/200, rugosidad  $R_a = (1.6 \pm 0.4) \mu\text{m}$ , usando el procedimiento descrito en la norma la longitud de la huella producida sea  $(20.0 \pm 0.5)$  mm. El contrapeso debe ser incrementado o reducido para incrementar o reducir respectivamente la longitud de la huella. El montaje del carro portaprobetas/contrapeso debe ser comprobado para evitar un rozamiento indebido.

Además la huella en la probeta de calibración debe ser rectangular, definida como tal con base en que la diferencia de medidas a lo largo de ambas líneas CD (figura 89), en los extremos de la huella, no debe ser mayor de 0.5 mm. En caso de que la diferencia exceda

0.5 mm, se debe verificar que la muestra haya sido colocada con su plano paralelo a un plano tangencial del disco de desgaste; que el carro porta espécimen y la ranura de la tolva de control y distribución del flujo estén paralelos al eje del disco; que el flujo del abrasivo sea uniforme a través de toda la longitud de la ranura de la tolva (inferior) de control y distribución del flujo; y que no se presente fricción ni en el sistema de rieles y rodamientos del carro porta muestras.

Figura 90. Medición de la huella



FUENTE: <http://www.conred.gob.gt/sitio2014/normas/NRD3/NTG41087h2.pdf>

Nota. El valor de calibración ( $V_c$ ) de la máquina debe estar entre  $20 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ , y es el valor de la huella obtenida como resultado de la calibración.

**5.2.4 Trazado del contorno de la huella de desgaste.** Trazar dos líneas (E1 y E2) con un lápiz de dureza 6H o 7H en los extremos de la huella (figura 89).

Trazar la línea paralela AB en el punto medio de la distancia entre E1 y E2. Para determinar la longitud de la huella del desgaste, medir con el calibrador entre los puntos A y B (que son los extremos internos de la huella), con una aproximación mínima de 0.1 mm.

Además se mide el ancho de la huella a los  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  de los extremos de la huella (líneas CD y EF), y registrarlas (figura 89).

**5.2.4.1** *Aceptación o rechazo de la huella.* La longitud de la huella medida AB es aceptable, cuando la diferencia entre la medida AB y las medidas sobre las líneas CD y EF (figura 89) es menor a 1 mm, excepto en la calibración, en dicho caso la diferencia debe ser menor a 0.5 mm.

**5.2.4.2** *Resultados del ensayo de abrasión con disco metálico ancho.* La longitud de la huella determinada anteriormente debe ser corregida por el factor de calibración. El resultado debe tener una aproximación de 0.5 mm, debe ser la suma de la huella medida AB y la diferencia (positiva o negativa) entre 20.0 mm y el valor de calibración (Vc). En resultado.

Se dibuja la línea AB, en el centro de la huella y perpendicular a su línea central. Se mide la distancia entre A y B desde los bordes interiores de los límites longitudinales (L1 y L2) con un calibre digital de precisión  $\pm 0,1$  mm . De igual forma, se dibujarán las líneas CD situadas a  $10\text{ mm} \pm 1$  mm de los bordes, midiendo en ellas la huella. El ensayo será válido si la diferencia entre las dos medidas CD no es superior a 0,5 mm. Si esto sucede, se deberá ajustar el equipo, corrigiendo la ortogonalidad entre disco y probeta, hasta conseguir una huella que cumpla este requisito. En ocasiones, la caída del abrasivo arrastra parte de la tiza con que se cubrió la probeta, lo que origina que el límite superior L1, sea una línea curva. Este hecho se debe ignorar cuando se trace dicho límite superior, que debe ser siempre una línea recta.

$$Lh = AB + (20.0 - Vc) \quad (40)$$

Lh = Longitud de la huella resultante (mm)

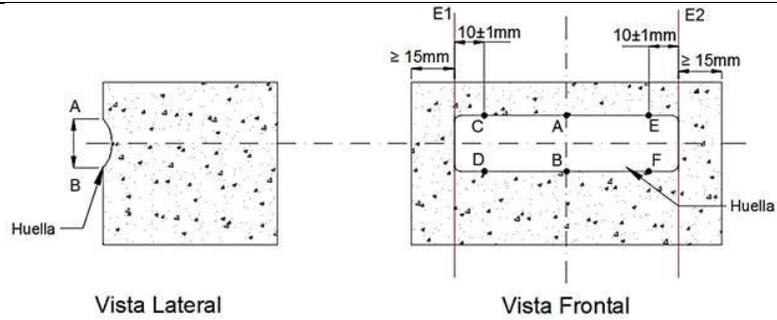
Vc = Valor de calibración (mm)

AB = Longitud de la huella medida (mm)

## 5.2.5 Guía de Laboratorio del ensayo de abrasión de adoquín

**Tema:** Ensayo de abrasión de adoquines según norma COGUANOR 41087 h2

	Laboratorio	May-2015 Revisión 00
	Guía de laboratorio	
	Ensayo de abrasión de: adoquines Según norma COGUANOR 41087 h2	
<p><b>1. Objetivos</b></p> <p>Determinar analíticamente la longitud de huella producida por la abrasión del aluminio marrón en el ensayo de abrasión de adoquín, según la norma COGUANOR 1087 h2.</p> <p>Evaluar los resultados, que cumplan las condiciones establecidas por la norma de ensayos de abrasión.</p> <p><b>2. Fundamento teórico</b></p> <p>El ensayo consiste en producir desgaste abrasivo bajo condiciones controladas, por medio del flujo abrasivo que pasa tangencialmente entre el disco abrasivo y la superficie de desgaste de la probeta, generando una huella cuya longitud es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión del espécimen en cuestión.</p> <p><i>Trazado del contorno de la huella de desgaste.</i>- Trazar dos líneas (E1 y E2) en los extremos de la huella. Trazar la línea paralela AB en el punto medio de la distancia entre E1 y E2. Para determinar la longitud de la huella del desgaste, medir con el calibrador entre los puntos A y B (que son los extremos internos de la huella), con una aproximación mínima de 0.1 mm. Además se mide el ancho de la huella a los <math>10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}</math> de los extremos de la huella (líneas CD y EF), y registrarlas.</p>		



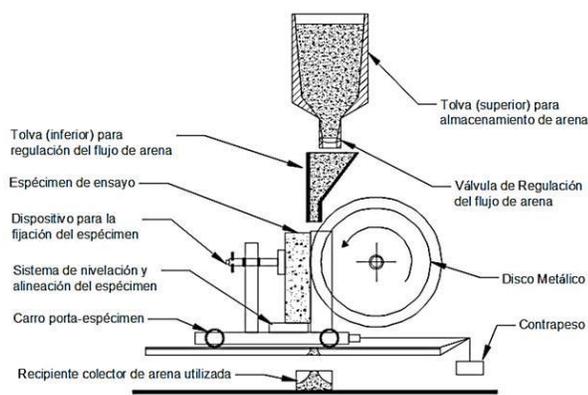
La longitud de la huella medida AB es aceptable, cuando la diferencia entre la medida AB y las medidas sobre las líneas CD y EF es menor a 1 mm, excepto en la calibración, en dicho caso la diferencia debe ser menor a 0.5 mm.

*Resultados del ensayo de abrasión con disco metálico ancho.*- La longitud de la huella determinada anteriormente debe ser corregida por el factor de calibración. El resultado debe tener una aproximación de 0.5 mm, debe ser la suma de la huella medida AB y la diferencia (positiva o negativa) entre 20.0 mm y el valor de calibración (Vc).

### 3. Equipo

El equipo de ensayo consta principalmente de una tolva la cual contiene el material abrasivo y un conducto para que fluya constantemente el abrasivo gracias a una boquilla, además de un disco de acero cuyo diámetro es de 200 mm, ancho de 70 mm y gira a 75 rpm en 60 seg. El caudal de flujo es constante a 2,8 Lt/min.

### 4. Esquema del equipo



## **5. Recursos**

- Mínimo 3 probetas de cada material.
- Material abrasivo (aluminio marrón grano F60)
- Equipo de ensayos de abrasión.
- Cronómetro.
- Calibrador pie de rey.

## **6. Procedimiento de ensayo**

1. Preparar el equipo, la probeta, herramientas a utilizar en el proceso y disponer en la transmisión (cadena) con la relación entre piñones de tal manera que se habilite la sección de ensayo para adoquín.
2. Limpiar el equipo e instrumentos, tener cuidado de toda suciedad en la muestra.
3. Colocar la probeta en el carro porta probetas, fijar y, añadir el contrapeso especificado.
4. Llenar la tolva con el abrasivo previamente calibrado (caso contrario tamizar), el cual debe estar seco.
5. Abrir la válvula de control y distribución de flujo de la tolva y dejar caer el material. No iniciar la rotación del disco hasta que se establezca la cortina uniforme, la tasa de flujo debe ser medida con anterioridad al ensayo.
6. Luego de regular la relación de transmisión, encender el equipo y esperar 5 segundos para estabilizar de la máquina.
7. Parar el equipo después de 75 revoluciones o 1 minuto de ensayo.
8. Cuando la prueba se haya ejecutado por completo retirar la probeta y volver a pesar.
9. Calcular la longitud de huella.

$$Lh = AB + (20.0 - Vc)$$

Lh = Longitud de la huella resultante (mm)

Vc = Valor de calibración (mm)

AB = Longitud de la huella medida (mm)

10. Elaborar la ficha de reporte del ensayo de abrasión para adoquín.

Ficha de reporte del adoquinó

Ensayo de abrasión en adoquín					
Datos del ensayo					
Descripción del material:			Carga (N):		
Material abrasivo:			Tiempo ensayo:		
Flujo de arena (L/min):			Rpm:		
Valor de calibración (Vc)			Diámetro del disco		
Longitud de huella			Ancho del disco:		
Probeta no.	1	2	3	4	5
Largo de la probeta (mm)					
Ancho de la probeta (mm)					
Espesor de la probeta (mm)					
Angulo (°)					
Factor de corrección					
Longitud de huella (medida AB)					
Longitud de huella de adoquín $L_h = ab + (20 - V_c)$					
Volumen de desgaste (mm <sup>3</sup> )					
Comentarios					
Nombre de la empresa:					
Técnico del laboratorio:					
Fecha de realización:					

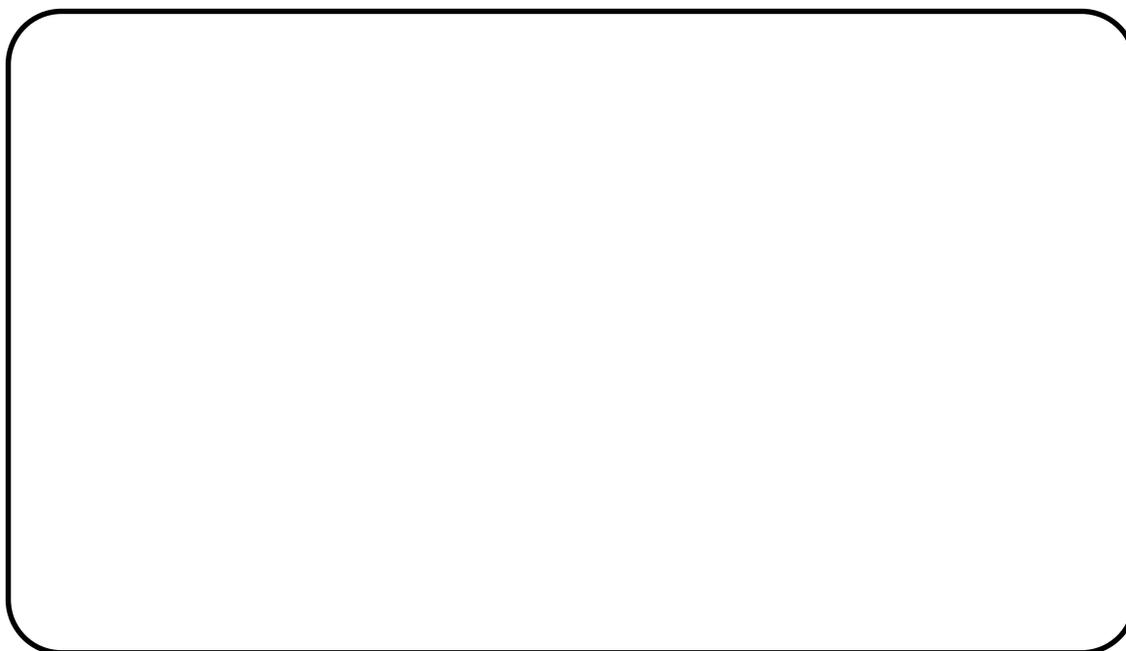
**Conclusiones:**.....  
 .....  
 .....

**Recomendaciones:**.....  
 .....

.....  
 Técnico de laboratorio

## Anexos

Imágenes antes del ensayo



Imágenes después del ensayo



## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS DEL EQUIPO Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

#### 6.1 Pruebas del equipo

El equipo de pruebas fue sometido a calibración según las normas técnicas ASTM G65 y la COGUANOR NTG 41087 h2

##### 6.1.1 *Pruebas del equipo según norma ASTM G65.*

A. Para la calibración del equipo, se verificó que el motoreductor tenga una velocidad dentro del rango según la norma y mediante un tacómetro digital se constató su velocidad de 205 rpm.

Figura 91. Medición de la velocidad del motoreductor



Fuente: Autores

B. El abrasivo recomendado por la norma es arena de sílice AFS (50 – 70) el cual disponemos en los talleres de la facultad de mecánica (ESPOCH). Cabe recalcar que el abrasivo debe ser tamizado para obtener el tamaño de grano deseado.

Figura 92. Arena de sílice tamizada



Fuente: Autores

C. La cantidad de flujo debe ser constante y uniforme sobre la probeta, por lo cual se pesó mediante una balanza granotora, se obtiene un flujo promedio de 332gr/min.

Figura 93. Flujo constante de la arena de sílice



Fuente: Autores

D. Pesamos los contrapesos usados para los diferentes procedimientos de ensayo según la norma, obteniendo la pesa A de 45 N (10,1 Lb) y la pesa B de 130N (30Lb).

Figura 94. Pesas



Fuente: Autores

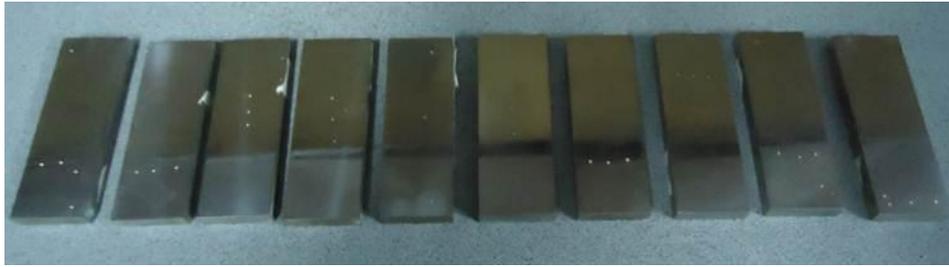
E. Previamente al ensayo se realizan pruebas de dureza del material en el durómetro para tener una orientación del grado de dureza del material y selección del tipo de procedimiento a realizar en el mismo.

Figura 95. Prueba en el durómetro



Fuente: Autores

Figura 96. Probetas ensayadas en el durómetro



Fuente: Autores

F. La huella resultante después del ensayo tiene forma rectangular, de manera que se cumple con las especificaciones de la norma ASTM.

Figura 97. Huella de la probeta de acero después del ensayo



Fuente: Autores

G. Las probetas deben ser pesadas antes y después del ensayo en una balanza analítica con la precisión de 0,0001, por lo que se utilizó la balanza de marca SHIMA D2V AUX220 que se encuentra en el laboratorio del CESSTA (ESPOCH)

Figura 98. Balanza analítica SHIMA D2V AUX220



Fuente: Autores

### 6.1.2 Pruebas del equipo según norma COGUANOR 41087.

A. Mediante una reducción de transmisión por cadenas se consiguió hacer girar el disco de acero a 75 revoluciones durante un minuto y se verificó mediante un tacómetro digital, cave recalcar que se utilizó un piñón extra (rueda loca) para facilidad de montaje y desmontaje.

Figura 99. Reducción de velocidad



Fuente: Autores

B. La cantidad de flujo de material abrasivo es constante, y uniforme sobre la probeta de adoquín, por lo cual se midió mediante un recipiente con capacidad de 1 litro, se obtiene un flujo promedio de 2,8 L/min.

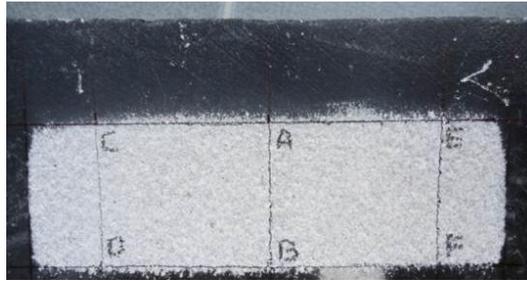
Figura 100. Recipiente de 1 litro



Fuente: Autores

C. Se realizó pruebas de calibración del equipo mediante ensayos en mármol (anexo B). Después del ensayo realizamos procedimiento para medir el valor de calibración ( $V_c$ ).

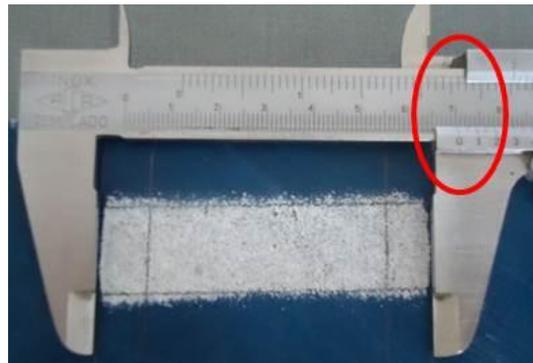
Figura 101. Huella de la probeta de adoquín después del ensayo



Fuente: Autores

La distancia longitudinal de la huella después del ensayo es 70 mm.

Figura 102. Distancia longitudinal de la huella



Fuente: Autores

Figura 103. Distancia transversal de la huella



Fuente: Autores

Ficha de reporte de calibración del equipo según COGUANOR

<b>Calibración ensayo de abrasión en mármol</b>					
<b>Datos del ensayo</b>					
<b>Descripción del material:</b>	Mármol				
<b>Material abrasivo:</b>	Aluminio marrón F60	<b>Tiempo ensayo:</b>	60 s		
<b>Flujo de arena (L/min):</b>	2.8	<b>Rpm:</b>	76		
<b>Carga (N):</b>	45	<b>Diámetro del disco</b>	201mm		
<b>Dureza del disco:</b>	356 HB	<b>Ancho del disco:</b>	70 mm		
<b>Probeta no.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Largo de la probeta (mm)</b>	200	200	200	200	200
<b>Ancho de la probeta (mm)</b>	100	100	100	100	100
<b>Espesor de la probeta (mm)</b>	20	20	20	20	20
<b>Longitud AB (mm)</b>	<b>19,7</b>	<b>19,9</b>	<b>20,5</b>	<b>19,8</b>	<b>19,9</b>
<b>Longitud CD (mm)</b>	19	19,5	20,7	20,1	19
<b>Longitud EF (mm)</b>	18,9	19,3	20,6	19,6	18,9
<b>Angulo (°)</b>	11,17	11,28	11,63	12,23	11,17
<b>volumen de desgaste (mm3)</b>	447,56	459,66	503,73	571,7	447,56

Finalmente obtenemos el valor medio del Vc (valor de calibración)

$$\frac{\sum Vc}{n} = \frac{(19,7 + 19,9 + 20,5 + 19,8 + 19,9)}{5} = 19,97 \text{ mm}$$

$$Vc = 19,97 \text{ mm}$$

Como podemos ver este valor está dentro de lo permisible según la norma.

## **6.2 Resultados de los ensayos**

**6.2.1** *Resultados de ensayos en aceros.* Para nuestro caso particular seleccionamos el acero AISI D2 y realizamos ensayos de abrasión según la norma ASTM G 65-00.

La probeta fue sometida previamente a ensayos de dureza por medio del durómetro obteniendo dureza de 20HRC. El área de ensayo fue pulida a lijada con una hoja # 600 consiguiendo una superficie lisa, limpia y en condiciones óptimas para ensayarla.

Considerando las especificaciones del acero se trata de material con alto grado de dureza por lo que usaremos los procedimientos A y B, y medimos cuanto se desgasta el material volumétricamente.

A continuación se presenta los resultados de los ensayos con los respectivos formatos llenados ante la necesidad del servicio.

- Solicitud de servicio de ensayo de abrasión en materiales
- Plan de la evaluación de materiales
- Recepción de materiales para ensayo de abrasión
- Ficha de reporte del ensayo de abrasión
- Resultados

	Título:		Código:
	<b>Solicitud de servicio de ensayo de abrasión en materiales</b>		<b>FM-SS-01</b>
Nº revisión:	Sustituye a:	Razón de revisión:	Vigente desde:
<b>00</b>			Mayo - 2015

**Fecha:** 25-05-2015

**Atención:** Ing.

Por medio de la presente solicito a usted la realización del ensayo de abrasión en acero según la norma ASTM G65.

Datos del material			
Norma:	ASTM G 65-00:	<input checked="" type="checkbox"/>	COGUANOR 41087 h2:
Tipo de material:	Acero AISI D2		
Número de muestras:	10 probetas (5 probetas para cada procedimiento)		
Utilización del material:	Trabajo en frío		
Datos de la empresa			
Nombre de la empresa:	XXXXXXXXXX		
RUC:	XXXXXXXXXX		
Representante legal:	XXXXXXXXXX		
Técnico responsable:	XXXXXXXXXX		
Teléfono:	XXXXXXXXXX		
E-mail:	XXXXXXXXXX		
Verificar si el material cumple o no con parámetros según la norma técnica ASTM G65			
<b>Revisar anexo A.</b>			

Seguros de contar con la atención inmediata a nuestro requerimiento, le anticipamos nuestro agradecimiento.

.....  
Representante legal de la empresa



	Título: <b>Recepción de materiales para ensayo de abrasión</b>		Código: <b>FM-RM-01</b>
	Nº Revisión: <b>00</b>	Sustituye a:	Razón de revisión: Vigente desde: Mayo - 2015

Los materiales deben cumplir con las exigencias requisitos y recomendaciones establecidas dependiendo de la norma empleada.

Norma:		ASTM G 65-00:	X	COGUANOR 41087 h2:			
No	Tipo de material	Utilización del material	Dimensiones			Cumple con especificación para ser ensayado	
			Largo	Ancho	Espesor	SI	NO
1	AISI D2	Trab en Frio	78,6	27,5	8,1	X	
2	AISI D2	Trab en Frio	78,6	27,5	8,1	X	
3	AISI D2	Trab en Frio	78,6	27,5	8,1	X	
4	AISI D2	Trab en Frio	78,6	27,5	8,1	X	
5	AISI D2	Trab en Frio	78,6	27,5	8,1	X	

**Nota:** Verificar si el material cumple o no con parámetros según la norma técnica respectiva. En el caso de no satisfacer las dimensiones requeridas por la norma respectiva, se rechazara la probeta en cuestión.

.....  
Técnico responsable

Ficha de reporte del ensayo de abrasión para acero mediante procedimiento A

<b>Ensayo de disco con caucho / abrasivo seco</b>				
<b>Procedimiento ASTM G-65: A</b>				
<b>Material abrasivo:</b>	Arena de sílice F70			
<b>Vol. Perdido corregido AVL</b>	243,8063	mm <sup>3</sup>	<b>Tiempo ensayo:</b>	30 min
<b>Coefficiente de variación</b>	5,62	%	<b>Cantidad aprox abr</b>	9960 g

Datos del ensayo					
<b>Descripción del material:</b>	Acero AISI D2	<b>Rpm:</b>	205		
<b>Tratamiento térmico:</b>	Ninguno	<b>Dureza (disco)</b>	232 HB		
<b>Dureza:</b>	20 HRC	<b>Ancho (disco)</b>	1/2 pulg.		
<b>Preparación de la superficie:</b>	Corte y pulido	<b>Diámetro(disco)</b>	9 pulg.		
<b>Probeta N°.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Largo de la probeta (mm)</b>	78,6	78,6	78,6	78,5	78,5
<b>Ancho de la probeta (mm)</b>	27,7	27,5	27,4	27,6	27,5
<b>Espesor de la probeta (mm)</b>	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
<b>Carga (N):</b>	130	130	130	130	130
<b>Flujo de arena (gr/min):</b>	362	362	362	362	362
<b>Masa inicial (gr):</b>	139,771	139,2785	136,8435	136,9702	135,9417
<b>Masa final (gr):</b>	137,9727	137,4368	134,8643	134,9508	134,0232
<b>Masa perdida (gr):</b>	1,7983	1,8417	1,9792	2,0194	1,9185
<b>Densidad (gr/cm3):</b>	7,925	7,955	7,844	7,804	7,774
<b>Volumen perdido (mm3)</b>	226,9148	231,5147	252,3202	258,7647	246,7841
<b>Vol. Perdido corregido AVL</b>	<b>227,4247</b>	<b>232,0349</b>	<b>252,8872</b>	<b>259,3462</b>	<b>247,3386</b>
<b>Comentarios</b>	El pesaje se realizó con una balanza analítica marca SHIMA D2V AUX220 que se encuentra en el laboratorio del CESSTA (ESPOCH)				
<b>Nombre de la empresa:</b>	xxxxxxxxxx				
<b>Técnico del laboratorio:</b>	Freddy Calero / Damian Carrera				
<b>Fecha de realización:</b>	27-May-2015				

### Cálculo del coeficiente de variación

$$\bar{X} = 243,2597 \text{ mm}^3 \text{ (volumen perdido corregido AVL promedio)}$$

$$\text{Rango} = R = 258,7647 - 226,9148 = 31,8499 \text{ mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = S = \frac{R}{d2} = \frac{31,8499}{2,33} = 13,6694 \text{ mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \% = \frac{13,6694}{243,2597} \times 100 \% = 5,62 \%$$

Como el coeficiente de variación se encuentra por debajo del límite máximo. Permitido (10%), el procedimiento se encuentra bajo control. La máquina concuerda con valores de la norma, con lo cual se puede decir que la máquina está dentro de los Intervalos confiables.

Imágenes de las probetas antes y después del ensayo.

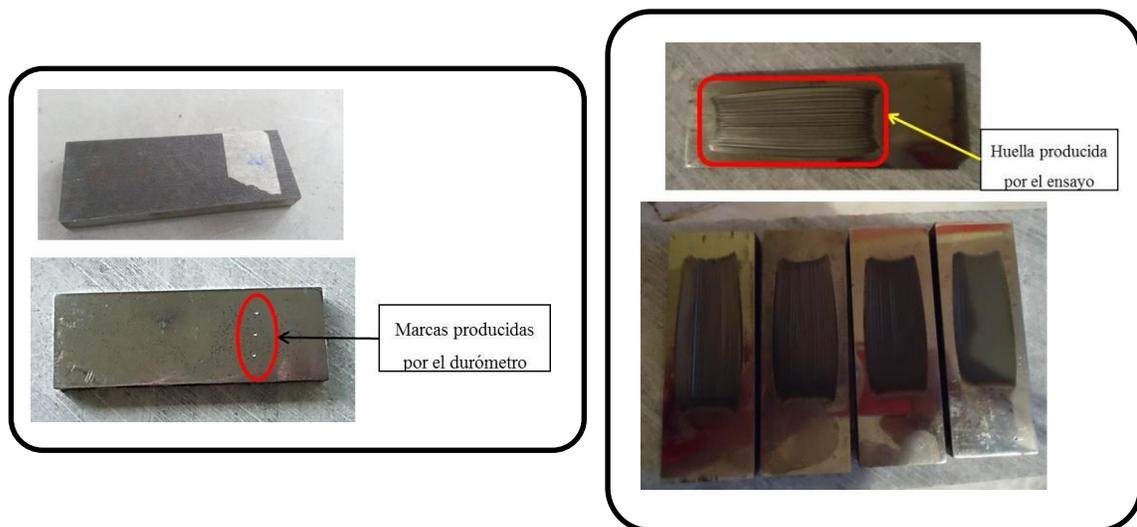
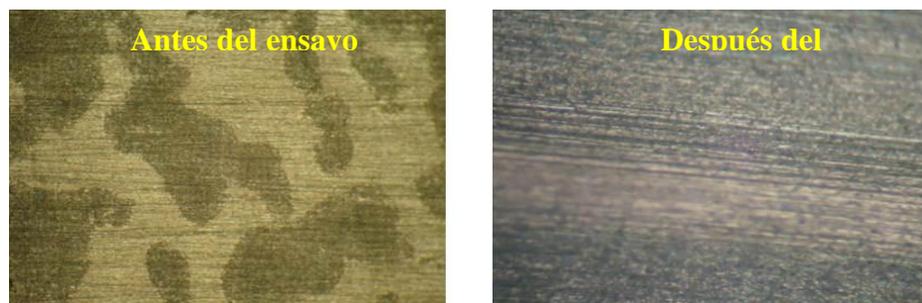


Figura 104. Estructura del acero AISI D2 a 200X (procedimiento A)



Fuente: Autores

Ficha de reporte del ensayo de abrasión para acero mediante procedimiento B

<b>Ensayo de disco con caucho / abrasivo seco</b>					
<b>Procedimiento ASTM G-65: B</b>					
<b>Material abrasivo:</b>	Arena de sílice F70				
<b>Vol. Perdido corregido AVL</b>	98,3892	mm3	<b>Tiempo ensayo:</b>	10 min	
<b>Coefficiente de variación</b>	7	%	<b>Cantidad aprox.</b>	3320 g	
<b>Datos del ensayo</b>					
<b>Descripción del material:</b>	Acero AISI D2		<b>Rpm:</b>	205	
<b>Tratamiento térmico:</b>	Ninguno		<b>Dureza (disco)</b>	232 HB	
<b>Dureza:</b>	20 HRC		<b>Ancho (disco)</b>	1/2 pulg.	
<b>Preparación de la superficie:</b>	Corte y pulido		<b>Diámetro(disco)</b>	9 pulg.	
<b>Probeta N°.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Largo de la probeta (mm)</b>	78,6	78,6	78,6	78,6	78,6
<b>Ancho de la probeta (mm)</b>	27,7	27,5	27,6	27,6	27,6
<b>Espesor de la probeta (mm)</b>	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
<b>Carga (N):</b>	130	130	130	130	130
<b>Flujo de arena (gr/min):</b>	362	362	362	362	362
<b>Masa inicial (gr):</b>	139,5938	136,2183	137,1515	137,8049	137,4782
<b>Masa final (gr):</b>	138,8249	135,3973	136,3603	137,1032	136,7168
<b>Masa perdida (gr):</b>	0,7688	0,821	0,7912	0,7017	0,7614
<b>Densidad (gr/cm3):</b>	7,915	7,78	7,81	7,84	7,82
<b>Volumen perdido (mm3)</b>	97,1321	105,5369	101,3061	89,5026	97,3657
<b>Vol. Perdido corregido AVL</b>	<b>97,35037</b>	<b>105,7740</b>	<b>101,5337</b>	<b>89,7037</b>	<b>97,5844</b>
<b>Comentarios</b>	El pesaje se realizó con una balanza analítica marca SHIMA D2V AUX220 que se encuentra en el laboratorio del CESSTA (ESPOCH)				
<b>Nombre de la empresa:</b>	xxxxxxxxxx				
<b>Técnico del laboratorio:</b>	Freddy Calero / Damian Carrera				
<b>Fecha de realización:</b>	27-May-2015				

### Cálculo del coeficiente de variación

$$\bar{X} = 98,1687 \text{ mm}^3$$

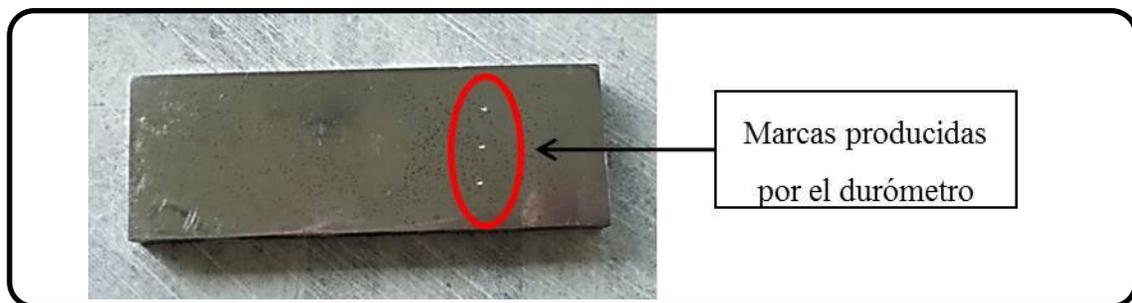
$$\text{Rango} = R = 105,5369 - 89,5026 = 16,0343 \text{ mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = S = \frac{R}{d2} = \frac{16,0343}{2,33} = 6,8816 \text{ mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \% = \frac{6,8816}{98,1687} \times 100 \% = 7.01 \%$$

El coeficiente de variación se encuentra por debajo del límite máximo. Permitido (10%), el procedimiento se encuentra bajo control. (anexo 1A)

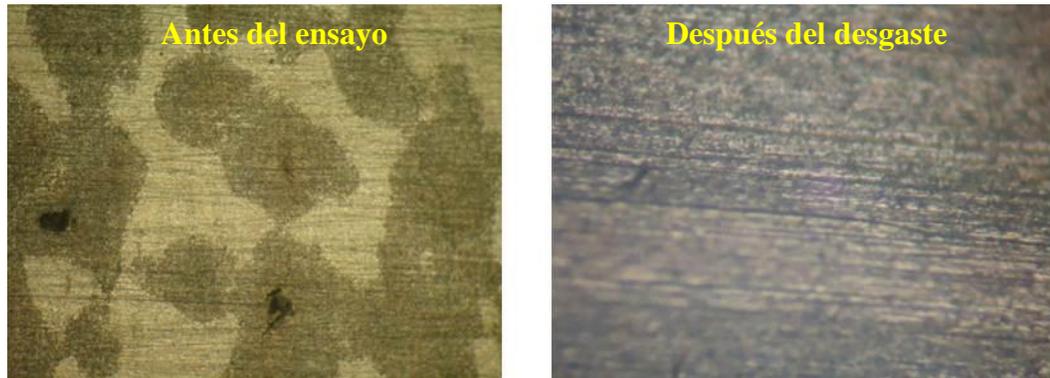
### Imágenes de las probetas antes del ensayo



### Imágenes de las probetas después del ensayo



Figura 105. Estructura del acero AISI D2 a 200X (procedimiento B)



Fuente: Autores

**6.2.2 Resultados de ensayos de adoquines.** Para nuestro caso particular realizamos ensayos en 5 probetas de adoquín. Considerando las especificaciones de la norma COGUANOR 41087 h2 medimos la huella de desgaste producida.

Se verifico que el área de ensayo se encuentre limpia y en condiciones óptimas para ensayarla.

	Título: <b>Solicitud de servicio de ensayo de abrasión en materiales</b>		Código: <b>FM-SS-01</b>
	N° revisión: <b>0</b>	Sustituye a:	Razón de revisión:

**Fecha:** 25-05-2015

**Atención:** Ing.

Por medio de la presente solicito a usted la realización del ensayo de abrasión de adoquines según la COGUANOR 41087 h2.

<b>Datos del material</b>			
Norma:	ASTM G 65-00:		COGUANOR 41087 h2: <b>X</b>
Tipo de material:	Adoquín		
Número de muestras:	5 probetas		
Utilización del material:	Carreteras		
<b>Datos de la empresa</b>			
Nombre de la empresa:	XXXXXXXXXX		
RUC:	XXXXXXXXXX		
Representante legal:	XXXXXXXXXX		
Técnico responsable:	XXXXXXXXXX		
Teléfono:	XXXXXXXXXX		
E-mail:	XXXXXXXXXX		
Verificar si el material cumple o no con parámetros según la norma técnica COGUANOR 41087 h2			
<b>Revisar anexo B.</b>			

Seguros de contar con la atención inmediata a nuestro requerimiento, le anticipamos nuestro agradecimiento.

.....  
Representante legal de la empresa

	Título:	Código:
	<b>Plan de la evaluación de materiales</b>	<b>FM-PE-01</b>
Nº revisión: <b>00</b>	Sustituye a:	Razón de revisión:
		Vigente desde: Mayo - 2015

Plan de evaluación N° 01

Fecha: 26 de Mayo del 2015

<b>Razón social de la empresa:</b>	XXXXXXXXXXXXXX
<b>Dirección de la empresa:</b>	XXXXXXXXXXXXXX
<b>Documentos legales de la empresa:</b>	XXXXXXXXXXXXXX
<b>RUC:</b>	XXXXXXXXXXXXXX



Los materiales deben cumplir con las exigencias requisitos y recomendaciones establecidas dependiendo de la norma empleada.

Norma:		ASTM G 65-00:	COGUANOR 41087 h2:			X	
No	Tipo de material	Utilización del material	Dimensiones (mm)			Cumple con especificación para ser ensayado	
			Largo	Ancho	Espesor	SI	NO
1	Adoquín	Carreteras	150	150	80	X	
2	Adoquín	Carreteras	150	150	80	X	
3	Adoquín	Carreteras	150	150	80	X	
4	Adoquín	Carreteras	150	150	80	X	
5	Adoquín	Carreteras	150	150	80	X	

**Nota:** Verificar si el material cumple o no con parámetros según la norma técnica respectiva. En el caso de no satisfacer las dimensiones requeridas por la norma respectiva, se rechazara la probeta en cuestión.

.....  
Técnico responsable

Ficha de reporte del ensayo de abrasión de adoquines

Ensayo de abrasión en adoquín					
Datos del ensayo					
<b>Descripción del material:</b>	<i>Adoquín</i>		<b>Carga (N):</b>	45 N	
<b>Material abrasivo:</b>	Aluminio marrón F60		<b>Tiempo ensayo:</b>	60 s	
<b>Flujo de arena (L/min):</b>	2.8		<b>Rpm:</b>	75	
<b>Valor de calibración (Vc)</b>	<i>19,97 mm</i>		<b>Diámetro del disco</b>	200mm	
<b>Longitud de huella</b>	<i>21,6 mm</i>		<b>Ancho del disco:</b>	70 mm	
<b>Probeta no.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Largo de la probeta (mm)</b>	150	150	150	150	150
<b>Ancho de la probeta (mm)</b>	150	150	150	150	150
<b>Espesor de la probeta (mm)</b>	80	80	80	80	80
<b>Angulo (°)</b>	12,026	12,93	11,91	12	12,42

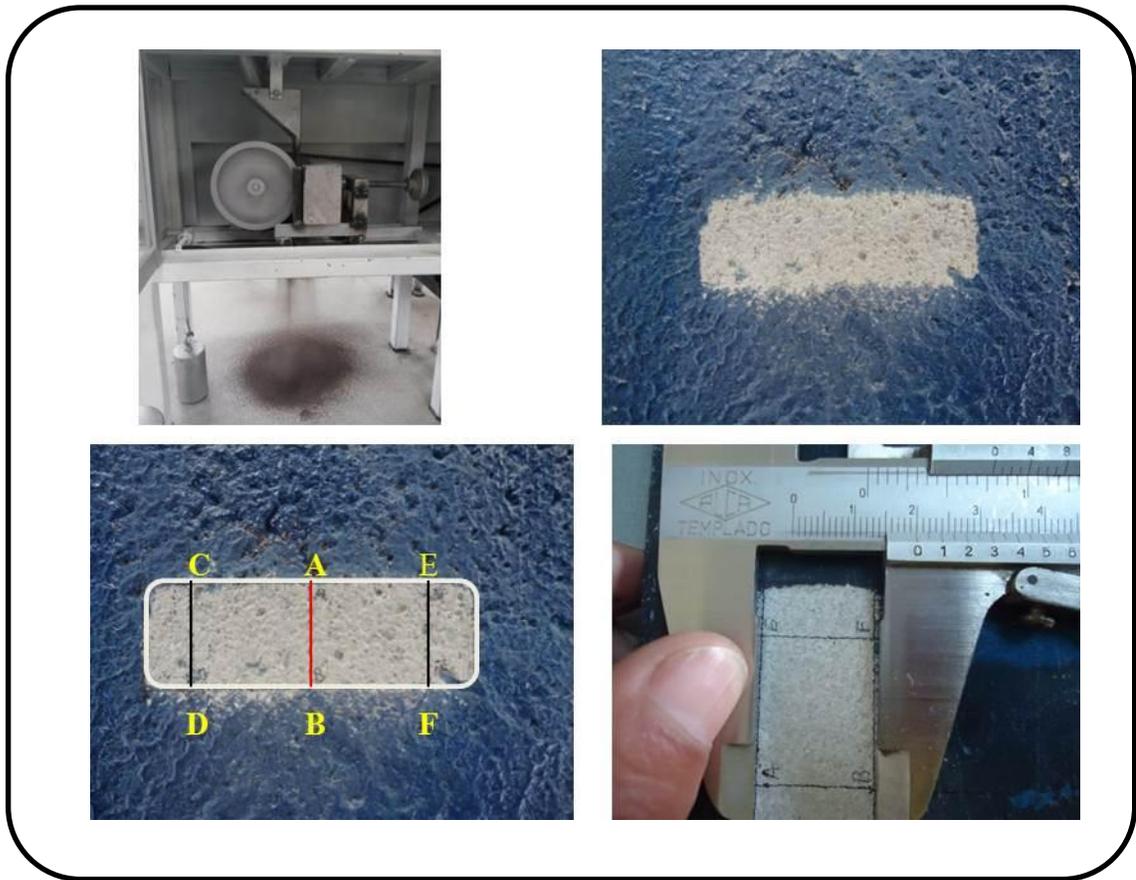
<b>Factor de corrección</b>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
<b>Longitud de huella (medida AB)</b>	21,2	22,8	21	21,3	21,9
<b>Longitud de huella de adoquín <math>L_h = ab + (20 - V_c)</math></b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
<b>Volumen de desgaste (mm<sup>3</sup>)</b>	543,61	675,41	528,05	540	598,72
<b>Comentarios</b>	La longitud de huella promedio es de 21,6 mm $\leq$ 23 mm, con un volumen de desgaste 495,66 mm <sup>3</sup>				
<b>Nombre de la empresa:</b>	XXXXXXXX				
<b>Técnico del laboratorio:</b>	XXXXXXXX				
<b>Fecha de realización:</b>	25/05/2015				

### Imágenes de la preparación de la probeta



La probeta ha sido tomada de un lote de producción después de 42 días de maduración y cortada de acuerdo a las medidas recomendadas en la norma de tal manera que se pueda ajustar en el porta probetas móvil, y el disco metálico ancho, se debe verificar su ortogonalidad y la superficie totalmente plana en la probeta en caso de no cumplir con lo especificado se debe preparar de tal manera que se tenga un ensayo correcto de desgaste abrasivo.

## Imágenes de las probetas después del ensayo



Luego del ensayo de desgaste abrasivo según la norma COGUANOR se observa una huella en forma de un rectángulo totalmente simétrico producto del contacto entre el disco abrasivo y la probeta, con una longitud AB tomada en el centro de la huella, que es la que se procede a medir para su aceptación o rechazo, se puede también establecer el volumen perdido o desgastado para compararlo con otros métodos de ensayos en adoquines.

Una vez obtenido los datos se procede a llenar las fichas de reporte del ensayo con todos los datos antes y después de cada ensayo para entregar de manera clara y concisa a la empresa ya sea pública o privada o al estudiante que dese realizar la prueba de desgaste en adoquín vehicular.

## CAPÍTULO VII

### 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el desarrollo de este proyecto, se toma en consideración los costos de materiales, mano de obra, secundarios, entre otros.

#### 7.1 Costos directos

##### 7.1.1 Costos de materiales y accesorios mecánicos

Tabla 21. Materiales y accesorios mecánicos

No	Elemento	Descripción	U	Cant	P.Unit (USD)	Costo (USD)
1	Chapa gruesa	PL 2 x 1/8	Pl	0.5	7.82	3.91
2	Chapa metálica	PLN CAL 2mm	Pl	0.5	20.7	10.33
3	Tubo cuadrado	TC C 1 1/2 X 2mm	Pl	2.5	16.4	41.10
4	Tubo circular	TR C 1 1/4 x 1.5mm	Pl	1	7.24	7.24
5	Angulo	AL 1 1/4 x 1/8 mm	Pl	1	8.9	8.90
6	Placa	30 x 90 x24 mm-Oxicorte	kg	2	1.27	2.54
7	Placa	140 x200 x 4mm-Oxicorte	kg	2	1.3	2.60
8	Eje disco 1	SAE 1018 8 1/2"-A/Transm	kg	4.5	3.57	16.07
9	Eje disco 2	760(1045)200mm-A/Carbon	kg	18.2	3.14	57.15
10	Eje 5"	SAE 1018 5"-A/Transmisión	kg	13.62	2.9	39.50
11	Eje 3"	SAE 1018 3"-A/Transmisión	kg	4.73	2.4	11.35
12	Eje 1 3/8"	SAE 1018 1 3/8"-A/Transm	kg	1.78	2.35	4.18
13	Eje 1/4	SAE 1018 1 1/4"-A/Transm	Kg	1.5	2.15	3.23
14	Piñón grande	Catalina P40T38	U	1	26	26.00

15	Piñón pequeño	NK40B-14T (2.49")	U	4	5.5	22.00
16	Válvula	De bola 1 1/2"	U	1	24.3	24.29
17	Válvula	De bola 1/2"	U	1	6.5	6.50
18	Rodamiento	6303 LLUC3 Ríg/Bola NTN	U	1	3.5	3.50
19	Rodamiento	6303 LLUC3 Ríg/Bola NTN	U	1	6.5	6.50
20	Chumacera	UCP205	U	4	6	24.00
21	Cadena	40,10 (1.2")-cadena/transm	U	1	22.3	22.25
22	Caucho vulcan	Base redonda	U	1	25	25.00
23	Regatones	Caucho cuadrado	U	10	1.7	17.00
24	Cuchillas	De corte	U	6	2	12.00
25	Garrucha	Juego x 4 metal	U	1	5.3	5.30
26	Pernos	CTG + Rodelas	U	18	0.89	16.02
27	Pernos hexag	DIN 933 ANSI B 18.2.1	U	25	0.18	4.50
28	Tuerca hexag		U	25	0.06	1.50
29	Rodela presión	DIN 127 ANSI B27.1	U	25	0.13	3.25
30	Lija	Desde #150 hasta #600	U	6	0.27	1.62
31	Disco de corte	Acero inox 178 x 1.6 x 22.2	mm	2	7.25	14.50
32	Brocas	Juego de brocas	U	1	14.5	14.50
33	Hoja de sierra	Aplicada en aceros	U	1	1.25	1.25
34	Electrodos	6010	lb	3	2.25	6.75
35	Pintura esmalte	Blanca	Gl	1	14	14.00
36	Tinher		Lt	2	2	4.00
37	Retenedor		U	1	6	6.00
38	Vidrio claro	Cl de 4mm	U	1	6.65	6.65
39	Horizontal Al	Peinazo natural	m	3.2	2.31	7.39
40	Vertical Al	Parante de hoja	m	3.2	2.11	6.75
41	Tornillo	2 x 8 Estrella	U	20	0.02	0.40
42	Plastico negro	Plástico negro 2m	m	4	1.65	6.60

43	Abrasivo-adoq	Aluminio marrón F60	Kg	50	3	150.00
44	Abrasivo-acero	Arena de sílice seco F70	Kg	55	1.23	67.65
<b>Total (USD)</b>						<b>735.77</b>

Fuente: Autores

### 7.1.2 Costos de materiales y accesorios eléctricos

Tabla 22. Materiales y accesorios eléctricos

No	Elemento	Descripción	U	Cant	P.Unit (USD)	Costo (USD)
1	Motoreductor	SEW 220v	U	1	750	750.00
2	Cable	CU Concéntrico #4 x 12	m	2	2.65	5.30
3	Botonera	On/Off Trif 30A CAMS PWN30A	U	1	5.24	5.24
4	Enchufe	Blindado 30A 250V Cooper	U	1	8.47	8.47
<b>Total (USD)</b>						<b>769.01</b>

Fuente: Autores

### 7.1.3 Costos por maquinaria a utilizar

Tabla 23. Maquinaria y equipo a utilizar

No	Maquina/herramienta	Costo/hora (USD/h)	Hora/equipo	Costo (USD)
1	Amoladora (pulidora)	2	12	24.00
2	Cizalla	2	5	10.00
3	Esmeril	1	5	5.00
4	Oxicorte	6	1	6.00
5	Dobladora mecánica	6	2	12.00
6	Entenalla	1	8	8.00

7	Soldadora eléctrica	5	20	100.00
8	Taladro	6	4	24.00
9	Torno	16	8	128.00
10	Otros equipos			50.00
			<b>Total (USD)</b>	<b>367.00</b>

Fuente: Autores

#### 7.1.4 Costos materiales y abrasivos

Tabla 24. Costos de materiales y abrasivos

No	Elemento	U	Cant	P.Unit (USD)	Costo (USD)
1	Acero AISI D2	U	1	35	35.00
2	Adoquín	U	5	1.2	6.00
3	Mármol	U	5	0.45	2.25
4	Aluminio marrón F60	Kg	25	3.35	83.75
5	Arena de sílice F70	Kg	50	1.75	87.50
				<b>Total</b>	<b>214.50</b>

Fuente: Autores

#### 7.1.5 Costos de mano de obra

Tabla 25. Costos de mano de obra

Trabajador	Salario/hora	Hora/hombre	Valor (USD)
Maestro mecánico	6	40	240.00
Tornero	9	8	72.00
Ayudante	1	5	5.00
Soldador	16	8	128.00
		<b>Total</b>	<b>445.00</b>

Fuente: Autores

### 7.1.6 Total de costos directos

Tabla 26. Total de costos directos

<b>Costo por</b>	<b>Valor (USD)</b>
Material mecánico y accesorios	735.77
Material eléctrico y accesorios	769.01
Materiales y abrasivos	214.50
Maquinaria a utilizar	367.00
Mano de obra	445.00
<b>Total costos directos</b>	<b>2 531,28</b>

Fuente: Autores

### 7.2 Costos indirectos

Tabla 27. Costos indirectos

<b>Detalles</b>	<b>Cant (% CD)</b>	<b>Valor (USD)</b>
Ingeniería (diseño y supervisión)	5%	115.84
Imprevistos	1%	23.17
	<b>Total</b>	<b>139.01</b>

Fuente: Autores

### 7.3 Costos totales

El costo total equivale a la suma de \$ **2 670,29** (dos mil seiscientos setenta dólares y veinte y nueve centavos) y es la suma entre los costos directos más los costos indirectos.

Tabla 28. Costos totales

<b>Costos directos</b>	<b>2 531,28</b>
<b>Costos indirectos</b>	<b>139.01</b>
<b>Total (USD)</b>	<b>2 670,29</b>

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VIII

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

Se establecieron las condiciones y parámetros necesarios para la construcción del equipo de acuerdo a las normas ASTM G 65-00 y COGUANOR 41087 h2 tales como: dimensiones de las probetas, flujo del abrasivo, tipo y tamaño del abrasivo, calibración del equipo.

Se realizaron adecuaciones en el equipo de abrasión de aceros de tal manera que, el flujo constante del abrasivo (arena de sílice F70) sea de 332gr/min, además el disco de abrasión gira a 205 rpm, rango dentro de lo establecido en la norma ASTM G 65-00.

Se comprobaron que el acero AISI D2 es un material resistente a la abrasión puesto que en el procedimiento A se desgastó  $243,2597 \text{ mm}^3 > 100\text{mm}^3$ . Posteriormente según el procedimiento B se desgastó  $98,1687 \text{ mm}^3$ .

Se readecuaron la sección del equipo de ensayos de adoquín de tal manera que, el flujo de constante de abrasivo (aluminio marrón F60) sea de  $2,8\text{L}/\text{min} > 2,5\text{L}/\text{min}$ , rango establecido según la norma COGUANOR 41087 h2.

Se realizaron la calibración del equipo de ensayo de adoquines, mediante pruebas realizadas en mármol, obteniendo un Vc (valor de calibración) de 19,97mm rango dentro de lo especificado anteriormente según la norma con un contrapeso de 45N.

Se obtuvieron una longitud de huella promedio en adoquines de  $21,6\text{mm} \leq 23\text{mm}$  como se establece dentro del rango aceptable, por lo que la composición de los materiales del adoquín es la más óptima.

Se implementaron guías para los ensayos de abrasión de aceros y de adoquines independientemente para una fácil y correcta ejecución de los mismos.

## **8.2 Recomendaciones**

Verificar las dimensiones de la probeta y pesarla antes del ensayo, para tener valores confiables de pérdida de volumen.

Revisar la guía de ensayo dependiendo del tipo de material o procedimiento a emplear, para realizar una correcta ejecución de la prueba.

Inspeccionar que la relación de transmisión del equipo sea la correcta para el estudio.

Limpiar de cualquier tipo de suciedad el área de ensayo así como la probeta e instrumentos en cuestión.

Mantener distancia prudente en el momento del ensayo por seguridad, para evitar contaminación (polvo, ruido).

Usar EPP (equipo de protección personal) como: guantes, orejeras, casco, gafas.

Verificar periódicamente el diámetro de los discos de abrasión.

No utilizar más de tres veces el abrasivo.

Realizar pruebas en otros tipos de aceros.

## BIBLIOGRAFÍA

**AS Handbook Committe.** *Properties and Selections.*

**ASM Internactional Handbook Committe. 1990.** *Properties and Selections selection: Irons, Steels, and High-Perfomance Alloys.* 10ma. 1990. Vol. 1.

**ASTM Committee on Standards. 2002.** Método de Ensayo con Arena Húmeda/Prueba de Abrasión con Disco recubierto de caucho. [trans.] Damian A Carrera G. *Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests.* s.l., Estados Unidos : 100 Barr Harbor Drive, 2002. Vol. 03.02 Wear and Erosion; Metal Corrosion, G 105-02.

—. **2003.** Método de Ensayo de Resistencia a la Degradación de partículas pequenas de Agregado por Abrasión e Impacto en máquina Los Angeles. [trans.] Damian A Carrera G. *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* s.l., Estados Unidos : 100 Barr Harbor Drive, 2003. Vol. 04.02 Concrete and Aggregates, C 131-03.

—. **2000.** Método de Ensayo para medición de Abrasión utilizando Disco recubierto con caucho/Abrasivo seco. [trans.] Damian A Carrera G. *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.* s.l., Estados Unidos : 100 Barr Harbor Drive, 2000. Vol. 03.02 Wear and Erosion; Metal Corrosion, G 65-00, pp. 1-12.

**BUDYNAS, Richard G and NISBETT, J Keith. 2003.** *Diseno de Ingeniería Mecánica de Shigley.* 8va Edición. s.l. : Mc Graw Hill, 2003.

**COGUANOR. 2012.** Método de Ensayo - Determinación de la Resistencia al desgaste por Abrasión de Adoquines de concreto. 08 17, 2012. NTG 41087 h2, pp. 1-18.

**DIPAC.** Catálogo de aceros. Quito, Ecuador : s.n.

**Norma Técnica Ecuatoriana. 1986.** Adoquines-Determinación de las Dimensiones, Area total y Area superficial de Desgaste. 01 16, 1986. NTE INEN 1486, p. 3.

—. **1986.** Adoquines-Requisitos. 01 16, 1986. NTE INEN 1488, p. 3.

—. **1986.** Adoquines-Terminología y Clasificación. 01 16, 1986. NTE INEN 1483, p. 1.

**REXNORD. 2009.** Catálogo de Cadenas y Catalinas. *Drive and Conveyor Chains*. s.l., Estados Unidos : Delzer Litho, 09 2009. 7010.

**SKF. 2000.** Catalólo General de Selección de Rodamientos y Chumaceras. s.l. : Certus Tryckeri AB, 2000.