

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE POR  
ABRASIÓN Y ADHESIÓN PARA ACERO AISI 1020 RECUBIERTO POR  
ROCIADO TÉRMICO CON LAS MEZCLAS CASTOLIN EUTETIC 13495 Y  
(ALÚMINA O DIÓXIDO DE TITANIO) EN TAMAÑO MICROMÉTRICO.**

**DIEGO FERNANDO GARCIA ARDILA  
ANDRES FELIPE ARGUELLO AYALA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE POR  
ABRASIÓN Y ADHESIÓN PARA ACERO AISI 1020 RECUBIERTO POR  
ROCIADO TÉRMICO CON LAS MEZCLAS CASTOLIN EUTETIC 13495Y  
(ALÚMINA O DIÓXIDO DE TITANIO) EN TAMAÑO MICROMÉTRICO**

**DIEGO FERNANDO GARCIA ARDILA  
ANDRES FELIPE ARGUELLO AYALA**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR:  
ALFONSO SANTOS JAIMES  
Ingeniero mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga, septiembre de 2014**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

A ti señor te agradezco por permitirme recorrer este camino estudiantil, por llenarme de salud y protegerme de todo mal y peligro en las acciones realizadas dentro y fuera de las instalaciones encontradas en la universidad.

### **A mi madre María C. Ayala Rojas**

Te agradezco por el apoyo incondicional que tuviste conmigo en este maravilloso proceso académico, te debo en primer lugar la vida y las alegrías que me brinda cada día, gracias por desearme el bien cada mañana que salgo de la casa y me dirijo a realizar mis labores.

### **A mi padre Javier M. Arguello Ayala**

Por brindarme la mano en los momentos difíciles transcurridos en la carrera, por ese brazo de apoyo y esa voz de ánimo para continuar hacia adelante, por desearme lo mejor siempre. Por el esfuerzo económico para brindarme un estudio de calidad en un prestigioso centro académico como es la Universidad Pontificia Bolivariana.

### **A mis hermanas**

Por estar pendiente de mí cada momento y brindarme ayuda cuando lo necesitaba, por ser mis modelos profesionales y humanos a seguir. Sin ustedes no podría ser tan gratificante este gran logro.

### **A Daniela Figueroa Serrano**

Te agradezco por redirigirme al camino adecuado y ser esa persona que me escuchó cada problema y me ayudó a buscar todas las soluciones. Gracias por

acompañarme en casi todo este proceso estudiantil y ser mi sombra, pendiente de mí en cada momento. ” Detrás de un gran hombre esta una gran mujer”.

**A Alfonso Santos Jaimes**

Gracias ingeniero por el apoyo brindado en la finalización de mis estudios siendo un gran director, por esa rigidez que lo lleva a la persona de realizar las cosas adecuadamente.

Andrés Felipe Arguello Ayala.

## **DEDICATORIA**

En primer lugar debo agradecer a Dios por darme la sabiduría para terminar este proceso, a mis padres Jaime García Cala y Blanca Ardila, por la formación que me dieron a lo largo de mi vida, por sus bendiciones y por su apoyo incondicional en todo mi proceso de formación, a mi hermana Diana Carolina Garcia Ardila por su apoyo y cariño incondicional y a mis familiares y personas que estuvieron conmigo en este proceso. A todos ellos muchas gracias.

Diego Fernando García Ardila.

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera cordial agradecemos al plantel educativo, especialmente al ingeniero Alfonso Santos por guiarnos en nuestro proyecto de grado y permitirnos trabajar conjunto a él, para la culminación de este proceso estudiantil. También queremos agradecer a Víctor Cuellar por la dedicación que tuvo con nosotros para la elaboración de los ensayos en el centro de mecanizado y a los compañeros por compartir con nosotros gratificantes momentos académicos y amistosos.

Andrés Felipe Arguello Ayala.

Diego Fernando García Ardila.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	17
1. OBJETIVOS .....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 NORMA ASTM G99-05 .....	22
2.2 NORMA ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010) .....	23
2.3 ROCIADO TÉRMICO .....	24
2.4 DESGASTE .....	25
2.5 RECUBRIMIENTOS .....	28
2.6 DUREZA .....	31
2.7 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (MEB) .....	33
2.8 EQUIPOS .....	33
3. METODOLOGÍA.....	37
3.1 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA REALIZACION DE PROBETAS.....	37
3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE LOS MATERIALES AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Y TiO <sub>2</sub> . .....	38
3.3 ADECUACIÓN DE PROBETAS .....	38
3.4 REALIZACIÓN DE MEZCLAS VOLUMÉTRICAS DE (CASTOLIN EUTETIC 13495 Y AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Y (CASTOLIN EUTETIC 13495 Y TiO <sub>2</sub> ) EN PORCENTAJES DETERMINADOS .....	41

3.5 REALIZACIÓN DE DEPÓSITOS POR MEDIO DEL ROCIADO TÉRMICO POR LLAMA A LAS PROBETAS RECTANGULARES DE ACERO AISI 1020 ..	43
3.6 PRUEBAS DE DUREZA.....	44
3.7 PRUEBA DE DESGASTE ABRASIVO.....	45
3.8 PRUEBA DESGASTE ADHESIVO.....	48
3.9 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LOS DIFERENTES ENSAYOS.....	50
3.10 EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN OBTENIDA POR CADA PRUEBA.....	51
3.11 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS SUMINISTRADOS POR LOS ENSAYOS DE DUREZA, ABRASIÓN, ADHESIÓN Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	52
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MEZCLA DE CASTOLIN EUTETIC 13495 Y (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Y TiO <sub>2</sub> ) POSIBLE PARA REALIZAR DEPÓSITOS EN MÁQUINA DE PROYECCIÓN TÉRMICA POR LLAMA SUMINISTRADA POR LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA .....	53
4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE LOS MATERIALES Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Y TiO <sub>2</sub> .....	55
4.3 ANÁLISIS EDS Y COMPROBACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PARA MATERIALES PROCESADOS.....	57
4.4 ENSAYO DE DUREZA .....	64
4.5 ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO .....	66
4.6 PRUEBAS DESGASTE ADHESIVO.....	72
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>6. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>80</b>

<b>8. ANEXOS</b> .....	83
Anexo 1. Tablas de los resultados por cada porcentaje de mezcla. Desgaste adhesivo. ....	83
Anexo 2. Gráficas y tablas de pérdida de volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros. Desgaste abrasivo .....	83
Anexo 3. Graficas de volumen perdido pines y discos ( $\text{mm}^3$ ) vs recorrido (m). ..	83
Anexo 4. Tabla general de volumen perdido de pines. ....	83
Anexo 5. Grafica general de volumen perdido pines ( $\text{mm}^3$ ) vs recorrido (m) .....	83
Anexo 6. Tablas resultados pruebas de Dureza. ....	83

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Ejemplo condiciones para ensayos Tribómetro Pin on Disk. ....	22
Tabla 2: Materiales de acero. Fuente: autor de proyecto.....	37
Tabla 3: características del tipificado de arena AFS 50/70. Fuente: Norma ASTM G65-04 (REAPROBADA EN EL 2010). ....	46
Fuente: Norma ASTM G99-05 (REAPROBADA EN EL 2010). Tabla 4: Condiciones para ensayos Tribómetro Pin on Disk .....	50
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 5: Mezclas empleadas para determinación de porcentajes. ....	54
Fuente: autor de proyecto. Tabla 6: Premuestras para ensayos de TiO <sub>2</sub> .....	56
Fuente: autor de proyecto. Tabla 7: Proceso de selección número para TiO <sub>2</sub> . ....	56
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 8: Proporción de peso y número atómico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	57
Fuente: autor de proyecto. Tabla 9: Proporción de peso y número atómico de TiO <sub>2</sub> .....	60
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 10: Dureza 100% EUTETIC 13495.....	64
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 11: Dureza 80% EUTETIC 13495 - 20% alumina Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	64
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 12: Resultados individuales pruebas de abrasión. ....	68
Fuente: Autor de proyecto Tabla 13: Resultados generales prueba de abrasión. .	69
Fuente: Autor de proyecto Tabla 14: Tabla individual de datos 100% EUTETIC...	73
Fuente: Autor de proyecto Tabla 15: Tabla general de datos pruebas desgaste adhesivo de discos. ....	75

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Proyección térmica por llama.....	25
Figura 2: Características desgaste adhesivo. ....	26
Figura 3: (a) abrasión por dos cuerpos (b) abrasión de tres cuerpos. ....	27
Fuente: Autor de proyecto. Figura 4: Alúmina ( $Al_2O_3$ ). ....	28
Fuente: Autor de proyecto. Figura 5: Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ).....	30
Figura 6: medición de dureza Vickers.....	32
Fuente: Autor de proyecto. Figura 7: Pasadores AISI 4140.....	40
Fuente: Autor de proyecto. Figura 8: Proceso de granallado.....	40
Figura 9: Probeta granallada. Fuente: Autor de proyecto. ....	41
Fuente: Autor de proyecto. Figura 10: Recubrimientos utilizados 1.....	42
Fuente: Autor de proyecto. Figura 11: Recubrimientos utilizados 2.....	42
Fuente: Autor de proyecto. Figura 12: Probetas recubiertas. ....	43
Fuente: Autor de proyecto. Figura 13: Pistola de proyección térmica.....	43
Fuente: Autor de proyecto. Figura 14: Puntos de ensayo de dureza. ....	44
Figura 15: Durómetro hartip 1500. Fuente autor del proyecto. ....	45
Fuente: Autor de proyecto. Figura 16: Máquina medidora de desgaste abrasivo. .	46
Figura 17: Balanza de 0.0001g de margen de error. Fuente: Autor de proyecto ...	47
Fuente: Autor de proyecto. Figura 18: Acondicionamiento de probetas en la máquina. ....	48
Figura 19: Interior máquina medidora de desgaste abrasivo. Fuente: Autor de proyecto .....	48
Fuente: Autor de proyecto. Figura 20: Tribómetro pin on disk. ....	49
Fuente: Autor de proyecto. Figura 21: Adición de porcentajes de mezcla. ....	53

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará. Figura 22: Características microscopia electrónica de barrido-alúmina.....	58
. Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.. Figura 23: Imagen microscópica alumina1 ...	59
Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.Figura 24: Imagen microscopia alúmina 2. ....	60
Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.. Figura 25: Características microscopia electrónica de barrido-Dióxido de Titanio.....	61
Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.. Figura 26: Imagen microscopia Dióxido de Titanio1.....	62
Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.. Figura 27: Imagen microscópica Dióxido de Titanio 2.....	63
Fuente: autor de proyecto Figura 28: Probetas después de prueba de desgaste abrasivo. ....	67
Fuente: Autor de proyecto Figura 29: Probetas después de prueba de desgaste adhesivo. ....	72

## LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Grafica 1: Análisis EDS Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	58
Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará. Grafica 2: Análisis EDS TiO <sub>2</sub> .....	61
Fuente: Autor de proyecto. Grafica 3: Curva tendencia dureza EUTETIC 13495 – Dióxido de titanio. ....	65
Fuente: Autor de proyecto. Grafica 4: Curva tendencia dureza EUTETIC 13495 – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	66
Fuente: Autor de proyecto. Gráfica 5: Grafica desgaste abrasivo EUTETIC 100%. ....	70
Fuente: Autor de proyecto Gráfica 6: Desgaste abrasivo EUTETIC 13495 80% - Dióxido de Titanio 20%. ....	71
. Fuente: Autor de proyecto. Grafica 7: Curva general prueba desgaste abrasivo.71	
Mediante la Grafica 8, se encontró que la menor cantidad de pérdida de material por medio del desgaste abrasivo se presentó en el depósito EUTETIC 13495 100%. Las demás graficas de desgaste abrasivo las encontramos en el <i>anexo 1</i> . ....	72
Fuente: Autor de proyecto Gráfica 9: Curva individual desgaste adhesivo disco. 74	
Fuente: Autor de proyecto Gráfica 10: Curva individual desgaste adhesivo pines. ....	74
Fuente: Autor de proyecto Gráfica 11: Curva general desgaste adhesivo. ....	76

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN Y ADHESIÓN PARA ACERO AISI 1020 RECUBIERTO POR ROCIADO TÉRMICO CON LAS MEZCLAS CASTOLIN EUTETIC 13495Y (ALÚMINA O DIÓXIDO DE TITANIO) EN TAMAÑO MICROMÉTRICO.

**AUTOR(ES):** Diego Fernando García Ardila - Andrés Felipe Arguello Ayala

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Alfonso Santos Jaimes

### RESUMEN

En la actualidad la aparición de nuevos problemas ha llevado al estudio de soluciones empleadas para satisfacer las necesidades y demandas. En vista de que ningún elemento de máquina es inmune al desgaste, y con el fin de prolongar la vida útil del mismo, se presenta una alternativa como el proceso de rociado térmico con el fin de emplearse para la fabricación y recuperación de los elementos de máquinas. Teniendo en cuenta la gran variedad de recubrimientos térmicos y los factores a los que un material está expuesto, se puede obtener la combinación apropiada con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de un metal o elemento de máquina. Ya sabiendo esto se debe encontrar una combinación de elementos capaz de mejorar la dureza, resistencia al desgaste por abrasión y resistencia al desgaste por adhesión de un material como lo es el acero AISI 1020 utilizando la combinación del material de recubrimiento térmico EUTETIC 13495 con  $Al_2O_3$  o  $TiO_2$ . Estos materiales son una aleación cerámica cuyo depósito ofrece elevada resistencia a la compresión con bajo coeficiente a la fricción, para proceso de metalización en frío sin la deformación ni modificación de la estructura del metal base, son especialmente desarrolladas para la recuperación de superficies desgastadas por fricción, oxidación y corrosión. Al finalizar este proyecto se obtendrá una serie de resultados como lo son una tabla de datos de las características químicas y análisis de la composición morfológica de los materiales cerámicos utilizados junto con una tabla de porcentajes máximos de mezclas de materiales que pueden ser utilizados para la obtención de recubrimientos, también se obtendrá unas curvas de tendencia de las propiedades en función de la composición de la mezcla de los materiales utilizados en los recubrimientos.

### PALABRAS CLAVES:

ADHESIÓN - ABRASIÓN - DUREZA - MICROSCOPIA - ROCIADO TÉRMICO

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DETERMINATION OF HARDNESS AND ABRASION AND ACCESSION WEAR RESISTANCE TO AISI 1020 STEEL COATED BY THERMAL SPRAY WITH MIXTURES CASTOLIN EUTETIC 13495 (TITANIUM DIOXIDE OR ALUMINA) IN MICROM SIZE.

**AUTHOR(S):** Diego Fernando García Ardila - Andrés Felipe Argüello Ayala.

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Alfonso Santos Jaimes.

### ABSTRACT

Nowadays the appearance of new problems has led to the study of solutions used to satisfy the needs and demands. At the sight that no machine element is immune to wear, and with the goal to extend its lifespan, it is presented an alternative like the thermal spraying process that aims to be use for the fabrication and recuperation of the machine elements. Taking into account the great variety of thermal coating and the factors to which a material is exposed, it can be obtained the appropriate combination with the goal of improving the mechanic properties of a metal or a machine element. Knowing this it has to be found a combination of elements capable of enhance the hardness, the wear resistance due to abrasion and the wear resistance due to adhesion of a material like the AISI 1020 steel using the combination of EUTETIC 13495 thermal coating material with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or TiO<sub>2</sub>. These materials are a ceramic alloy whose deposit offers an elevated compression resistance with a low friction coefficient, for cold metallization process without deformation nor modification of the base metal structure, are specially developed for the recuperation of surfaces worn by friction, oxidation or corrosion. At the end of this project it will be obtained a series of results like a data table of the chemical characteristics and morphological analysis of the composition of the ceramic materials used along with a maximum percentage table of mixtures of material that can be used for the obtainment of coatings, also it will be obtained a tendency curves of the properties in function of the composition of the mixture of the materials used in the coatings.

### KEYWORDS:

ABRASION - ACCESSION - HARDNESS - THERMAL SPRAY -  
MICROSCOPY

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

Por medio del rociado térmico se permite obtener recubrimientos que mejoran las propiedades mecánicas tales como la resistencia al desgaste y la dureza. Entre ellos los cermet se destacan a nivel industrial ya que se han extendido al transcurrir del tiempo. El proceso consiste en partículas cerámicas dispersas en una estructura metálica, debido a esto poseen una alta dureza y gran tenacidad ya que se mantienen unidas gracias a la contribución que hace el metal. Existen materiales metálicos que se emplean como matriz, que ayudan a mejorar la propiedades mecánicas alguno de estos son el Níquel y el Cromo debido a que son anti corrosivos o resistentes a la corrosión. Las aplicaciones son las siguientes: herramientas para centros de mecanizado, corte de metales, madera y todas las herramientas que se encuentran sometidas a un desgaste severo. En la actualidad se cuentan con numerosas técnicas para depositar los recubrimientos, las más reconocidas son el rociado térmico debido a la alta velocidad y el plasma atmosférico debido a su alto rendimiento y bajo costo.

La proyección por plasma consiste en el aporte de una gran potencia eléctrica para generar plasma por la ionización del gas, debido a este proceso el polvo del material que se va a depositar se funde y parte de las partículas se disuelven en la matriz y el material se proyecta sobre la muestra por la acción de la corriente generada del gas.

Las propiedades de los recubrimientos convencionales, obtenidas con polvos en partículas de tamaño micrométrico han sido estudiadas y se encuentra una relación entre el desgaste de este tipo de material con la de la dureza y la tenacidad.

Es importante recalcar que han sido bastantes que los estudios realizados a los diferentes polvos en tamaño micrométrico y nanométrico no han llegado a respuestas concluyentes lo que resulta interesante el seguir estudiando a profundidad el comportamiento tribológico de estos recubrimientos a comparación de los convencionales, empleando ensayos clásicos como son el PIN ON DISC, similares utilizados por otros autores en aceros rápidos reforzados con diferentes polvos o diferentes mezclas.

Al finalizar este proyecto se obtendrán una serie de resultados como lo es una tabla de datos de las características químicas y análisis de la composición morfológica de los materiales cerámicos utilizados junto con una tabla de porcentajes máximos de mezclas de materiales que pueden ser utilizados para la obtención de recubrimientos, también se obtendrán unas curvas de tendencia de las propiedades en función de la composición de la mezcla de los materiales utilizados en los recubrimientos.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la dureza y resistencia al desgaste (abrasivo y adhesivo) para una mezcla de los materiales CASTOLIN AUTETIC 13495, Dióxido de Titanio y Alúmina en tamaño micrométrico, utilizados como recubrimientos y depositados a través del proceso de rociado térmico. Estas pruebas se realizarán de forma práctica con ayuda de los equipos que proporcionará la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga para la obtención de datos estadísticos y las respectivas curvas de correlación.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características químicas y morfológicas de la Alúmina ( $Al_2O_3$ ) y el Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) a través de microscopía electrónica de barrido.

**Resultado:** tabla de datos de las características químicas y análisis de la composición morfológica de los materiales Alúmina ( $Al_2O_3$ ) y el Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) mediante imágenes.

**Indicador:** los ensayos se realizarán con la metodología de los laboratorios de microscopía electrónica de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

- Determinar los porcentajes de mezcla de CASTOLIN EUTETIC 13495 - Alúmina ( $Al_2O_3$ ) y CASTOLIN EUTETIC 13495 – Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) máximos que pueden ser utilizados para depositarse a través del rociado térmico.

**Resultado:** Tabla de porcentajes máximos de mezclas de materiales que pueden ser utilizados para la obtención de recubrimientos.

**Indicador:** La superficie de las probetas debe encontrarse en perfecto estado para garantizar la adherencia del recubrimiento al material base, para lo cual serán inspeccionadas minuciosamente una a una por el personal encargado.

- Determinar la variación de las propiedades mecánicas de los recubrimientos compuestos de CASTOLIN EUTETIC 13495 – alúmina micrométrica, a través de ensayos de dureza y resistencia al desgaste (abrasivo y adhesivo).

**Resultado:** curvas de las propiedades en función de la composición de la mezcla de los materiales utilizados en los recubrimientos.

**Indicador:** los ensayos se realizaran siguiendo las normas NORMA ASTM G99-05 y NORMA ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010) para cada una de los ensayos.

- Determinar la variación de las propiedades mecánicas de los recubrimientos compuestos de CASTOLIN EUTETIC 13495 – Dióxido de Titanio micrométrico, a través de ensayos de dureza y resistencia al desgaste (abrasivo y adhesivo).

**Resultado:** curvas de las propiedades en función de la composición de la mezcla de los materiales utilizados en los recubrimientos.

**Indicador:** los ensayos se realizaran siguiendo las normas: NORMA ASTM G99-05 y NORMA ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010) para cada una de los ensayos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 NORMA ASTM G99-05

ASTM G99-05 es un método estándar aprobado para la obtención de datos válidos y creyentes de pruebas de desgaste adhesivo en máquinas de tipo pin on disk, en ella muestra los parámetros de diseño para la construcción de máquina además de la metodología para realizar los ensayos. En los ensayos se deben garantizar condiciones fundamentales tales como una velocidad de giro de la probeta o disco constante, un pin en posición vertical estático que debe estar en contacto con la probeta de forma perpendicular y puesta en una distancia o radio específica; también es importante garantizar la carga aplicada la cual ejerce el pin sobre la probeta sometida a desgaste adhesivo. Esta norma muestra las fórmulas para la obtención de datos como es el volumen perdido de la probeta y otras como el radio a colocar el pin, tiempo en el cual se va a someter la prueba y las veces posibles de rayado del disco. [5]

CONDICIONES DE LA PRUEBA			
CARGA APLICADA [N]			
VELOCIDAD ANGULAR [RPM]			
DISTANCIA RECORRIDA [M]			
NUMERO DE GIROS			
DIAMETRO DE CONTACTO [M]			
TEMPERATURA DE TRABAJO [°C]			

Tabla 1: Ejemplo condiciones para ensayos Tribómetro Pin on Disk.

Fuente: Norma ASTM G99-05 (REAPROBADA EN EL 2010)

## **2.2 NORMA ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010)**

Este método de ensayo cubre los procedimientos de laboratorio para la determinación de la resistencia de los elementos metálicos al desgaste por abrasión por medio del ensayo de arena seca y rueda de caucho. La idea del ensayo es producir suficientes datos con el fin de determinar un rango de resistencia para un conjunto de condiciones específicas.

Los resultados de este ensayo se informan como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos con el fin de lograr una uniformidad.

En estas normas no se tienen en cuenta condiciones de seguridad, se supone que el usuario debe tomar todas las medidas preventivas para el desarrollo de estas pruebas. La gravedad del desgaste abrasivo dependerá del tamaño de la partícula abrasiva, la forma, la tensión expuesta y la frecuencia de contacto de la partícula. El valor de la práctica radica en la predicción de la clasificación de los materiales en un orden relativo a como ocurriría en un ambiente abrasivo, estos datos de pruebas obtenidos pueden ser comparados con materiales que trabajan a un ambiente abrasivo. Todos los elementos que influyen en estas pruebas son de vital importancia para asegurar la uniformidad de los resultados de las pruebas, entre ellos son el caucho de la rueda, el tipo e abrasivo, la forma, la abertura de la boquilla, el brazo donde se aplica la fuerza. Para el desarrollo de estas pruebas el espécimen debe tener una forma rectangular de 25 por 76 mm y 3.2 a 12.7mm de espesor, estas medidas pueden variar un poco de acuerdo con las necesidades del usuario. En el caso de los depósitos se aplican sobre el plano de las caras y se recomiendan bases de doble soldadura para evitar la disolución de la soldadura por el metal base, para desarrollar una cicatriz de desgaste adecuada, la superficie debe rasparse como terreno plano para producir una superficie lisa y plana por lo menos de 63.4 mm de largo y 19.1 mm de ancho. [6].

## 2.3 ROCIADO TÉRMICO

El rociado térmico o metalización por proyección es un proceso que consiste en aplicar una o varias capas de un material sobre otro, con el fin de aumentar sus propiedades. Este proceso ha tenido gran éxito a la hora de la fabricación o mantenimiento de las piezas, las capas que podemos encontrar pueden ser metálicas, cerámicas, de polímeros o cualquier combinación, aunque en nuestro caso serán capas metálicas. Antes de realizar el proceso de rociado debe realizarse la preparación previa para garantizar una buena adherencia del material sobre la superficie base, para realizar la preparación debe tenerse en cuenta puntos como la forma de la pieza, el espesor de la capa que se desea o el tipo de material. Es muy recomendable que la superficie a cubrir este totalmente limpia y tener en cuenta que cualquier error en el proceso puede afectar el resultado esperado de la pieza. El proceso de rociado térmico es uno de los medios más eficaces que se hayan desarrollado para combatir el desgaste prematuro, al adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma se optimiza la disponibilidad del equipo, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil de los equipos y la maquinaria [2].

**2.3.1 Rociado térmico por llama.** Para la realización del proceso se utiliza una pistola que se encarga del material, que en este caso será en forma de polvo. En el proceso de rociado térmico por llama y alimentado con polvo, el polvo es transportado por el flujo de gas a través de la cámara de combustión de la pistola hasta salir, luego la fuerza de la llama hace que impacte sobre la superficie del material que se desea recubrir lo que hace que se presente una adherencia mecánica formando una superficie totalmente nueva [2].

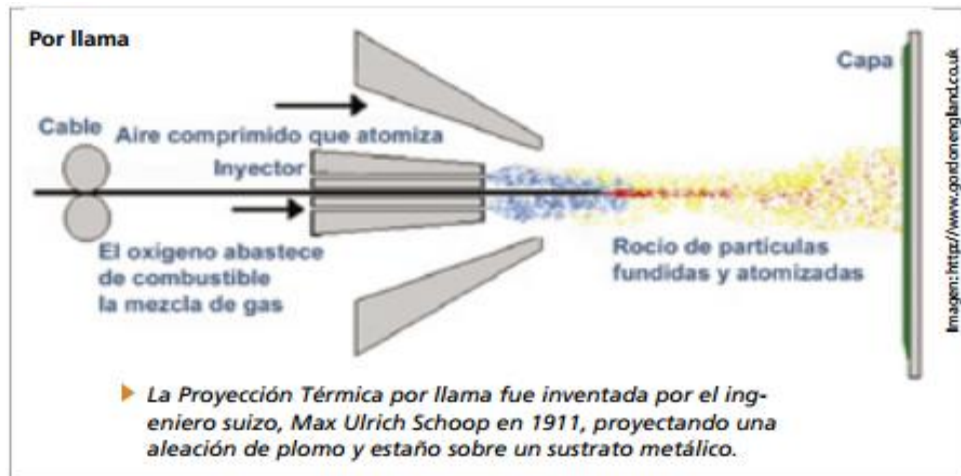


Figura 1: Proyección térmica por llama

Fuente: Termal spray. Protección de alto impacto

## 2.4 DESGASTE

El desgaste es un efecto producido en los elementos sometidos a la fricción y el calor, estas son las principales causas por las que se necesita realizar el mantenimiento o cambio de elementos de máquinas, mientras hayan dos superficies en contacto este efecto es inevitable, ya sea prematuro o lento. Aunque el desgaste no ocasiona fallas violentas, puede traer algunos problemas como pérdida de potencia o reducción de eficiencia de operación [3].

**2.4.1 Desgaste Adhesivo.** El desgaste adhesivo o de fricción se da cuando se encuentran dos superficies solidas en contacto y alguna o las dos se encuentra en movimiento haciendo presión una sobre la otra, la forma visible cuando ocurre este fenómeno es la ralladura de forma irregular que queda evidenciada en la superficies de las caras en contacto.

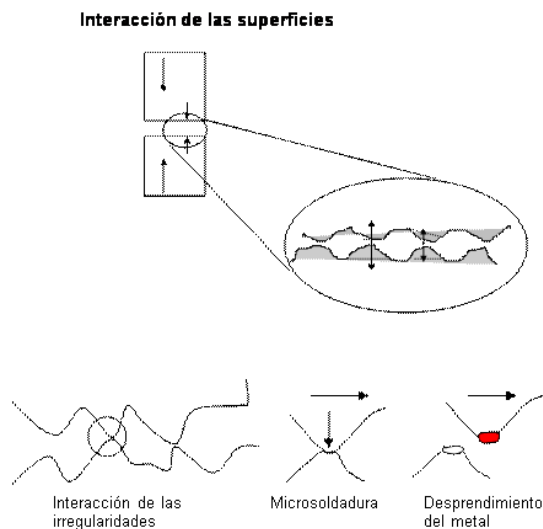


Figura 2: Características desgaste adhesivo.

Fuente: capítulo 3. Desgaste. López. < <http://lopezva.files.wordpress.com>>

Existen tipos de desgaste adhesivo como son el dado por pulido, superficial y profundo. Se debe tener en cuenta en los tipos de desgastes los parámetros más influyentes que son la velocidad, la temperatura, el tipo de material, la presión ejercida por el contacto, entre otras. Por ejemplo para el desgaste adhesivo por pulido encontramos marcas en la cara de las superficies. Se presenta en materiales de alto grado de incompatibilidad metalúrgica ( $k = 10^{-6} \div 10^{-8}$ ). El desgaste adhesivo superficial se da cuando la superficie en contacto está sometida por la otra a altas velocidades, ( $v = 3, 4 \text{ m/s}$ ), mayor temperatura ( $T = 1500^\circ\text{C}$ ) y bajo determinada presión, por ejemplo, si es un acero la tonalidad de la superficie es gris brillante como rastro del movimiento de la superficie que estuvo en contacto con ella. Estos son los parámetros para desgaste adhesivo superficial:

- Profundidad de la capa destruida.  $h = 500 \mu\text{m}$ .
- Tamaño de la partícula de desgaste  $d = 20 - 200 \mu\text{m}$ .
- Razón de desgaste  $W' = 5 - 15 \mu\text{m/h}$ .

- Coeficiente de desgaste  $k = 10^{-2} - 10^{-4}$ .
- Densidad de energía aparente  $e^* = 10^4 - 10^1 \text{ N-m/}$
- Intensidad lineal del desgaste  $l_h = 10^{-7} - 10^{-3}$
- Tensión de rotura de la unión  $n = 10^3 - 10^2 \text{ Mpa}$ . [3].

**2.4.2 Desgaste Abrasivo.** Este es el desgaste más común en la industria, se refiere al corte que realiza un material duro, sobre una superficie más suave, también podemos reconocerlos por la formación de ralladuras que se realiza cuando la partícula dura penetra la superficie, esto ocasiona deformación plástica. Otra forma de que haya desgaste abrasivo es cuando hay partículas duras entre dos superficies deslizantes en contacto. Este tipo de desgaste se puede presentar en seco o en presencia de líquido.

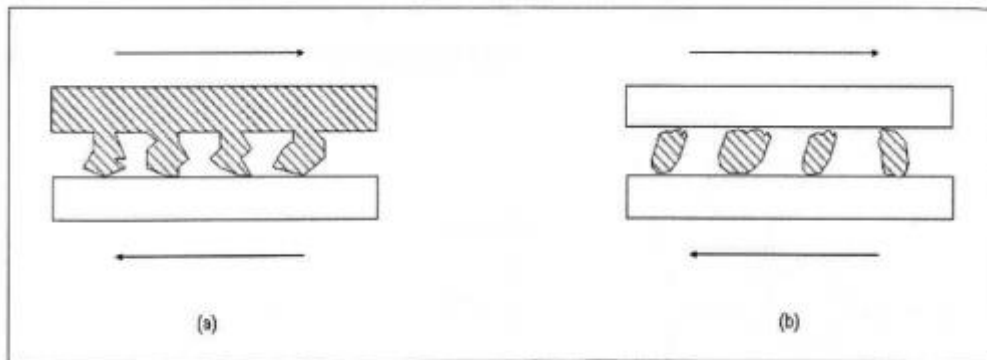


Figura 3: (a) abrasión por dos cuerpos (b) abrasión de tres cuerpos.

Fuente: tribología, fricción, desgaste y lubricación. Laboratorio de tecnología de materiales. unam. Felipe del castillo. Cautitlan Izcalli 2007.

Existen dos tipos de formas básicas de abrasión. Abrasión por desgaste entre dos cuerpos y abrasión por desgaste entre tres cuerpos. El desgaste por abrasión entre dos cuerpos ocurre cuando las protuberancias duras de una superficie son deslizadas contra otra. Un ejemplo de esto es el pulido de un elemento mediante uso de lijas. Por otra parte el desgaste por abrasión de tres cuerpos se presenta en sistemas donde las partículas tienen libertad de deslizarse o girar entre dos superficies en contacto, el caso de aceites lubricantes contaminados en un sistema de deslizamiento puede ser claro ejemplo de este tipo de abrasión, el desgaste entre dos cuerpos es generalmente más bajo que el de tres cuerpos [3].

## 2.5 RECUBRIMIENTOS

**2.5.1 Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).** Conocido como el óxido de aluminio es un material cerámico, junto con la sílice, es el componente más importante en la composición de arcillas y esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración. Tiene la particularidad de ser más duro que el aluminio y el punto de fusión de la alúmina son  $2072\text{ }^\circ\text{C}$  ( $2345,15\text{ K}$ ) frente a los  $660\text{ }^\circ\text{C}$  ( $933,15\text{ K}$ ) del aluminio, por lo que su soldadura debe hacerse a corriente alterna. Los cristales de óxido de aluminio presentan un sistema cristalino hexagonal y de tamaño muy fino (nm).



Fuente: Autor de proyecto. Figura 4: Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Sus propiedades son:

- Dureza Vickers: 1500-1650 kgf mm<sup>2</sup>.
- Densidad: 3,96-4,05 g/cm<sup>3</sup>.
- Módulo de elasticidad: 300-400 GPa [7].

El óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), comúnmente conocido como alúmina, se utiliza frecuentemente como una cerámica de ingeniería debido a su alto rendimiento con un precio asequible. Típicamente, la alúmina está disponible en los grados de pureza del 88% al 99,99% con las propiedades variando en consecuencia. La alúmina reforzada con dióxido de circonio es un tipo de alúmina modificada y más fuerte.

Los componentes de alúmina pueden ser fabricados mediante diferentes métodos, incluyendo el prensado, la extrusión, el colado y el moldeo por inyección. El método de fabricación depende, generalmente, del tamaño y la cantidad de componentes necesarios.

La alúmina empieza el proceso de fabricación siendo un polvo que, una vez comprimido, puede ser mecanizado si es necesario (conocido como "mecanizado en verde") antes de ser cocido. Después de ser cocida, la alúmina solo puede ser tratada con herramientas de diamante.

Se podría decir que es uno de los materiales cerámicos más rentables y, como resultado, es uno de los más extensamente utilizados. Su combinación de alta conductividad térmica y baja expansión térmica le confiere una buena resistencia al choque térmico. [9]

**2.5.2 Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>).** Es un compuesto químico, es utilizado en procesos de oxidación avanzada foto catalizada. Además, se usa como pigmento blanco. Es un material de un alto costo.

Sus propiedades son:

- Densidad: 4200 Kg/m<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: 2103 K (1830 °C).
- Punto de ebullición: 2773 K (2500 °C).
- Estructura cristalina: Rutilo [7].



Fuente: Autor de proyecto. Figura 5: Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

El dióxido de titanio existe como mineral: el Rutilo (una de sus tres formas cristalinas), pero un 95% del dióxido de titanio se fabrica industrialmente. Se utiliza como aislante eléctrico a temperatura ambiente debido a su conductividad eléctrica baja. La resistencia eléctrica del TiO<sub>2</sub> es sensible a los entornos gaseosos por lo cual puede utilizarse como sensor de oxígeno. El TiO<sub>2</sub> se utiliza como pigmento para pinturas, plásticos y papeles debido a su alto índice reflejante y a su escasez de absorción de luz visible. Resulta sencillo fabricarlo al tamaño requerido (alrededor de 0,2 micras) y es estable y no tóxico. Las investigaciones actuales intentan utilizar el TiO<sub>2</sub> como catalizador para la eliminación de los óxidos de nitrógeno en los escapes de las centrales eléctricas. [9]

**2.5.3 CASTOLIN EUTETIC 13495.** Es un material en polvo que consta de una aleación de Níquel de alto rendimiento, el cual es utilizado como recubrimiento para diferentes materiales y brinda una mayor dureza, a la abrasión, mejor

resistencia al desgaste; además de ser duradero. Su forma de adición a los diferentes materiales es por medio de la proyección térmica. Es un material certificado y cuenta con los más altos estándares de calidad es decir con granulometría precisa y asegura las ventajas ya mencionadas anteriormente.

#### DATOS TÉCNICOS:

Propiedades en polvo

Rango de fusión:

Solido 1760 ° F, Líquido; 2000 ° F, Horno de fusión; 2170 ° F (punto de ajuste)

Polvo de cobertura: 0.042 libras / ft<sup>2</sup> @ 0,001".

Coefficiente del flujo de Caudal: 18 segundos

Densidad: 4 g / cc

Propiedades del recubrimiento

Dureza típica: escala Rockwell C, 49

Densidad: 7,6 g / cc

Contracción de fusión: 17-20%. [ ]

## 2.6 DUREZA

La dureza se define como la propiedad de la capa superficial de resistir a la deformación elástica, plástica y destrucción cuando se le aplican esfuerzos de contacto inferidos por otro cuerpo más duro y que no sufre deformaciones. Las pruebas de dureza comunes se basan en la aplicación de una carga fija a un punto que se abre paso sobre la superficie lisa de la muestra. Una vez se quita la

carga, se mide el área o profundidad de penetración, lo cual indica la resistencia a la carga.

**2.6.1 Dureza Vickers.** Este método permite medir dureza en prácticamente todos los materiales metálicos independientemente del estado en que se encuentren y de su espesor.

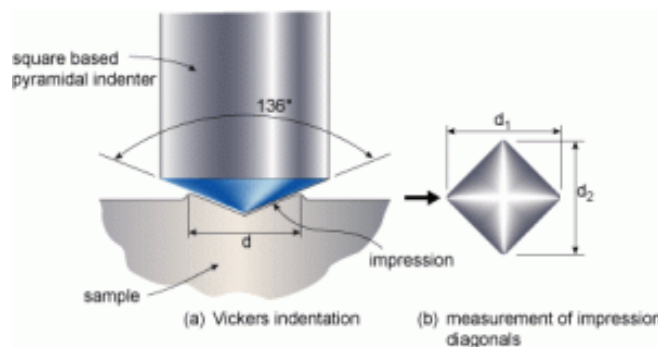


Figura 6: medición de dureza Vickers

Fuente: Propiedades físico - mecánicas de los materiales. Nov 2013

<<http://fradeblogs.wordpress.com/>>

El procedimiento emplea un penetrador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada. Este penetrador es aplicado perpendicularmente a la superficie donde se va a medir la dureza. Esta carga es mantenida durante un cierto tiempo, después del cual es retirada y medida las diagonales del rombo de la impresión que quedó sobre la superficie de la muestra. Con este valor y utilizando tablas apropiadas se puede obtener la dureza Vickers, que es caracterizada por HV y definida como la relación entre la carga aplicada (expresada en Kg·f) y el área de la superficie lateral de la impresión.

## **2.7 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (MEB)**

La microscopía electrónica de barrido se realiza en el microscopio electrónico de barrido en el cual un campo magnético permite enfocar los electrones y obtener una imagen tridimensional de la superficie de las estructuras permitiendo la observación y la caracterización de los materiales. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta una imagen de la misma en el monitor. El trayecto del haz de electrones es modificado por un conjunto de bobinas deflectoras que lo hacen recorrer la muestra punto por punto y a lo largo de líneas paralelas (barrido). El MEB tiene una resolución de 10 nm y una profundidad de foco de 10 mm, mucho menor que el microscopio electrónico de transmisión. La ventaja del MEB es que proporciona imágenes tridimensionales, ya que éste específicamente examina la superficie de las estructuras y puede ampliar los objetos 200000 veces o más.

Las aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido son muy variadas, van desde la industria petroquímica o metalurgia hasta la medicina forense y sus análisis proporciona datos como textura y forma de la muestra, La preparación de las muestras es relativamente sencilla las principales características son: muestra sólida, conductora, en caso contrario, la muestra es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra

## **2.8 EQUIPOS**

**2.8.1 Balanza SARTORIUS BP 211D.** Son balanzas precisas y de fácil manejo, las balanzas analíticas establecen nuevos estándares, respecto a la tecnología, la calidad y el equipamiento. Posee un rango de pesaje escalonado con precisión de 110 gramos a 210 gramos.

Algunas características son las siguientes: pesa de calibración integrada accionada por motor, la pantalla posee iluminación y tiene un tamaño de dígitos de 16 mm; además tiene una célula de pesaje monolítico y protector contra corrientes de aire de grandes dimensiones.

**2.8.2 Pistola de proyección térmica por llama.** Es un sistema por llama el cual es denominado porque utiliza combustibles como fuentes de combustión. El material del recubrimiento es compuesto por elementos ferrosos como: aleaciones de aluminio con zinc, vienen en polvo igual que algunos recubrimientos conseguidos en la industria que son mezcla de un material cerámico con un material metálico conocidos como cermet.

**2.8.3 Máquina PIN ON DISK.** El pin on disk es una máquina que permite realizar ensayos de desgaste adhesivo. Para realizar dichos ensayos es importante revisar la norma ASTM G99-05 y resaltar los puntos más importantes, sabiendo que es un método estándar para la obtención de datos válidos y creyentes. Cuenta con una estructura rígida donde en ella se contiene un motor el cual le va a dar el movimiento angular a la probeta o disco a ensayar; además de un acople de una estructura en donde se aloja el disco y un sistema mecánico para el aseguramiento de él, y así impedir que el disco salga disparado por el movimiento centrifugo. En la sección de alojamiento del pin tiene una estructura diseñada para aumentar o disminuir cierta cantidad de masa para variar la fuerza en contacto que debe hacer el pin de forma perpendicular al disco sabiendo que la masa por la gravedad es igual a la fuerza; además de que dicha estructura es movable de forma horizontal para la variación de la distancia o radio en la que debe ponerse el pin al disco.

Los parámetros que se consideran en el ensayo son:

- Carga normal en el área de contacto.
- Velocidad de deslizamiento.
- Distancia acumulada.
- Rugosidad de la contracara.
- Temperatura cercana a la zona de contacto.
- Ambiente del laboratorio.

Posee varios elementos importantes que son:

- motor eléctrico de tres fases de 1 hp de potencia, el cual es el que hace girar por medio del rodete al disco que se va a ensayar.
- Un variador de frecuencia que va ligado al motor para controlar la velocidad de giro el cual va hacer accionado el rodete o eje y así la velocidad del disco.
- Un pin que coloca de forma perpendicular a la superficie del disco a cierto radio de él.
- Un mecanismo ajustable para controlar en que radio este pin marcara la trayectoria del disco.

**2.8.4 Durómetro HARTIP 1500.** Es un dispositivo portátil el cual nos ayuda a determinar de manera precisa la dureza que posee los diferentes tipos de materiales sin importar el tamaño que los constituye y que tipo de material es. Por ser una herramienta portátil se pueden realizar la toma de datos en cualquier superficie de la pieza y en cualquier lugar donde se encuentre. Mide las durezas (HV, HR, HB).

Sus características son las siguientes:

- Tamaño compacto similar al de la palma de la mano.

- Alta precisión.
- Desconexión automática de encendido y apagado.

Algunas especificaciones son:

- Opción re calibración
- Pantalla: LCD
- Conversión: HL-HRC-HRB-HB-HV-HSD.
- Encendido / apagado: Auto
- Fuente de alimentación: batería recargable de 9V DC
- Dimensiones: 3.9 "x 2.3" x 1.3 "
- Peso: 5,2 oz

**2.8.5 Máquina medidora de desgaste abrasivo.** Es una máquina construida según los parámetros consignados en la norma ASTM G65-04. Es una máquina para ensayos de abrasión utilizando así la arena fina como elemento abrasivo la cual fluye uniformemente y constantemente sin cambios a razón de 300 gramos por minuto. Está constituida por una tolva, la cual contiene el material abrasivo. Una boquilla de dimensiones específicas por la cual sale el material abrasivo y pasa por el medio de dos elementos que son la probeta rectangular la cual se le está ensayando y un rodete que gira a determinada velocidad según la norma. También posee un variador de frecuencia el cual varía la velocidad del motor y así la velocidad de giro de la rueda; además tiene un motor de 1 hp, eléctrico de tres fases.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología muestra el procedimiento realizado para la determinación de la dureza y resistencia al desgaste por abrasión y adhesión para el acero AISI 1020 recubierto por rociado térmico con las mezclas de castolin eutetic 13495 y ( $Al_2O_3$  o  $TiO_2$ ), corresponde a la fecha desde que se realizó las compras de los materiales utilizados para los diferentes depósitos.

#### 3.1 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA REALIZACION DE PROBETAS

Con el fin de garantizar la calidad certificada de los materiales, se realizó la compra del acero AISI 1020 en Compañía General de Aceros S.A. Las dimensiones y cantidades de las probetas fueron:

- Cortes lámina s-1020 negro rectangular (9.53mmx28.00mmx80.00mm).
- Cortes redondo s-1020 negro (88.90mmx10mm).
- Cortes redondo s- 4140 (12.70mmx1000.00mm).

REFERENCIA MATERIAL	CANTIDAD
s-1020 negro rectangular	42
redondo s-1020 negro	21
s- 4140	2

Tabla 2: Materiales de acero. Fuente: autor de proyecto.

### **3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE LOS MATERIALES $Al_2O_3$ Y $TiO_2$ .**

Se enviaron los diferentes depósitos a la Universidad Industrial de Santander con el fin de realizar la microscopia electrónica de barrido para obtener las tablas, imágenes y gráficas de los diferentes recubrimientos a utilizar.

El proceso siguiente es calcular el tamaño de partículas y seleccionar el número para el  $Al_2O_3$  y  $TiO_2$ .

Luego se realizó el análisis EDS para los materiales  $Al_2O_3$  y  $TiO_2$  obtenida por la microscopia electrónica de barrido. Se hallara la composición de los materiales en datos porcentuales de peso atómico y se comparara con las relaciones porcentuales de la tabla periódica de elementos, esto para comprobar si la composición de los materiales se afecta.

Se procederá a calcular el porcentaje de error de los datos suministrados anteriormente y se realizara el análisis de los resultados con respecto a la caracterización química y morfológica de los materiales  $Al_2O_3$  y  $TiO_2$ .

### **3.3 ADECUACIÓN DE PROBETAS**

Con los materiales ceramicos se llevó a cabo la adecuación de las probetas para realizar los depósitos con los diferentes de mezclas de los materiales castolin eutetic 13495 y ( $Al_2O_3$  o  $TiO_2$ ). Se realizó un pulido superficial a las probetas rectangulares y circulares; además del corte de la varilla de acero AISI 4140 para la fabricación de los pines con dimensione de 40mm de largo, diámetro de 9mm con una tolerancia de +0.2 y una punta en un extremo del pin de 4mm.

Para garantizar la adherencia del material a las probetas se debe garantizar que la superficie se encuentre en perfecto estado, para ello se realizaron dos procesos de vital importancia:

**3.3.1 Maquinado.** Este proceso consiste en remover la capa superior de la probeta con el fin de dejar la superficie totalmente lisa como se muestra en la figura 7 y figura 8 para proceder al realizar el granallado. Este proceso se realizó con ayuda de la máquina fresadora universal para las probetas rectangulares y el torno para las probetas circulares. Estos equipos se encuentran a disposición de los estudiantes en el laboratorio de procesos industriales de la Universidad Pontificia Bolivariana



Fuente: Autor de proyecto. Figura 7. Probetas circulares maquinadas



Fuente: Autor de proyecto. Figura 8. Probetas rectangulares maquinadas



Fuente: Autor de proyecto. Figura 7: Pasadores AISI 4140.

**3.3.2 Granallado.** El proceso de granallado consiste en aplicar un chorro de arena a presión sobre la superficie de la probeta anteriormente maquinada con el fin de eliminar los contaminantes de la superficie y lograr una correcta terminación superficial para luego proceder a realizar los depósitos.



Fuente: Autor de proyecto. Figura 8: Proceso de granallado.



Figura 9: Probeta granallada. Fuente: Autor de proyecto.

### **3.4 REALIZACIÓN DE MEZCLAS VOLUMÉTRICAS DE (CASTOLIN EUTETIC 13495 Y $Al_2O_3$ ) Y (CASTOLIN EUTETIC 13495 Y $TiO_2$ ) EN PORCENTAJES DETERMINADOS**

En este proceso se realizaron las mezclas volumétricas de los materiales (castolin eutetic 13495 y  $Al_2O_3$ ) y (castolin eutetic 13495 y  $TiO_2$ ) que van a ser utilizados como depósitos para las probetas rectangulares y circulares de acero AISI 1020. Este proceso se llevó a cabo gracias a una probeta de medición volumétrica prestada por el laboratorio de química general de la Universidad Pontificia Bolivariana. Se hicieron mezclas de los siguientes porcentajes:

Mezcla 1: 100% EUTETIC 13495

Mezcla 2: 80% EUTETIC 13495 + 20%  $TiO_2$

Mezcla 3: 60% EUTETIC 13495 + 40%  $TiO_2$

Mezcla 4: 55% EUTETIC 13495 + 45%  $TiO_2$

Mezcla 5: 50% EUTETIC 13495 + 50%  $\text{TiO}_2$

Mezcla 6: 40% EUTETIC 13495 + 60%  $\text{TiO}_2$

Mezcla 7: 80% EUTETIC 13495 + 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Mezcla 8: 60% EUTETIC 13495 + 40%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Mezcla 9: 55% EUTETIC 13495 + 45%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Mezcla 9: 50% EUTETIC 13495 + 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Mezcla 9: 40% EUTETIC 13495 + 60%  $\text{Al}_2\text{O}_3$



Fuente: Autor de proyecto. Figura 10: Recubrimientos utilizados 1.



Fuente: Autor de proyecto. Figura 11: Recubrimientos utilizados 2.

### 3.5 REALIZACIÓN DE DEPÓSITOS POR MEDIO DEL ROCIADO TÉRMICO POR LLAMA A LAS PROBETAS RECTANGULARES DE ACERO AISI 1020

Este proceso es desarrollado por lotes de seis probetas rectangulares y tres circulares, cada lote fue recubierto con los porcentajes de mezclas ya mencionados anteriormente. Este proceso consiste en calentar el material por medio de una llama de oxi-combustible hasta alcanzar una temperatura ideal para luego realizar la los depósitos por medio del proceso de proyección térmica por llama. El dispositivo es una pistola especial que se encarga de fundir la mezcla y conducirla hacia la superficie de la probeta.



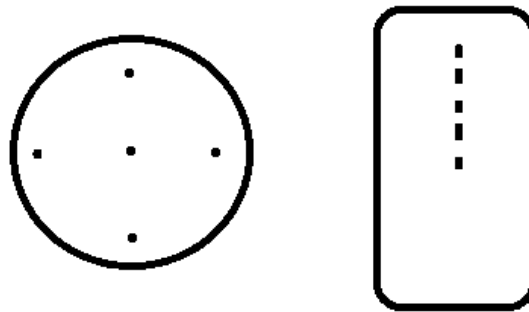
Fuente: Autor de proyecto. Figura 12: Probetas recubiertas.



Fuente: Autor de proyecto Figura 13: Pistola de proyección térmica.

### 3.6 PRUEBAS DE DUREZA

Basados en la documentación leída sobre la realización de ensayos de dureza se tomaron en cuenta 10 puntos en las probetas para realizar las pruebas de los cuales se toman 5 puntos específicos con el fin de hacer lo más precisa posible la toma de datos y promediarlos como se muestra en la tabla de resultados.



Fuente: Autor de proyecto. Figura 14: Puntos de ensayo de dureza.

Fue utilizado el equipo medidor de dureza HARTIP 1500 el cual tiene una exactitud de 0.4% aproximadamente establecido por el fabricante, a través de él se midió la dureza Vickers sobre las diferentes probetas. Se configura para la prueba de dureza Vickers de la siguiente manera.

- Se prende el instrumento medidor de dureza HARTIP 1500
- Oprimiendo el botón M, encontramos la opción de dirección la cual se ajusta verticalmente hacia abajo ↓
- Oprimiendo el botón M nuevamente, se encuentra la opción del material el cual se ajusta en M1 que corresponde a piezas de acero
- Oprimiendo nuevamente M, encontramos la opción tipo de prueba la cual se ajusta en HU que corresponde a la medida de dureza vickers.

- Finalmente se oprime nuevamente M y encontramos la opción promedio la cual se ajusta en 5 para que el medidor quede listo para su uso.



Figura 15: Durómetro hartip 1500. Fuente autor del proyecto.

### **3.7 PRUEBA DE DESGASTE ABRASIVO**

Para la realización de la prueba de desgaste abrasivo se utiliza una máquina medidora de desgaste abrasivo basada en la norma ASTM G65-04 (REAPROBADA en el 2010) método de prueba estándar para medir la abrasión utilizando arena seca y rueda de caucho, que se encuentra en el laboratorio de procesos industriales de la Universidad Pontificia Bolivariana. Para el desarrollo de los ensayos se tuvieron en cuenta los parámetros principales para la medición de desgaste abrasivo entre los cuales se destacan:



Fuente: Autor de proyecto. Figura 16: Máquina medidora de desgaste abrasivo.

- La rueda debe girar a una velocidad de 200 rpm.
- La rueda de caucho de clorobutilo fue cambiada en la fabricación de la máquina medidora de abrasión debido a su elevado costo.
- El flujo de arena debe ser de 300 a 400 g/min.
- La arena debe estar tipificada con AFS 50/70 y su porcentaje de humedad no debe ser mayor a 0.5% de su peso.

<b>Tamiz (U.S size)</b>	<b>Tamaño de la abertura del tamiz</b>	<b>% Retenido en el tamiz</b>
40	425 $\mu\text{m}$ (0.0165 in.)	no
50	300 $\mu\text{m}$ (0.0117 in.)	5% max
70	212 $\mu\text{m}$ (0.0083 in.)	95% min
100	150 $\mu\text{m}$ (0.0059 in.)	no pasa

Tabla 3: características del tipificado de arena AFS 50/70. Fuente: Norma ASTM G65-04 (REAPROBADA EN EL 2010).

Luego de verificar los parámetros que se deben tener en cuenta se procede a seguir una serie de pasos que permitirá un óptimo desarrollo de la prueba:

- Inicialmente se debe limpiar y pesar los especímenes en una balanza con 0.0001g de margen de error para obtener la masa inicial de cada uno de ellos, esta balanza es proporcionada por el laboratorio de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana.



Figura 17: Balanza de 0.0001g de margen de error. Fuente: Autor de proyecto

- Se introducen las probetas con una medida de (0.375x1.1023x3.14) in perpendicularmente al eje de transmisión para iniciar la prueba, el tiempo de ensayo está dado por la norma y se comprende en tiempos de (0.5, 5, 10,30) min.
- Luego de terminar cada prueba, se retira la probeta y se limpia el equipo para eliminar los residuos y se procede a realizar el proceso de pesaje para así conocer la masa final del espécimen.



Fuente: Autor de proyecto Figura 18: Acondicionamiento de probetas en la máquina.



Figura 19: Interior máquina medidora de desgaste abrasivo. Fuente: Autor de proyecto

### **3.8 PRUEBA DESGASTE ADHESIVO**

Para la realización de las pruebas de desgaste adhesivo se tienen en cuenta parámetros definidos en la norma G99-05 para garantizar la precisión de resultados obtenidos.

- En primer lugar se deben mantener totalmente limpias las probetas y los pines con el fin de que no se adhieran partículas externas a ellas y garantizar que la superficie recubierta no se altere en ninguna forma, luego

se procede a pesar las probetas en la balanza de 0.0001g debidamente calibrada, esta balanza es proporcionada por el laboratorio de aguas residuales de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana.

- Luego de obtener las masas iniciales de las probetas se procede a insertarlas en el Tribómetro pin-on-disk que se encuentra en el laboratorio de procesos industriales y añadir las masas iniciales para garantizar la carga establecida por la norma ASTM G99-05, en nuestro caso los pasadores son de acero AISI 4140 y los discos son de acero AISI 1020 recubiertos con las diferentes porcentajes de mezclas respectivamente.



Fuente: Autor de proyecto Figura 20: Tribómetro pin on disk.

- En este paso se coloca el disco y se ajusta de manera segura para la prueba, igual que el pin.
- Se coloca el pin a la distancia que va a rallar la probeta o disco y se ajustan las masas para que se aplique la carga requerida según la norma ASTM G99-05.
- Luego se inicia la prueba para la distancia que se ha establecido según la norma, al alcanzar la distancia recorrida en este caso giros de la probeta se

detiene la máquina, se retira y se limpia la probeta para continuar de nueva al proceso de pesaje y así conocer su masa final.

- Este proceso se repite nuevamente para las diferentes distancias al centro del disco y para las diferentes probetas que fueron recubiertas para obtener una base de datos en términos de pérdida de masa y poder proceder al desarrollo de los respectivos cálculos.

<b>CONDICIONES DE LA PRUEBA</b>			
<b>CARGA APLICADA [N]</b>	<b>10,2</b>	<b>10,2</b>	<b>10,2</b>
<b>VELOCIDAD ANGULAR [RPM]</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA [M]</b>	<b>250</b>	<b>750</b>	<b>1000</b>
<b>NUMERO DE GIROS</b>	<b>3980</b>	<b>5971</b>	<b>5307</b>
<b>DIAMETRO DE CONTACTO [M]</b>	<b>0.02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>
<b>TEMPERATURA DE TRABAJO [°C]</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

Fuente: Norma ASTM G99-05 (REAPROBADA EN EL 2010). Tabla 4:  
Condiciones para ensayos Tribómetro Pin on Disk

### **3.9 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LOS DIFERENTES ENSAYOS.**

Para la obtención de la información después de realizar los ensayos de dureza, desgaste abrasivo y adhesivo se deben crear unas tablas que permitan mostrar la repetitividad de las pruebas tomadas, así con esto tener un orden de los resultados para su fácil análisis.

Para la caracterización química y morfológica se enviaron muestras de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> a los laboratorios de microscopia electrónica de barrido de la Universidad de Santander. Con respecto a lo entregado por el laboratorio se procede a realizar el análisis y cálculos de porcentajes de error con respecto a información suministrada por la tabla periódica.

Para la prueba de dureza de las probetas recubiertas por los diferentes porcentajes de mezclas, se le tomó a cada probeta 6 ensayos para así poder obtener resultados válidos.

Para la prueba de desgaste abrasivo seguimos la norma ASTM G65-04 según los parámetros mencionados en la prueba de desgaste de abrasión anteriormente. Con el fin de obtener la masa perdida en gramos por cada probeta recubierta.

Para la prueba de desgaste adhesivo nos guiamos por la norma ASTM G99-05 según los parámetros mencionados anteriormente en la prueba de desgaste adhesivo. Con el fin de obtener la masa perdida en gramos por cada probeta recubierta.

### **3.10 EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN OBTENIDA POR CADA PRUEBA**

Después de obtener los resultados de los ensayos y microscopia electrónica de barrido precedemos:

A realizar el análisis, hallar el tamaño de partículas, composición química, cálculos de porcentajes de error con respecto a información suministrada por la tabla periódica.

A calcular el volumen perdido de cada probeta y realizar las respectivas gráficas que relacionan el volumen perdido del disco y pin por el recorrido realizado. Igualmente con las probetas rectangulares pero en este caso será el volumen perdido por el número de giros de la rueda.

A calcular la dureza de cada probeta y realizar graficas con respecto a los porcentajes de la mezcla en este caso castolin eutetic 13495 con ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{TiO}_2$ )

### **3.11 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS SUMINISTRADOS POR LOS ENSAYOS DE DUREZA, ABRASIÓN, ADHESIÓN Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

Según los objetivos planteados se presenta la construcción de un documento final donde irán los datos obtenidos de los diferentes ensayos (dureza, desgaste abrasivo y adhesivo) y la microscopia electrónica de barrido.

Es importante recalcar que con el proyecto realizado y el documento entregado a la Universidad Pontificia Bolivariana servirá como base para los siguientes estudios con respecto a diferentes materiales y mezclas con recubrimientos depositados por rociado térmico.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MEZCLA DE CASTOLIN EUTETIC 13495 Y ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ Y $\text{TiO}_2$ ) POSIBLE PARA REALIZAR DEPÓSITOS EN MÁQUINA DE PROYECCIÓN TÉRMICA POR LLAMA SUMINISTRADA POR LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Se llevó a cabo la composición de mezclas volumétricas ya estipuladas anteriormente y se realizaron los depósitos en la máquina de proyección térmica por llama de la Universidad Pontificia Bolivariana. Donde por cada material cerámico se tomó una referencia de un 60% y se fue disminuyendo en la cantidad de la mezcla.



Fuente: Autor de proyecto Figura 21: Adición de porcentajes de mezcla.

En las probetas de acero AISI 1020 precedimos a verificar si se podían realizar los depósitos con los siguientes porcentajes de mezcla y se obtuvieron los

siguientes resultados para la pistola de proyección térmica por llama de la Universidad Pontificia Bolivariana.

PORCENTAJE DE MEZCLA	VISTO DE LOS DEPOSITOS
40% EUTETIC 13495 + 60% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NO
50% EUTETIC 13495 + 50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NO
55% EUTETIC 13495 + 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SI
60% EUTETIC 13495 + 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SI
80% EUTETIC 13495 + 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SI
40% EUTETIC 13495 + 60% TiO <sub>2</sub>	NO
50% EUTETIC 13495 + 50% TiO <sub>2</sub>	NO
45% EUTETIC 13495 + 55% TiO <sub>2</sub>	SI
60% EUTETIC 13495 + 40% TiO <sub>2</sub>	SI
80% EUTETIC 13495 + 20% TiO <sub>2</sub>	SI
100% EUTETIC	SI

Fuente: Autor de proyecto. Tabla 5: Mezclas empleadas para determinación de porcentajes.

Se encontró que para ambos tipos de mezcla el porcentaje máximo que se puede utilizar la máquina de proyección térmica por llama es de 45% de volumen de materiales Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o TiO<sub>2</sub> y el porcentaje de volumen restante de la mezcla con castolin eutetic , con lo que se estableció otro nuevo rango para la realización de

depósitos que fue de 0% a 45% de volumen de materiales cerámicos, con el fin de poder realizar los diferentes ensayos de dureza, desgaste adhesivo y desgaste abrasivo permitiendo el estudio de su comportamiento frente a las pruebas.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE LOS MATERIALES $Al_2O_3$ Y $TiO_2$ .

Se enviaron los diferentes depósitos a la Universidad Industrial de Santander con el fin de realizar la microscopía electrónica de barrido para obtener las tablas, imágenes y gráficas de los diferentes recubrimientos a utilizar.

<i>Tamaño de partículas [um]</i>				
0,55	0,69	0,51	0,94	0,89
0,39	0,26	0,24	0,26	0,6
0,30	0,18	0,18	0,44	0,5
0,56	0,69	1,11	0,99	0,47
0,29	0,73	0,89	0,63	0,63
0,28	1,6	0,49	1	0,79
0,76	0,62	0,53	0,97	0,4
0,67	0,48	1,06	0,95	0,38
0,63	1,18	1,34	0,69	1,09
0,59	0,43	0,48	0,33	0,44
0,61	0,46	0,33	0,42	0,45
0,18	0,91	0,93	0,27	0,77
0,40	0,71	0,43	0,91	1,01
1,39	1,24	1,26	1,65	1,09
0,85	0,58	0,82	0,23	

Fuente: autor de proyecto. Tabla 6: Proceso de selección número para  $Al_2O_3$ .

<i>Tamaño de partículas [um]</i>	
0,83	1,17
1,56	0,77
1,13	0,95
1,2	0,93
0,9	1,06
$S = 0,2302655$	
$Pmd. = 1,05$	
$n = 74 \text{ datos}$	

Fuente: Autor de proyecto. Tabla 7: Premuestras para ensayos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>..

<i>Tamaño de partículas [um]</i>	
0,17	0,19
0,16	0,14
0,15	0,18
0,18	0,13
0,13	0,15
$S = 0,02149935$	
$Pmd. = 0,158$	
$n = 28 \text{ datos}$	

Fuente: autor de proyecto. Tabla 6: Premuestras para ensayos de TiO<sub>2</sub>.

<i>Tamaño de partículas [um]</i>				
0,17	0,13	0,18	0,13	0,15
0,16	0,19	0,18	0,18	0,21
0,15	0,14	0,15	0,1	0,11
0,18	0,18	0,17	0,12	0,09
0,05	0,12	0,12	0,17	0,1
0,05	0,12	0,19		

Fuente: autor de proyecto. Tabla 7: Proceso de selección número para TiO<sub>2</sub>.

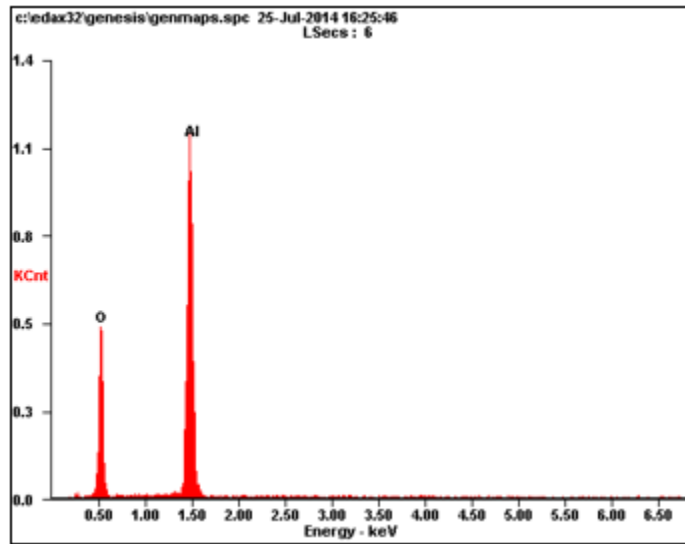
### 4.3 ANÁLISIS EDS Y COMPROBACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PARA MATERIALES PROCESADOS

En esta sección del capítulo se muestra el análisis EDS para la alúmina y dióxido de titanio obtenido a través de microscopía electrónica de barrido. En las siguientes tablas se plasman los porcentajes de peso atómico de cada material que se deben comparar con las relaciones porcentuales teniendo como referencia la tabla periódica de elementos, esto para comprobar si la composición de los materiales se afecta.

#### 4.3.1 Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

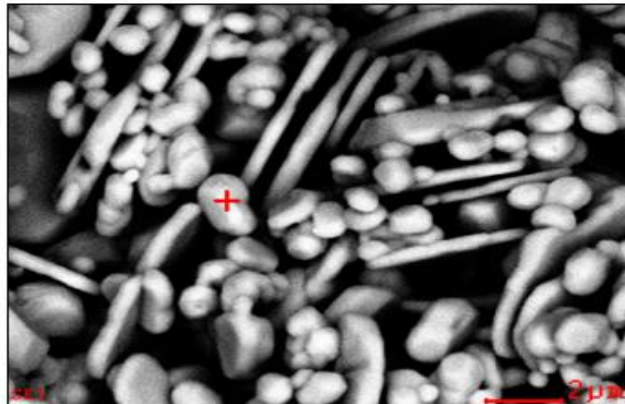
<i>Elemento</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>Aluminio (Al)</i>	<i>57,55</i>	<i>44,56</i>
<i>Oxigeno (O)</i>	<i>42,45</i>	<i>55,44</i>

Fuente: Autor de proyecto. Tabla 8: Proporción de peso y número atómico de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



Grafica 1: Análisis EDS Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará.



Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará. Figura 22: Características microscopía electrónica de barrido-alúmina.

$$\text{At Al} = 26,98 \text{ g/mol}$$

$$\text{At O} = 15,99 \text{ g/mol}$$

$$\text{At Al}_2 = \text{At Al} * 2 = 53,96$$

$$\text{At O}_3 = \text{At O} * 3 = 47,97 \text{ g/mol}$$

$$\text{At Al}_2\text{O}_3 = \text{At Al}_2 + \text{At O}_3 = 101,93 \text{ g/mol}$$

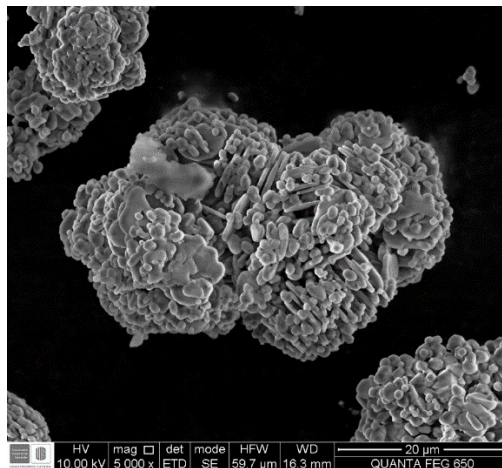
$$\% \text{At Al}_2 = \frac{\text{At Al}_2}{\text{At Al}_2\text{O}_3} * 100 = \frac{53,96 \text{ g/mol}}{101,93 \text{ g/mol}} * 100 = 52,93\%$$

$$\% \text{At O}_3 = \frac{\text{At O}_3}{\text{At Al}_2\text{O}_3} * 100 = \frac{47,97 \text{ g/mol}}{101,93 \text{ g/mol}} * 100 = 47,07\%$$

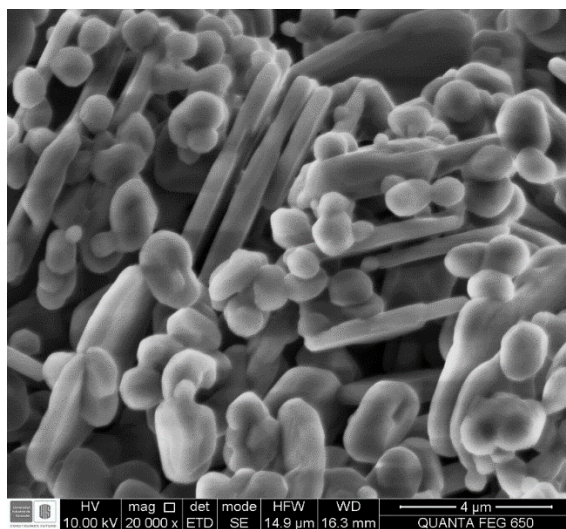
A continuación se calcula el error que hay entre porcentajes de peso atómico arrojados por el análisis EDS y los calculados en base a la tabla periódica, en este caso para el alúmina.

$$e = \frac{\text{At Al}_2\text{r} - \text{At Al}_2\text{m}}{\text{At Al}_2\text{r}} * 100 = \frac{52,93\% - 44,56\%}{52,93\%} * 100$$

$$e = 15,81\%$$



. Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará.. Figura 23: Imagen microscópica alumina1

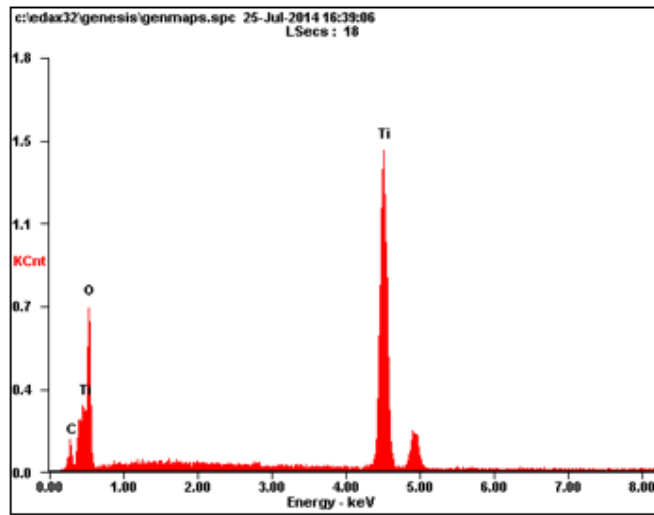


Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará. Figura 24: Imagen microscopia alúmina 2.

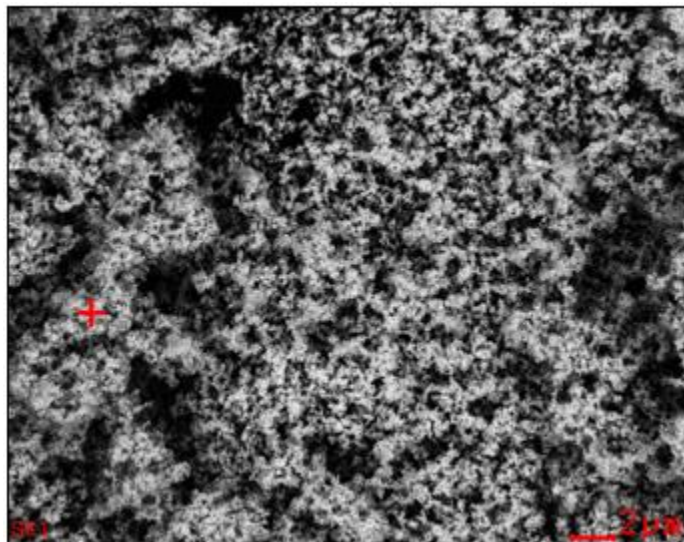
#### 4.3.2 Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>).

<i>Elemento</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>Titanio(Ti)</i>	52,12	26,13
<i>Carbono(C)</i>	4,06	8,11
<i>Oxigeno (O)</i>	43,82	65,76

Fuente: autor de proyecto. Tabla 9: Proporción de peso y número atómico de TiO<sub>2</sub>.



Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará. Grafica 2: Análisis EDS TiO<sub>2</sub>



Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará.. Figura 25: Características microscopia electrónica de barrido-Dióxido de Titanio.

$$\text{At Ti} = 47,86 \text{ g/mol}$$

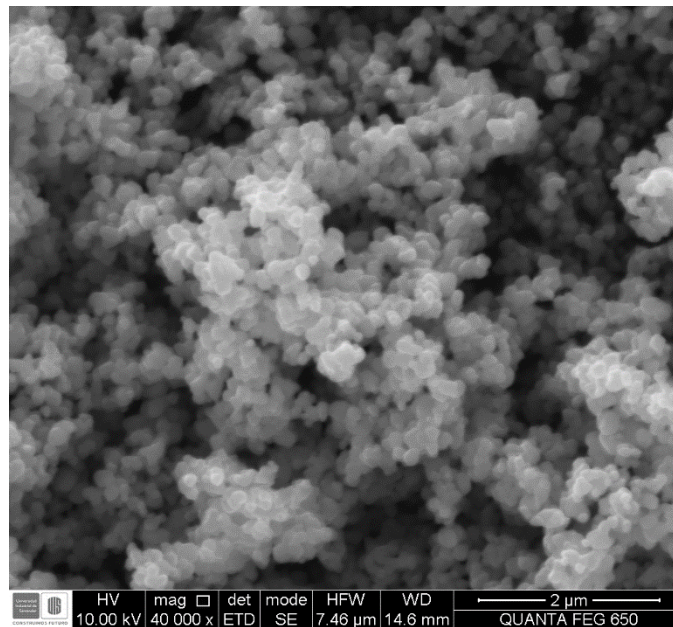
$$\text{At O} = 15,99 \text{ g/mol}$$

$$\text{At O}_2 = \text{At O} * 2 = 31,98 \text{ gr/mol}$$

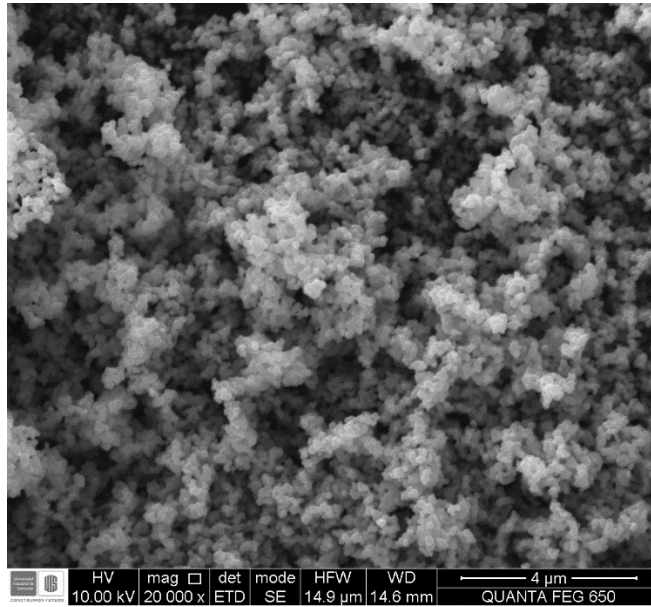
$$\text{At TiO}_2 = \text{At Ti} + \text{At O}_2 = 79,84 \text{ g/mol}$$

$$\% \text{At Ti} = \frac{\text{At Ti}}{\text{At TiO}_2} * 100 = 59,94\%$$

$$\% \text{At O}_2 = \frac{\text{At O}_2}{\text{At TiO}_2} * 100 = 40,06\%$$



Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatigará.. Figura 26: Imagen microscopia Dióxido de Titanio1.



Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica, Universidad Industrial de Santander (UIS), Sede Guatiguará.. Figura 27: Imagen microscópica Dióxido de Titanio 2.

A continuación se calcula el error relativo que hay entre porcentajes de peso atómico arrojados por el análisis EDS y los calculados en base a la tabla periódica, en este caso para el dióxido de titanio.

$$e = \frac{At_{Tir} - At_{Tim}}{At_{Tir}} * 100 = \frac{59,94\% - 26,13\%}{59,94\%} * 100$$

$$e = 56,4\%$$

Al realizar los cálculos pertinentes para evaluar el porcentaje de error de las composiciones de los materiales ensayados, se obtienen valores de 56,64 % para el TiO<sub>2</sub> y 15,81% para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, lo cual se puede concluir que las composiciones claramente se ven afectadas y no tienen el tamaño micrométrico deseado. Se razona esto debido a que se permite un error máximo del 5 %, sin embargo se

continuó con el desarrollo del proyecto por falta de recursos para nuevas pruebas de microscopía.

#### 4.4 ENSAYO DE DUREZA

Luego de realizar las pruebas de dureza se tabularon los datos para cada uno de los porcentajes de mezcla respectivamente.

Dureza mezcla EUTETIC 13495 – Alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:

100% EUTETIC 13495					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	215	352	344	327	327
toma 2	183	115	100	189	141
toma 3	256	240	261	245	247
toma 4	122	144	148	178	126
Toma 5	260	247	264	234	218
promedio	207,2	212,2	223,4	234,6	211,8
promedio total					217,8

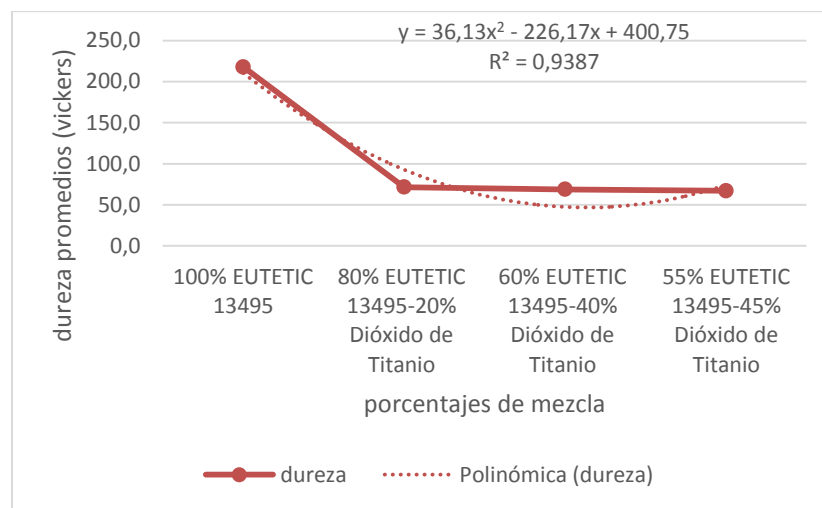
Fuente: Autor de proyecto. Tabla 10: Dureza 100% EUTETIC 13495.

80% EUTETIC 13495-20% Alúmina					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	70	71	82	73	74
toma 2	84	82	82	72	72
toma 3	83	75	73	73	74
toma 4	86	83	74	73	82
Toma 5	76	78	75	86	76
promedio	79,8	77,8	77,2	75,4	75,6
promedio total					77,2

Fuente: Autor de proyecto. Tabla 11: Dureza 80% EUTETIC 13495 - 20% alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A partir de los datos obtenidos y graficados de las probetas con diferentes porcentajes de mezclas de EUTETIC 13495 Y ( $Al_2O_3 - TiO_2$ ). Se observó que el mayor porcentaje de dureza se presenta en las probetas recubiertas con 100%EUTETIC. y el menor porcentaje de dureza corresponde a la mezcla 55%EUTETIC 13495– 45% alúmina  $Al_2O_3$  con 63.3 HV.

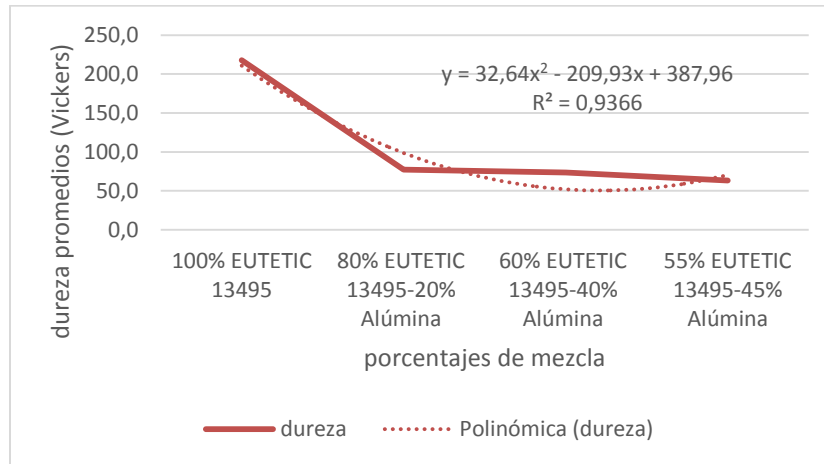
Curva de tendencia mezcla EUTETIC 13495 – Dióxido de Titanio:



Fuente: Autor de proyecto. Grafica 3: Curva tendencia dureza EUTETIC 13495 – Dióxido de titanio.

En la gráfica de mezcla EUTETIC 13495 – Dióxido de titanio  $TiO_2$  se puede ver que el porcentaje de dureza también es inversamente proporcional al aumento de la mezcla  $TiO_2$  en la misma, aunque la diferencia de dureza entre mezclas es muy mínima y se podría decir que la dureza se mantiene en los 70 HV aproximadamente.

### Curva de tendencia mezcla EUTETIC 13495 – alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:



Fuente: Autor de proyecto. Grafica 4: Curva tendencia dureza EUTETIC 13495 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Se puede observar que hay una gran caída significativa de dureza en el momento en que se empiezan a recubrir con cualquiera de las dos mezclas. En la mezcla EUTETIC 13495 –alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se muestra que la dureza es inversamente proporcional al aumento del porcentaje Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la misma.

#### 4.5 ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Las probetas rectangulares después del ensayo de desgaste abrasivo, se observa como es removido la capa del recubrimiento y parte del acero, en algunas más que otras debido a condiciones de tiempos diferentes para cada ensayo.



Fuente: autor de proyecto Figura 28: Probetas después de prueba de desgaste abrasivo.

#### Tablas pruebas de desgaste abrasivo

Las tablas de desgaste abrasivo se realizaron teniendo en cuenta los parámetros de la norma ASTM G65-04 (REAPROBADA EN EL 2010) por lo que se realizaron las tablas para cada una de las diferentes mezclas de los recubrimientos y una tabla 13 general de resultados.

Con la siguiente ecuación se procede a realizar el cálculo del volumen perdido.

$$volumen\ perdido\ [mm^3] = \frac{masa\ perdida\ [g]}{densidad\ [g/cm^3]} * 1000$$

*Ecuación 1.*

**ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO**

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD: 4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 61.958663mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION: \_\_\_\_\_

**DATOS DEL ENSAYO**

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 55% - ALUMINA 45% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a 300 DUREZA DE LA RUEDA: ...

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	158.2945	164.0410	157.1533	163.5787
Masa final (g):	157.1533	163.5787	156.8979	163.4968
Masa perdida (g):	1.1412	0.4622	0.2554	0.0819
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	145.73369	59.029374	32.61813538	10.597701

COMENTARIOS: El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello

FECHA: 12/09/2014

Fuente: Autor de proyecto. Tabla 12: Resultados individuales pruebas de abrasión.

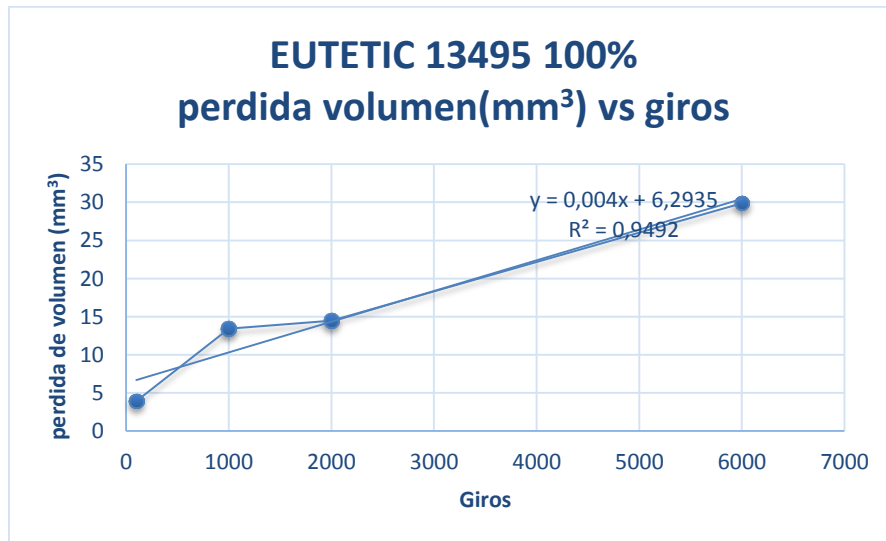
PRUEBA A: 6000 giros				
RECUBRIMIENTOS	masa inicial (g)	masa final (g)	desgaste (g)	Volumen perdido( mm <sup>3</sup> )
EUTETIC 100%	177,6292	177,3934	0,2358	30,1149425
EUTETIC 80%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%	158,6195	157,5065	1,113	142,14559
EUTETIC 60%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 40%	166,1058	165,2427	0,8631	110,22988
EUTETIC 55%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45%	158,2945	157,1533	1,1412	145,73369
EUTETIC 80%- TiO <sub>2</sub> 20%	164,9116	163,543	1,3686	174,78927
EUTETIC 60%- TiO <sub>2</sub> 40%	165,126	163,8057	1,3203	168,965517
EUTETIC 55%- TiO <sub>2</sub> 45%	165,5791	164,5098	1,0692	136,551741
PRUEBA B: 2000 giros				
RECUBRIMIENTOS	masa inicial (g)	masa final (g)	desgaste (g)	Volumen perdido( mm <sup>3</sup> )
EUTETIC 100%	168,482	168,3678	0,1142	14,51080051
EUTETIC 80%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%	169,359	168,3789	0,98	125,5642
EUTETIC 60%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 40%	165,7465	165,3779	0,5199	66,398467
EUTETIC 55%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45%	164,041	163,5787	0,4622	59,029374
EUTETIC 80%- TiO <sub>2</sub> 20%	160,7956	159,6982	1,0975	140,166028
EUTETIC 60%- TiO <sub>2</sub> 40%	159,4353	158,8803	0,555	70,881226
EUTETIC 55%- TiO <sub>2</sub> 45%	164,227	163,6868	0,5808	74,176245
PRUEBA C: 1000 giros				
RECUBRIMIENTOS	masa inicial (g)	masa final (g)	desgaste (g)	Volumen perdido( mm <sup>3</sup> )
EUTETIC 100%	177,3935	177,2878	0,1057	13,49936143
EUTETIC 80%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%	157,5065	157,2416	0,2649	33,83141
EUTETIC 60%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 40%	165,2424	165,0327	0,2115	27,011494
EUTETIC 55%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45%	157,1533	156,8979	0,2554	32,61813538
EUTETIC 80%- TiO <sub>2</sub> 20%	163,543	162,1895	1,3535	172,8607918
EUTETIC 60%- TiO <sub>2</sub> 40%	160,5273	160,1848	0,3425	43,74201788
EUTETIC 55%- TiO <sub>2</sub> 45%	164,3869	164,1091	0,2778	35,4789272
PRUEBA D : 100 giros				
RECUBRIMIENTOS	masa inicial (g)	masa final (g)	desgaste (g)	Volumen perdido( mm <sup>3</sup> )
EUTETIC 100%	168,3675	168,3035	0,0644	8,224776501
EUTETIC 80%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%	168,1516	168,34593	0,1074	13,71647
EUTETIC 60%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 40%	163,5779	163,5246	0,0532	6,9443805
EUTETIC 55%- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45%	163,5787	163,4968	0,0819	10,597701
EUTETIC 80%- TiO <sub>2</sub> 20%	159,698	159,5813	0,1167	14,90421
EUTETIC 60%- TiO <sub>2</sub> 40%	162,2254	162,0675	0,1579	20,1660281
EUTETIC 55%- TiO <sub>2</sub> 45%	163,6868	163,5848	0,102	13,026819

Fuente: Autor de proyecto Tabla 13: Resultados generales prueba de abrasión.

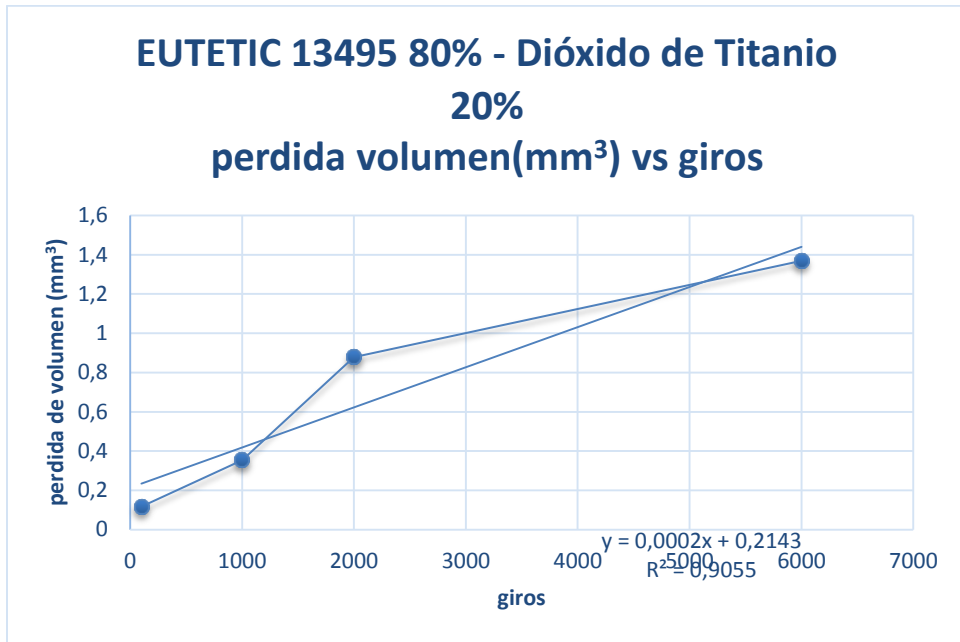
Según la tabla 15 podemos analizar:

- Se encontró que la mezcla de EUTETIC 13495 – alúmina  $AL_2O_3$  en los diferentes porcentajes tiene una menor pérdida de material que en el caso de la mezcla EUTETIC 13495 – dióxido de titanio  $TiO_2$ .
- la mayor pérdida de material se presenta en la mezcla 60% EUTETIC 13495 - 40% Dióxido de Titanio  $TiO_2$  por lo que podemos concluir que esta mezcla no es adecuada para prevenir la resistencia al desgaste abrasivo debido a la pérdida de volumen que se presentó en las probetas de la prueba.
- Cualquier variación en el desarrollo de las pruebas, por más mínima que sea puede alterar los resultados considerablemente

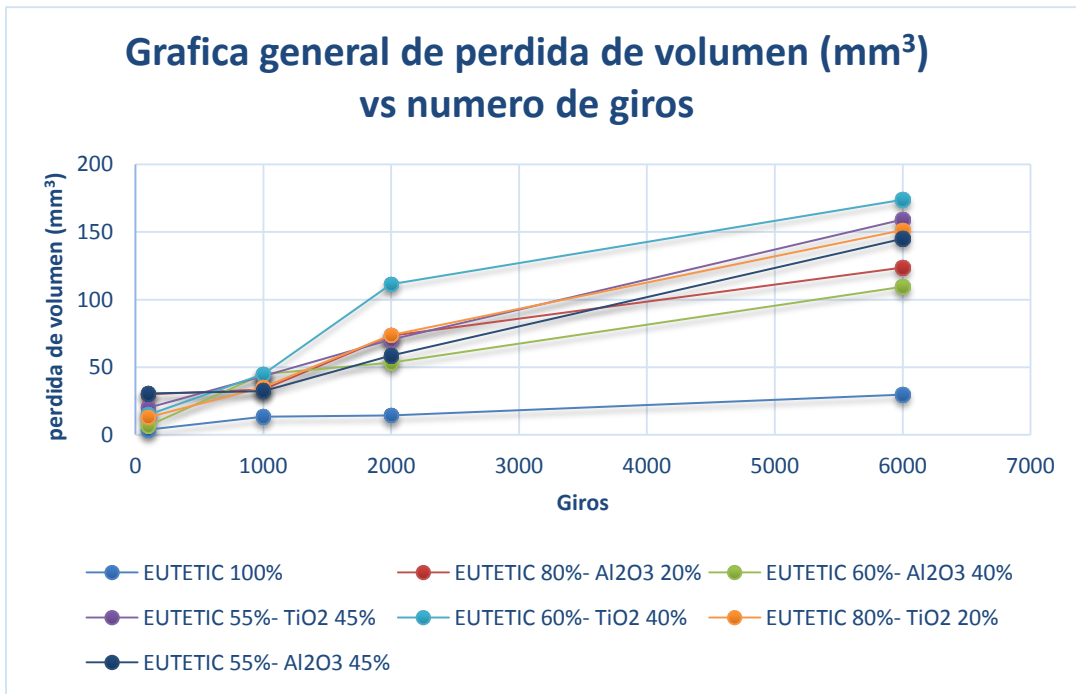
Curvas de tendencia prueba desgaste abrasivo



Fuente: Autor de proyecto. Gráfica 5: Grafica desgaste abrasivo EUTETIC 100%.



Fuente: Autor de proyecto Gráfica 6: Desgaste abrasivo EUTETIC 13495 80% - Dióxido de Titanio 20%.



. Fuente: Autor de proyecto. Grafica 7: Curva general prueba desgaste abrasivo.

Mediante la Grafica 8, se encontró que la menor cantidad de pérdida de material por medio del desgaste abrasivo se presentó en el depósito EUTETIC 13495 100%. Las demás graficas de desgaste abrasivo las encontramos en el *anexo 1*.

#### 4.6 PRUEBAS DESGASTE ADHESIVO

Después de realizar todas las pruebas de desgaste adhesivo los discos quedan rayados de la siguiente forma:



Fuente: Autor de proyecto Figura 29: Probetas después de prueba de desgaste adhesivo.

Se puede observar en la *figura 31* que el disco de la izquierda no sufrió casi desgaste por el pin ya que el material castolin eutetic 13495 fue el que le brindo mejores propiedades mecánicas mediante este proceso, mientras que las otras probetas o discos si sufrieron un gran desprendimiento de material es decir del acero.

Se realizaron los cálculos de volumen perdido mediante la *ecuación 1*.

Muestra de tabla de desgaste adhesivo:

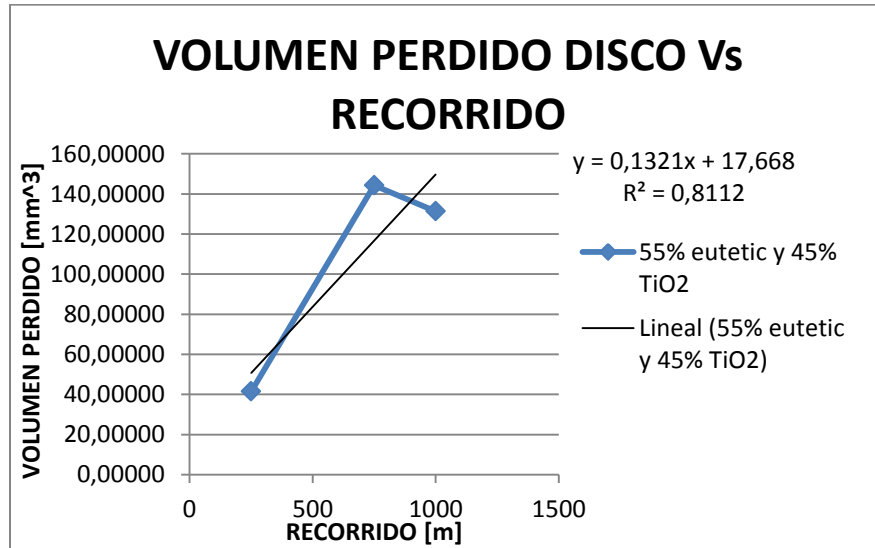
RESULTADO DE LAS PRUEBAS												DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]	
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGASTE				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]	[g]				
100 % eutetic		PIN 1	26,86757	26,86712	26,86711	26,86727	26,83816	26,83845	26,83825	26,83829	0,02898	7,85	3,69172	
		PIN 2	25,81117	25,81188	25,81188	25,81164	25,78514	25,78534	25,78540	25,78529	0,02635	7,85	3,35669	
		PIN 3	26,81303	26,81283	26,81293	26,81293	26,78218	26,78232	26,78232	26,78227	0,03066	7,85	3,90531	
	250 m	DISCO 1	145,49000	145,48960	145,48990	145,48983	145,27480	145,27220	145,27690	145,27463	0,21520	7,87	27,34435	
		DISCO 2	176,19510	176,19480	176,19470	176,19487	175,98429	175,98313	175,98373	175,98372	0,21115	7,87	26,82973	
		DISCO 3	149,78280	149,78310	149,78270	149,78287	149,57150	149,57130	149,56810	149,57030	0,21257	7,87	27,00974	
		PIN 4	24,89910	24,89910	24,89907	24,89909	24,67051	24,67051	24,67049	24,67050	0,22859	7,85	29,11932	
		PIN 5	25,41698	25,41694	25,41715	25,41702	25,20487	25,20496	25,20494	25,20492	0,21210	7,85	27,01911	
		PIN 6	25,31803	25,31815	25,31820	25,31813	25,10003	25,10006	25,10007	25,10005	0,21807	7,85	27,78004	
		750 m	DISCO 1	145,27480	145,27220	145,27690	145,27463	144,36828	144,36822	144,36826	144,36825	0,90638	7,87	115,16900
		DISCO 2	175,98429	175,98313	175,98373	175,98372	175,08780	175,08770	175,08780	175,08777	0,89595	7,87	113,84371	
		DISCO 3	149,57150	149,57130	149,56810	149,57030	148,69420	148,69340	148,69370	148,69377	0,87653	7,87	111,37654	
		PIN 7	25,36587	25,36584	25,36582	25,36584	25,11141	25,11128	25,11129	25,11133	0,25452	7,85	32,42251	
		PIN 8	25,87905	25,87901	25,87900	25,87902	25,51540	25,51553	25,51551	25,51548	0,36354	7,85	46,31083	
		PIN 9	27,73757	27,73752	27,73751	27,73753	27,63364	27,63369	27,63364	27,63366	0,10388	7,85	13,23270	
		1000 m	DISCO 1	144,36828	144,36822	144,36826	144,36825	143,30220	143,30260	143,30210	143,30230	1,06595	7,87	135,44515
		DISCO 2	175,08780	175,08770	175,08780	175,08777	174,61892	174,61860	174,61840	174,61864	0,46913	7,87	59,60949	
		DISCO 3	148,69420	148,69340	148,69370	148,69377	147,83700	147,83000	147,83720	147,83473	0,85903	7,87	109,15290	

Fuente: Autor de proyecto Tabla 14: Tabla individual de datos 100% EUTETIC.

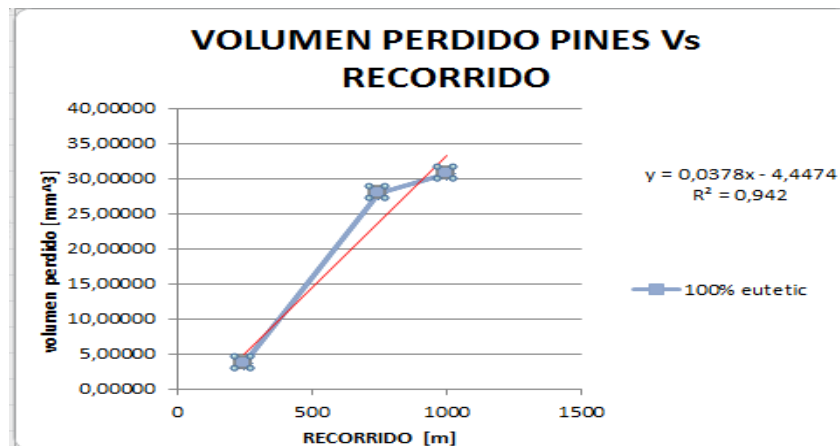
En la *tabla 16* muestra los datos obtenidos de los pesajes realizados y cálculo de volúmenes perdidos por los discos y pines de 1 de las 7 mezclas ensayadas. Las otras tablas se encuentran en el anexo 1.

Cualquier variación en el desarrollo de las pruebas, por más mínima que sea puede alterar los resultados considerablemente

Gráficas de tendencia de ensayos de desgaste adhesivo:



Fuente: Autor de proyecto Gráfica 9: Curva individual desgaste adhesivo disco.



Fuente: Autor de proyecto Gráfica 10: Curva individual desgaste adhesivo pines.

Se puede observar en la *gráfica 8* y *gráfica 9* como es el comportamiento del desgaste que sufrieron los discos y los pines después de las pruebas. Las gráficas de los otros materiales se encuentran en el *anexo 2* y *3*.

Tabla resumida de discos con todas las mezclas realizadas:

RESULTADO PRUEBAS DISCOS			
MATERIAL	RECORRIDO [m]	NUMERO DE DISCO	PROM VOLUMEN PERDIDO [mmc]
BASE		1,2,3	27061,27347
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	19298,31992
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	23528,16603
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	23302,27305
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	250	1,2,3	35098,12226
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	40097,41635
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	41385,00635
BASE		1,2,3	113463,08062
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	124280,67203
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	146928,84371
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	146637,01821
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	750	1,2,3	122659,88988
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	131101,22829
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	143962,72766
BASE		1,2,3	101402,51306
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	124530,56614
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	136307,21446
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,2,3	135321,19159
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	1000	1,2,3	115724,97529
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	128295,91981
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		1,2,3	131021,88338

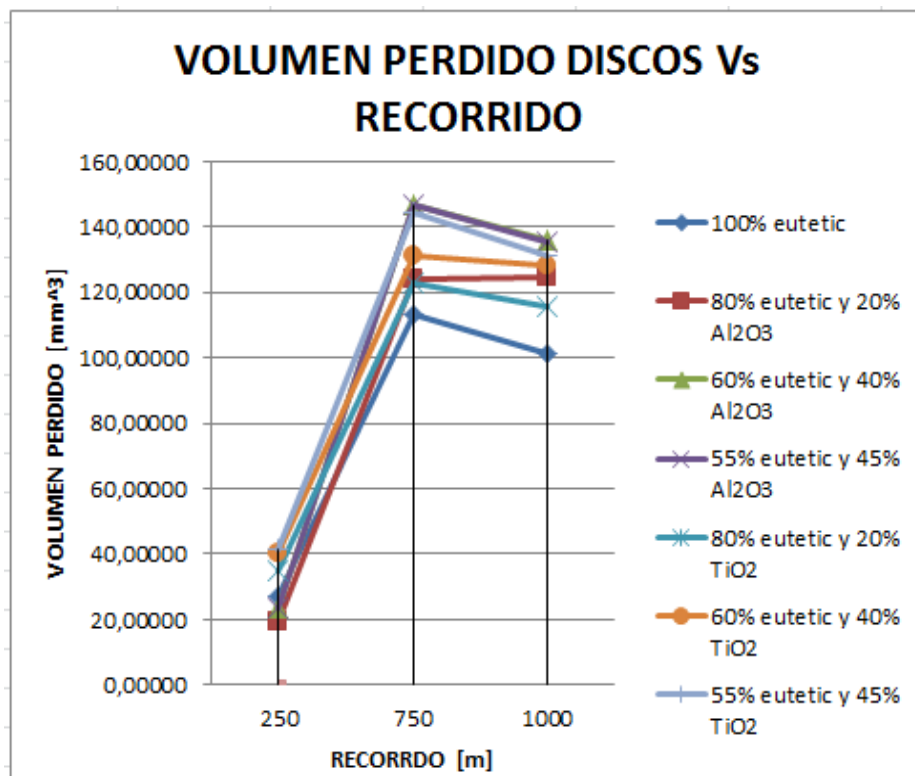
Fuente: Autor de proyecto Tabla 15: Tabla general de datos pruebas desgaste adhesivo de discos.

La tabla resumida de pines y gráfica del comportamiento con respecto a los otros pines se encuentra en el *anexo 4*.

- Se observó el aumento de volumen perdido de las probetas o discos con las mezclas especialmente con el material cerámico Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- Según los resultados dados es notable que la mezcla de eutetic y  $TiO_2$  supero o presento un menor desgaste que la mezcla de eutetic y  $Al_2O_3$ .
- Los pines de acero AISI 4140 son materiales con altas propiedades mecánicas pero de todas formas sufrieron un desgaste. El desgaste más significativo que sufrió el pin fue con el disco recubrimiento de 100% eutetic 13495.
- Con las mezclas de porcentajes de 55% de eutetic y 45% de ( $Al_2O_3$  y  $TiO_2$ ), se presentó un desgaste en los pines muy bajo es decir perdieron poco volumen ya que los que sufrieron el mayor daño fueron los discos No era claro o permisible a la vista el desgaste sufrido por estos pines.

Gráfica de tendencia de discos donde es comparado con las mezclas realizadas. La grafica general para pines se encuentra en el *anexo 5*.



Fuente: Autor de proyecto Gráfica 11: Curva general desgaste adhesivo.

## 5. CONCLUSIONES

- Se determinó el porcentaje máximo con el que se pueden realizar los depósitos con el dispositivo de rociado térmico por llama del laboratorio de procesos industriales de la Universidad Pontificia Bolivariana; es de 45 % en volumen de material tanto de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{TiO}_2$  con el porcentaje de volumen restante de castolin eutetic 13495, teniendo como referencia que los materiales deben ser de tamaño micrométrico.
- Se verificó que las partículas de los materiales  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  tuvieran tamaño micrométrico por medio de la microscopia electrónica de barrido, donde el resultado del tamaño de las partículas del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fue de 1,05  $\mu\text{m}$ . y el tamaño de partículas de  $\text{TiO}_2$  fue de 0,158  $\mu\text{m}$ ; teniendo tamaños teóricamente de 1,95  $\mu\text{m}$  en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en y 0,1  $\mu\text{m}$  en  $\text{TiO}_2$  se concluye los materiales no se encontraban con tamaños adecuados..
- Con los resultados suministrados después de realizar la prueba de dureza se concluye que el recubrimiento de tan solo el material base es decir 100% EUTETIC 13495 presentó mejor la propiedad de la dureza con una medida superior a 200 HV, mientras que con los depósitos realizados con mezclas en los diferentes porcentajes tanto para la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  se mantuvieron en un rango de 65 a 75 HV.
- La pérdida de volumen en probetas recubiertas con 100% castolin eutetic 13495 sometidas a pruebas de desgaste adhesivo fue de 80,6423  $\text{mm}^3$  mientras que con depósitos realizados con los diferentes porcentajes de mezclas de castolin eutetic 13495- $\text{Al}_2\text{O}_3$  fue de 97,7927  $\text{mm}^3$  y castolin eutetic 13495- $\text{TiO}_2$  fue de 98,9059  $\text{mm}^3$ . Se concluye que utilizando tan solo el recubrimiento de 100% castolin eutetic 13495 en probetas de acero

AISI 1020, produce un aumento de resistencia al desgaste adhesivo mayor que las realizadas con las diferentes mezclas en los diversos porcentajes menores o iguales al 45% de volumen de materiales cerámicos en este caso Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>.

- En la prueba de desgaste abrasivo se obtuvieron unos resultados de volumen perdido en los depósitos realizados con los diferentes porcentajes de mezclas de castolin eutetic 13495-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fue de 127,523 mm<sup>3</sup> y castolin eutetic 13495-TiO<sub>2</sub> fue de 161,5516 mm<sup>3</sup>. Se concluye que las probetas de acero AISI 1020 recubiertas con los diferentes porcentajes de mezcla de castolin eutetic 13495-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presentan mejor resistencia al desgaste abrasivo que la mezcla de castolin eutetic 13495-TiO<sub>2</sub>.

## 6. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Es recomendable que para el uso de la máquina pin on disk se tenga la configuración completa del variador para evitar una discontinuidad en la velocidad del motor y así mismo del disco, dañando parte de la prueba.
- Se recomienda el apoyo de la universidad al desarrollo de proyectos de investigación, dándole más importancia con el fin de promover el interés de los estudiantes a estos proyectos
- Los parámetros para la proyección de las mezclas sobre las probetas como la temperatura en la que se debe encontrar el material y tiempo de proyección se hizo a criterio del colaborador del laboratorio de procesos industriales de la Universidad Pontificia bolivariana.
- Para la realización de nuevas pruebas con mayor calidad y precisión es recomendable cambiar el caucho de la rueda de la máquina medidora de abrasión por uno nuevo de cloributilo como lo exige la norma, además será mejor utilizar arena silica tipificada.
- Establecer unos parámetros para la realización de los depósitos para proyectos futuros que incluyan este proceso, eso con el fin de garantizar que los especímenes queden bien recubiertos y el margen de error de las pruebas disminuya.
- Los resultados de los ensayos de dureza, resistencia al desgaste abrasivo y resistencia al desgaste adhesivo pueden verse afectados por factores externos como la humedad y temperatura, debido a que estas pruebas se realizan en un ambiente no controlado.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. CASTOLIN EUTECTIC 13495 Ni-Cr-B-Si-Fe-C, Cold Spray Powders<  
<http://www.castolin.com/en-US/product/eutectic-13495>>
- [2]. PROTECCION CONTRA LA CORROSION POR MEDIO DEL ROCIADO TERMICO, Pereira, 2007, José Luddey Marulanda, universidad tecnológica de Pereira, ingeniería metalúrgica.
- [3]. ANALISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE PIEZAS SINTERIZADAS Y PIEZAS RECUBIERTAS POR ROCIADO TERMICO HVOF, Caracas, 2002, Díaz N, Siul J. Franco S, Adolfo A. Ingeniería Mecánica
- [4]. CENTRO DE PROYECCION TERMICA (CPT).  
[https://cv.mec.es/programas/JORNADAS\\_SEGUIMIENTO/MAT2001Oviedo/Presentaciones/2604pmMAT2001-3399-p.ppt](https://cv.mec.es/programas/JORNADAS_SEGUIMIENTO/MAT2001Oviedo/Presentaciones/2604pmMAT2001-3399-p.ppt)
- [5]. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk apparatus. United States: ASTM, 2010. (ASTM G99-05).
- [6]. ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010) método de prueba estándar para medir la abrasión utilizando arena seca y rueda de caucho.
- [7].COMPORTAMIENTO A DESGASTE DE RECUBRIMIENTOS WC PROYECTADOS POR PLASMA A PARTIR DE POLVOS MICRO Y

NANOESTRUCTURADOS, M.D.Salvador, Revista de metalurgia, Junio 2008.

- [8]SERVICIO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO. Universidad Politécnica de Valencia. Infomacion@upv.es.<  
<http://www.upv.es/entidades/SME/info/753120normalc.html>>
- [9]GOODFELLOW. División cerámica y vidrio. < <http://www.goodfellow-ceramics.com/sp/productos/ceramicas/alumina/>>
- MELECBARRIDO. Facultad de neurobioquímica. Universidad Javeriana. <  
<http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/melecbarrido.htm>>
- THERMAL SPRAY. Protección de alto impacto. Camilo Marin Villar  
<[http://www.metalactual.com/revista/8/tratamiento\\_thermal\\_spray.pdf](http://www.metalactual.com/revista/8/tratamiento_thermal_spray.pdf)>
- PAINT GAGES. Hartip 1500. <<http://www.paintgages.com/Hartip-1500-p/hartip-1500-hardness-tester.htm>>
- PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LOS MATERIALES. Ruben G. Frade. Noviembre 21.2013<<http://fradeblogs.wordpress.com/2013/11/21/propiedades-fisico-mecanicas-de-los-materiales/>>
- EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE TEMPLE Y REVENIDO PARA EL ACERO AISI/SAE 1045 A ESCALA INDUSTRIAL. David M. Robledo. Corporación eco-eficiente. Medellín. Colombia.

- ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES. Dureza y templabilidad en aceros. Facultad de ingeniería UNLP.
- TRIBOLOGIA, FRICCION, DESGASTE Y LUBRICACION. Laboratorio de tecnología de materiales. UNAM. Felipe Del Castillo. Cautitlan Izcalli 2007.
- COMPORTAMIENTO AL DESGASTE ABRASIVO DE  $Al_2O_3/TiO_2$  NANOESTRUCTURADA DEPOSITADO MEDIANTE PROYECCION TERMICA POR LLAMA. K.A.Habib, J.J Carpio. Dpto. de ingeniería de sistemas industriales y diseño. Universidad Jaume.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de los resultados por cada porcentaje de mezcla. Desgaste adhesivo.

Anexo 2. Gráficas y tablas de pérdida de volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros. Desgaste abrasivo

Anexo 3. Graficas de volumen perdido pines y discos ( $\text{mm}^3$ ) vs recorrido (m).

Anexo 4. Tabla general de volumen perdido de pines.

Anexo 5. Grafica general de volumen perdido pines ( $\text{mm}^3$ ) vs recorrido (m)

Anexo 6. Tablas resultados pruebas de Dureza.

**ANEXO 1:**

RESULTADO DE LAS PRUEBAS												DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]	
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGASTE [g]				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
80% eutetic y 20% TiO2		PIN 37	25,62871	25,61881	25,61873	25,62208	25,60296	25,60333	25,60306	25,60312	0,01897	7,85	2,41614	
		PIN 38	27,94161	27,94189	27,94154	27,94168	27,92238	27,92231	27,92227	27,92232	0,01936	7,85	2,46624	
		PIN 39	24,55024	24,55006	24,55021	24,55017	24,53100	24,53098	24,53106	24,53101	0,01916	7,85	2,44034	
	250 m	DISCO 1	148,65060	148,65040	148,65050	148,65050	148,37630	148,37550	148,37540	148,37573	0,27477	7,87	34,91317	
		DISCO 2	162,71180	162,72210	162,72170	162,71853	162,44720	162,44600	162,44600	162,44640	0,27213	7,87	34,57857	
		DISCO 3	175,26300	175,26310	175,26330	175,26313	174,98350	174,98140	174,97920	174,98137	0,28177	7,87	35,80263	
		PIN 40	26,68126	26,68135	26,68123	26,68128	26,52966	26,52972	26,52975	26,52971	0,15157	7,85	19,30828	
		PIN 41	26,54875	26,54827	26,54809	26,54837	26,39889	26,39899	26,39205	26,39664	0,15173	7,85	19,32824	
		PIN 42	25,67914	25,67899	25,67912	25,67908	25,55271	25,55272	25,55270	25,55271	0,12637	7,85	16,09851	
	750 m	DISCO 1	148,37630	148,37550	148,37540	148,37573	147,39840	147,39840	147,39840	147,39840	0,97733	7,87	124,18467	
		DISCO 2	162,44720	162,44600	162,44600	162,44640	161,48460	161,48470	161,48440	161,48457	0,96183	7,87	122,21516	
		DISCO 3	174,98350	174,98140	174,97920	174,98137	174,02490	174,02450	174,02420	174,02453	0,95683	7,87	121,57984	
		PIN 43	27,36100	27,36094	27,36097	27,36097	27,12119	27,12115	27,12117	27,12117	0,23980	7,85	30,54777	
		PIN 44	24,62952	24,62955	24,62949	24,62952	24,38220	24,38200	24,38390	24,38270	0,24682	7,85	31,44204	
		PIN 45	25,34241	25,34240	25,34239	25,34240	25,05599	25,05572	25,05573	25,05581	0,28659	7,85	36,50786	
		1000 m	DISCO 1	147,39840	147,39840	147,39840	147,39840	146,47310	146,47310	146,47310	146,47310	0,92530	7,87	117,57306
		DISCO 2	161,48460	161,48470	161,48440	161,48457	160,58870	160,58870	160,58820	160,58853	0,89603	7,87	113,85430	
		DISCO 3	174,02490	174,02450	174,02420	174,02453	173,11370	173,11360	173,11350	173,11360	0,91093	7,87	115,74756	

Fuente: autores del proyecto. Tabla 1: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
80% eutetic – 20% TiO2

RESULTADO DE LAS PRUEBAS													DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGASTE [g]				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
60% eutetic y 40% TiO2		PIN 46	27,54477	27,54474	27,54478	27,54476	27,52649	27,52678	27,52667	27,52665	0,01812	7,85	2,30794	
		PIN 47	25,34702	25,34686	25,34696	25,34695	25,33120	25,33116	25,33110	25,33115	0,01579	7,85	2,01189	
		PIN 48	25,84058	25,84055	25,84053	25,84055	25,82823	25,82827	25,82820	25,82823	0,01232	7,85	1,56943	
	250 m	DISCO 1	165,28170	165,28140	165,28130	165,28147	165,00580	165,00390	165,00270	165,00413	0,27733	7,87	35,23931	
		DISCO 2	160,13200	160,13210	160,13170	160,13193	159,71010	159,70950	159,70750	159,70903	0,42290	7,87	53,73571	
		DISCO 3	169,02440	169,02460	169,02420	169,02440	168,77850	168,77810	168,77720	168,77793	0,24647	7,87	31,31724	
		PIN 49	24,94021	24,94005	24,94012	24,94013	24,80505	24,80519	24,80518	24,80514	0,13499	7,85	17,19575	
		PIN 50	24,57004	24,57004	24,56990	24,56999	24,45563	24,45560	24,45562	24,45562	0,11438	7,85	14,57028	
		PIN 51	25,39839	25,39832	25,39839	25,39837	25,23214	25,23218	25,23217	25,23216	0,16620	7,85	21,17240	
	750 m	DISCO 1	165,00580	165,00390	165,00270	165,00413	163,96660	163,96450	163,96510	163,96540	1,03873	7,87	131,98645	
		DISCO 2	159,71010	159,70950	159,70750	159,70903	158,75700	158,57380	158,74200	158,69093	1,01810	7,87	129,36468	
		DISCO 3	168,77850	168,77810	168,77720	168,77793	167,73950	167,73950	167,73940	167,73947	1,03847	7,87	131,95256	
		PIN 52	27,60764	27,60762	27,60760	27,60762	27,35059	27,35054	27,35057	27,35057	0,25705	7,85	32,74565	
		PIN 53	26,07383	26,07381	26,07378	26,07381	25,85224	25,85221	25,85223	25,85223	0,22158	7,85	28,22675	
		PIN 54	25,00130	25,00128	25,00126	25,00128	24,76142	24,76143	24,76142	24,76142	0,23986	7,85	30,55499	
	1000 m	DISCO 1	163,96660	163,96450	163,96510	163,96540	162,96080	162,96030	162,96040	162,96050	1,00490	7,87	127,68742	
		DISCO 2	158,75700	158,57380	158,74200	158,69093	157,66930	157,67000	157,66995	157,66975	1,02118	7,87	129,75646	
		DISCO 3	167,73950	167,73950	167,73940	167,73947	166,73910	166,73200	166,73835	166,73648	1,00298	7,87	127,44388	

Fuente: autores del proyecto. Tabla 2: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
60% eutetic – 40% TiO2

RESULTADO DE LAS PRUEBAS													DENSIDAD D [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGAS TE [g]				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
55% eutetic y 45% TiO2		PIN 55	28,15196	28,15218	28,15212	28,15209	28,14195	28,14200	28,14182	28,14192	0,01016	7,85	1,29469	
		PIN 56	25,56157	25,56162	25,56159	25,56159	25,55058	25,55067	25,55062	25,55062	0,01097	7,85	1,39745	
		PIN 57	27,59713	27,59718	27,59696	27,59709	27,58478	27,58478	27,58485	27,58480	0,01229	7,85	1,56518	
	250 m	DISCO 1	181,83120	181,83060	181,83040	181,83073	181,51040	181,51010	181,49960	181,50670	0,32403	7,87	41,27813	
		DISCO 2	89,90960	89,91030	89,90920	89,90970	89,58170	89,58160	89,58180	89,58170	0,32800	7,87	41,78344	
		DISCO 3	131,14400	131,74420	131,74510	131,54443	131,21920	131,21940	131,21950	131,21937	0,32507	7,87	41,40977	
		PIN 58	25,83187	25,83186	25,83179	25,83184	25,72175	25,72180	25,72181	25,72179	0,11005	7,85	14,01953	
		PIN 59	25,34675	25,34674	25,34664	25,34671	25,23103	25,23081	25,23099	25,23094	0,11577	7,85	14,74735	
		PIN 60	25,10774	25,10746	25,10734	25,10751	24,97092	24,97088	24,97082	24,97087	0,13664	7,85	17,40637	
	750 m	DISCO 1	181,51040	181,51010	181,49960	181,50670	180,36312	180,36060	180,36040	180,36137	1,14533	7,87	145,90149	
		DISCO 2	89,58170	89,58160	89,58180	89,58170	88,44360	88,44330	88,44320	88,44337	1,13833	7,87	145,01062	
		DISCO 3	131,21920	131,21940	131,21950	131,21937	130,10400	130,10420	130,10400	130,10407	1,11530	7,87	142,07643	
		PIN 61	27,37420	27,37452	27,37494	27,37455	27,16539	27,16532	27,16530	27,16534	0,20922	7,85	26,65180	
		PIN 62	24,58524	24,58520	24,58519	24,58521	24,38342	24,38338	24,38335	24,38338	0,20183	7,85	25,71040	
		PIN 63	27,05276	27,05272	27,05271	27,05273	26,85610	26,85590	26,85580	26,85593	0,19680	7,85	25,06964	
		1000 m	DISCO 1	180,36312	180,36060	180,36040	180,36137	179,36100	179,36100	179,36110	179,36103	1,00034	7,87	127,43185
		DISCO 2	88,44360	88,44330	88,44320	88,44337	87,42470	87,42450	87,42440	87,42453	1,01883	7,87	129,78769	
	DISCO 3	130,10400	130,10420	130,10400	130,10407	129,02950	129,03070	129,02924	129,02981	1,07425	7,87	136,84756		

Fuente: autores del proyecto. Tabla 3: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
55% eutetic – 45% TiO2

RESULTADO DE LAS PRUEBAS													DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL					PESO FINAL					DESGASTE [g]		
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
80% eutetic y 20% Al2O3		PIN 10	22,05093	22,05093	22,05089	22,05092	22,03482	22,03489	22,03486	22,03486	0,01606	7,85	2,04586	
		PIN 11	25,80941	25,80939	25,80935	25,80938	25,78707	25,78715	25,78713	25,78712	0,02227	7,85	2,83652	
		PIN 12	22,75753	22,75755	22,75743	22,75750	22,73856	22,73856	22,73865	22,73859	0,01891	7,85	2,40903	
	250 m	DISCO 1	120,66030	120,65910	120,65880	120,65940	120,48940	120,48950	120,48960	120,48950	0,16990	7,87	21,58831	
		DISCO 2	175,33650	175,33600	175,33640	175,33630	175,19410	175,19410	175,19390	175,19403	0,14227	7,87	18,07709	
		DISCO 3	184,59600	184,59550	184,59570	184,59573	184,45210	184,45000	184,45470	184,45227	0,14347	7,87	18,22956	
		PIN 13	27,38416	27,38412	27,38402	27,38410	27,19760	27,19770	27,19760	27,19763	0,18647	7,85	23,75372	
		PIN 14	24,52054	24,52051	24,52049	24,52051	24,33520	24,33514	24,33517	24,33517	0,18534	7,85	23,61062	
		PIN 15	25,52428	25,52419	25,52404	25,52417	25,35391	25,35400	25,35406	25,35399	0,17018	7,85	21,67898	
		750 m	DISCO 1	120,48940	120,48950	120,48960	120,48950	119,49950	119,49980	119,49880	119,49937	0,99013	7,87	125,81110
		DISCO 2	175,19410	175,19410	175,19390	175,19403	174,22930	174,22850	174,22760	174,22847	0,96557	7,87	122,68954	
		DISCO 3	184,45210	184,45000	184,45470	184,45227	183,47430	183,47360	183,47320	183,47370	0,97857	7,87	124,34138	
		PIN 16	22,38905	22,38904	22,38913	22,38907	22,17161	22,17158	22,17518	22,17279	0,21628	7,85	27,55202	
		PIN 17	27,75525	27,75520	27,75528	27,75524	27,53822	27,53818	27,53819	27,53820	0,21705	7,85	27,64926	
		PIN 18	28,38302	28,38300	28,38304	28,38302	28,17349	28,17349	28,17336	28,17345	0,20957	7,85	26,69724	
		1000 m	DISCO 1	119,49950	119,49980	119,49880	119,49937	118,38760	118,38840	118,38580	118,38727	1,11210	7,87	141,30877
		DISCO 2	174,22930	174,22850	174,22760	174,22847	173,32040	173,31970	173,31890	173,31967	0,90880	7,87	115,47649	
		DISCO 3	183,47430	183,47360	183,47320	183,47370	182,55430	182,55450	182,55450	182,55443	0,91927	7,87	116,80644	

Fuente: autores del proyecto. Tabla 4: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
80% eutetic – 20% Al2O3

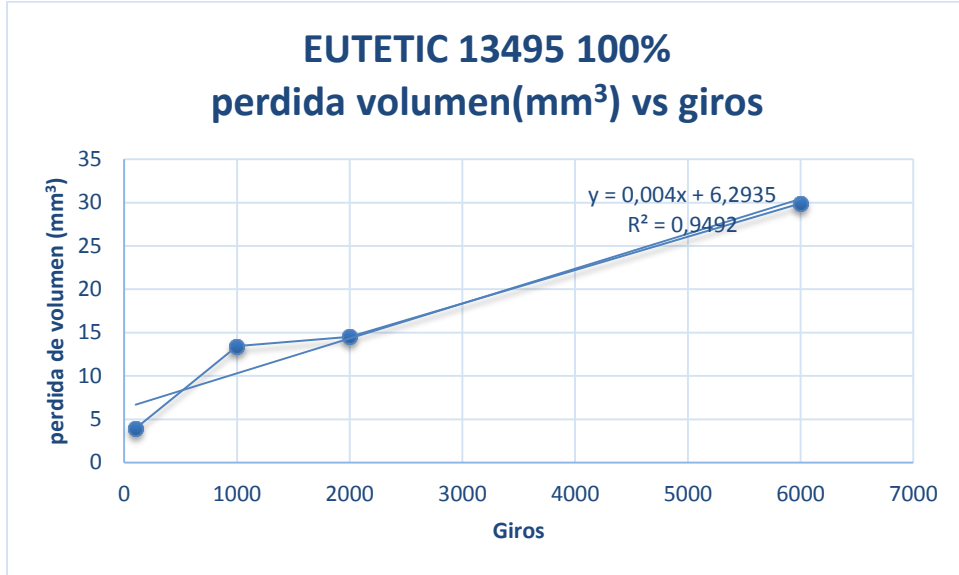
RESULTADO DE LAS PRUEBAS												DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]	
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGASTE [g]				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
60% eutetic y 40% Al2O3		PIN 19	25,77631	25,77634	25,77627	25,77631	25,76028	25,76028	25,76035	25,76030	0,01600	7,85	2,03864	
		PIN 20	26,79072	26,79073	26,79069	26,79071	26,77035	26,77003	26,76990	26,77009	0,02062	7,85	2,62675	
		PIN 21	25,97650	25,97642	25,97644	25,97645	25,97680	25,97676	25,92177	25,95844	0,01801	7,85	2,29427	
	250 m	DISCO 1	144,43110	144,43010	144,43120	144,43080	144,26130	144,26070	144,25930	144,26043	0,17037	7,87	21,64761	
		DISCO 2	117,16970	117,16960	117,16940	117,16957	116,96080	116,96090	116,96140	116,96103	0,20853	7,87	26,49725	
		DISCO 3	181,29310	181,29300	181,29250	181,29287	181,11590	181,11720	181,11570	181,11627	0,17660	7,87	22,43964	
		PIN 22	28,33491	28,33526	28,33538	28,33518	28,21562	28,21569	28,21555	28,21562	0,11956	7,85	15,23100	
		PIN 23	26,53392	26,53371	26,53377	26,53380	26,34265	26,34262	26,34256	26,34261	0,19119	7,85	24,35541	
		PIN 24	29,23701	29,23738	29,23736	29,23725	29,04939	29,04927	29,04937	29,04934	0,18791	7,85	23,93715	
		750 m	DISCO 1	144,26130	144,26070	144,25930	144,26043	143,11834	143,11839	143,11360	143,11678	1,14366	7,87	145,31851
		DISCO 2	116,96080	116,96090	116,96140	116,96103	115,82940	115,82700	115,82710	115,82783	1,13320	7,87	143,98983	
		DISCO 3	181,11590	181,11720	181,11570	181,11627	179,92390	179,92440	179,92410	179,92413	1,19213	7,87	151,47819	
		PIN 25	25,55042	25,55034	25,55035	25,55037	25,35440	25,35427	25,35430	25,35432	0,19605	7,85	24,97410	
		PIN 26	25,10761	25,10756	25,10758	25,10758	24,90240	24,90220	24,90118	24,90193	0,20566	7,85	26,19830	
		PIN 27	23,84333	23,84336	23,84335	23,84335	23,62708	23,62707	23,62702	23,62706	0,21629	7,85	27,55287	
		1000 m	DISCO 1	143,11834	143,11839	143,11360	143,11678	141,98042	141,98047	141,98040	141,98043	1,13635	7,87	144,38967
		DISCO 2	115,82940	115,82700	115,82710	115,82783	114,86230	114,86270	114,86350	114,86283	0,96500	7,87	122,61753	
		DISCO 3	179,92390	179,92440	179,92410	179,92413	178,80770	178,80710	178,80700	178,80727	1,11687	7,87	141,91444	

Fuente: autores del proyecto. Tabla 5: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
60% eutetic – 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

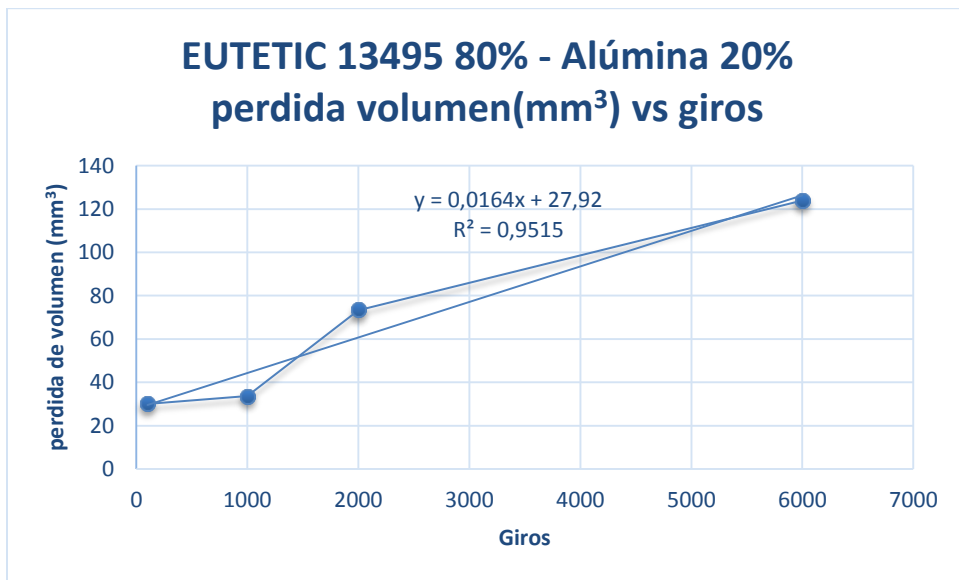
RESULTADO DE LAS PRUEBAS													DENSIDAD [g/cc]	VOLUMEN PERDIDO [mmc]
MATERIAL	DISTANCIA	PESO INICIAL				PESO FINAL				DESGASTE [g]				
		P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 1 [g]	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	PROM 2 [g]					
55% eutetic y 45% Al3O2		PIN 28	25,84190	25,84186	25,84175	25,84184	25,83123	25,83127	25,83117	25,83122	0,01061	7,85	1,35202	
		PIN 29	25,35342	25,35341	25,35342	25,35342	25,34311	25,34333	25,34326	25,34323	0,01018	7,85	1,29724	
		PIN 30	24,91431	24,91441	24,91433	24,91435	24,90355	24,90356	24,90356	24,90356	0,01080	7,85	1,37516	
	250 m	DISCO 1	138,76850	138,76820	138,76830	138,76833	138,57450	138,57950	138,57630	138,57677	0,19157	7,87	24,34138	
		DISCO 2	155,24920	155,24900	155,24790	155,24870	155,08470	155,06650	155,06120	155,07080	0,17790	7,87	22,60483	
		DISCO 3	142,86600	142,86550	142,86570	142,86573	142,68180	142,68980	142,68350	142,68503	0,18070	7,87	22,96061	
		PIN 31	27,37674	27,37679	27,37678	27,37677	27,27592	27,27597	27,27596	27,27595	0,10082	7,85	12,84331	
		PIN 32	25,88489	25,88494	25,88487	25,88490	25,78148	25,78157	25,78162	25,78156	0,10334	7,85	13,16476	
		PIN 33	25,99647	25,99641	25,99652	25,99647	25,89136	25,89175	25,89146	25,89152	0,10494	7,85	13,36858	
	750 m	DISCO 1	138,57450	138,57950	138,57630	138,57677	137,42600	137,42600	137,42560	137,42587	1,15090	7,87	146,23888	
		DISCO 2	155,08470	155,06650	155,06120	155,07080	153,91720	153,91750	153,91710	153,91727	1,15353	7,87	146,57349	
		DISCO 3	142,68180	142,68980	142,68350	142,68503	141,52800	141,52700	141,52710	141,52737	1,15767	7,87	147,09869	
		PIN 34	26,47665	26,47656	26,47658	26,47660	26,29236	26,29230	26,29228	26,29231	0,18428	7,85	23,47558	
		PIN 35	25,51438	25,51443	25,51449	25,51443	25,33579	25,33573	25,33572	25,33575	0,17869	7,85	22,76263	
		PIN 36	21,69285	21,69281	21,69280	21,69282	21,51193	21,51185	21,51187	21,51188	0,18094	7,85	23,04926	
		1000 m	DISCO 1	137,42600	137,42600	137,42560	137,42587	136,32120	136,32140	136,32040	136,32100	1,10487	7,87	140,38967
		DISCO 2	153,91720	153,91750	153,91710	153,91727	152,78960	152,79020	152,79000	152,78993	1,12733	7,87	143,24439	
		DISCO 3	141,52800	141,52700	141,52710	141,52737	140,56530	140,56410	140,56450	140,56463	0,96273	7,87	122,32952	

Fuente: autores del proyecto. Tabla 6: Resultados pruebas desgaste adhesivo  
55% eutetic – 45% Al3O2

**ANEXO 2:**

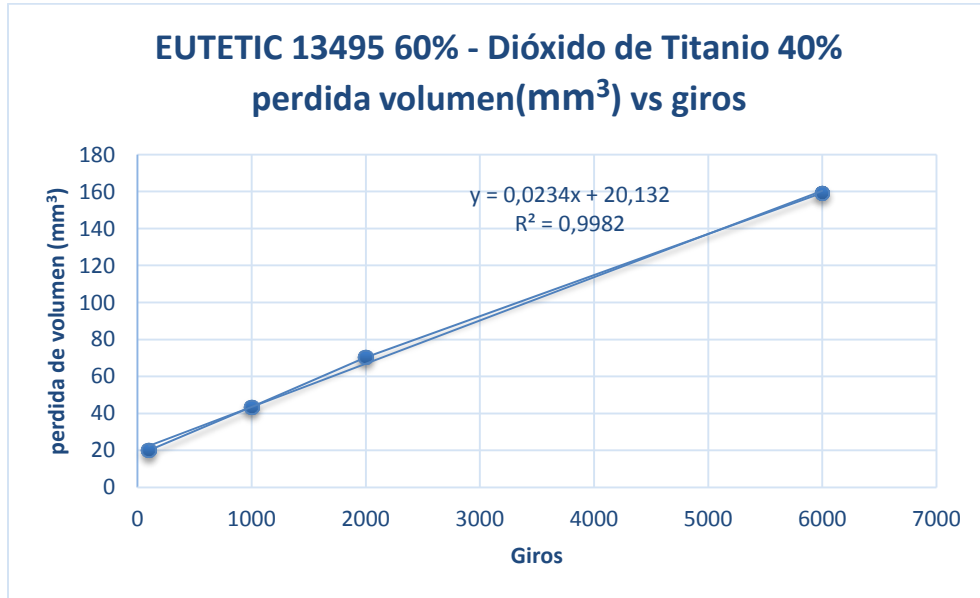


Fuente: autores del proyecto. Tabla: EUTETIC 13495 100% Perdida volumen (mm<sup>3</sup>) vs giros



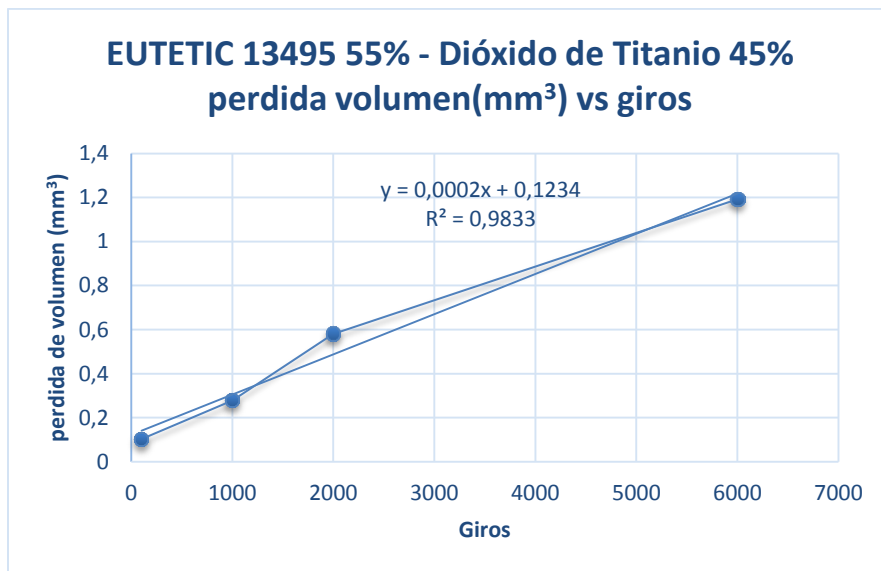
Fuente: autores del proyecto. Tabla: EUTETIC 13495 80% - Alúmina 20%

Perdida volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros



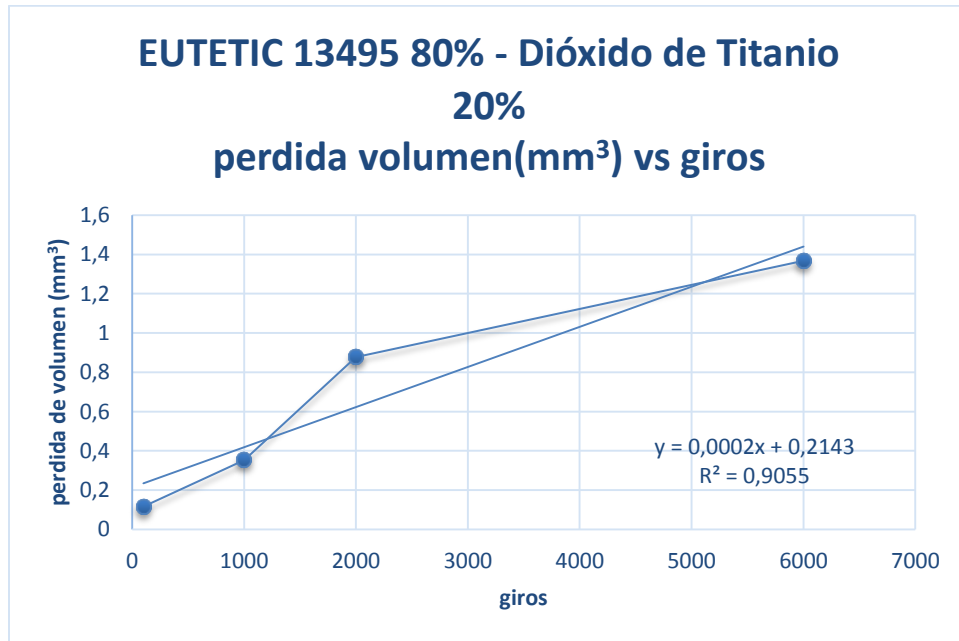
Fuente: autores del proyecto. Tabla : EUTETIC 13495 60% - Alúmina 40%

Perdida volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros



Fuente: autores del proyecto. Tabla : EUTETIC 13495 55% - Alúmina 45%

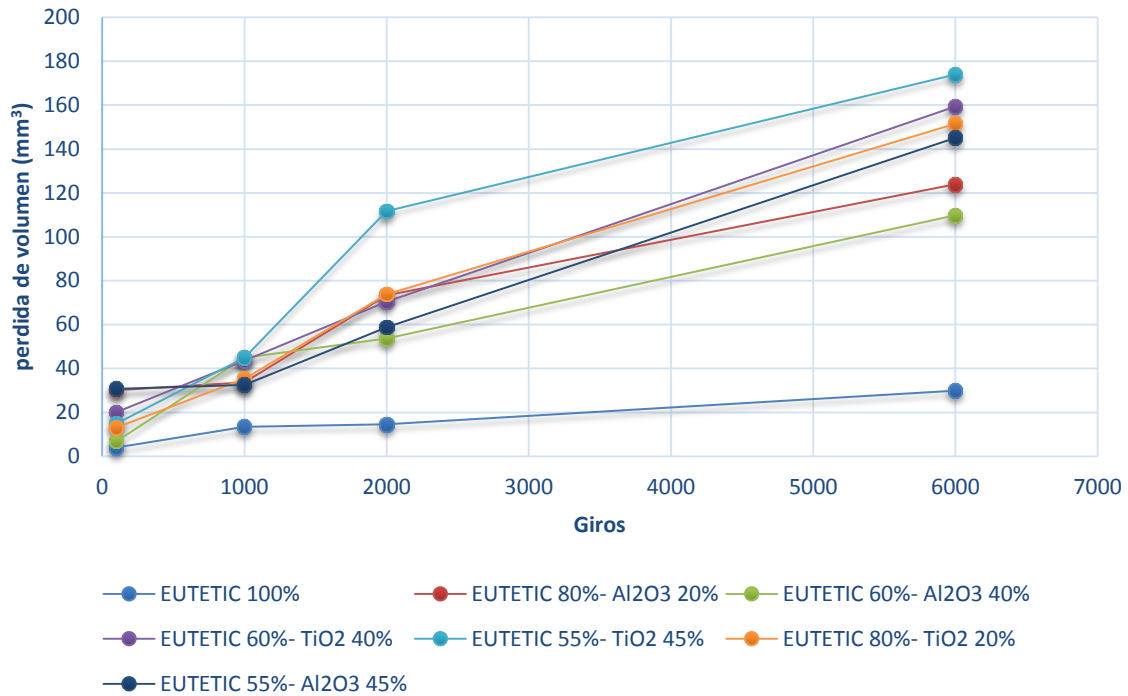
Perdida volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros



Fuente: autores del proyecto. Tabla : EUTETIC 13495 55% - Alúmina 45%

Perdida volumen ( $\text{mm}^3$ ) vs giros

### Grafica general de perdida de volumen (mm<sup>3</sup>) vs numero de giros



Fuente: autores del proyecto. Tabla: Curvas generales de perdida de volumen (mm<sup>3</sup>) vs número de giro

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 16.6059975 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: RECUBRIMIENTO EUTETIC

13495 ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	177.6292	168.4820	177.3935	168.3678
Masa final (g):	177.3934	168.3678	177.2878	168.30035
Masa perdida (g):	0.2358	0.1142	0.1057	0.0644
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	30.1149425	14.58492976	13.49936143	8.224776501

300 DUREZA DE LA RUEDA:

\_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego

Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello FECHA: 12/09/2014

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 75.93869724 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 80% - DIOXIDO DE

TITANIO 20% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	165.1260	159.4353	160.5273	162.2254
Masa final (g):	163.8057	158.8803	160.1848	162.0675
Masa perdida (g):	1.3203	0.5550	0.3425	0.1579
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	168.965517	70.881226	43.74201788	20.1660281

300 DUREZA DE LA

RUEDA: \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego

Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello FECHA: 12/09/2014

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 125.68000761 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 60% - DIOXIDO DE

TITANIO 40% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	164.9116	160.7956	163.5430	159.6980
Masa final (g):	163.5430	159.6982	162.1895	159.5813
Masa perdida (g):	1.3686	1.0975	1.3535	0.1167
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	174.78927	140.166028	172.8607918	14.90421

300 DUREZA DE LA

RUEDA: \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

**NOMBRE DE LA COMPAÑÍA:** UPB **PRUEBAS HECHAS POR:** Diego Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello **FECHA:** 12/09/2014

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 64.808430023 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 55% - DIOXIDO DE

TITANIO 45% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	165.5791	164.277	164.3869	163.6868
Masa final (g):	164.5098	163.6868	164.1091	163.5848
Masa perdida (g):	1.0692	0.5808	0.2778	0.1020
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	136.551741	74.176245	35.4789272	13.026819

300 DUREZA DE LA

RUEDA: \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego

Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello FECHA: 12/09/2014

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 78.82247377 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 80% - ALUMINA

20% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	158.6195	169.3590	157.5065	168.1516
Masa final (g):	157.5065	168.3789	157.2416	168.34593
Masa perdida (g):	1.1130	0.9800	0.2649	0.1074
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	142.14559	125.59642	33.83141	13.71647

300 DUREZA DE LA

RUEDA: \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego

Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello FECHA: 12/09/2014

### ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:

4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 52.6085554 mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:

\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI

1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 60% - ALUMINA

40% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	166.1058	165.7465	165.2424	163.5779
Masa final (g):	165.2427	165.3779	165.0327	163.5246
Masa perdida (g):	0.8631	0.5199	0.2115	0.0532
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	110.22988	66.398467	27.011494	6.9443805

300 DUREZA DE LA

RUEDA: \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

NOMBRE DE LA COMPAÑÍA: UPB PRUEBAS HECHAS POR: Diego

Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello FECHA: 12/09/2014

**ARENA SECA/RUEDA DE CAUCHO ENSAYO**

REFERENCIA DEL MATERIAL: ACERO AISI 1020 CANTIDAD:  
4

PROMEDIO DEVOLUMEN PERDIDO: 61.958663mm<sup>3</sup> COEFICIENTE DE VARIACION:  
\_\_\_\_\_

#### DATOS DEL ENSAYO

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ACERO AISI  
1020 DIAMETRO DE LA RUEDA: 9 in

TRATAMIENTO TERMICO: MEZCLA RECUBRIMIENTO EUTETIC 13495 55% - ALUMINA  
45% ANCHO DE LA RUEDA: 0.5 in

DUREZA VICKERS: 60 a

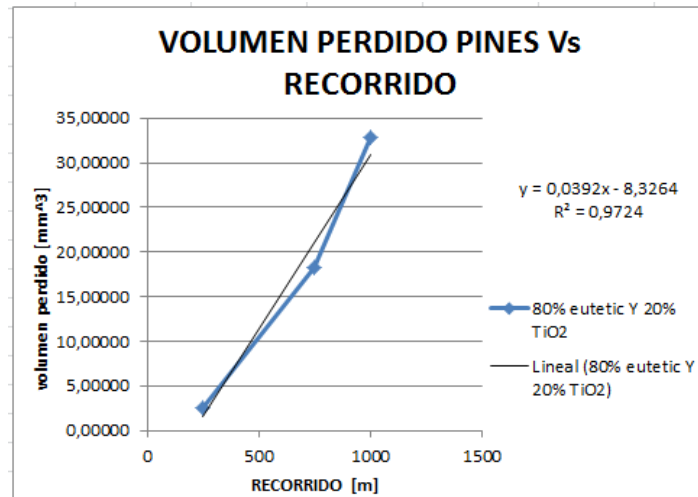
Prueba numero:	A	B	C	D
Carga de la prueba (lbf):	30	30	30	30
Revoluciones de la rueda:	6000	2000	1000	100
Flujo de la arena (g/min):	300	300	300	300
Masa inicial (g):	158.2945	164.0410	157.1533	163.5787
Masa final (g):	157.1533	163.5787	156.8979	163.4968
Masa perdida (g):	1.1412	0.4622	0.2554	0.0819
Densidad (g/cm <sup>3A</sup> ):	7.83	7.83	7.83	7.83
Volumen perdido(mm <sup>3</sup> ) (masa perdida/densidad*1000):	145.73369	59.029374	32.61813538	10.597701

300 DUREZA DE LA  
RUEDA: \_\_\_\_\_

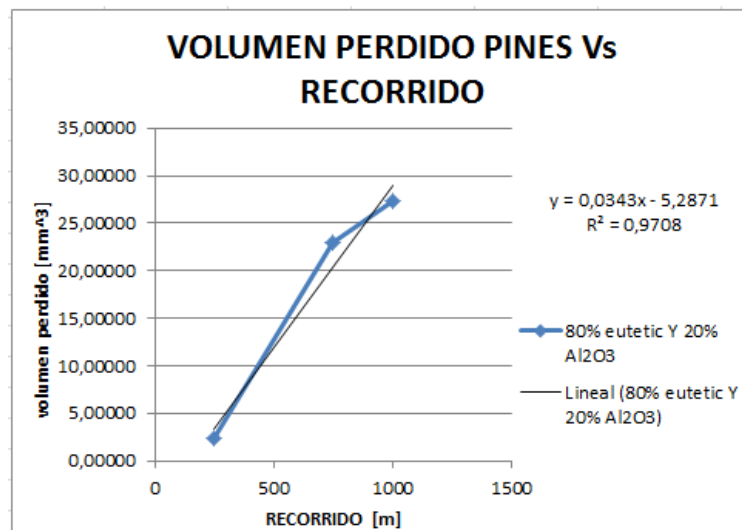
**COMENTARIOS:** El control del flujo de arena es muy importante a la hora de realizar la prueba debido a que una pequeña variación puede realizar cambios importantes a los resultados.

**NOMBRE DE LA COMPAÑÍA:** UPB **PRUEBAS HECHAS**  
**POR:** Diego Fernando Garcia Ardila, Andres Felipe Arguello  
**FECHA:** 12/09/2014

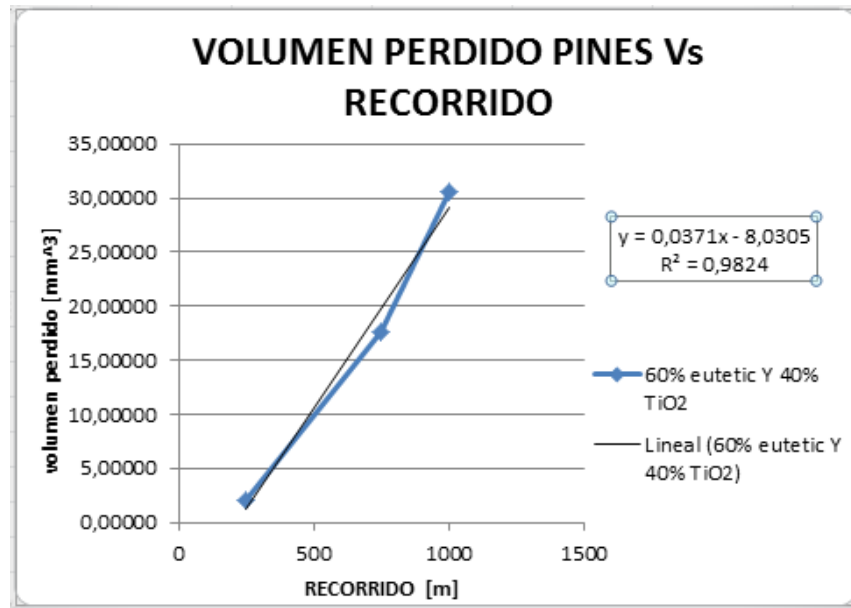
### ANEXO 3:



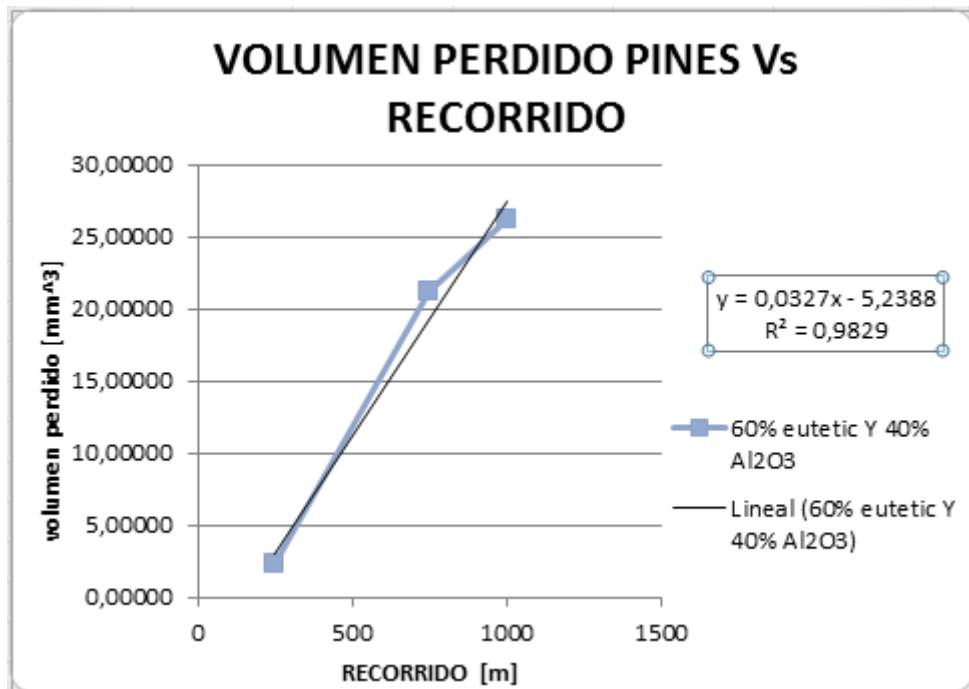
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia pines 80% eutetic – 20% TiO2



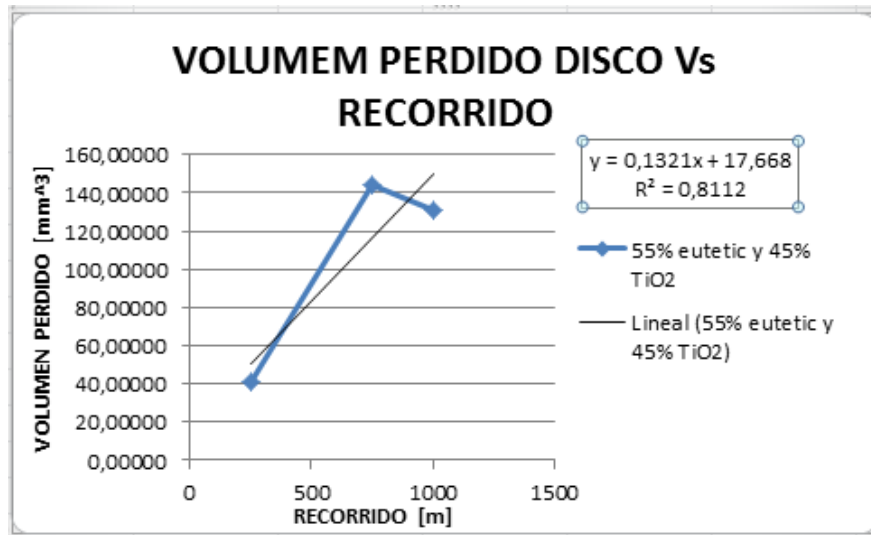
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia pines 80% eutetic – 20% Al2O3



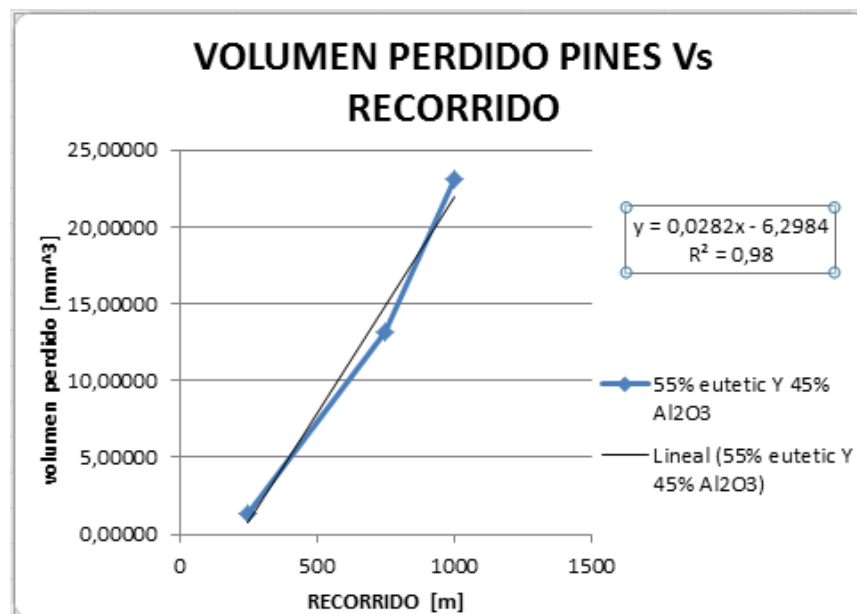
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia pines 60% eutetic – 40% TiO2



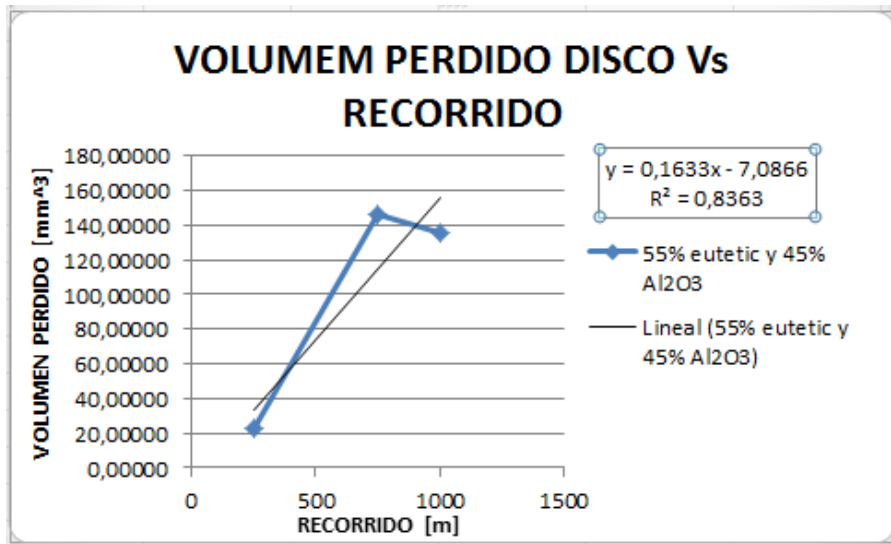
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia pines 60% eutetic – 40% Al2O3



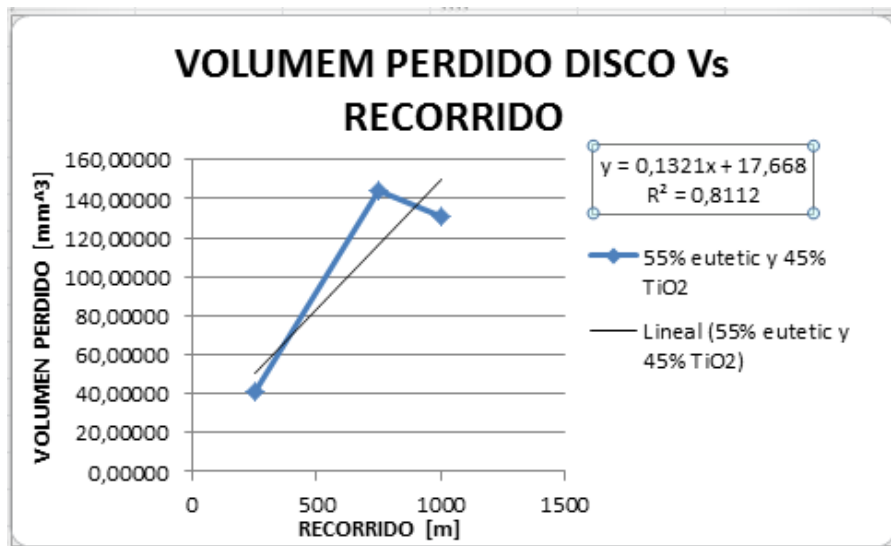
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia discos 55% eutetic – 44% TiO<sub>2</sub>



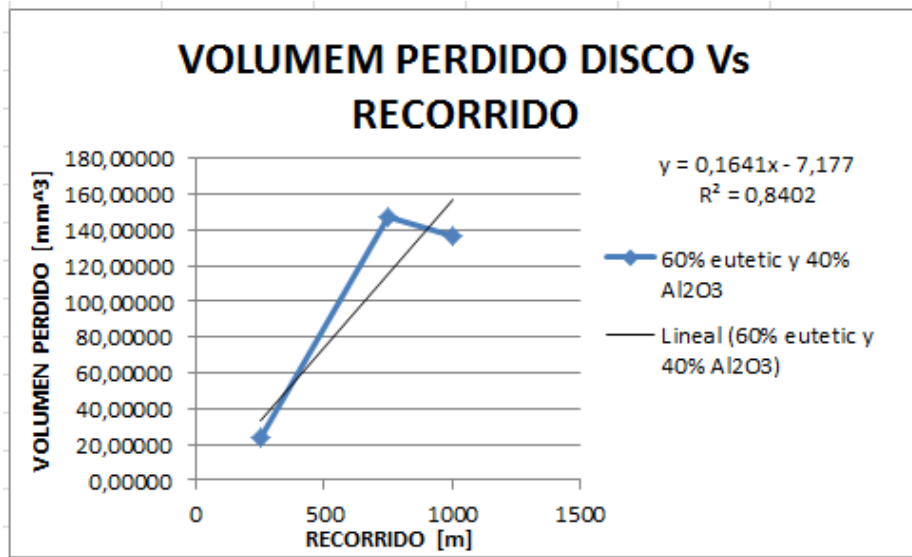
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia pines 55% eutetic – 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



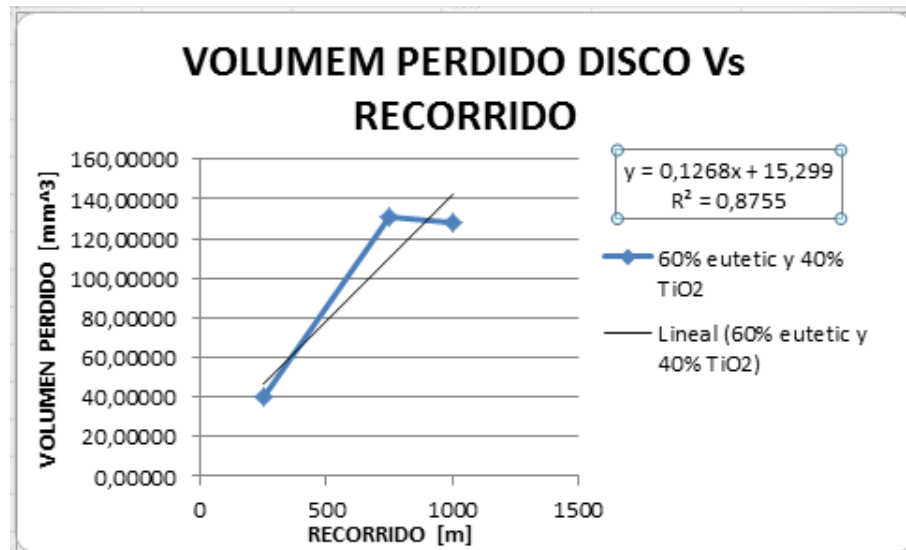
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 55% eutetic – 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



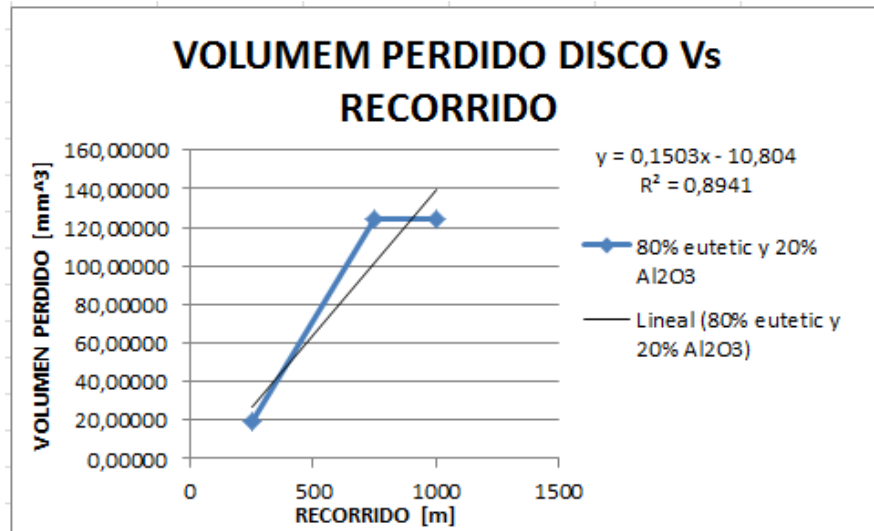
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 55% eutetic – 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



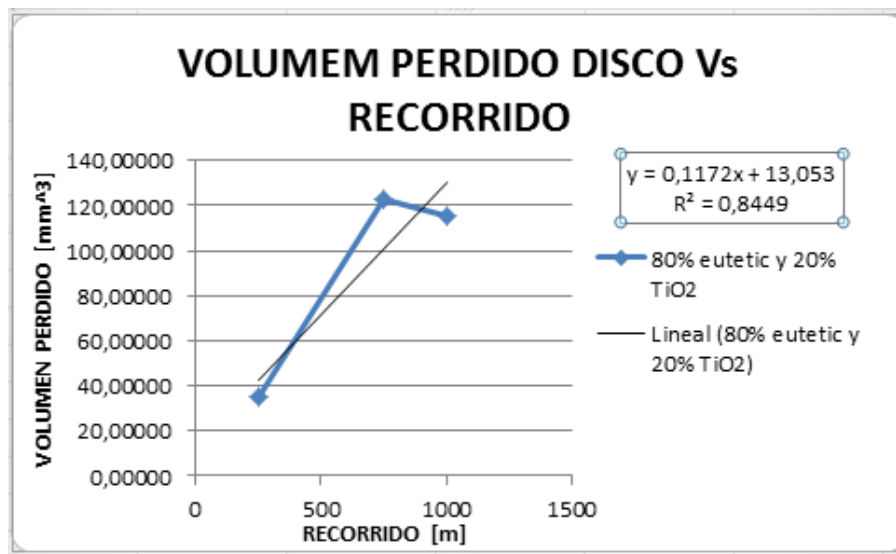
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 55% eutetic – 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 55% eutetic – 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 80% eutetic – 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



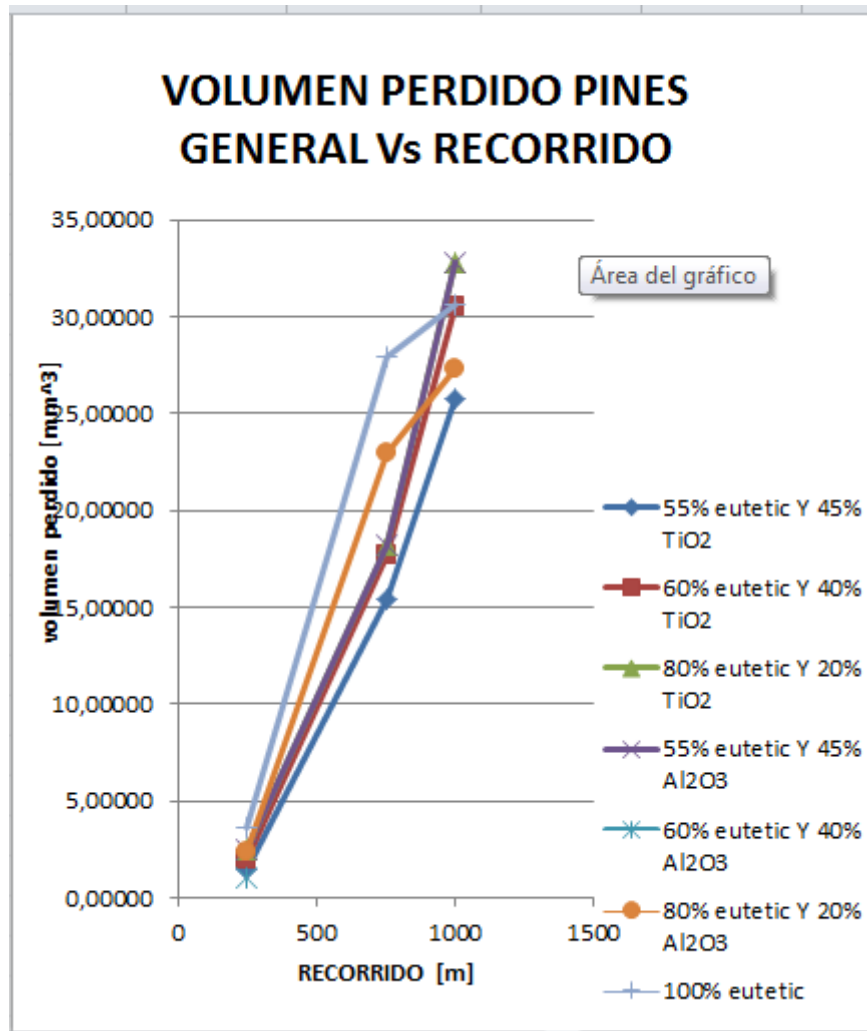
Fuente: autores del proyecto. Gráfica: Curvas de tendencia disco 80% eutetic – 20% TiO<sub>2</sub>

**ANEXO 4:**

RESULTADO PRUEBAS PINES			
MATERIAL	RECORRIDO [m]	NUMERO DE PIN	PROM VOLUMEN PERDIDO [mmc]
BASE		1,2,3	3,65124
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10,11,12	2,43047
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		19,20,21	2,31989
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		28,29,30	1,34147
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	250	37,38,39	2,44091
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		46,47,48	1,96309
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		55,56,57	1,41911
BASE		4,5,6	27,97282
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		13,14,15	23,01444
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		22,23,24	21,17452
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		31,32,33	13,12555
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	750	40,41,42	18,24501
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		49,50,51	17,64614
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		58,59,60	15,39108
BASE		7,8,9	30,65534
80% EUTETIC Y 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,17,18	27,29950
60% EUTETIC Y 40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		25,26,27	26,24176
55% EUTETIC Y 45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		34,35,36	23,09582
80% EUTETIC Y 20% TiO <sub>2</sub>	1000	43,44,45	32,83255
60% EUTETIC Y 40% TiO <sub>2</sub>		52,53,54	30,50913
55% EUTETIC Y 45% TiO <sub>2</sub>		61,62,63	27,29950

Fuente: autores del proyecto. Tabla: resultados generales desgaste adhesivo

ANEXO 5:



Fuente: autores del proyecto. Gráfica : grafica general de perdida pines

**ANEXO 6:**

100% EUTETIC 13495					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	215	352	344	327	327
toma 2	183	115	100	189	141
toma 3	256	240	261	245	247
toma 4	122	144	148	178	126
Toma 5	260	247	264	234	218
promedio	207,2	212,2	223,4	234,6	211,8
promedio total					217,8

Tabla: 100% EUTETIC 13495

80% EUTETIC 13495-20% Alúmina					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	70	71	82	73	74
toma 2	84	82	82	72	72
toma 3	83	75	73	73	74
toma 4	86	83	74	73	82
Toma 5	76	78	75	86	76
promedio	79,8	77,8	77,2	75,4	75,6
promedio total					77,2

Tabla: 80% EUTETIC 13495-20% Alúmina

60% EUTETIC 13495-40% Alúmina					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	74	70	67	74	70
toma 2	75	76	74	73	77
toma 3	77	75	69	70	74
toma 4	77	70	75	76	77
Toma 5	64	71	81	77	73
promedio	73,4	72,4	73,2	74,0	74,2
promedio total					73,4

Tabla: 60% EUTETIC 13495-40% Alúmina

55% EUTETIC 13495-45% Alúmina					
Toma de datos	punto 1	punto2	punto 3	punto 4	punto 5
toma 1	64	69	69	67	68
toma 2	69	60	58	68	67
toma 3	59	57	60	56	56
toma 4	69	67	66	63	64
Toma 5	66	64	57	63	57
promedio	65,4	63,4	62,0	63,4	62,4
promedio total					63,3