

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y
DUREZA DE RECUBRIMIENTOS Ni70/Ti30-wt10% CO EN PROBETAS DE
ACERO AISI 1045**

**JAVIER ANDRES LEON DIAZ
GERARDO ANTONIO POVEDA FLOREZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2015

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y
DUREZA DE RECUBRIMIENTOS Ni70/Ti30-wt10% CO EN PROBETAS DE
ACERO AISI 1045**

**JAVIER ANDRES LEON DIAZ
GERARDO ANTONIO POVEDA FLOREZ**

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

**DIRECTOR:
ALFONSO SANTOS JAIMES
Ingeniero mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Septiembre 2015

DEDICATORIA

Agradezco a DIOS por la oportunidad de estudiar en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA que me formo como profesional, a la facultad de ingeniería mecánica y profesores por los conocimientos brindados durante el transcurso de la carrera.

Agradezco a mis padres JAVIER LEON BELTRAN Y ANALCIZAR DIAZ RIVERA por apoyarme económica y espiritualmente, fortaleciéndome todos los días para alcanzar mis metas.

A mis compañeros de estudios por la motivación de luchar a diario por terminar nuestros estudios como profesionales.

JAVIER LEON DIAZ

Primeramente a Dios por haberme permitido la oportunidad de llegar hasta acá, por darme la confianza y la fortaleza para alcanzar esta gran etapa de mi vida como profesional.

A mis padres por darme todo lo necesario para mi formación como profesional y sobre todo como persona, por su apoyo incondicional, motivación y por ser siempre mi fuente de energía para salir adelante con mis sueños y metas.

A mis hermanos por brindarme su apoyo en todo momento y creer en mí.

A mis compañeros y amigos quienes influyeron en mi carrera y fuera de ella.

GERARDO ANTONIO POVEDA FLOREZ

AGRADECIMIENTOS

Los integrantes de este proyecto expresamos sus agradecimientos a cada uno de los profesores que forman la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad pontificia bolivariana – seccional Bucaramanga, por las enseñanzas y motivación en el transcurso de la carrera, gracias por la orientación que nos brindaron dando lo mejor de cada uno para formar en nosotros unos profesionales responsables.

Al ingeniero y director de nuestro proyecto Alfonso Santos Jaimes por brindar sus conocimientos y apoyo para la realización de este proyecto.

Javier Andrés León Díaz
Gerardo Antonio Poveda Flórez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2 MARCO TEORICO	18
2.1 ROCIADO TÉRMICO.....	18
2.2 DESGASTE	19
2.2.1 Desgaste abrasivo	19
2.2.2 Desgaste adhesivo	20
2.3 DUREZA.....	21
2.3.1 Dureza Vickers	22
2.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y REVENIDO	22
2.5 COBALTO (CO)	23
2.6 NÍQUEL / TITANIO.....	25
2.7 NORMA ASTM G65 – 04.....	27
2.8 NORMA ASTM G99-05.....	27
2.9 EQUIPOS.....	28
2.9.1 Balanza SARTORIUS BP 211D.....	28

2.9.2 Maquina pin-on-disk.....	29
2.9.3 Máquina de desgaste abrasivo	30
2.9.4 Microscopia electrónica de barrido.....	32
2.9.5 Durómetro HARTIP 1500	33
2.9.6 Pistola de proyección térmica por llama	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 ADQUISICION DE MATERIALES	36
3.2 CARACTERIZACION MORFOLOFICA DE LA ALEACION NI70/TI30-wt10% CO	37
3.3 FABRICACION DE PROBETAS Y ENSAYOS	37
3.4 DEPOSITOS POR MEDIO DEL ROCIADO TERMICO POR LLAMA DE Ni70/Ti30 – wt 10% Co	39
3.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ENSAYOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS ESTADISTICAMENTE CONFIABLES.	40
3.6 ENSAYOS	41
3.6.1 Pruebas de dureza.....	41
3.6.2 Ensayos de resistencia al desgaste adhesivo.....	42
3.6.3 Ensayos de resistencia al desgaste abrasivo.....	45
3.6.4 Obtención de la información suministrada para los diferentes ensayos	47
3.6.5 Análisis de pruebas de microscopia	47
3.6.6 Entrega de resultados suministrados por los diferentes ensayos	48
4 RESULTADOS	49

4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICA Y QUÍMICA DEL Ni70/Ti30 – wt 10% Co.	49
4.2 ENSAYO DE DUREZA VICKERS.....	54
4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO.....	55
4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO	61
5 CONCLUSIONES	68
6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	70
7 BIBLIOGRAFIA.....	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades del Cobalto.....	24
Tabla 2 Propiedades del Níquel.....	26
Tabla 3 Propiedades del Titanio	27
Tabla 4 Pruebas de desgaste adhesivo	44
Tabla 5 Parámetros de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65-04.....	46
Tabla 6 resultados EDS	50
Tabla 7 medidas de las partículas de níquel y titanio.....	52
Tabla 8 medidas de las partículas de cobalto	53
Tabla 9 Resultados premuestra de ensayos de dureza Vickers.....	54
Tabla 10 Determinación del número de ensayos para la resistencia al desgaste abrasivo.....	56
Tabla 11 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 normalizado.....	57
Tabla 12 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 templado y revenido	58
Tabla 13 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30 – wt 10% Co.....	58
Tabla 14 Pérdida de Material presentada en los ensayos de desgaste adhesivo en probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30-wt10% Co.....	62
Tabla 15 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 normalizado.....	63
Tabla 16 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 templado y revenido	63
Tabla 17 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste Adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30-wt10% Co	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Proceso de rociado térmico	18
Figura 2 Desgaste abrasivo	20
Figura 3 Proceso de desgaste adhesivo	21
Figura 4 Proceso de dureza vickers.....	22
Figura 5 Cobalto	24
Figura 6 Níquel	26
Figura 7 Titanio.....	26
Figura 8 Balanza SARTORIUS BP 211D.....	28
Figura 9 Maquina PIN-ON-DISK	30
Figura 10 Maquina de desgaste abrasivo	31
Figura 11 Tamiz de agujeros grandes.....	31
Figura 12 Tamiz de agujeros pequeños.....	32
Figura 13 Microscopia electrónica de barrido.....	33
Figura 14 Durómetro Hartip 1500	34
Figura 15 Pistola de proyección térmica por llama.....	35
Figura 16 Probeta circular sin recubrimiento.....	38
Figura 17 Probeta rectangular sin recubrimiento	38
Figura 18 Pistola para el proceso de rociado térmico por llama.....	39
Figura 19 Proceso de recubrimiento del material base	39
Figura 20 Depósitos por medio del rociado térmico por llama.....	40
Figura 21 Durómetro Hartip 1500	42
Figura 22 Desgaste adhesivo	43
Figura 23 Probeta móvil y Probeta estacionaria.....	43
Figura 24 Desgaste abrasivo	46
Figura 25 Partículas de Ni70/Ti30 – wt 10% Co.....	49
Figura 26 Grafica resultante del análisis de microscopia	50

Figura 27 medidas de partículas de Ni70/Ti30 – wt 10% Co.....	51
Figura 28. Medidas de las partículas de cobalto	52
<i>Figura 29. Porcentajes de dureza vickers</i>	55
Figura 30 Ensayos de resistencia al desgaste abrasivo.....	56
Figura 31 Comparación de la resistencia al desgaste abrasivo en probetas de acero AISI 1045.....	59
Figura 32 pérdida de material por unidad de distancia recorrida	60
Figura 33 Pérdida de material promedio por unidad de distancia lineal recorrida en las pruebas de resistencia al desgaste abrasivo sobre acero AISI 1045.....	60
Figura 34 Resistencia al desgaste adhesivo	61
Figura 35 Comparación de la resistencia al desgaste adhesivo en probetas de acero AISI 1045.....	65
Figura 36 Pérdida de material por unidad de distancia recorrida	66
Figura 37 Pérdida de material promedio por unidad de distancia lineal recorrida en las pruebas de resistencia al desgaste adhesivo sobre acero AISI 1045	67

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: TITULO: DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y DUREZA DE RECUBRIMIENTOS NI70/TI30-wt10% CO EN PROBETAS DE ACERO AISI 1045.

AUTOR(ES): Javier Andrés León Díaz- Gerardo Antonio Poveda Flórez

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Ing. Alfonso Santos

RESUMEN

En la actualidad, el principal problema que hay en las industrias es el desgaste en las piezas y la corta vida útil que tienen las mismas, este efecto genera gastos muy altos para las empresas, por tal motivo se propuso como solución al problema realizar recubrimientos con Ni70/Ti30-wt10% Co para mejorar la dureza, la resistencia al desgaste abrasivo y adhesivo con el fin de emplearse para la fabricación y recuperación de los diferentes elementos de máquina alargando notablemente su vida útil.

Para dichas pruebas se utilizó el acero AISI 1045 que es el más adecuado ya que responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción.

La finalidad de este proyecto fue determinar la influencia de recubrimientos hechos con la mezcla Ni70/Ti30-wt10% Co de tamaño micrométrico, depositados en el acero AISI 1045 a través del proceso de rociado térmico por llama, en las propiedades mecánicas de dureza. Estos materiales son una aleación desarrollada para la recuperación de superficies desgastadas por diferentes factores como lo son la oxidación, corrosión y la fricción entre otros. El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 concluye que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 35.26% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 60.84%; y el promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045, permite afirmar que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 34.3% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 40.7%.

PALABRAS CLAVES:

ROCIADO TÉRMICO – DUREZA – DEPOSITOS – RECUBRIMIENTO – ABRASION – ADHESION

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: TITULO: DETERMINATION OF THE INFLUENCE ON THE WEAR RESISTANCE AND TOUGHNESS OF COATINGS Ni70 / Ti30-wt10% CO IN AISI 1045 STEEL SPECIMENS

AUTHOR(S): Javier Andrés León Díaz- Gerardo Poveda Flórez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Ing. Alfonso Santos

ABSTRACT

At present, the main problem in the industries is the wear parts and the short shelf life that have the same, this effect generates very high for companies expenses for that reason it was proposed as a solution to make coatings Ni70 / Ti30-WT10% Co to improve hardness, resistance to abrasive and adhesive wear in order to be used for the manufacture and recovery of different machine elements extending its life dramatically.

AISI 1045 steel is most suitable as it responds to the heat treatment and flame hardening or induction was used for these tests.

The purpose of this project was to determine the influence of coatings made with Ni70 / Ti30 WT10% Co-micron size mixture, deposited on steel AISI 1045 through the thermal spraying process flame in the mechanical properties of hardness. These materials are an alloy developed for the recovery of worn by different factors such as oxidation, corrosion and friction among other surfaces. The average loss of material per unit of linear distance traveled in abrasive wear tests on AISI 1045 steel specimens concluded that the heat treatment of quenching-tempering decreases by 35.26% this loss, while the coatings of Ni70 / Ti30- WT10% Co the increase by 60.84%; and the average loss of material per unit of linear distance traveled in adhesive wear tests on AISI 1045 steel specimens, are that the heat treatment of quenching-tempering decreases by 34.3% the loss, while the coatings of Ni70 / Ti30-WT10% Co the increase by 40.7%.

KEYWORDS:

THERMAL SPRAY - HARDNESS - DEPOSITS – COATING – ABRASION – ACCESSION

V°B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

En el transcurso del tiempo el uso de diferentes materiales ha sido de gran importancia para el hombre. Como por ejemplo el uso que se le ha venido dando a los diferentes aceros, los cuales se han utilizado en los diversos departamentos que existen, debido a sus excelentes propiedades de durabilidad, resistencia, versatilidad entre otros, permitiendo un gran desempeño a la hora de tratarlo. Además de esto, la mayoría de aceros no aleados tienen algunos inconvenientes como lo son la baja resistencia al desgaste, fácil corrosión y alta conductividad térmica.

La investigación de este proyecto radica en la utilización de materiales cerámicos, depositados a través del proceso de rociado térmico por llama, como recubrimiento de un acero AISI 1045, tratando de mejorar así, el comportamiento de las propiedades de dureza y desgaste respectivamente. Los recubrimientos son una alternativa bastante interesante para poder mejorar estas propiedades ya que por lo general en la industria se utilizan procesos de temple-revenido para estas mejoras, sin embargo cuando el porcentaje de carbono es menor al 0.2% su influencia sobre estas propiedades es demasiado bajo.

Las propiedades mecánicas de estos aceros son afectadas por diferentes factores como por ejemplo el tamaño del material utilizado como recubrimiento, entre más pequeño sea el tamaño, mejor serán las propiedades mecánicas del recubrimiento; debido a esto se realizarán las pruebas con los materiales de tamaño micrométrico. Los ensayos de desgaste abrasivo y adhesivo se hacen bajo las normas ASTM G65-04, y la ASTM G99-05. Además se realizan en la UPB seccional Bucaramanga en el laboratorio de procesos industriales con una máquina PIN ON DISK para los

ensayos de desgaste y otra máquina utilizando arena y una rueda de caucho para los ensayos de abrasión.

Para este proyecto se realizaron varias actividades como la compra de polvo de tamaño micrométrico de cobalto y una aleación de níquel y dióxido de titanio, maquinado de probetas de acero AISI 1045 normalizado, caracterización morfológica y química de los materiales del recubrimiento, tratamiento térmico de temple y revenido, depósito de recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co y por último la ejecución de los ensayos de dureza y resistencia al desgaste abrasivo y adhesivo. En la realización de las caracterizaciones morfológicas se hizo el uso de equipos de microscopía electrónica de barrido, el cual tiene integrado un sistema de microanálisis por espectroscopia de dispersión de energía de rayos X, que muestra la caracterización química de los materiales utilizados en los recubrimientos.

Los resultados de las pruebas permiten afirmar que La dureza Vickers del acero AISI 1045 mejora en un 13.5% cuando el material es tratado térmicamente con un proceso de temple-revenido; y en un 17.2% cuando es recubierto a través de un proceso de rociado térmico por llama con una capa de Ni70/Ti30-wt10% CO. El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045, permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 35.26% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% CO la aumentan en un 60.84%; y el promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045, permite afirmar que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 34.3% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% CO la aumentan en un 43.7%

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de recubrimientos de Ni70/Ti30 - wt10% Co de tamaño micrométrico, cuando se encuentra Normalizado, Templado – Revenido mediante ensayos ASTM G99-05, ASTM G65-04 (REAPROBADA) de dureza y resistencia al desgaste abrasivo y adhesivo, depositados a través de proceso de rociado térmico por llama sobre un acero AISI 1045.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar química y morfológicamente los materiales utilizados para los recubrimientos, a través de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de dispersión de rayos x.

Resultado: Histograma de los tamaños de partícula de los materiales utilizados en los recubrimientos y determinación teórica de la composición química de cada material.

Indicador: Se utilizará el equipo de microscopia electrónica de barrido de alta resolución, disponible en la universidad.

- Realizar los recubrimientos de Ni70/Ti30 - wt10% Co, sobre un acero AISI 1045 a través del proceso de rociado térmico por llama.

Resultado: Recubrimientos fuertemente adheridos al sustrato.

Indicador: Se utilizaran los parámetros de proceso encontrados para depósitos realizados a través de rociado térmico por llama.

- Determinar la variación de la dureza y resistencia al desgaste en aceros AISI 1045, cuando se encuentra Normalizado, templado – Revenido y recubierto con Ni70/Ti30 - wt10% Co de tamaño micrométrico, a través de la realización de ensayos mecánicos.

Resultado: Gráficos de las propiedades mecánicas de dureza, resistencia al desgaste adhesivo y resistencia al desgaste abrasivo.

Indicador: Los ensayos se realizarán siguiendo las normas ASTM G99-05 y G65-04.

- Determinar el número de ensayos requeridos para obtener los resultados válidos de las propiedades de dureza, desgaste abrasivo y adhesivo mediante el uso de ecuaciones estadísticas.

Resultado: Número de ensayos requeridos para cada una de las propiedades mecánicas.

Indicador: Los resultados permitirán obtener una confiabilidad del 95% y un porcentaje de error máximo del 10%.

2 MARCO TEORICO

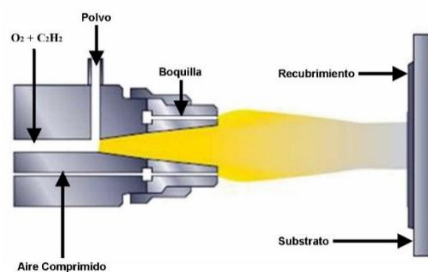
2.1 ROCIADO TÉRMICO

Es de los procesos más utilizados por su fácil aplicación y ofrece un gran beneficio, para realizar procesos de mantenimiento y fabricación de piezas. El proceso de rociado térmico se usa para adherir una gran variedad de capas metálicas o no metálicas (cerámicos, plásticos, etc.) por proyección con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

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 la forma de la pieza, el espesor de la capa que se desea utilizar y el tipo de material. Es recomendable que la superficie que se va a cubrir este totalmente limpia (libre de impurezas) para evitar cualquier fallo en el proceso impidiendo resultados satisfactorios.

Estos materiales se proyectan fundidos en forma de rociado depositándose sobre la superficie para formar una cobertura densa y perfectamente adherido, tal como se ve en la figura1. La temperatura a la que llega la superficie no alcanza los 150°C lo que garantiza que la pieza tratada no sufra ninguna deformación [1].

Figura 1 Proceso de rociado térmico



Fuente: Procesado de TBCs, Análisis de la degradación de recubrimientos de barrera termina mediante espectroscopia de impedancia electroquímica [en línea] [Citado 23 de julio de 2009] Disponible en <https://tecnoatocha.wordpress.com/tecnicas-de-proyeccion/>

2.2 DESGASTE

El desgaste es una de las formas más importantes de degeneración de piezas, equipos industriales y elementos mecánicos. Se define como el daño superficial sufrido por los materiales después del trabajo al que son sometidos. Esta rareza se expresa casi siempre en la superficie de los materiales. El resultado de este, influye en la disminución de las dimensiones, pérdida de tolerancias y por tanto la pérdida de material. Con el pasar del tiempo han aparecido ideas de cómo prevenirlo entre las cuales están:

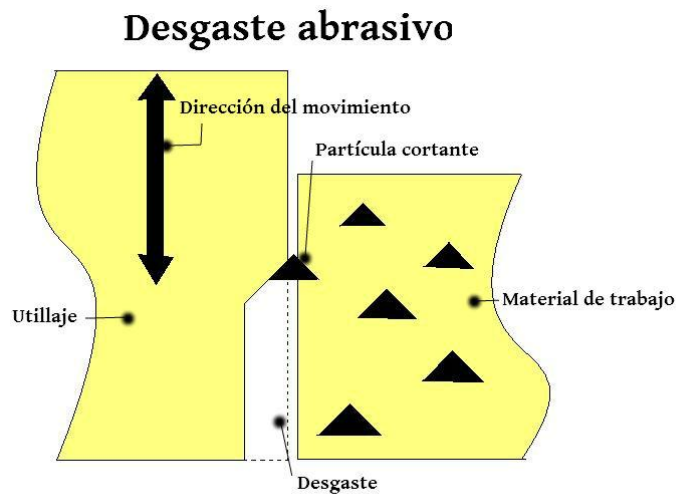
1. Mantener baja la presión de contacto
2. Mantener baja la velocidad de deslizamiento
3. Mantener lisas las superficies de rodamientos
4. Usar materiales duros
5. Asegurar bajos coeficientes de fricción
6. Usar lubricantes [2].

2.2.1 Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo se determina como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella, puede ocurrir entre dos o más cuerpos, esto se genera cuando las perturbaciones duras de una superficie se deslizan una sobre otra como se observa en la Figura 2.

Otra forma de que haya este desgaste es cuando hay partículas duras entre dos superficies deslizantes en contacto, se puede presentar en seco o en presencia líquido. Por otra parte existe el desgaste de abrasión de tres cuerpos, se presenta en sistemas donde las partículas tienen libertad de deslizarse o girar entre dos superficies de contacto.

Figura 2 Desgaste abrasivo



Fuente: WIKIMEDIA COMMONS Desgaste abrasivo [en línea] [Citado 23 de agosto de 2014] disponible en <http://commons.wikimedia.org>

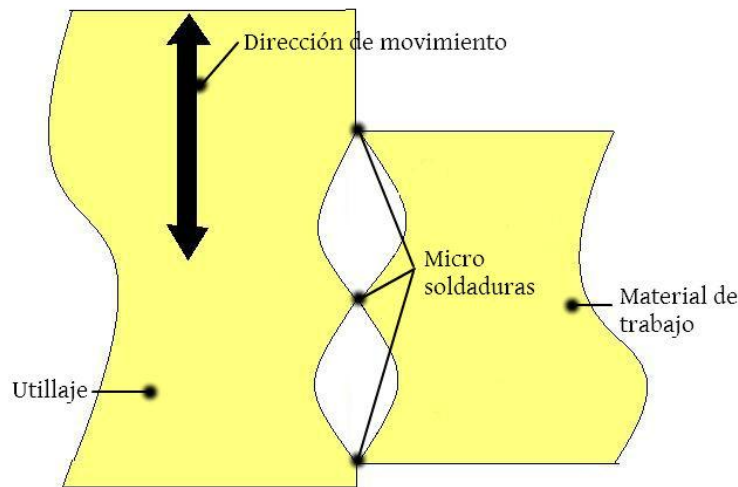
2.2.2 Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo se da cuando se encuentran dos superficies sólidas en contacto y alguna se encuentra en movimiento haciendo presión una sobre la otra, estas fuerzas hacen que las partículas de un material se desprendan y se adhiera al otro material, lo que origina un aumento en su rugosidad como se observa en la Figura 3. El desgaste adhesivo es ayudado por la presencia de altas presiones localizadas en las asperezas en contacto, estas son deformadas plásticamente permitiendo la formación de regiones soldadas localizadas.

Así, la superficie que gana material aumenta su rugosidad con el agravante que cuando el movimiento es continuo se propaga un desgaste abrasivo contra la otra superficie.[2]

Figura 3 Proceso de desgaste adhesivo

Desgaste adhesivo



Fuente: WIKIMEDIA COMMONS Desgaste adhesivo [en línea] [Citado 23 de agosto de 2014] disponible en <http://commons.wikimedia.org>

2.3 DUREZA

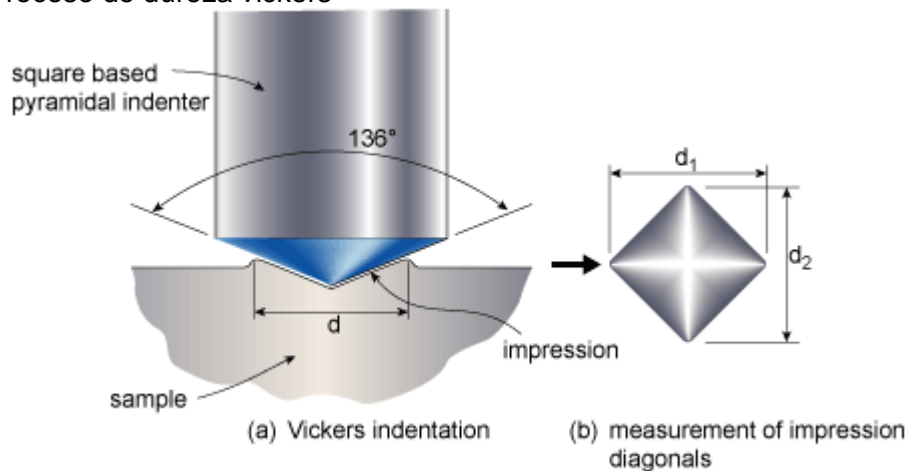
Se define como la propiedad de la capa superficial de resistir a la deformación elástica y plástica cuando se le aplican esfuerzos de contactos inferidos por otro cuerpo más duro y que no sufran deformaciones, es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente en su superficie.

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.

2.3.1 Dureza Vickers

Es un método de ensayo que permite medir la dureza de todos los materiales metálicos sin importar sus condiciones, ejerciendo una carga perpendicularmente determinada después de un largo tiempo, contra la superficie del material al que se le generara el ensayo y se mide la diagonal resultante por la carga aplicada luego de ser removida, como se observa en la figura 4. Con estos datos, utilizando las tablas apropiadas y la caracterización por dureza Vickers (HV) se puede calcular la dureza Vickers.

Figura 4 Proceso de dureza vickers



Fuente: Propiedades físico – mecánicas de los materiales [en línea] [Citado 15 de Nov de 20013] disponible en <http://fradeblogs.wordpress.com>

2.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y REVENIDO

El templeado es un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado, la mayoría de las aleaciones de acero se calientan a temperaturas que oscilan entre 750° C y 1300° C. Dependiendo de la composición del material, el tiempo de calentamiento y la severidad del enfriado se pueden conseguir un gran intervalo de dureza.

El proceso de Revenido se realiza posteriormente al templado, y consiste en mantener el material a temperaturas inferiores a 650° C durante un tiempo determinado, este proceso reduce en un gran porcentaje la fragilidad del material, pero disminuye la resistencia del mismo, adicionalmente permite la realización de ajustes mecánicos a las piezas.

2.5 COBALTO (CO)

El cobalto es un metal ferromagnético, como se muestra en la Figura 5, habitualmente se encuentra junto con el níquel y los dos forman parte de los meteoritos de hierro. El cobalto está constituido por una mezcla de dos formas alotrópicas con estructuras cristalinas hexagonales y cúbicas centradas en las caras, siendo la temperatura de transición entre ambas de 722 K, Se emplea en súper aleaciones de alto rendimiento, es un material notablemente de aleación. Su principal característica es su elevadísima dureza y resistencia al desgaste, además se trata de uno de los pocos elementos químicos del tipo mono isotópicos, el cobalto tiene poca resistencia química aunque es más estable que el hierro ya que se mantiene en aire y agua siempre que no se encuentren otros elementos corrosivos en dichos medios y presenta estados de oxidación muy bajos.

Usos:

- Es utilizado en súper aleaciones para turbinas de gas de aviación.
- Comúnmente se usa para construir imanes y cintas magnéticas.
- Secante para pinturas, tintas y barnices.
- Cables de acero de neumáticos.
- Aleaciones resistentes a la corrosión, herramientas de diamante, aceros rápidos y carburos cementados.
- Herramientas de corte en procesos de fabricación.

- Recubrimientos metálicos por deposición electrolítica por su aspecto (resistencia a la oxidación y dureza).

En la tabla 1 se pueden observar las propiedades del Cobalto.

Tabla 1 Propiedades del Cobalto

Propiedades	
Densidad	8.89 g/cm ³ .
Punto de ebullición	2900°C
Punto de Fusión	1495 °C
Estructura	Cristalina

Fuente: autores del proyecto

Figura 5 Cobalto



Fuente: Yogallery Magazine [en línea] [Citado 22 de noviembre de 2014] disponible en www.yogallerymagazine.com/es/

2.6 NÍQUEL / TITANIO

La aleación de níquel (Figura6) y titanio (Figura7), es conocida como Nitinol aunque en diferentes proporciones que las que se van a trabajar en este proyecto, sin embargo las propiedades y características deberán ser muy similares a este.

Esta aleación también es llamada memoria de forma ya que deben sus propiedades a una transición de fase entre una estructura de tipo austenita y una de tipo martensita.

La martensita es una fase menos armónica que la austenita, una vez que se ha generado por enfriamiento la fase martensita, se puede deformar fácilmente, pero la transformación que se realiza por calentamiento recupera la única estructura de tipo austenita posible. Este efecto, a escala macroscópica se manifiesta en la recuperación de la forma inicial.

En un proceso común de transformación con memoria de forma, la pieza se enfría desde el estado de austenita para convertirla en martensita. En esta fase el material es maleable y se deforma fácilmente, cambiando de forma. Un calentamiento a una temperatura más elevada a la de transformación devuelve el objeto a su forma original.

Usos:

- Actuadores mecánicos.
- Válvulas de control
- Termostatos
- Materiales súper elásticos (instrumentación medica)
- Uniones en canalizaciones de submarinos y conducciones submarinas.
- Instrumentación odontológica.

Figura 6 Níquel



Fuente: Minería en Línea [en línea] [Citado 16 de marzo de 2014] disponible en mineriaenlinea.com

En la tabla 2 se pueden observar las propiedades del Níquel y en la tabla 3 las propiedades del Titanio.

Tabla 2 Propiedades del Níquel

Propiedades	
Densidad	8.9 g/ml.
Punto de ebullición	2730 °C
Punto de Fusión	1453 °C
Estructura	Cristalina

Fuente: Fuente: Minería en Línea [en línea] [Citado 16 de marzo de 2014] disponible en mineriaenlinea.com

Figura 7 Titanio



Fuente: Definición ABC [en línea] [Citado 12 de junio de 2007] disponible en www.definicionabc.com/general/titanio/

Tabla 3 Propiedades del Titanio

Propiedades	
Densidad	4.507 g/cm ³ .
Punto de ebullición	3287 °C
Punto de Fusión	1668 °C
Estructura	Cristalina

Fuente: Definición ABC [en línea] [Citado 12 de junio de 2007] disponible en www.definicionabc.com/general/titanio/

2.7 NORMA ASTM G65 – 04

La norma ASTM G65 – 04 muestra un parámetro de utilización en los laboratorios para la especificación de la resistencia de un material metálico al desgaste por abrasión a partir de una rueda de caucho y un chorro de arena seca , este tipo de ensayos se miden en milímetros cúbicos , entre más elevado esté el volumen perdido menor resistencia a la abrasión posee el metal, al instante de desarrollar los ensayos debe contarse con una alteración de velocidades y cargas aplicadas las cuales se encuentran especificadas en la norma, el diseño y parámetros de medidas para la realización de la maquina también son brindados por la norma [5].

2.8 NORMA ASTM G99-05

La norma ASTM G99-05, dispone parámetros primordiales para la ejecución de ensayos de desgaste por medio de un tribómetro pin-on-disk, dentro de la cual se muestran las condiciones del ensayo, tales como velocidad, distancia lineal recorrida, carga aplicada entre otras.

El equipo pin-on-disk radica en un disco giratorio sobre el que se dispone uno de los materiales bajo ensayo y que es cargado a través de un elemento del otro material de ensayo pero este de tipo punzón, bola o superficie plana por medio de un peso conocido que puede ser hasta de 60N.

El sistema es monitoreado por un ordenador y se pueden alcanzar y reconocer parámetros como: fuerza de rozamiento, desgaste, temperatura y coeficiente de rozamiento [6].

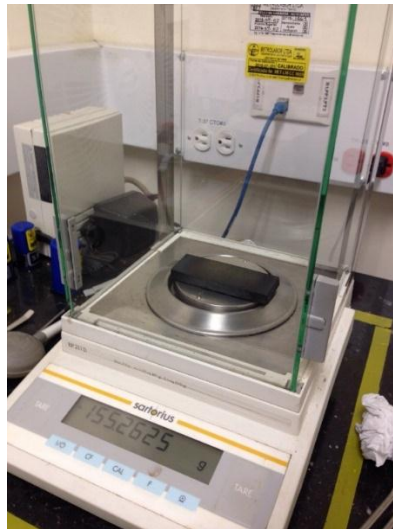
2.9 EQUIPOS

Se utilizaron diferentes equipos para la realización del proyecto.

2.9.1 Balanza SARTORIUS BP 211D.

Son balanzas precisas y de fácil manejo (Figura8), las balanzas analíticas establecen nuevos estándares, respecto a la tecnología, la calidad y el equipamiento. Posee un rango de pesaje escalonado con precisión de 0.0001g a 200g, su diseño es sencillo y fácil de usar.

Figura 8 Balanza SARTORIUS BP 211D



Fuente: Autores del proyecto

2.9.2 Maquina pin-on-disk

Es una maquina diseñada para realizar pruebas de desgaste adhesivo (Figura 9). Para realizar estos ensayos es indispensable la norma ASTM G99-05 y resaltar los puntos más importantes ya que es un método estándar para la obtención de datos válidos, consta de un disco giratorio en el cual se inserta los materiales a los que se le realizara el ensayo, luego estos son cargados de un elemento tipo punzón.

Los parámetros que se consideran son:

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

Consta de los siguientes elementos:

- Un mecanismo ajustable para controlar en qué punto el pin marcara la trayectoria del disco.
- Un variador de frecuencia ligado al motor para controlar la velocidad de giro del eje.
- Motor eléctrico de un caballo de potencia el cual hace girar al disco que se vaya a ensayar.
- Un pin que se pone de forma perpendicular a la superficie del disco graduándolo al radio que se desee.

Figura 9 Maquina PIN-ON-DISK



Fuente: Autores del proyecto

2.9.3 Máquina de desgaste abrasivo

Es una maquina construida para ensayos de abrasión utilizando la arena fina como elemento abrasivo la cual fluye a 300g por minuto (Figura 10), consta de una tolva donde se encuentra el material abrasivo, una boquilla por la cual sale el material abrasivo, que pasa entre la probeta rectangular y un rodete que gira a cierta velocidad según la norma. Posee un motor eléctrico de un caballo de potencia y un variador de frecuencia.

Figura 10 Maquina de desgaste abrasivo



Fuente: Autores del proyecto

La arena utilizada como material abrasivo es cernida para evitar que la boquilla sea tapada, esta arena fue tratada por varios procesos de cernido hasta llegar al grano adecuado. Comenzamos por un tamiz de agujeros grandes (Figura 11) para retirar la mayor cantidad posible hasta llegar a un tamiz de agujeros muy pequeños (Figura 12) para que el proceso de abrasión sea el mejor.

Figura 11 Tamiz de agujeros grandes



Fuente: Autores del proyecto

Figura 12 Tamiz de agujeros pequeños



Fuente: Autores del proyecto

2.9.4 Microscopia electrónica de barrido

La microscopia electrónica de barrido o SEM, utiliza electrones para crear imágenes (Figura 13). Para obtenerlas, el equipo cuenta con un dispositivo que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores junta los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma, para crear una imagen que refleja las características superficiales de la muestra, consiguiendo información de la textura, forma y composición química de la muestra.

La microscopia electrónica de barrido proporciona la contemplación y caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos en escalas micrométricas; El mayor uso de la microscopia electrónica de barrido es el obtener imágenes topográficas de muy alta calidad a grandes magnitudes.

Estos instrumentos alcanzan resoluciones de hasta 1 nanómetro y una profundidad de foco de hasta 10 micrómetros, a diferencia del microscopio tradicional la microscopia electrónica de barrido proporciona una imagen tridimensional, especificando claramente la superficie estructural de la muestra.

Figura 13 Microscopia electrónica de barrido



Fuente: Autores del proyecto

2.9.5 Durómetro HARTIP 1500

Es un dispositivo portátil (Figura 14) lo 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, su funcionamiento se basa en la medida de las velocidades de impulsión y rebote de un cuerpo móvil impulsado por un resorte contra la superficie de materiales ferrosos. Su funcionamiento es sencillo puede medir 5 diferentes escalas de dureza, mide las durezas HV, HR, HB.

Características del equipo:

- Alta precisión
- Desconexión automática de encendido y apagado
- Tamaño compacto

Especificaciones del equipo:

- Fuente de alimentación: batería recargable de 9 voltios
- Dimensiones: 3.9 pulgadas * 2.3 pulgadas *1.3 pulgadas
- Conversión: HL, HB, HSD, HRC, HV, HRB
- Opción de calibración
- Peso: 5.2 Oz
- Pantalla: LCD

Figura 14 Durómetro Hartip 1500



Fuente: Autores del proyecto

2.9.6 Pistola de proyección térmica por llama

Es un instrumento térmico (ilustrado en la Figura 15) que utiliza combustibles como medio de combustión. El material de recubrimiento es compuesto por elementos ferrosos como: aleaciones de titanio con níquel.

Figura 15 Pistola de proyección térmica por llama



Fuente: Autores del proyecto

3 METODOLOGIA

Para la realización de este proyecto, se desarrollarán las actividades a continuación:

- Adquisición de materiales.
- Caracterización morfológica y química del NI70/TI30-wt10% CO.
- Fabricación de probetas y ensayos.
- Depósitos por medio del rociado térmico por llama NI70/TI30-wt10% CO
- Determinación del número de ensayos requeridos para la obtención de datos estadísticamente confiables
- Ensayos.

3.1 ADQUISICION DE MATERIALES

El material utilizado para los ensayos fue acero AISI 1045 el cual se adquirió en la COMPAÑÍA GENERAL ACEROS SA ubicada en la ciudad de Bucaramanga, la forma geométrica de este material fue de cortes rectangulares de lámina de 26mm de ancho, 80 mm de alto y 12 mm de espesor además, cortes redondos de 89 mm de diámetro y 12 mm de espesor.

La aleación de níquel y titanio además del cobalto de tamaño micrométrico fueron adquiridos a través de la empresa GOODFELLOW el cual se encuentra ubicada en Hookstown Grade Road, Coraopolis, PA 15108-9302, USA. El tamaño promedio de los granos es de 50 micrones, la forma geométrica del material es particulado.

3.2 CARACTERIZACION MORFOLOFICA DE LA ALEACION NI70/TI30-wt10% CO

El equipo es un microscopio FE SCHOTTKY de alta resolución, La característica principal de este equipo de última generación es que se puede ver cualquier material con una resolución de hasta 1.5 nanómetros, es decir, se pudo ver cómo están organizados los átomos que conforman las estructuras de materiales, el genoma humano, entre otros elementos que componen el nanomundo. Conocer cómo están organizadas las partículas, permitirá modificarlas y es así como se crean nuevos materiales, que se denominan actualmente nanomateriales, como por ejemplo el Grafeno que se dice será el material del futuro.

La caracterización morfológica y química de la aleación níquel/titanio y cobalto se realizó a través de la técnica de microscopía electrónica de barrido; para lo cual se usó el equipo que se encuentra en el laboratorio de nanomateriales de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga.

Por su parte, el Microscopio Electrónico de Barrido, usa electrones para poder ver las muestras a escala atómica. Acelerando los electrones y haciéndolos estrellar con el material objeto de análisis, se logra una interacción de donde resulta la información que permite ver la estructura de los materiales a escala nanométrica, el cual corresponde a la mil millonésima parte de 1 metro.

3.3 FABRICACION DE PROBETAS Y ENSAYOS

Las diferentes probetas fueron realizadas a partir del proceso de mecanizado en torno y fresadora, la forma geométrica de estas es rectangulares (Figura 17) y circulares (Figura 16) respectivamente, las cuales se acomodan a las normas ASTM

y los equipos que se utilizan para los ensayos de resistencia de desgaste adhesivo, desgaste abrasivo y dureza.

Las probetas se someten a un proceso de granallado consiste en aplicar un chorro de arena a presión sobre la superficie de la probeta maquinada con el fin de eliminar los contaminantes y lograr una correcta terminación superficial para luego proceder con los depósitos.

Figura 16 Probeta circular sin recubrimiento



Fuente: Autores del proyecto

Figura 17 Probeta rectangular sin recubrimiento



Fuente: Autores del proyecto

3.4 DEPOSITOS POR MEDIO DEL ROCIADO TERMICO POR LLAMA DE Ni70/Ti30 – wt 10% Co

Se inicia el proceso con la mezcla de Ni70/Ti30 – wt 10% Co, la cual se deposita en la tolva de la pistola de proyección como se muestra en la Figura 18.

Figura 18 Pistola para el proceso de rociado térmico por llama



Fuente: Autores del proyecto

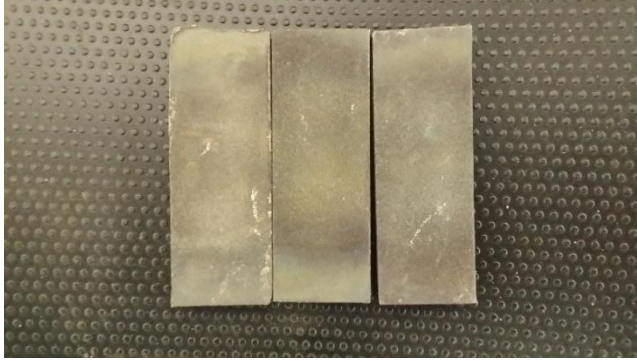
La mezcla se deposita en la tolva de la pistola, luego se enciende el equipo oxiacetilénico y a través del proceso de rociado (Figura 19) se calientan las probetas de acero AISI 1045 por medio de una llama de oxi-combustible hasta alcanzar la temperatura correcta, finalmente hacer los depósitos (Figura 20).

Figura 19 Proceso de recubrimiento del material base



Fuente: Autores del proyecto

Figura 20 Depósitos por medio del rociado térmico por llama



Fuente: Autores del proyecto

3.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ENSAYOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS ESTADÍSTICAMENTE CONFIABLES.

Para determinar el número de ensayos requeridos para obtener datos estadísticamente confiables, se realizó una premuestra con 6 probetas para cada tipo de ensayo a realizar (dureza, resistencia al desgaste adhesivo y abrasivo). La ecuación que se utiliza para determinar el número de ensayos requeridos es la siguiente:

$$n = \frac{S^2 * Z^2}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra para una confiabilidad dada.

S = Desviación estándar de los resultados obtenidos de la premuestra.

Z = Variable obtenida de la tabla para la distribución normal, depende del nivel de confianza que se quiere obtener de los resultados del ensayo.

e = Máximo error permisible en los datos obtenidos del ensayo.

El nivel de confianza que se desea obtener de los resultados del ensayo será como mínimo de un 95%, lo que corresponde a un valor de Z de 1.96; también se espera que el error permisible no supere el 10% de los valores promedios obtenidos de los ensayos de dureza, resistencia al desgaste adhesivo y resistencia al desgaste abrasivo.

3.6 ENSAYOS

Se hicieron en tres grupos diferentes de probetas: las primeras realizadas sobre el acero AISI 1045 normalizado, el segundo grupo fue del mismo acero pero esta vez tratado por un proceso de temple y revenido y el último grupo fue del acero AISI 1045 con recubrimientos de Ni70/Ti30 – wt 10% Co depositado a través del rociado térmico por llama.

3.6.1 Pruebas de dureza

Para obtener la dureza vickers se realiza el siguiente el procedimiento mediante el equipo HARTIP 1500:

- Encender el equipo de medición
- Presionar el botón M para seleccionar la dirección en la cual se hará la prueba
- Se vuelve a presionar el botón M para seleccionar el tipo de material al cual se le realizara la prueba
- Se vuelve a presionar el botón M con el fin de escoger el tipo de ensayos a realizar
- Finalmente presionando la tecla M se asigna la acción promedio y así lograr una mayor certeza en los resultados de los ensayos.

Figura 21 Durómetro Hartip 1500



Fuente: Autores del proyecto

3.6.2 Ensayos de resistencia al desgaste adhesivo

Los ensayos de resistencia al desgaste adhesivo se realizaron a partir de la norma ASTM 99-05 método de prueba estándar para ensayos de desgaste pin on disk (Figura 22), luego estas son reportadas como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos para cada una de los discos utilizados.

Este equipo se encuentra en el laboratorio de procesos industriales de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga el cual trabaja a velocidades de operación de 60 a 600 rpm. Las distancias lineales definidas por los ensayos fueron de 250, 750, 1000 metros.

Figura 22 Desgaste adhesivo



Fuente: Autores del proyecto

Para los ensayos se usó una probeta móvil (Figura 23) y una probeta estacionaria; la probeta móvil es un disco acoplado al porta probetas por medio de unas tenazas que la sujetan y esta gira a la velocidad requerida y la probeta estacionaria(Figura 23) es un pin que va sujeto a la parte superior del porta pasadores.

Figura 23 Probeta móvil y Probeta estacionaria



Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo con la norma ASTM 99-05 el procedimiento es el siguiente:

- Limpiar muy bien el disco y el pasador para eliminar impurezas
- Pesar el disco y el pin en la balanza SARTORIUS BP 211D
- Colocar el pasador y el disco en el dispositivo, luego ajustarlo
- Colocar las masas requeridas para garantizar la carga recomendada
- Añadir los valores en el PLC (número de revoluciones del disco y la frecuencia de operación) lo que nos determina la distancia lineal recorrida.
- Empezar la prueba con el pasador y el disco en contacto bajo carga. Cuando este llegue al número de revoluciones especificado el equipo se detendrá automáticamente.
- Después de la prueba se retira el pasador y el disco
- Se realiza un proceso de limpieza para eliminar cualquier residuo
- Finalmente pesar las probetas en la balanza SARTORIUS BP 211D
- Con los datos obtenidos se calcula la pérdida de masa para cada una de las probetas ensayadas y luego las convertimos en pérdidas de volumen.

$$Volumen\ perdido, mm^3 = \frac{Masa\ perdida\ [g]}{Densidad\ [\frac{g}{cm^3}]} * 1000$$

Se utilizaron las siguientes condiciones de prueba.

Tabla 4 Pruebas de desgaste adhesivo

CONDICIONES DE LAS PRUEBAS			
Carga aplicada (N)	10.2	10.2	10.2
Velocidad angular (RPM)	300	300	300
Distancia lineal recorrida (m)	250	750	1000
Número de revoluciones del ensayo	3980	5971	5307
Diámetro de contacto (m)	0.02	0.04	0.06
Temperatura de Trabajo (°C)	26	26	26

Fuente: Autores del proyecto

3.6.3 Ensayos de resistencia al desgaste abrasivo

A partir de la norma ASTM G65-04 (REAPROBADA EN EL 2010) se realizaron las pruebas de desgaste abrasivo con una rueda de caucho y arena.

El procedimiento es el siguiente:

- Limpiar adecuadamente y de manera cuidadosa las impurezas, con el fin de evitar algún tipo de impureza.
- Realizar el Pesaje para cada una de las probetas a ensayar.
- Especificar la velocidad de la rueda del caucho (300rpm)
- Ajustar el flujo de arena entre 300 y 400 gramos por minuto
- Cuando la arena sea uniforme se inicia la rotación de la rueda
- Colocar la probeta en el soporte de la maquina e ingresar los pesos necesarios en la palanca para desarrollar la fuerza requerida en el ensayo
- Calibrar el contador de revoluciones
- Iniciar la rotación de la rueda y bajar el brazo de palanca para que la probeta entre en contacto con la rueda
- Alejar la probeta de la rueda posteriormente apagar el equipo.
- Después de la prueba realizar el pesaje de la prueba nuevamente
- Obtener la pérdida de masa de las probetas ensayadas y luego convertirlas en perdida de volumen con la siguiente formula

$$\text{Volumen perdido, mm}^3 = \frac{\text{masa perdida (g)}}{\text{densidad (g/cm}^3\text{)}} * 1000$$

Figura 24 Desgaste abrasivo



Fuente: autores del proyecto

Según la norma ASTM G65-04 los ensayos se realizaron bajos los siguientes parámetros

Tabla 5 Parámetros de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65-04

Procedimiento especificado	Fuerza contra la probeta, N (lb)	Revoluciones de la Rueda	Abrasión Lineal	
			M	Ft
A	130 (30)	6000	4309	14138
B	130 (30)	2000	1436	4711
C	130 (30)	100	71.8	236
D	130 (30)	1000	718	2360

Fuente: Autores del proyecto

3.6.4 Obtención de la información suministrada para los diferentes ensayos

De acuerdo con los ensayos de dureza, desgaste abrasivo y adhesivo se crearon unas tablas donde se muestra las pruebas tomadas con el fin de ordenar los resultados y poder analizarlos.

Para realizar las pruebas de microscopia electrónica de barrido se enviaron las muestras de Ni70/Ti30–wt10% Co al laboratorio de nanomateriales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga con el fin de hacer la caracterización química y morfológica de dichos materiales. Con las muestras entregadas en el laboratorio se realizaron los cálculos y su respectivo análisis de los porcentajes de error con respecto a la información que nos suministra la tabla periódica.

Para obtener la masa perdida en gramos de cada probeta recubierta se hizo el ensayo de desgaste abrasivo según los parámetros mencionados por la norma ASTM G65-04. Igualmente para obtener la masa perdida recubierta se hizo el ensayo de desgaste adhesivo siguiendo los parámetros mencionados por la norma ASTM G65-04.

3.6.5 Análisis de pruebas de microscopia

Después del análisis en el microscopio de nanomateriales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga se halló el tamaño de las partículas, los cálculos de porcentajes de error con respecto a la tabla periódica y su composición química. Después se calculó el volumen perdido de cada probeta y se hicieron graficas relacionando el volumen perdido vs el recorrido realizado.

Este mismo procedimiento se hizo con las probetas rectangulares pero en este caso se relacionan el volumen perdido vs el número de giros de la rueda.

3.6.6 Entrega de resultados suministrados por los diferentes ensayos

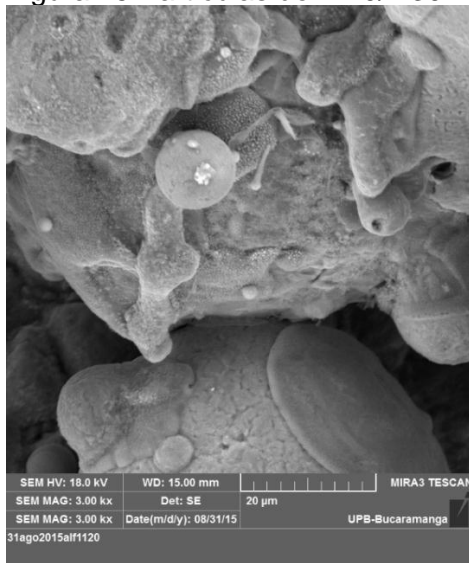
De acuerdo con los objetivos del proyecto se presentan los resultados de los ensayos de dureza, desgaste adhesivo y abrasivo además de la microscopía electrónica de barrido.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICA Y QUÍMICA DEL Ni70/Ti30 – wt 10% Co.

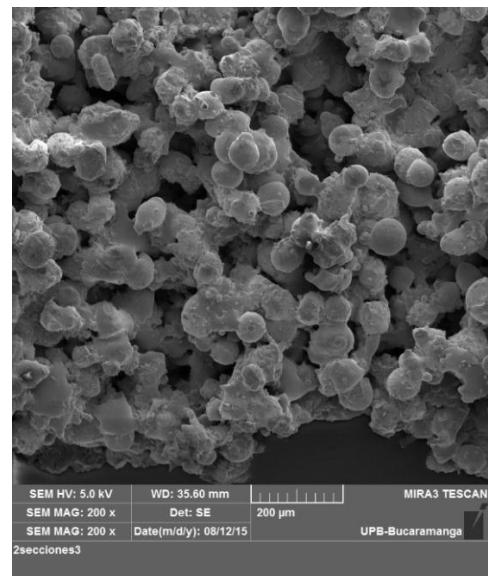
Los ensayos realizados en el microscopio electrónico de barrido dan como resultado imágenes que permiten determinar la morfología del Ni70/Ti30 – wt 10% Co.

Figura 25 Partículas de Ni70/Ti30 – wt 10% Co



Escala: 20 μm

Fuente: Autores del proyecto

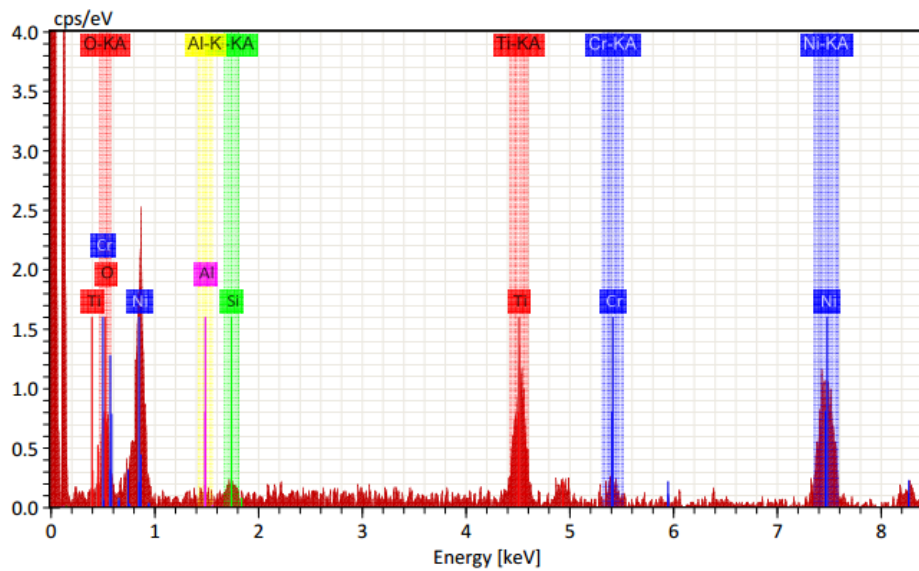


Escala: 200 μm

La figura 25 permite demostrar que tanto el níquel como el titanio utilizados tienen cierta cantidad de partículas con formas geométricamente irregulares, cuando mayor es la proporción presenta una tendencia a poseer formas estructuralmente esféricas. Se puede verificar que el tamaño de las partículas está en orden micrométrico ya que las escalas de las imágenes son de 20, 200 [μm] respectivamente.

Los análisis de EDS realizados para la mezcla a través de microscopía electrónica de barrido, como lo muestra la figura 26, se relacionan los porcentajes de peso atómico de cada material, los cuales se comparan con las relaciones porcentuales teniendo como referencia la tabla periódica de elementos, esto para comprobar la composición de los mismos.

Figura 26 Grafica resultante del análisis de microscopía



Fuente: Microscopía electrónica de barrido

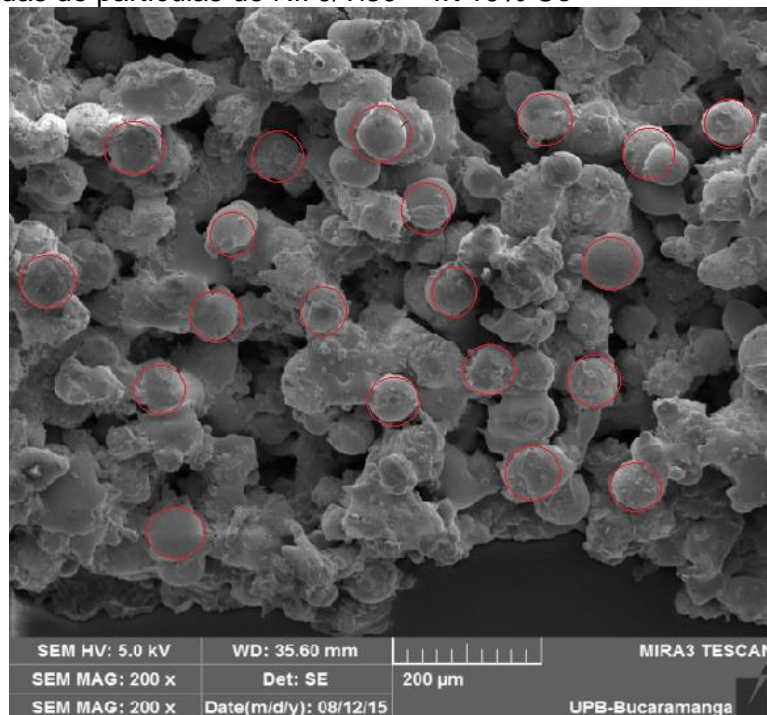
Tabla 6 resultados EDS

Elemento	Porcentaje
Aluminio	0.55%
Níquel	50.49%
Titanio	16.21%
Oxígeno	15.39%
Silicio	0.92%
Cromo	3.46%

Fuente: Microscopía electrónica de barrido

Los resultados obtenidos permiten concluir que los elementos presentes en las pruebas son Al, Ni, Ti, O, Si y Cr; sin embargo existe una diferencia significativa entre los datos teóricos y los experimentales obtenidos. Se pudo afirmar que el material utilizado para los depósitos fueron los requeridos por la energía electrovoltaica.

Figura 27 medidas de partículas de Ni70/Ti30 – wt 10% Co



Fuente: microscopio universidad pontificia bolivariana

De acuerdo con las pruebas realizadas en la microscopia electrónica de barrido se analizaron las imágenes para tomar medidas de 20 partículas diferentes, como lo muestra la figura 27 y dio como promedio 62.8 μm. Se trabajó con la escala de 200μm y a partir de estas se realizó una regla de tres para la realización del resto de las partículas como es muestra en la tabla 7.

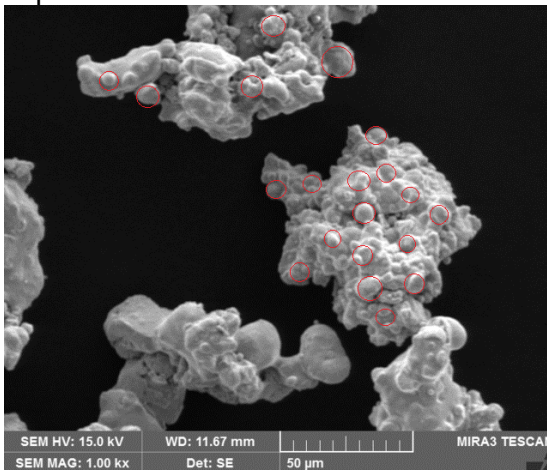
200μm en la escala EDS equivale a 3cm.

Tabla 7 medidas de las partículas de níquel y titanio

Partículas	μm
1	66.66
2	60
3	63.33
4	80
5	52
6	53.33
7	63.33
8	73.33
9	62
10	53.33
11	83.33
12	46.66
13	50.66
14	70
15	48
16	60
17	56
18	80
19	60
20	65.33
Promedio	62.8

Fuente: Autores del proyecto

Figura 28. Medidas de las partículas de cobalto



Fuente: Microscopio Universidad Pontificia Bolivariana

Tabla 8 medidas de las partículas de cobalto

Partículas	μm
1	11.25
2	6.25
3	7.25
4	12.5
5	7.7
6	6.87
7	5.87
8	6.5
9	6.25
10	7
11	7.25
12	7.7
13	8.75
14	7
15	5.87
16	6.87
17	6.87
18	7.25
19	7
20	6.25
Promedio	7.119

Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo con las pruebas realizadas en la microscopia electrónica de barrido se analizaron las imágenes para tomar medidas de 20 partículas diferentes, como lo muestra la figura 28 y dio como promedio 7.119 μm . Se trabajó con la escala de 50 μm y a partir de estas se realizó una regla de tres para la realización del resto de las partículas como se muestra en la tabla 8.

50 μm en la escala EDS equivale a 4cm.

4.2 ENSAYO DE DUREZA VICKERS

Se inició una premuestra con 5 ensayos para cada tipo de probeta con el fin de hallar el número de pruebas necesarias para alcanzar una confiabilidad del 95% y un porcentaje de error del 10%.

Se inició con las pruebas de dureza para las probetas rectangulares normalizadas como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Resultados premuestra de ensayos de dureza Vickers

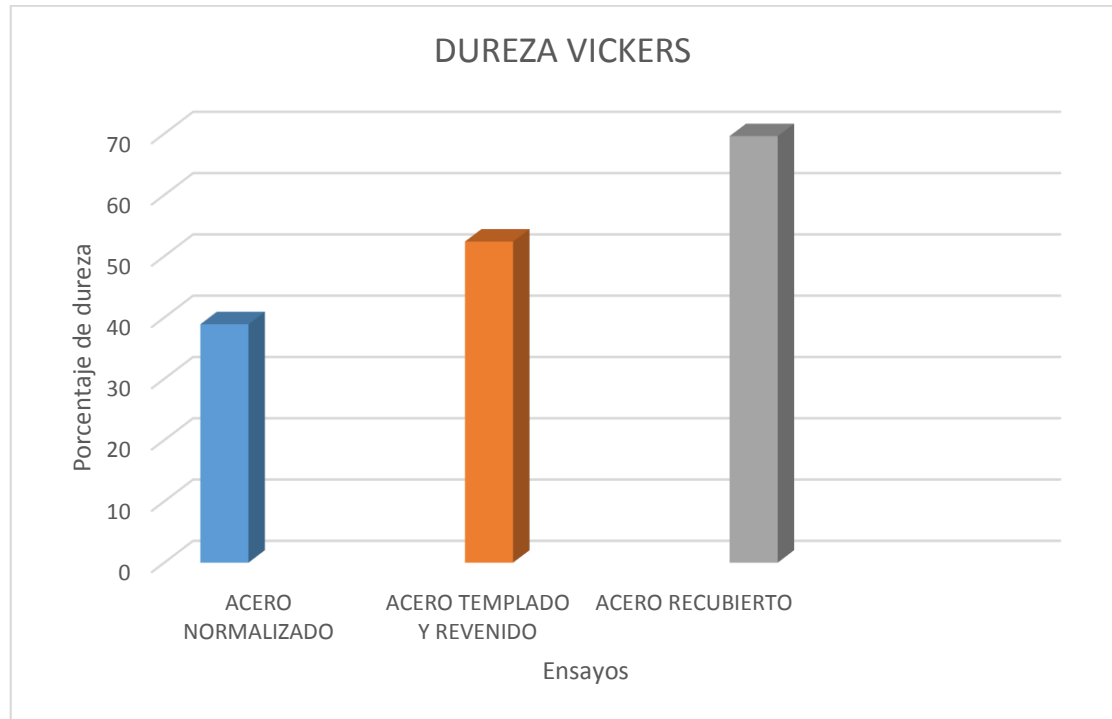
MUESTRA	DUREZA VICKERS		
	Acero AISI 1045 Normalizado	Acero AISI 1045 Templado y Revenido	Acero AISI 1020 con recubrimiento Ni70/Ti30 – wt 10% Co
1	39.22	52	72
2	38.77	52	72
3	38.81	52.3	72.3
4	39.23	52.8	72.8
5	38.99	52.4	72.4
Promedio	39.004	52.3	72.3
Desviación Estándar	0.2181	0.3316	0.3316
Número de Ensayos	1	2	1

Fuente: Autores del proyecto

La tabla 9 permite concluir que el número de ensayos de dureza vickers necesarios para alcanzar datos estadísticamente confiables es de 2; Como la premuestra utilizada fue de 5 ensayos por cada tipo de probeta entonces no se hace necesario la realización de más pruebas. Se realizó una gráfica de los porcentajes de dureza

obtenidos en las pruebas de normalizado, templado y revenido, y con el recubrimiento de Ni70/Ti30 – wt 10% Co, como se ilustra en la figura 29.

Figura 29. Porcentajes de dureza vickers



Fuente: autores del proyecto

Se concluyó que la dureza vickers del acero AISI 1045 mejora cuando el material es tratado térmicamente con un proceso de temple y revenido con respecto al normalizado en un 13.5%, y cuando el acero es recubierto con la mezcla Ni70/Ti30 – wt 10% Co aumenta su dureza con respecto a la del temple y revenido en un 17.2%.

4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO.

Los ensayos de resistencia al desgaste abrasivo se observan en la probeta como una huella rectilínea y por consiguiente una remoción de material tal como se observa en la figura 30.

Figura 30 Ensayos de resistencia al desgaste abrasivo



Fuente: autores del proyecto

Para determinar el número de ensayos requeridos en las pruebas de resistencia al desgaste abrasivo se utilizó como parámetro de comparación el volumen perdido en la probeta en milímetros cúbicos.

Los resultados obtenidos de una premuestra de 5 ensayos realizada a probetas recubiertas con Ni70/Ti30-wt10% Co; Los resultados de volumen perdido y el número de ensayos requeridos para una confiabilidad del 95% y un error máximo del 10% se relaciona en la siguiente tabla.

Tabla 10 Determinación del número de ensayos para la resistencia al desgaste abrasivo

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)							
	71.82		718.2		1436.4		4309.2	
	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)
1	0.2356	29.93	0.3675	46.69	0.6813	86.56	1.1124	141.34
2	0.2248	28.5064	0.3246	41.24	0.5056	64.24	0.8271	105.0952
3	0.1887	24.247	0.3211	40.8	0.5362	68.13	1.0084	128.1321
4	0.2722	34.58	0.3539	44.9	0.5981	75.9	1.0232	130.0127
5	0.2323	29.517	0.3757	47.7	0.6443	81.86	1.0992	139.6696
Promedio		29.5676		44.2066		75.338		126.145
Desviación Estándar		3.869		3.132		9.272		14.4846
Error%		2.956		4.426		7.533		12.614
Número de Ensayos		6		2		6		5

Fuente: Autores del proyecto

La tabla 10 permite concluir que el número de ensayos de resistencia al desgaste abrasivo necesarios para alcanzar datos estadísticamente confiables es de 6, los resultados obtenidos para cada tipo de probeta (acero AISI 1045 normalizado, acero AISI 1045 tratado térmicamente con un proceso de temple y revenido, y acero AISI 1045 con recubrimiento de Ni70/Ti30-wt10% Co, depositados a través de rociado térmico por llama), se relacionan en las tablas 11,12 y 13.

Tabla 11 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 normalizado

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)							
	71.82		718.2		1436.4		4309,2	
	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)
1	0.0158	2.01	0.1677	21.31	0.487	61.76	0.7372	93.68
2	0.0177	2.26	0.16777	21.32	0.4601	58.47	0.7228	91.85
3	0.0116	2.13	0.1652	21	0.4716	59.93	0.7358	93.5
4	0.0177	2.25	0.1724	21.91	0.4867	61.85	0.7374	93.7
5	0.0151	1.93	0.1684	21.4	0.4506	57.26	0.7421	94.3
6	0.0156	1.99	0.1688	21.45	0.477	60.61	0.7459	94.78
7	0.0176	2.24	0.1687	21.44	0.4305	54.71	0.7454	94.72
8	0.0166	2.11	0.1653	21.01	0.4235	53.82	0.7298	92.74
9	0.015	1.92	0.1676	21.3	0.4379	55.65	0.7286	92.58
10	0.0173	2.21	0.1694	21.53	0.4522	57.46	0.734	93.27
Promedio	0.01644	2.105	0.16812	21.367	0.45771	58.152	0.7359	93.512
Desviación Estándar	0.00107	0.13418	0.00205	0.2596	0.02273	2.8703	0.00744	0.9450

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 12 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 templado y revenido

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)							
	71.82		718.2		1436.4		4309,2	
	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)
1	0.00637	0.81	0.0743	9.45	0.2565	32.60	0.51	65.94
2	0.00912	1.16	0.0867	11.02	0.2774	35.25	0.5224	66.38
3	0.00905	1.15	0.0882	11.21	0.2750	34.95	0.5497	69.85
4	0.00535	0.68	0.0909	11.56	0.2663	33.84	0.5129	65.18
5	0.00527	0.67	0.0758	9.68	0.2771	35.22	0.5557	70.62
6	0.00779	0.99	0.0920	11.70	0.2674	33.98	0.5191	65.96
7	0.00826	1.05	0.0757	9.62	0.2706	34.39	0.5466	69.46
8	0.00873	1.11	0.0851	10.82	0.2651	33.69	0.5261	66.85
9	0.00613	0.78	0.0897	11.40	0.2669	33.92	0.5255	66.78
10	0.00873	1.11	0.0809	10.28	0.2607	33.13	0.5312	67.50
Promedio	0.00748	0.951	0.00839	10.674	0.2683	34.097	0.5299	67.452
Desviación Estándar	0.00154	0.19626	0.00674	0.85280	0.00686	0.8728	0.01574	1.8695

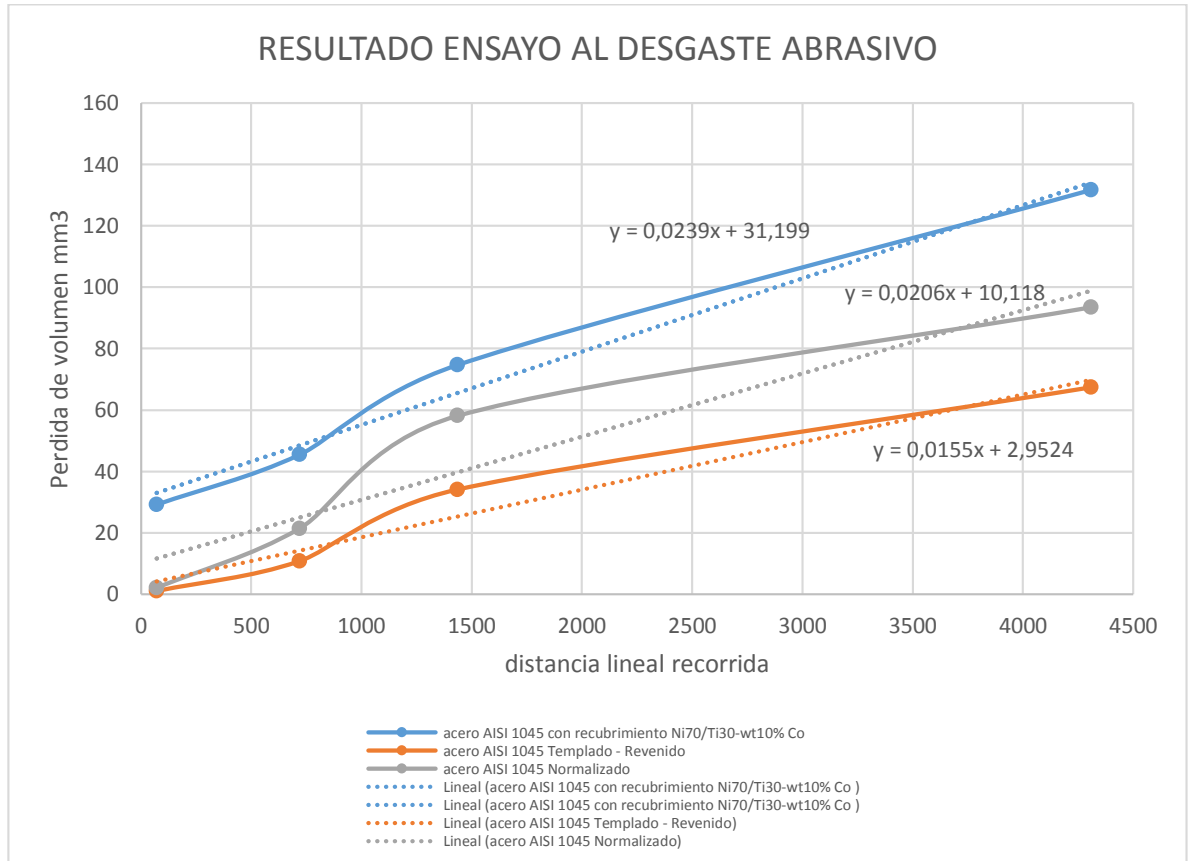
Fuente: Autores del proyecto

Tabla 13 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30 – wt 10% Co

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)							
	71.82		718.2		1436.4		4309,2	
	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)	Peso (g)	Volumen (mm3)
1	0.2323	25.5170	0.3757	47.7	0.6447	81.86	1.0992	139.669
2	0.2145	27.2554	0.3503	44.5108	0.5175	65.756	1.0367	131.728
3	0.2356	29.93	0.3675	46.69	0.6813	86.56	1.1124	141.34
4	0.2229	28.3227	0.3640	46.2515	0.6229	79.1486	1.0410	132.274
5	0.2248	28.5064	0.3246	41.24	0.5056	64.24	0.8271	105.095
6	0.2436	30.9529	0.3765	47.8398	0.5981	75.9974	1.0905	138.564
7	0.1987	25.2470	0.3211	40.8	0.5362	68.13	1.0084	128.132
8	0.2361	30	0.3761	47.7890	0.6239	79.2757	1.0472	133.062
9	0.2722	34.58	0.3539	44.9	0.5981	75.9	1.0232	130.012
10	0.2185	27.7636	0.3651	46.3913	0.5518	78.1143	1.0796	137.17
Promedio	0.2299	29.2075	0.3575	45.4112	0.5880	74.6982	1.0365	131.704
Desviación Estándar	0.0196	2.4947	0.0203	2.5783	0.0581	7.3739	0.0813	10.3229

Fuente: Autores del proyecto

Figura 31 Comparación de la resistencia al desgaste abrasivo en probetas de acero AISI 1045

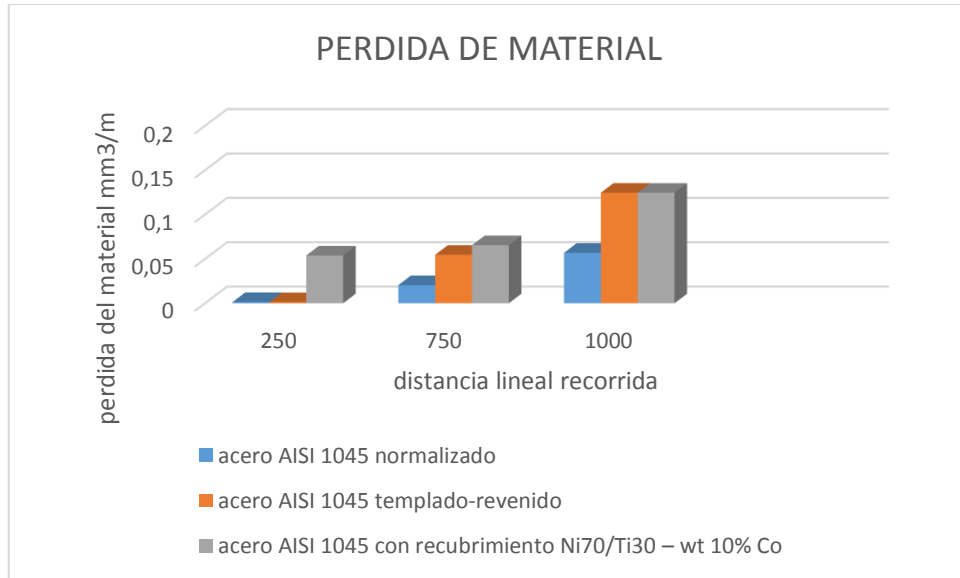


Fuente: autores del proyecto

En la figura 31 se contempla una relación lineal directamente proporcional entre la distancia lineal recorrida y la pérdida del material en la probeta.

La figura 32 permite concluir que la pérdida de material es directamente proporcional con la distancia lineal recorrida, es decir, que a mayor distancia lineal recorrida mayor será la pérdida del material.

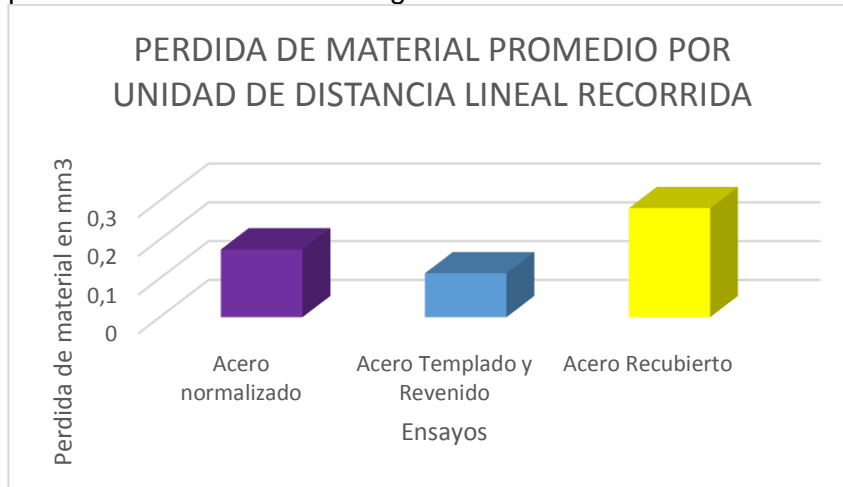
Figura 32 pérdida de material por unidad de distancia recorrida



Fuente: Autores del proyecto

La Figura 32 nos permite concluir que la mayor pérdida de material de las probetas recubiertas se presentan en las distancias más cortas, lo cual puede indicar una tendencia a pensar que la adhesión del recubrimiento sobre el material base no es lo suficientemente fuerte como para evitar que este se desprenda.

Figura 33 Pérdida de material promedio por unidad de distancia lineal recorrida en las pruebas de resistencia al desgaste abrasivo sobre acero AISI 1045



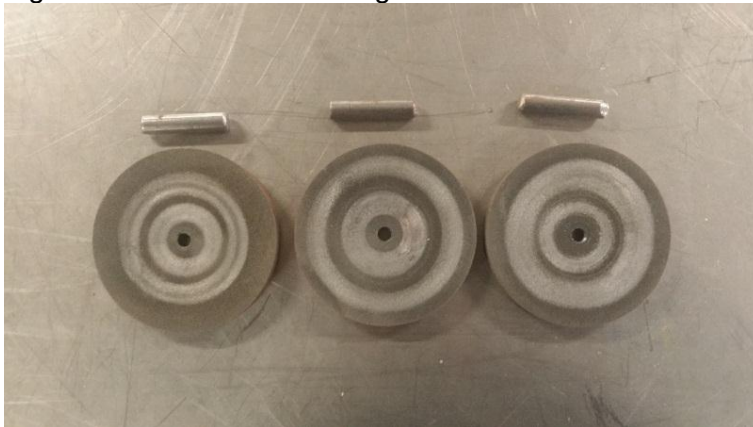
Fuente: Autores del proyecto

El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 relacionados en la figura 33, permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 35.26% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 60.84%

4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO

Los ensayos de resistencia al desgaste adhesivo dan como resultado huellas circulares sobre el disco y por tal una remoción del material tal como se observa en la figura 34.

Figura 34 Resistencia al desgaste adhesivo



Fuente: Autores del proyecto

Para la determinación del número de ensayos requeridos en las pruebas de resistencia al desgaste adhesivo se utiliza como parámetro de comparación el volumen perdido en la probeta como en milímetros cúbicos. Los datos utilizados con los obtenidos de una premuestra de 5 ensayos realizada a probetas recubiertas con Ni70/Ti30-wt10%. Los resultados de volumen perdido y el número de ensayos requeridos para una confiabilidad del 95% y un error máximo del 10% se relacionan en la tabla 17.

Tabla 14 Pérdida de Material presentada en los ensayos de desgaste adhesivo en probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30-wt10% Co

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)					
	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Peso (g)	Volumen (mm ³)
1	0.4428	56.2642	0.5548	70.4965	0.9744	123.8119
2	0.4688	59.5679	0.6354	80.7369	1.0939	138.9961
3	0.3895	49.4917	0.4456	56.62	0.9527	121.0546
4	0.4366	55.4764	0.5276	67.0393	0.9672	122.897
5	0.4551	57.8374	0.5368	68.2083	1.0159	129.0851
Promedio	0.43856	55.72546	0.54004	68.62	1.00082	127.1689
Desviación Estándar		3.820774		8.6169		7.25358
Número de Ensayos		2		6		1

Fuente: Autores del proyecto

La tabla 16 permite concluir que el número de ensayos de resistencia al desgaste adhesivo necesarios para alcanzar datos estadísticamente confiables es de 6, sin embargo se decide realizar 10 ensayos por cada tipo de probeta.

Los resultados obtenidos para Acero AISI 1045 normalizado, acero AISI 1045 tratado térmicamente con un proceso de temple-revenido y Acero AISI 1045 con recubrimiento Ni70/Ti30-wt10% Co, depositados a través del proceso de rociado térmico por llama se relacionan en las tablas 15,16 y 17.

Tabla 15 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 normalizado

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)					
	250		750		1000	
	Peso (g)	volumen (mm3)	Peso (g)	volumen (mm3)	Peso (g)	volumen (mm3)
1	0.0076	0.9692	0.0458	58.2565	0.0548	69.6569
2	0.0084	1.0721	0.0461	58.6793	0.0623	79.2446
3	0.0111	1.4801	0.0455	57.8563	0.133	169.0194
4	0.012	1.3055	0.0477	60.6414	0.13	165.3499
5	0.114	1.4613	0.0347	44.1112	0.1089	138.5518
6	0.0106	1.3497	0.0394	50.1316	0.1359	172.8865
7	0.0152	1.9442	0.0464	59.0149	0.0597	75.9427
8	0.0141	1.7945	0.0457	58.1222	0.0578	73.4732
9	0.0096	1.2203	0.0358	45.5158	0.1178	149.8107
10	0.0077	0.9875	0.043	54.7097	0.1202	152.8117
Promedio pérdida de material	0.01062	1.3504	0.0430	54.7	0.0980	124.6748
Desviación Estándar	0.00253	0.32518	0.00469	5.9760	0.03482	44.2825

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 16 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 templado y revenido

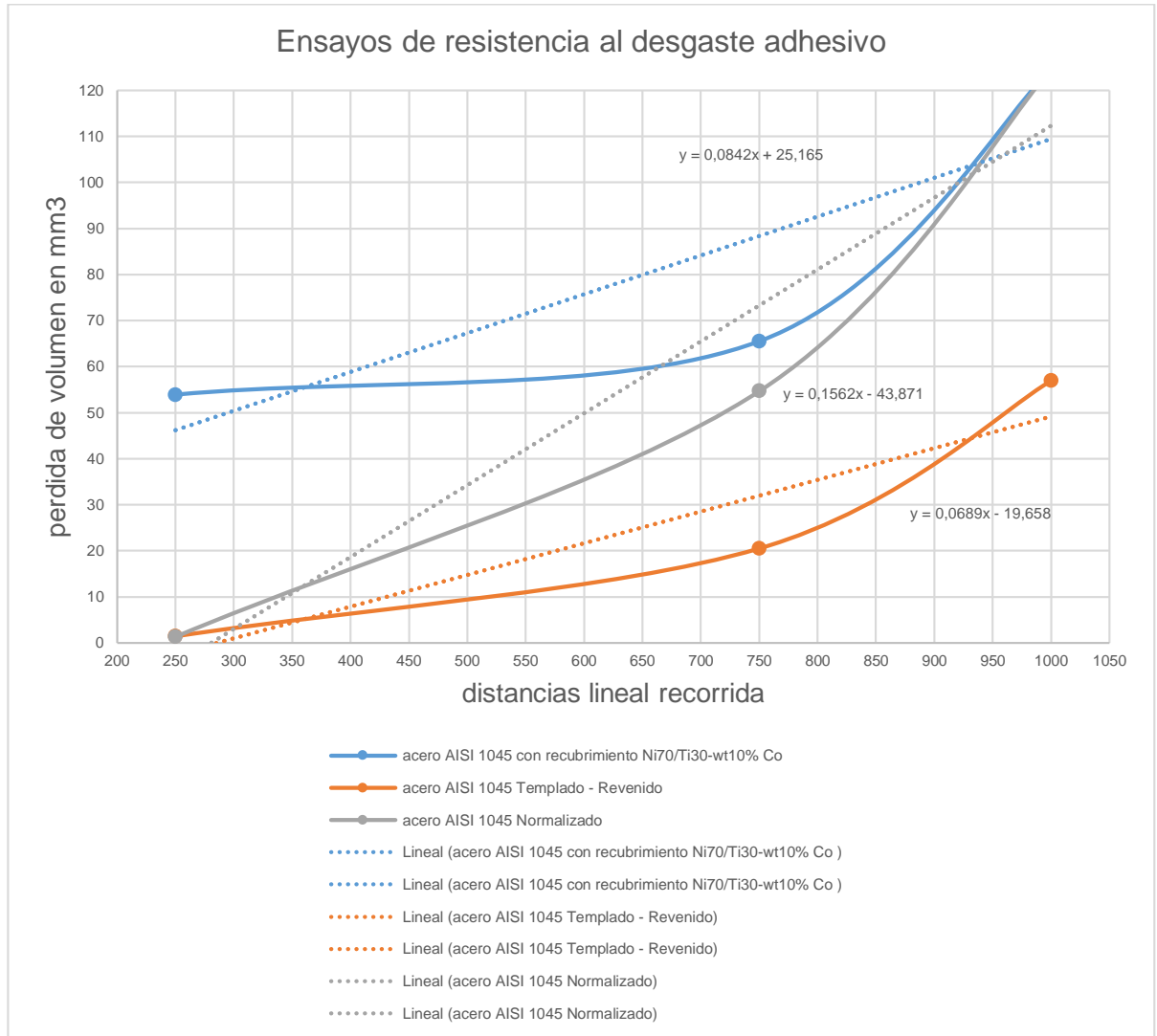
MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)					
	250		750		1000	
	Peso (g)	volumen (mm3)	Peso (g)	volumen (mm3)	Peso (g)	volumen (mm3)
1	0.0122	1.5525	0.1451	18.4451	0.3898	49.548
2	0.00961	1.222	0.1428	18.1595	0.4677	59.4458
3	0.0130	1.6622	0.15	19.0623	0.4369	55.3934
4	0.0095	1.215	0.1385	17.6105	0.4686	59.5562
5	0.0107	1.3605	0.17	21.6194	0.4988	63.3899
6	0.0112	1.433	0.1876	23.8433	0.4188	53.2276
7	0.0133	1.7005	0.1886	23.978	0.4289	54.5036
8	0.0122	1.555	0.1359	17.2815	0.4071	51.7333
9	0.0102	1.2996	0.184	23.3806	0.5028	63.8966
10	0.0075	0.9579	0.1671	21.2494	0.4565	58.0166
Promedio pérdida de material	0.0109	1.3958	0.1609	20.463	0.4474	56.877
Desviación Estándar	0.00181	0.2309	0.0209	2.6635	0.0378	4.8074

Tabla 17 Pérdida de Material en los ensayos de desgaste Adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 recubierto con Ni70/Ti30-wt10% Co

MUESTRA	DISTANCIA LINEAL (m)					
	250		750		1000	
	Peso (g)	volumen (mm ³)	Peso (g)	volumen (mm ³)	Peso (g)	volumen (mm ³)
1	0.4551	57.8374	0.5548	68.2083	1.0159	129.0851
2	0.3954	50.2414	0.4824	61.2960	0.9288	118.0177
3	0.4428	56.2642	0.5548	70.4965	0.9744	123.81
4	0.4157	52.8208	0.5029	63.9008	0.9658	122.7191
5	0.4022	51.1054	0.4856	61.7026	0.9732	123.6594
6	0.4688	59.5672	0.6354	80.7369	0.0939	139.9961
7	0.3997	50.7878	0.4627	58.7928	0.9229	117.2681
8	0.3895	49.4917	0.4456	56.6200	0.9527	121.0546
9	0.4321	54.9047	0.5179	65.8068	1.008	128.0813
10	0.4367	55.4764	0.5276	67.0393	0.9672	122.8970
Promedio pérdida de material	0.4238	53.8498	0.5170	65.46	0.9803	124.6790
Desviación Estándar	0.0273	3.4668	0.0552	6.8751	0.0496	6.5561

Fuente: Autores del proyecto

Figura 35 Comparación de la resistencia al desgaste adhesivo en probetas de acero AISI 1045

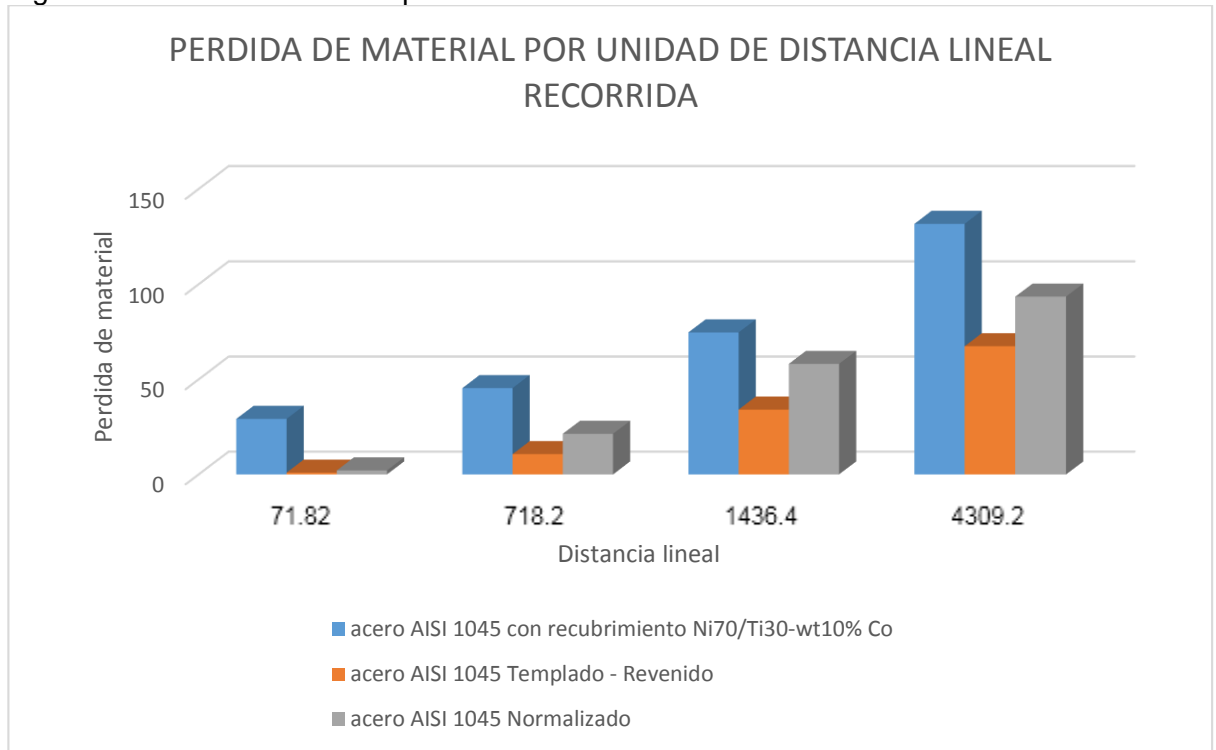


Fuente: Autores del proyecto

En la figura 35 se contempla una relación lineal directamente proporcional entre la distancia lineal recorrida y la pérdida del material en la probeta.

Para poder analizar los resultados se define el volumen de material perdido por unidad de distancia lineal recorrida; los resultados se relacionan en la figura 36.

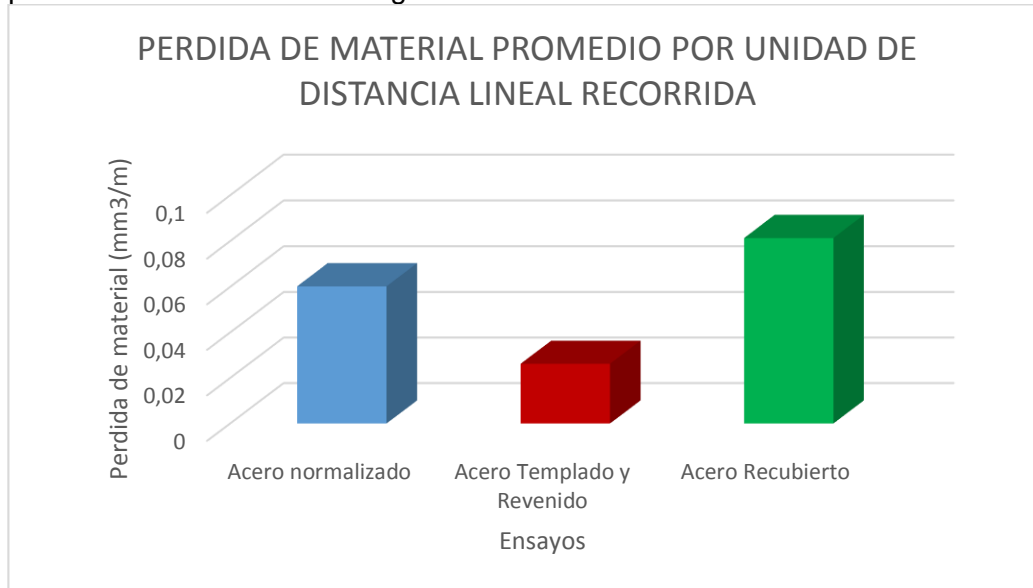
Figura 36 Pérdida de material por unidad de distancia recorrida



Fuente: Autores del proyecto.

El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste abrasivo sobre probetas de acero AISI 1045 relacionados en la figura 27, permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 45.178% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 140.84%

Figura 37 Pérdida de material promedio por unidad de distancia lineal recorrida en las pruebas de resistencia al desgaste adhesivo sobre acero AISI 1045



Fuente: Autores del proyecto

El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 relacionados en la figura 37, permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 34.3% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 40.7%.

5 CONCLUSIONES

- Se pudo concluir a lo largo del trabajo que el recubrimiento depositado a través del proceso de rociado térmico por llama aplicado a las probetas ensayadas mejoró las propiedades mecánicas del acero.
- La dureza Vickers del acero AISI 1045 mejora en un 13.5% cuando el material es tratado térmicamente con un proceso de temple-revenido; y en un 17.2% cuando es recubierto a través de un proceso de rociado térmico por llama con una capa de Ni70/Ti30 –wt10% Co.
- Los recubrimientos de Ni70/Ti30 –wt10% Co originan una mejora en la dureza superficial del material; sin embargo una disminución de la resistencia al desgaste del mismo; esto se puede justificar debido a que el níquel y el titanio poseen una alta dureza, sin embargo si no poseen una buena adherencia al sustrato fácilmente se desprende del mismo y la pérdida de material ante ensayos dinámicos aumenta.
- Se verifico que las partículas de los materiales tenían tamaño micrométrico por medio de la microscopia electrónica de barrido, donde el resultado de las partículas encontradas no tenían el tamaño adecuado por algunas impurezas.
- Los ensayos de resistencia al desgaste adhesivo y abrasivo permiten observar una relación lineal directamente proporcional entre la pérdida de material en la probeta y la distancia lineal recorrida.
- El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 35.26% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la

aumentan en un 60.84%

- El promedio de la pérdida de material por unidad de distancia lineal recorrida en ensayos de desgaste adhesivo sobre probetas de acero AISI 1045 permite concluir que el tratamiento térmico de temple-revenido disminuye en un 34.3% dicha pérdida, mientras que los recubrimientos de Ni70/Ti30-wt10% Co la aumentan en un 40.7%

6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Los parámetros para la realización de los depósitos se hicieron con ayuda del colaborador de procesos industriales de la universidad pontificia bolivariana.
- Se recomienda para la realización de nuevas pruebas de abrasión utilizar arena sílica ya que esta se destaca por su dureza, resistencia química, y transparencia.
- Se recomienda para la realización de nuevas pruebas de adhesión en la maquina PIN ON DISK, poder ajustar de alguna manera el pin y que este quede sujeto ya que en algunas pruebas se salía y tocaba cambiarlo y comenzar nuevamente.
- Los resultados de los ensayos de desgaste abrasivo, desgaste adhesivo y de dureza pueden afectarse por diferentes causas externas como lo son la temperatura ambiente y la humedad ya que estas pruebas no se realizan en un lugar especializado.
- Es recomendable para las pruebas de adhesión tener un conocimiento básico del PLC como del funcionamiento de la máquina para poder configurarlo de acuerdo con las necesidades requeridas.

7 BIBLIOGRAFIA.

- [1] METALJET, QUE ES EL ROCIADO TERMICO. <http://www.metaljet.com.ar/bienvenidos-a-metaljet/>. Visto el 4 de marzo de 2015.
- [2] UTP, DESGASTE EN MATERIALES. <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/desgaste.pdf>. Visto el 4 de marzo del 2015.
- [3] IBRAHIM A. et al. Fatigue and mechanical properties of nanostructured and conventional thermal spray coatings. En: Surface & Coatings Technology, February 2007, Volume 201, pp. 7589-7596.
- [4] GOODFELLOW. (2008 – 2015) All the materials you'll need for Scientific Research and Manufacturing, de < <http://www.goodfellow.com/A/Nickel-Titanium-Alloy.html> >
- [5] ASTM G65 – 04 (REAPROBADA EN EL 2010) método de prueba estándar para medir la abrasión utilizando arena seca y rueda de caucho.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk apparatus. United States: ASTM, 2010. (ASTM G99-05).
- EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE TEMPLE Y REVENIDO PARA EL ACERO AISI 1045 A ESCALA INDUSTRIAL. David M. Robledo. Corporación eco-eficiente. Medellín Colombia

- Recubrimientos de materiales compuestos Metal-Cerámico obtenidos por nuevas tecnología de proyección térmica: proyección fría (Cgs) y su resistencia al desgaste, revista de metalurgia, 47 (5) septiembre – octubre, 390-410, 2011. Iasn: 0034- 8572
- CENTRO DE PROYECCION TERMICA (CPT).
https://cv.mec.es/programas/JORNADAS_SEGUIMIENTO/MAT2001
 Oviedo/presentaciones/2604pmMAT2001-3399-p.ppt
- PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LOS MATERIALES- Rubén G. Frade. Noviembre 21.2013 <http://fradeblogs.wordpress.com/2013/11/21/propiedades-fisico-mecanicas-de-los-materiales/>
- LUDDEY MARULANDA José protección contra la corrosión por medio del rociado térmico, Pereira, 2007, universidad tecnológica de Pereira, ingeniería metalúrgica.
- LENNTECH propiedades químicas del titanio [en línea] [citado 14 de diciembre de 2014] disponible en <<http://lennotech.es>>
- FRICTIONWEAR High pin on disc tribometer [en línea] [citado 14 de diciembre de 2014] disponible en: <http://frictionwear.com>
- ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES. Dureza y templeabilidad en aceros. Facultad de ingeniería UNLP