

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA

COHORTE 2019

TEMA:

“TECNOLOGÍA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EJES POR ASPERSIÓN TÉRMICA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO DE REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES”

Trabajo de titulación

Previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención Manufactura.

Autor: Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández

Director: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega Mg.

Ambato- Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación presentado, previo a la obtención del título Magíster en Mecánica, Mención Manufactura. Con el tema: **“TECNOLOGÍA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EJES POR ASPERSIÓN TÉRMICA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO DE REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES”**, elaborado por el **Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández** con cedula de identidad **C. I. 0502976012** Maestrante de la MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA COHORTE 2019 de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Certifico:

- Que el presente Trabajo de Titulación es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.



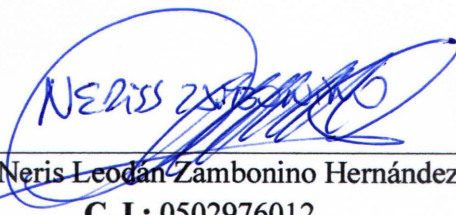
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

C. I.: 1803729126

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: **“TECNOLOGÍA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EJES POR ASPERSIÓN TÉRMICA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO DE REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES”**, le corresponde exclusivamente al: **Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández**, Autor bajo la Dirección del **Ing. Wilson Henry Vaca Ortega Mg.**, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández

C. I.: 0502976012

AUTOR



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

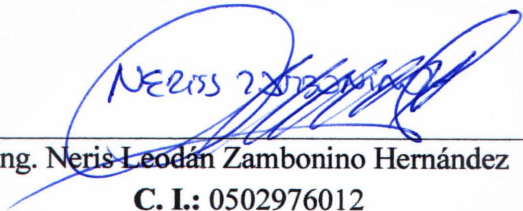
C. I.: 1803729126

TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

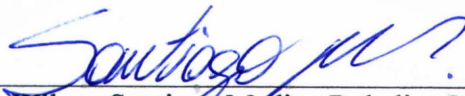
Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



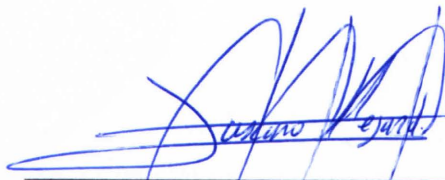
Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández
C. I.: 0502976012

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

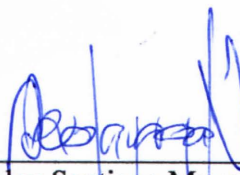
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ingeniero Wilson Santiago Medina Robalino Mg., e integrado por los señores: **Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta Mg., Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo Mg.**, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“TECNOLOGÍA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EJES POR ASPERSIÓN TÉRMICA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO DE REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES”**, elaborado y presentado por el **Ing. Neris Leodán Zambonino Hernández**, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo Mg.
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi familia, especialmente a mis hijos María Paula, María Angelica, y José Andrés, que con su gran amor me han brindado su apoyo incondicional para alcanzar nuevas metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la sabiduría y la fortaleza para continuar con el crecimiento de mi vida profesional.

A mis padres que me han dado la existencia y me han enseñado el verdadero amor que un padre puede brindar a sus hijos.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y cada una de las autoridades y docentes que han hecho posible esta maestría.

Un agradecimiento especial al Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg., director del trabajo de titulación, por su valiosa guía y asesoramiento.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Paginas Preliminares	
Aprobación del Tutor	ii
Autoría del Trabajo de Titulación	iii
Derechos de Autor.....	iv
Aprobación del Tribunal de Grado	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice General de Contenidos	viii
Índice de Anexos.....	xiii
Índice de Figuras	xiv
Índice de Tablas	xvii
Resumen Ejecutivo.....	xix
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.2 Fundamentación Filosófica	18
1.1.3 Fundamentación Legal	18
1.1.4 Formulación del Problema	19
1.2 Justificación.....	20
1.2.1 Justificación Teórica	20
1.2.2 Justificación Metodológica	20
1.2.3 Justificación Práctica.....	20
1.2.4 Preguntas directrices	21
1.2.5 Objeto.....	21
1.2.6 Campo	21
1.2.7 Categorías fundamentales	21
1.2.8 Hipótesis.....	22
1.2.9 Señalamiento de variables.....	22
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo General	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	24
2.1 Materiales	24
2.1.1 Material Base	24
2.1.2 Revestimientos	25
2.1.3 Probetas	30
2.1.4 Equipos.....	30
2.1.5 Enfoque	32
2.1.6 Modalidad Básica de la investigación.....	33
2.1.7 Nivel o tipo de investigación.....	33
2.2 Población y muestra	34
2.2.1 Población.....	34
2.2.2 Muestra.....	37
2.3 Operacionalización de las variables	40
2.3.1 Variable Independiente	40
2.3.2 Variable Dependiente.....	41
2.3.3 Recolección de la información.....	42
2.3.4 Procesamiento y análisis	43
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1 Análisis y discusión de los resultados.	44
3.2 Obtención, caracterización y ensayos preliminares del material.....	46
3.2.1 Obtención de la materia prima	46
3.2.2 Datos técnicos del material base, aleaciones de anclaje y aleaciones de acabado.....	47
3.2.3 Pares tribológicos para los ensayos de desgaste adhesivo e Identificación de las probetas (similar a tesis de tribología).....	56
3.2.4 Datos técnicos de los equipos empleados en el proceso de metalización	59
3.2.5 Parámetros técnicos de revestimientos superficiales para metalización del Acero SAE 1018.....	61
3.2.6 Resultados de los ensayos de dureza Brinell.....	64
3.2.7 Datos técnicos para ensayos de desgaste adhesivo	71
3.3 Obtención, caracterización y ensayos de desgaste adhesivo.....	73
3.3.1 Ensayos de desgaste pesos iniciales.....	73

3.3.2	Ensayos de desgaste pesos finales.....	76
3.4	Presentación de los resultados de desgaste adhesivo	80
3.4.1	Resultados de los ensayos de desgaste adhesivo.....	80
3.4.2	Resultados del volumen perdido de material en (mm ³).....	86
3.4.3	Resultados del volumen de desgaste en (mm ³ /min).....	92
3.4.4	Resultados del coeficiente de fricción K.....	98
3.5	Análisis e interpretación de resultados.....	104
3.5.1	Resumen de los resultados de dureza de probetas móviles.....	104
3.5.2	Resumen de los resultados de dureza de probetas estáticas.....	104
3.5.3	Comparación de los resultados del ensayo de dureza en probetas móviles y estáticas	105
3.5.4	Resumen de los resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles	105
3.5.5	Resumen de los resultados de desgaste en gramos de las probetas estáticas	106
3.5.6	Comparación de los resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles y estáticas.....	106
3.5.7	Resumen de los valores del desgaste total en gramos de las probetas móviles y estáticas.....	107
3.5.8	Resumen de los resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas móviles	107
3.5.9	Resumen de los resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas estáticas.	108
3.5.10	Comparación de los resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas móviles y estáticas.....	108
3.5.11	Resumen de los valores del volumen total de material perdido en mm ³ probetas móviles y estáticas.	109
3.5.12	Resumen de los resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles.....	109
3.5.13	Resumen de los resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas estáticas.....	110
3.5.14	Comparación de los resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles y estáticas.....	110

3.5.15	Resultados del volumen total de desgaste en mm³min de las probetas móviles y estáticas.....	111
3.5.16	Resumen de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles	111
3.5.17	Resumen de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas estáticas	112
3.5.18	Comparación de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles y estáticas	112
3.5.19	Resultados del coeficiente total de fricción K en las probetas móviles y estáticas	113
3.5.20	Análisis e interpretación de los resultados de dureza.....	113
3.5.21	Análisis e interpretación de los valores de desgaste	113
3.5.22	Análisis e interpretación del volumen de material perdido en mm ³ ..	114
3.5.23	Análisis e interpretación del coeficiente de fricción K-experimental	114
3.6	Verificación de la hipótesis	115
3.6.1	Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa	116
3.6.2	Demostración de la hipótesis mediante Chi-Cuadrado	119
CAPITULO IV.- DESARROLLO DE PROPUESTA.....		123
4.1	Desarrollo de la propuesta	123
4.2	Datos Informativos	123
4.3	Antecedentes de la propuesta	124
4.4	Justificación de la propuesta.....	125
4.5	Objetivos de la Propuesta	126
4.5.1	Objetivo General	126
4.5.2	Objetivos Específicos.....	126
4.6	Análisis de factibilidad	126
4.7	Análisis tecnológico	127
4.8	Análisis económico	127
4.9	Fundamentación	127
4.9.1	Etapas del proceso de aspersion térmica para recuperación dimensional de ejes desgastados con aplicación del revestimiento superficial Eutalloy®10009.	128
4.10	Metodología.....	136

4.10.1	Guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica.....	137
4.10.2	Resumen de los parámetros generales para los procesos por aspersion térmica.	154
4.11	Costos de Producción	155
4.11.1	Comparación de parámetros para la selección de procesos de aspersion térmica en base a costo-beneficio.	155
4.11.2	Costos de los equipos y su portabilidad.	155
4.11.3	Análisis del consumo estimado de material a proyectar.	155
4.11.4	Cálculo del costo total aproximado para la recuperación dimensional de la superficie de un eje desgastado de 2.5 pulgadas mediante el proceso de aspersion térmica con la aplicación de revestimiento superficial Eutalloy®10009.	157
4.12	Previsión de la evaluación	162
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		164
5.1	Conclusiones.....	164
5.2	Recomendaciones	165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		166
ANEXOS.....		170

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Datos técnicos del Acero SAE 1018	170
Anexo 2.- Datos técnicos del revestimiento ProXon®21021	171
Anexo 3.- Datos técnicos del revestimiento RotoTec®29011	172
Anexo 4.- Datos técnicos del revestimiento MetaCeram®28060.....	173
Anexo 5.- Datos técnicos del revestimiento Eutalloy® 10009	175
Anexo 6.- Catálogo de la pistola de metalización SuperJet-S- Eutalloy.....	176
Anexo 7.- Catalogo del soplete metalización CastoDyn DS 8000.....	180
Anexo 8.- Procedimiento estándar para ensayos de desgaste adhesivo	182
Anexo 9.- Ensayo de Dureza Brinell.....	186
Anexo 10.- Pesos iniciales y finales del ensayo de desgaste adhesivo	191
Anexo 11.- Tabla chi cuadrado	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Funcionamiento del proceso de aspersion térmica.....	4
Figura 1.2.- Perfil del Recubrimiento	5
Figura 1.3.- Sección transversal de un depósito Termorociado.....	7
Figura 1.4.- Estructura de un Splat.....	8
Figura 1.5.- Diagrama esquemático del proceso de aspersion térmica por combustión directa de polvo.....	9
Figura 1.6.-Equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por combustión directa de polvo.	9
Figura 1.7.-Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por combustión directa de polvo.	10
Figura 1.8.- Diagrama Esquemático del proceso de aspersion térmica por combustión con alambre.....	10
Figura 1.9.- Equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por combustión con alambre.....	11
Figura 1.10.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por combustión con alambre.	11
Figura 1.11.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso de aspersion térmica por combustión con alambre.	12
Figura 1.12.- Diagrama esquemático del proceso de aspersion térmica por Plasma .	13
Figura 1.13.- Equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por Plasma.	13
Figura 1.14.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por Plasma.....	13
Figura 1.15.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso de aspersion térmica por Plasma.....	14
Figura 1.16.- Diagrama Esquemático del proceso de aspersion térmica por HVOF.	14
Figura 1.17.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersion térmica por HVOF.....	15
Figura 1.18.- Configuración de un sistema básico para el proceso de aspersion térmica por HVOF.....	16
Figura 1.19.- Diagrama Esquemático del proceso por Arco Eléctrico.	17
Figura 1.20.- Equipos empleados para el proceso por Arco Eléctrico.....	17

Figura 1.21.- Despiece de equipos empleados para el proceso por Arco Eléctrico. . .	17
Figura 1.22.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso por Arco Eléctrico	18
Figura 1.23.- Categorización de variables.....	21
Figura 2.1.- Dimensiones de las probetas para ensayo de desgaste adhesivo.....	30
Figura 2.2.- Pistola de pulverización.' SUPERJET -S- EUTALLOY.	31
Figura 2.3.- Diagrama de funcionamiento del soplete de proyección oxi-acetilénico CastoDyn DS 8000	32
Figura 2.4.- Flujograma del plan de ejecución de la información	42
Figura 2.5.- Flujograma del plan de procesamiento y análisis de la información.	43
Figura 3.1.- Flujograma del análisis y discusión de los resultados.....	46
Figura 3.2.- Valores de los ensayos de dureza HB en probetas con revestimientos superficiales.....	104
Figura 3.3.- Valores de los ensayos de dureza HB en probetas sin revestimientos superficiales.....	104
Figura 3.4.- Resumen de los valores de los ensayos de dureza HB en probetas con y sin revestimientos superficiales.....	105
Figura 3.5.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles	105
Figura 3.6.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas estáticas	106
Figura 3.7.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles y estáticas	106
Figura 3.8.- Desgaste total en gramos de las probetas móviles y estáticas.....	107
Figura 3.9.- Resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas móviles.....	107
Figura 3.10.- Resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas estáticas	108
Figura 3.11.- Resultados del volumen de material perdido en mm ³ de las probetas móviles y estáticas.....	108
Figura 3.12.- Volumen total de material perdido mm ³ de las probetas móviles y estáticas	109
Figura 3.13.- Resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles	109
Figura 3.14.- Resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles	110

Figura 3.15.- Resultados del volumen de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles y estáticas.....	110
Figura 3.16.- Volumen total de desgaste en mm ³ /min de las probetas móviles y estáticas.....	111
Figura 3.17.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles.....	111
Figura 3.18.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas estáticas.....	112
Figura 3.19.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles y estáticas.....	112
Figura 3.20.- Coeficiente total de fricción K en las probetas móviles y estáticas ...	113
Figura 4-1.- Diferentes procesos de aspersion térmica en la empresa IMETCA Cía. Ltda.	123
Figura 4-2.- Diagrama de flujo para recuperación de ejes por aspersion térmica...	128
Figura 4-3.- Diagrama Esquemático del equipo utilizado para el proceso de aspersion térmica por Combustión directa de Polvo.....	130
Figura 4-4.- Etapas en la aplicación de un recubrimiento por proyección térmica..	130
Figura 4-5.- Conexión de la pistola de aspersion térmica.....	130
Figura 4-6.- Kit completo DS 8000 con 4 módulos SSM.....	133
Figura 4-7.- Flujograma para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Clasificación de los procesos de aspersión térmica.....	5
Tabla 1.2.- Equipos y material de aporte para diferentes procesos de aspersión térmica	6
Tabla 2.1.- Composición química del acero SAE 1018.....	24
Tabla 2.2.- Propiedades mecánicas del acero SAE 1018.....	24
Tabla 2.3.- Datos técnicos del revestimiento superficial ProXon® 21021.....	25
Tabla 2.4.- Datos técnicos del revestimiento superficial RotoTec® 29011.....	27
Tabla 2.5.- Datos técnicos del revestimiento superficial ProXon® 21021.....	28
Tabla 2.6.- Datos técnicos del revestimiento superficial Eutalloy®10009.....	29
Tabla 2.7.- Propiedades del revestimiento de enganche.....	34
Tabla 2.8.- Propiedades de los revestimientos de acabado.....	35
Tabla 2.9.- Parámetros de los procedimientos para el ensayo de desgaste según la norma ASTM G 83-96.....	36
Tabla 2.10.- N° de ensayos de tres pares tribológicos.....	39
Tabla 2.11.- Códigos de las probetas.....	39
Tabla 2.12.- Datos de operacionalización de la variable independiente.....	40
Tabla 2.13.- Datos de operacionalización de la variable dependiente.....	41
Tabla 3.1.- Combinación de pares tribológicos.....	56
Tabla 3.2.- Identificación de las probetas, par Tribológico #1.....	57
Tabla 3.3.- Identificación de las probetas, par Tribológico #2.....	57
Tabla 3.4.- Identificación de las probetas, par Tribológico #3.....	58
Tabla 3.5.- Valores calculados del coeficiente de desgaste adhesivo K para un número de pares tribológicos con deslizamiento en seco.....	116
Tabla 3.6.- Valores calculados de K para desgaste adhesivo en diferentes de pares tribológicos con deslizamiento en seco y lubricado.....	116
Tabla 3.7.- Valores de frecuencias observadas.....	117
Tabla 3.8.- Términos para calcular frecuencias esperadas.....	118
Tabla 3.9.- Valores calculados de las frecuencias esperadas.....	119
Tabla 3.10.- Términos para calcular Chi-Cuadrado de Pearson.....	119
Tabla 3.11.- Valores calculados para chi cuadrado.....	120
Tabla 3.12.- Valores del nivel de significancia α	121

Tabla 3.13.- Distribución de Chi-cuadrado.....	121
Tabla 3.14.- Criterios para determinar la relación de variables:	122
Tabla 3.15.- Criterios para determinar la relación de variables (continuación):.....	122
Tabla 3.16.- Valores de Chi cuadrado calculado vs Chi cuadrado crítico	122
Tabla 4.1.- Distintas técnicas de aspersion térmica agrupadas de acuerdo con el tipo de fuente de energía empleado.....	129
Tabla 4.2.- Características de diferentes procesos de revestimiento Eutalloy	131
Tabla 4.3.- Características de diferentes procesos de revestimiento Eutalloy® (continuación)	131
Tabla 4.4.- Regulación de presiones para aplicación de revestimientos por sistema Eutalloy®	134
Tabla 4.5.- Guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica.....	137
Tabla 4.6.- Características de los procesos de proyección térmica por flama.	154
Tabla 4.7.- Comparación de algunos procesos de obtención de recubrimientos	155
Tabla 4.8.- Valores para cálculos de tasa de producción	156
Tabla 4.9.- Peso necesario de material para recubrir un pie cuadrado de substrato con recubrimiento de 0.001’’ de espesor	157
Tabla 4.10.- Costo total de operación para la aplicación de revestimiento Eutalloy®10009.....	162

RESUMEN EJECUTIVO

Durante los últimos años el avance tecnológico en Ecuador es la base para el fortalecimiento de la industria nacional, con la implementación de nuevas técnicas de manufactura, pero unos de los principales problemas son los elevados costos de importación de componentes mecánicos para su reposición, por lo cual el objetivo de la presente investigación es proponer la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica para evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales, como una solución al problema.

Se evaluó el comportamiento de la resistencia al desgaste del Acero SAE 1018, con aplicación de revestimientos RotoTec-29011, MetaCeram-28060 y Eutalloy-10009, aplicados mediante el proceso de aspersión térmica por flama.

Se evaluaron muestras de cada material para determinar la dureza con y sin revestimientos, para luego realizar los ensayos de desgaste cumpliendo las condiciones de los parámetros establecidos en el procedimiento "A" de la norma ASTM G 83-96. A partir de estos datos se obtuvieron valores del volumen de material perdido y el coeficiente de desgaste para cada material.

Los resultados de los ensayos indican que el valor de desgaste es menor para el revestimiento Eutalloy-10009, mientras que el revestimiento RotoTec-29011 presenta mayor desgaste.

Además, se estableció una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados, mediante el proceso de aspersión térmica por flama con revestimiento superficial Eutalloy-10009, como también se revisó las especificaciones técnicas y parámetros del equipo CastoDyn DS 8000, la secuencia de actividades y la evaluación técnica económica del proceso.

Descriptores: Aspersión Térmica, Desgaste, RotoTec-29011, MetaCeram-28060, Eutalloy-10009, CastoDyn DS 8000 y Recuperación Dimensional.

ABSTRACT

During the last years, the technological advance in Ecuador is the basis for the strengthening of the national industry, with the implementation of new manufacturing techniques, but some of the main problems are the high costs of importing mechanical components for their replacement, so the objective of this research is to propose the technology of the thermal spray shaft recovery process to evaluate the adhesive wear resistance of surface coatings, as a solution to the problem.

The wear resistance behavior of SAE 1018 steel with the application of RotoTec-29011, MetaCeram-28060 and Eutalloy-10009 coatings, applied by the thermal flame spray process, was evaluated.

Samples of each material were evaluated to determine the hardness with and without coatings, and then wear tests were carried out in compliance with the conditions of the parameters established in procedure "A" of ASTM G 83-96. From these data, values were obtained for the volume of material lost and the wear coefficient for each material.

The results of the tests indicate that the wear value is lower for the Eutalloy-10009 coating, while the RotoTec-29011 coating shows higher wear.

In addition, a technical guide was established for the dimensional recovery of worn shafts by means of the thermal flame spraying process with Eutalloy-10009 surface coating, as well as a review of the technical specifications and parameters of the CastoDyn DS 8000 equipment, the sequence of activities and the technical and economic evaluation of the process.

Descriptors: Thermal Spraying, Wear, RotoTec-29011, MetaCeram-28060, Eutalloy-10009, CastoDyn DS 8000 and Dimensional Recovery.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

Tema:

“Tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica y su incidencia en la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales”

1.1 Antecedentes investigativos

A nivel mundial la tecnología de los revestimientos superficiales rociados térmicamente, está recibiendo una creciente atención como soluciones a los problemas superficiales de desgaste, corrosión, variación térmica; Aguirre [1], estudio la optimización de los parámetros del proceso de plasma trasferido por arco (PTA) para evaluar las variables que causan mayor efecto en el proceso de recuperación de los componentes aplicando un aporte de polvo a base de Fe con adiciones de Nb para optimizar los parámetros en función del porcentaje de dilución de cada substrato y evaluar mediante pruebas mecánicas de dureza y desgaste Pin On Disk para comprobar si cumplen con un rango aceptable de confiabilidad.

La ingeniería actual está en una situación de constante desafío contra el desgaste y la corrosión, la diversidad de opciones con relación al empleo de materiales y la competitividad industrial conllevan a realizar nuevas investigaciones, donde se debe evaluar las características de desempeño con relación a la rentabilidad al momento de elegir materiales resistentes al desgaste, Vashishthaa. y Sapatea [2], analizaron el efecto de los parámetros experimentales sobre la respuesta al desgaste abrasivo por fricción de los recubrimientos a base de carburo, con lo cual comprobaron que la variación en la tasa de desgaste y la respuesta de fricción de los recubrimientos se debió a efectos combinados de adhesión, abrasión y oxidación, además las películas de recubrimientos superficiales están influenciadas por la carga y la velocidad de deslizamiento.

Los materiales tradicionales están sufriendo alteraciones en su superficie debido a varios agentes corrosivos y de desgaste, mientras que los nuevos materiales, como polímeros y compuestos cerámicos, están siendo cada vez más utilizados. La aplicación de recubrimientos sobre componentes o productos metálicos, conocida como Ingeniería de Superficies, viene en aumento debido, principalmente para estudiar

nuevos materiales y su efecto en el ciclo de vida de los sistemas de alto desempeño. Teniendo en cuenta la variedad de tipos de recubrimientos y la complejidad de los factores ambientales, puede usarse un material apropiado para proteger del ambiente exterior. Esta innovación ha llevado al rápido desarrollo de la tecnología de recubrimientos para uso en diversas aplicaciones de ingeniería.

Según el último boletín [5], el desgaste y la corrosión ocasiona cuantiosas pérdidas económicas en el mundo, se estima que se pierden 725 mil toneladas de acero al año, 33 toneladas por hora, es decir 9 kilogramos de acero por segundo. Además, representa en promedio el 3,5 por ciento del Producto Interno Bruto mundial (PIB).

Junto al desgaste y los cambios de temperatura, la corrosión constituye un problema de enormes proporciones que necesita ser controlado, particularmente en el sector metalmecánico; Marulanda, Trisancho y Gonzáles [3], determinaron que la tecnología de recuperación y protección está en el rociado térmico para ayudar a controlar y disminuir los problemas superficiales que implican desgaste y corrosión, la protección y modificación de la superficie y sus propiedades, son una herramienta potente en la ingeniería moderna, en donde las nuevas aplicaciones de la tecnología de rociado térmico son una alternativa económica y competitiva para la industria, ya que aumentan la vida útil de los equipos y reduce el número de fallas debido al desgaste prematuro. También permite mejorar la productividad de los procesos, contribuyendo al aumento de la funcionalidad de partes que trabajan bajo condiciones severas de desgaste.

En países de América Latina algunas iniciativas para prevenir el desgaste se concentran en los procesos de Proyección Térmica conocido también como Thermal Spray por sus siglas en inglés; Aulestia [4], estudió los procesos y recubrimientos de proyección térmica para analizar el deterioro progresivo de las superficies metálicas, debido a los fenómenos de corrosión y desgaste.

Según los análisis del ingeniero Hernando Reyes Pacheco, profesor del área de metalmecánica de la Universidad Nacional de Colombia, la protección con rociado térmico reduce los efectos de la agresiva corrosión y el desgaste sobre los metales entre un 40 y un 80 por ciento más que cualquier otro método. [5].

Moreno, Pérez, Quintero [6], estudiaron la influencia de los parámetros de depósito sobre la adhesión del recubrimiento Ni-Al-Mo por spray térmico, en el que evaluaron la influencia de los parámetros de depósito (flujo, distancia, rugosidad superficial y temperatura) sobre la adherencia de un recubrimiento de aleación Ni-Al-Mo, utilizado como capa de anclaje, sobre un sustrato de acero AISI 1020. Los resultados mostraron la gran influencia que tiene la temperatura de la llama y la distancia de aplicación sobre la morfología y adhesión de los recubrimientos.

En Ecuador las aplicaciones tecnológicas del proceso de aspersion térmica se han desarrollado desde los años setenta, para poder caracterizar los recubrimientos obtenidos mediante el proceso de termo rociado, para lo cual se han adoptado normas que permiten evaluar ciertas variables importantes en la calidad y desempeño de dichos recubrimientos, como la adhesión o la evaluación de esfuerzos residuales, pero se ha dejado de lado un parámetro muy importante dentro de este proceso que es la evaluación de la resistencia al desgaste; Cubillos y Mera [7], investigaron sobre el desarrollo de estándares de calidad en producción de recubrimientos por termo rociado de arco eléctrico y HVOF en la empresa IMETCA, para evaluar la caracterización de algunas variables importantes tales como la adhesión y cohesión en base a la norma ASTM C 633, y los esfuerzos residuales por medición de curvatura de placas Almen, por la norma AMS S 13165; además la evaluación de propiedades que incluyen porosidad, contenido de óxido, espesor y dureza del recubrimiento.

Moreano [8], realizó el análisis de las propiedades mecánicas y estructura metalográfica durante la reparación de un eje de motor eléctrico, previo y posterior a la metalización para recuperar la dimensión y mejorar su vida útil.

1.1.1 Fundamentación Teórica

1.1.1.1 Generalidades del proceso de aspersion térmica

Definición de aspersion térmica

La aspersion térmica es un proceso mediante el cual se aplica varias capas de aleaciones metálicas y no metálicas las cuales sirven para mejorar las características superficiales; para realizar este proceso se requiere dispositivos especiales que aportan gran cantidad de energía, para permitir que el recubrimiento se adhiera a la superficie

del sustrato. Algunos autores lo conocen como Termorociado, Rociado Térmico o Thermal Spray. El proceso se basa en proyectar a gran velocidad partículas fundidas de material metálico o de aleación sobre la superficie del elemento a metalizar.

El principio de funcionamiento del proceso de aspersion térmica se puede observar de mejor manera en la Figura 1.1.

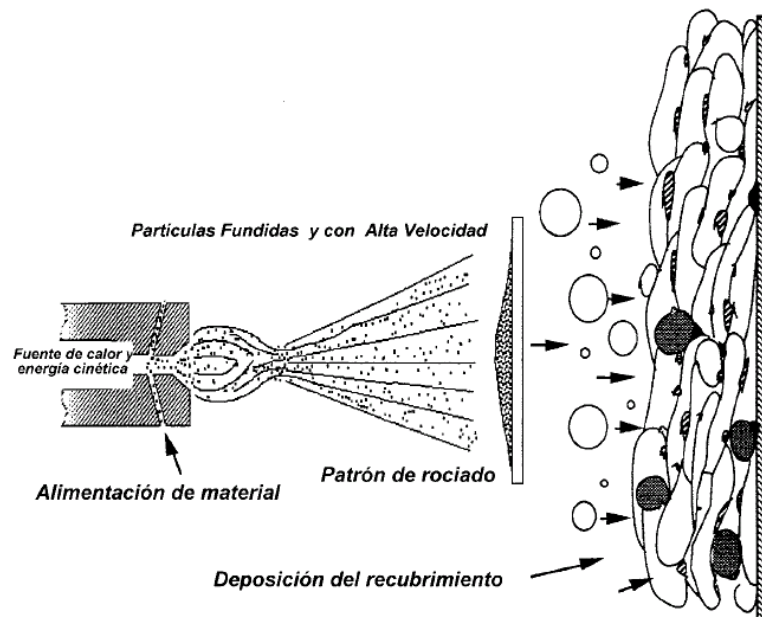


Figura 1.1.- Funcionamiento del proceso de aspersion térmica [19]

- La fuente de energía es la combustión de un gas o la generación de un arco eléctrico alcanzando temperaturas mayores a 2600 °C.
- El material se alimenta en forma de polvo o alambre en la boquilla.
- Las partículas son calentadas al estado plástico o de fusión y son impulsadas hacia la pieza de trabajo.
- La solidificación de las partículas resulta en un recubrimiento con una excelente adhesión mecánica al sustrato.



Figura 1.2.- Perfil del Recubrimiento [19]

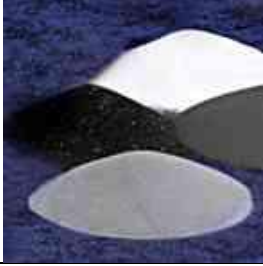






Clasificación de los Procesos por aspersión térmica

De acuerdo con la forma en que suministra la energía se tiene tres procesos de termorociado.

Tabla 1.1.- Clasificación de los procesos de aspersión térmica

Procesos de Aspersión Térmica					
Combustión		Arco de Plasma		Arco Eléctrico/alambre	
Alambre	Polvo	Aire APS	Cámara	Aire	Cámara
	Llama		Cámara inerte		Cabina
	D-Gum		Baja presión		Vacío
	HVOF		Envuelto		Inerte
			Hiperbárico		

Tabla 1.2.- Equipos y material de aporte para diferentes procesos de aspersion térmica

POLVOS		
		
Combustión	Plasma	HVOF
		
ALAMBRE		
		
Combustión	Arco Eléctrico	
		

En la metalización o termo rociado ocurren dos etapas definidas:

- Atomización
- Deposición

En la atomización tiene lugar el rompimiento del material de aporte fundido líquido y en la deposición se presentan dos momentos donde las partículas viajan e interactúa con el gas de atomización e impacta en el substrato.

En la figura 1.3, se presenta la sección transversal típica de un substrato después de aplicado el material de aporte (revestimiento) mediante el proceso de rociado térmico.

El sustrato posee una alta rugosidad, la cual permite aumentar el área rociada, y por ende aumentar la adhesión del revestimiento. En el depósito se observa presencia de poros e inclusiones de óxido, propios del proceso. La adhesión entre capas del revestimiento está dada por la resistencia cohesiva entre sus partículas.

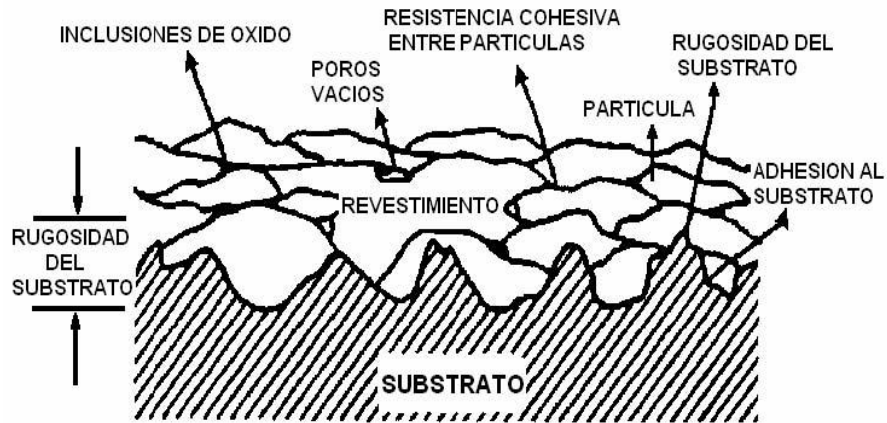


Figura 1.3.- Sección transversal de un depósito Termorociado [17]

El proceso tiene diversas variables y componentes, cuando se aplican correctamente, producen un efecto mayor de adherencia, lo que se conoce como metalización óptima.

1.1.1.2 Substratos

Los sustratos incluyen metales, cerámicas, vidrios, polímeros y maderas. No todos los materiales de aspersión pueden ser aplicados sobre todos los sustratos, algunos requieren técnicas especiales. La preparación del sustrato antes del proceso de aspersión térmica es indispensable para todas las variaciones.

Dos pasos importantes dentro del proceso de aspersión térmica, es la limpieza y la rugosidad superficial las cuales están relacionadas directamente con la unión y la adhesión del revestimiento al sustrato para crear una mayor área efectiva.

La preparación adecuada del sustrato antes de la aplicación del revestimiento es la etapa más crítica que incidirá en la resistencia de la unión, por ende, en la adhesión del revestimiento al sustrato.

Enlace de unión

La unión entre el revestimiento y el sustrato puede ser mecánica, química, metalúrgica, física o una combinación de estas. La adhesión depende de una serie de factores, tales como el material de revestimiento, condición del sustrato, grado de rugosidad de la superficie, limpieza, temperatura de la superficie antes y después de la aspersión y velocidad de impacto de las partículas.

Splat

Al desarrollarse el proceso de aplicación del revestimiento, en el instante de la proyección de las partículas al sustrato, ocurre una formación de gotitas líquidas. Se usa el término "SPLAT" para describir la formación de una gotita única o partícula proyectada contra el sustrato como se indica en la figura 1.4. La formación de los splats da como resultado un bloque estructural en el proceso, y la formación se da a partir de partículas aceleradas y fundidas impactando en el sustrato.

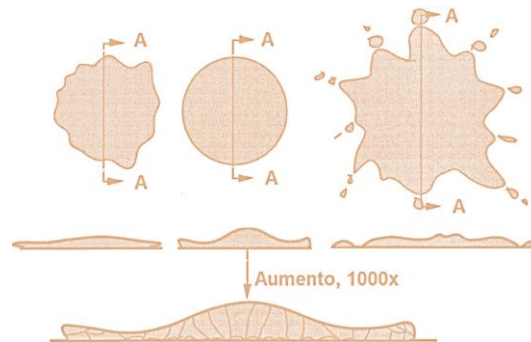


Figura 1.4.- Estructura de un Splat. [17]

Las splats son generalmente de forma esférica y al impactar con el sustrato se extienden y llenan los espacios entre ellos, convirtiéndose en estructuras planas y al pulirse en sección transversal se puede observar la estructura laminar. [17]

Un factor muy importante es tener un splat circular, para facilitar la unión y cohesión de las partículas y así formar una capa uniforme. Como resultado el splat es el principal elemento a considerar en el proceso de aspersión térmica.

1.1.1.3 Proceso de aspersión térmica por combustión directa de polvo.

El principio básico de este proceso es utilizar la energía química de una llama generada por el oxígeno como gas combustible dentro de la boquilla de una pistola de aspersión térmica para fundir los materiales de revestimientos en forma de polvos metálicos o no metálicos con puntos de fusión menores a 2000 °C

Esta es una opción para aquellos materiales que por sus características no pueden fabricarse en forma de alambre, tales como los cerámicos de Tungsteno.

Los combustibles pueden ser Acetileno o Hidrógeno.

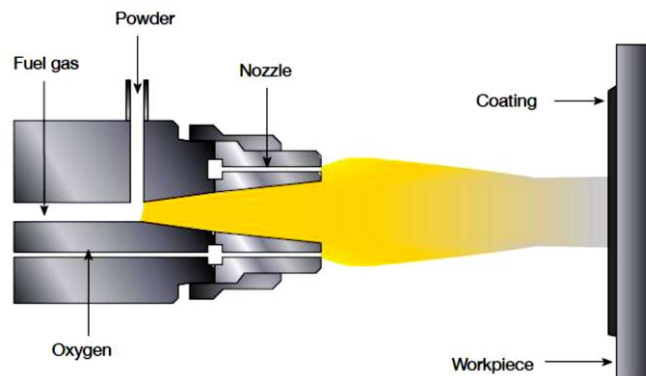


Figura 1.5.- Diagrama esquemático del proceso de aspersión térmica por combustión directa de polvo. [19]

A continuación, en la figura 1.6 se muestra algunos de los equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por combustión directa de polvo.

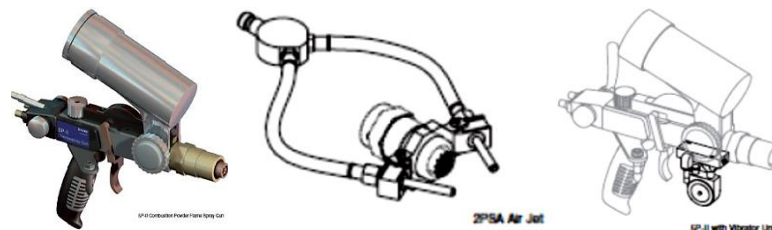


Figura 1.6.-Equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por combustión directa de polvo. [23]

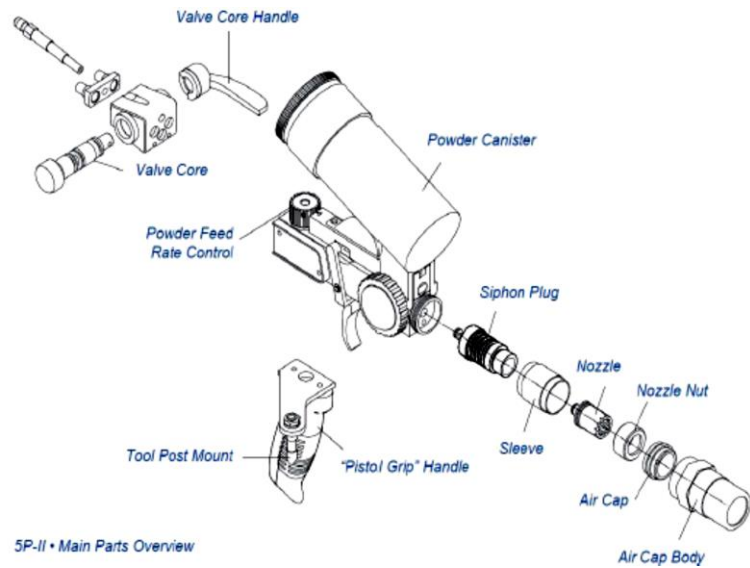


Figura 1.7.-Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por combustión directa de polvo. [23]

1.1.1.4 Proceso de aspersión térmica por combustión con alambre.

En este proceso en la pistola, el alambre es alimentado concéntricamente por dos engranes hacia una boquilla, en la cual se mezcla el gas combustible y el oxígeno para quemarse.

El alambre al pasar por la boquilla se funde y se atomiza por una corriente de aire, la cual también proyecta las partículas hacia el sustrato.

Las opciones en los gases combustibles son el Acetileno, Propano o Hidrogeno.

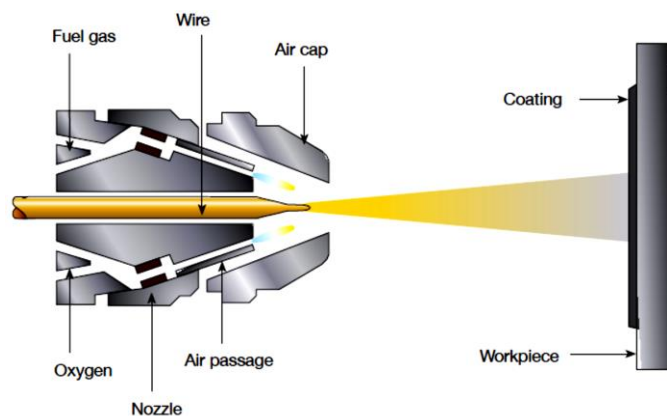


Figura 1.8.- Diagrama Esquemático del proceso de aspersión térmica por combustión con alambre.[23]

Las figuras que se presentan a continuación muestran el equipo y sus componentes empleados en el proceso de aspersión térmica por combustión con alambre.



Figura 1.9.- Equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por combustión con alambre.[23]

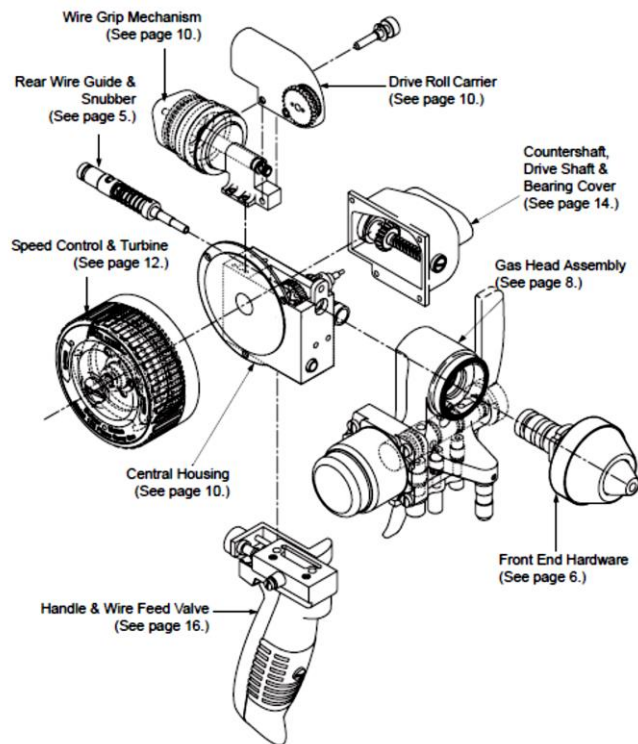


Figura 1.10.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por combustión con alambre.[23]

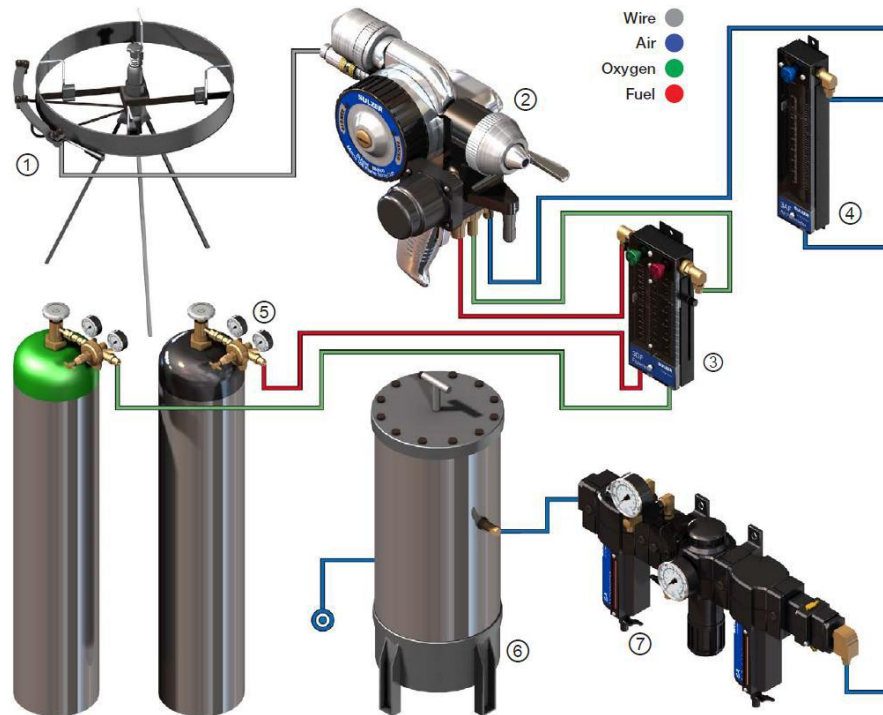


Figura 1.11.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso de aspersión térmica por combustión con alambre. [23]

1.1.1.5 Proceso de aspersión térmica por Plasma

El plasma es el cuarto estado de la materia. Las extremas temperaturas que alcanza el proceso alcanzan los 15000 °C, por lo tanto permite fundir o vaporizar cualquier sustancia conocida en el universo.

El proceso de plasma genera un arco eléctrico de alta frecuencia, cuando el gas (Ar, H₂, He, N₂o en mezclas de dos) fluye por los electrodos de tungsteno, éste se ioniza de tal manera que forma una flama de algunos centímetros de longitud.

Los gases ionizados son inestables, cuando estos vuelven al estado gaseoso, un alto nivel de energía térmica es liberado.

El material es inyectado como polvo a la salida de la pistola sobre la flama, donde el material es fundido y propulsado hacia la superficie de trabajo.

La versatilidad del plasma viene de su capacidad para producir suficiente energía y fundir cualquier material de aporte.

Controlando el flujo de gases, así como la corriente aplicada en los electrodos, esto permite regular con precisión las condiciones del proceso, obteniendo resultados previsibles y repetitivos.

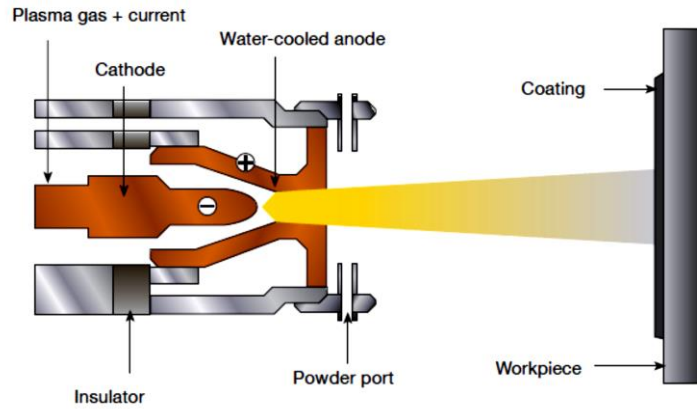


Figura 1.12.- Diagrama esquemático del proceso de aspersión térmica por Plasma [23]



Figura 1.13.- Equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por Plasma [23]

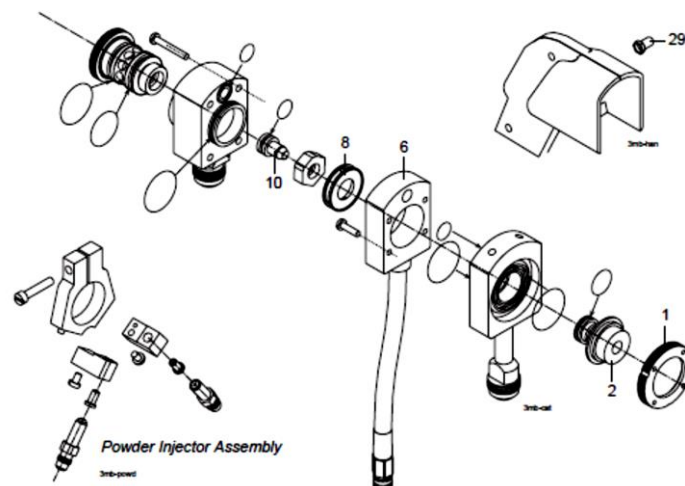


Figura 1.14.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por Plasma [23]

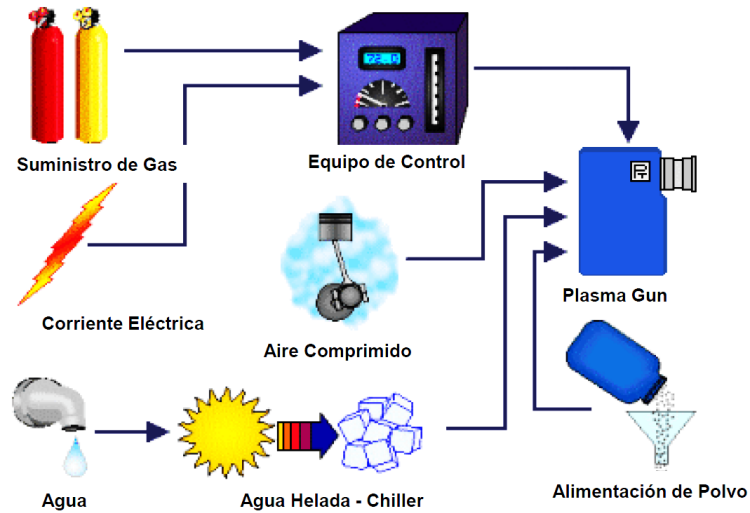


Figura 1.15.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso de aspersión térmica por Plasma. [23]

1.1.1.6 Proceso de aspersión térmica por HVOF (High Velocity Oxy-Fuel)

Este proceso quema eficientemente oxígeno y combustible en estado gaseoso o líquido para producir alta energía cinética controlando el calor generado.

La flama y el polvo se aceleran en una boquilla convergente-divergente a una velocidad supersónica lo cual impulsa a las partículas hacia el sustrato a recubrir.

La velocidad con la que salen las partículas e impactan en el sustrato aplanándose plásticamente y enfriándose forman el recubrimiento.

Las altas velocidades de las partículas, calor uniforme y tiempo reducido del proceso, producen recubrimientos densos y uniformes fuertemente adheridos al sustrato.

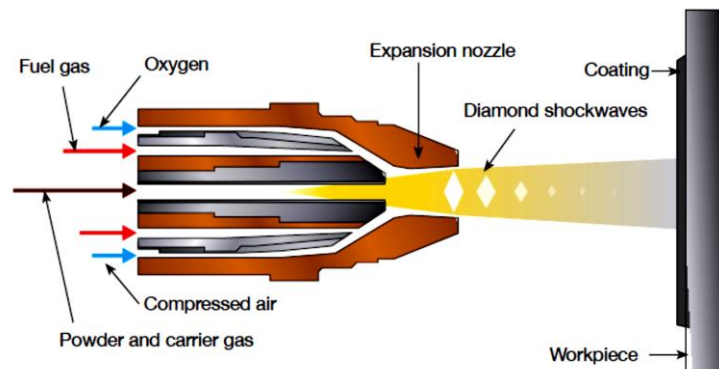


Figura 1.16.- Diagrama Esquemático del proceso de aspersión térmica por HVOF. [23]

Las siguientes figuras indican los equipos y sus partes, empleados para el proceso de aspersión térmica por HVOF

a) Pistola HVOF para Gas

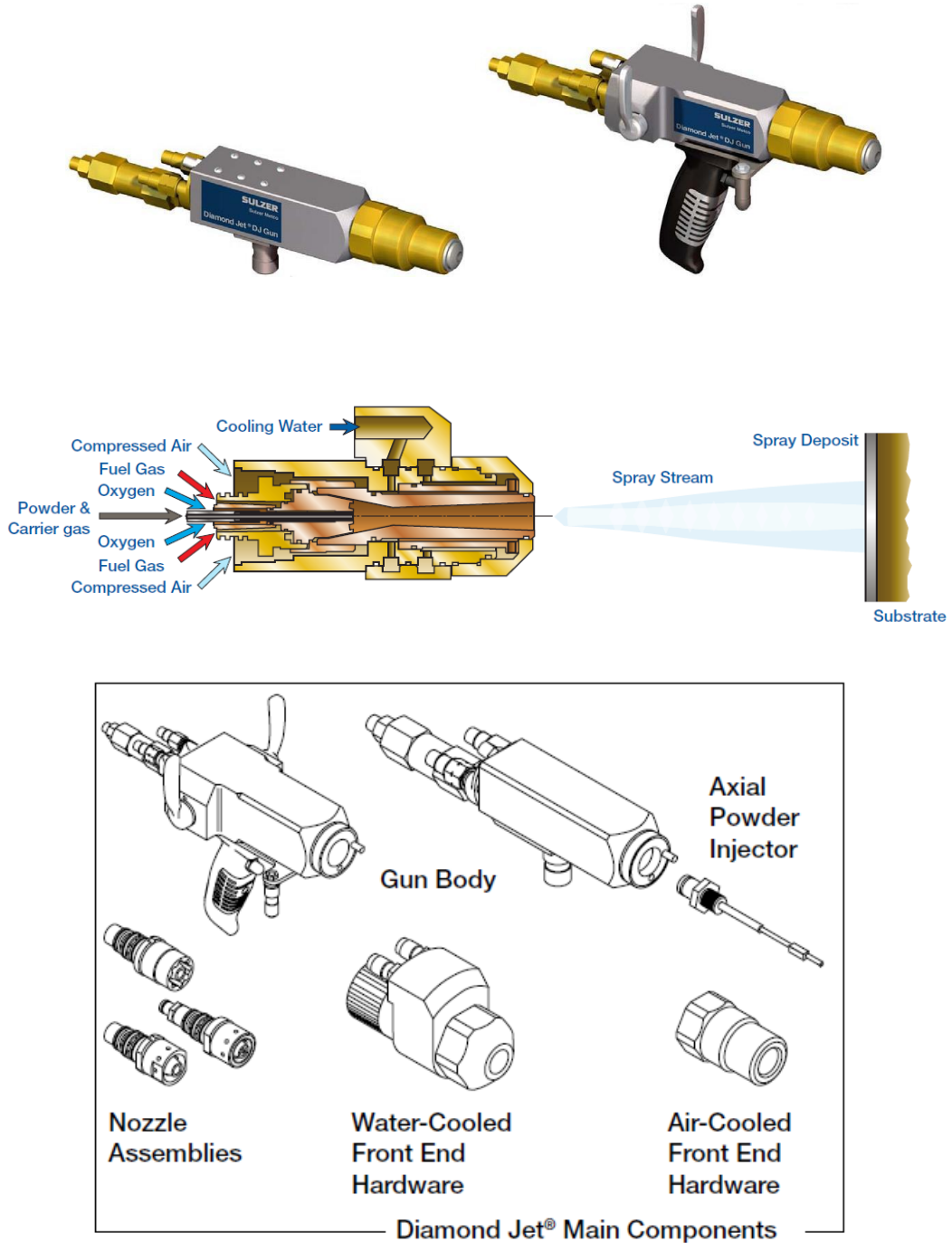


Figura 1.17.- Despiece de equipos empleados para el proceso de aspersión térmica por HVOF [23]

b) Pistola HVOF para Combustible Líquido

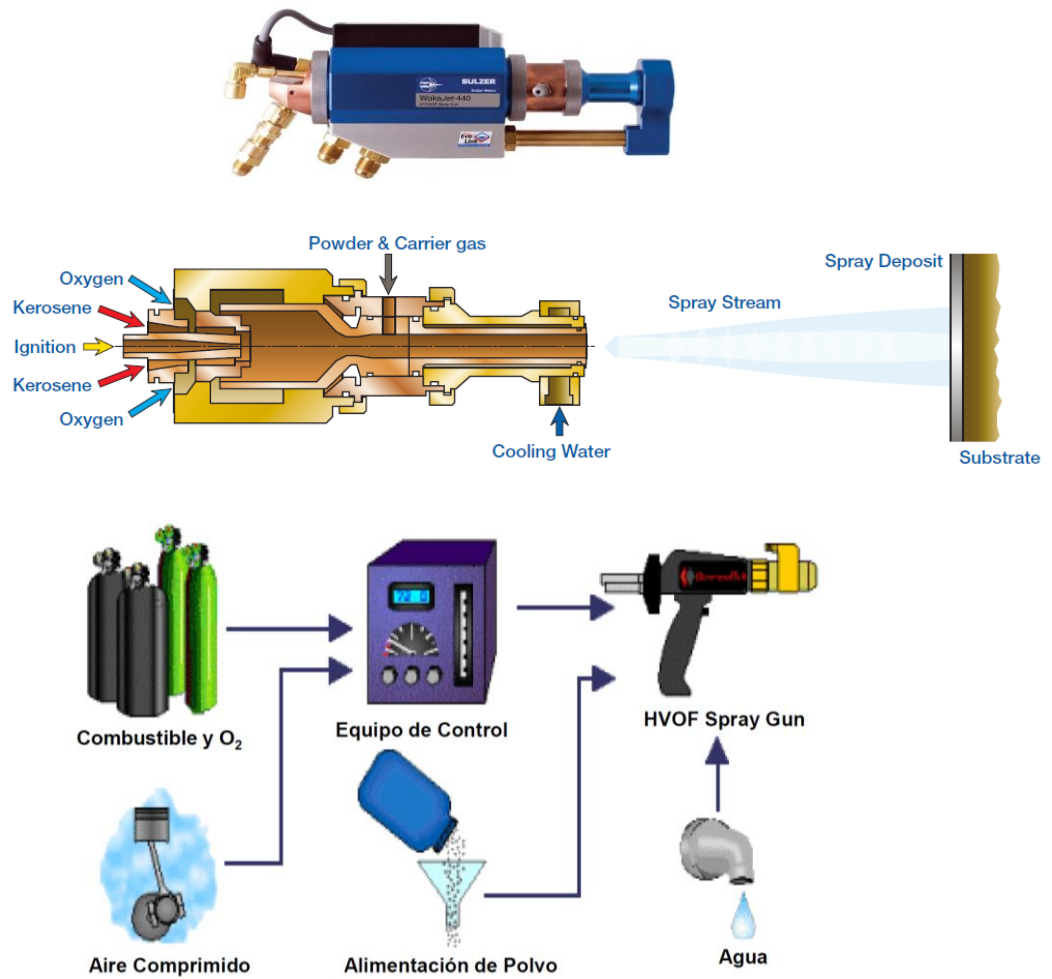


Figura 1.18.- Configuración de un sistema básico para el proceso de aspersion térmica por HVOF. [23]

1.1.1.7 Proceso de aspersion térmica por Arco eléctrico

El arco eléctrico se genera por el contacto de dos alambres del mismo tipo cargados eléctricamente. Al estar en contacto, los extremos funden el material y una corriente de aire atomiza el material fundido proyectándolo hacia el sustrato.

La tasa de rociado se ajusta de acuerdo a la velocidad de alimentación de los alambres, los cuales se funden para mantener el arco.

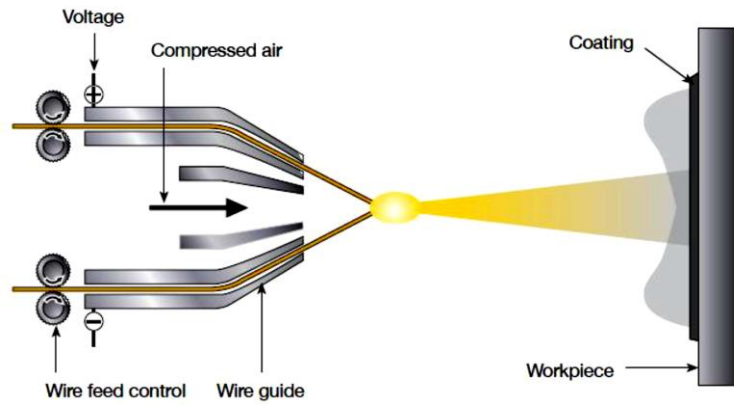


Figura 1.19.- Diagrama Esquemático del proceso por Arco Eléctrico. [23]

Las siguientes figuras muestran los equipos empleados para el proceso por Arco Eléctrico.



Flexi Arc 300

Eco Arc 300

Figura 1.20.- Equipos empleados para el proceso por Arco Eléctrico. [23]

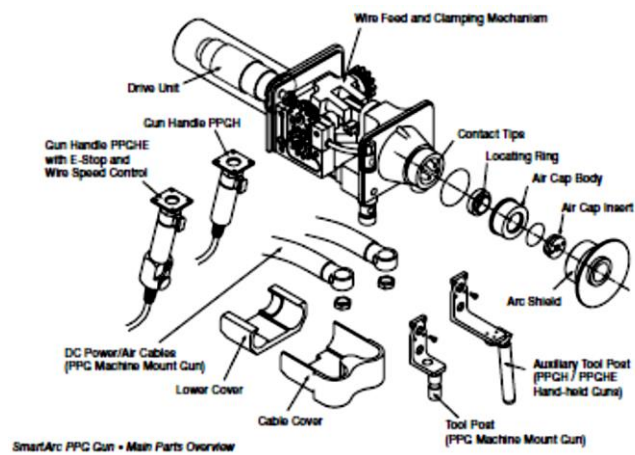


Figura 1.21.- Despiece de equipos empleados para el proceso por Arco Eléctrico. [23]

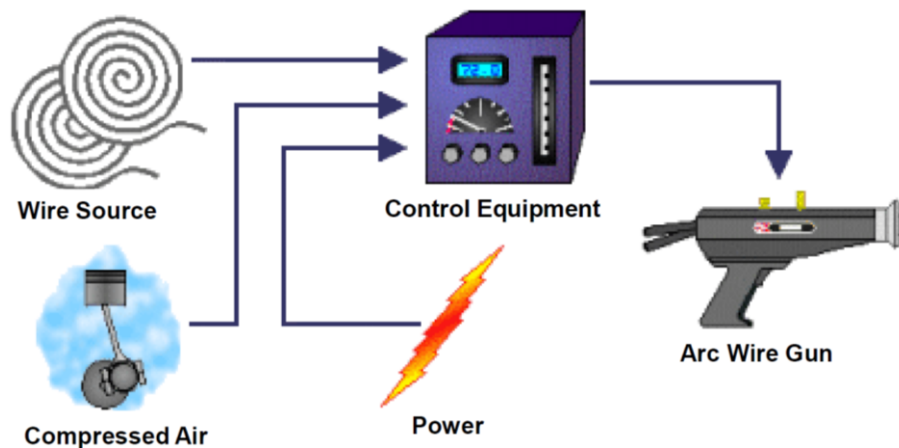


Figura 1.22.- Configuración de un Sistema Básico para el proceso por Arco Eléctrico. [23]

1.1.2 Fundamentación Filosófica

El presente trabajo de investigación sobre la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica, se ubica en el paradigma crítico propositivo, ya que la investigación parte de problemas reales en la industria relacionados con los revestimientos superficiales, con el fin de buscar nuevas alternativas que estén acorde con el avance tecnológico y poder determinar los parámetros que ayuden a seleccionar el mejor revestimiento aplicable, y evaluar de manera correcta la resistencia al desgaste en la superficie revestida de acuerdo a normas, catálogos y fichas técnicas, ayudara a generar un aporte a la industria nacional para que pueda ser competitiva en el mercado y obtener productos de calidad.

1.1.3 Fundamentación Legal

A continuación, se citan varias normas que se encuentran en los artículos técnicos relacionados con los ensayos, métodos de limpieza y aplicación de los recubrimientos para el proceso de aspersión térmica.

- Norma NACE RM01 70: Visual Standard for Surfaces of new Steel Airblast. leaned with Sand Abrasive— (ítem # 53005), 1970. Hace referencia al grado de limpieza de la pieza a recubrir.
- USA. American National Standards Institute, American Welding Society, Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites. ANSI/AWS C2.18–93. Miami,

Florida. April 1993, 30 p. De esta guía se puede realizar la selección de las temperaturas de precalentamiento del sustrato a recubrir.

- CONTEC - Comissão de Normas Técnica- Petrobrás, N- 2568, Seleção e Aplicação (por aspersão térmica) do Alumínio, Zinco e suas ligas, 2004, 34p. Jan. Se especifica la calidad del aire comprimido a usar durante la aplicación de los recubrimientos.
- AWS C2.1 Recommended Safe Practices for Thermal Spraying.
- ANSI/AWS C.2.16 Guide for Thermal Spray Operator Qualification.
- ASTM C 633-79 Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings. Este método de prueba se recomienda para pruebas de control de calidad de aceptación ó puede ayudar a calificar un operador de equipo de proyección térmica, también da soporte en el proceso de recubrimientos para mejorada la adherencia e integridad del mismo. Este método de ensayo es útil para comparar los puntos fuertes de adhesión o cohesión de los recubrimientos realizados con materiales similares.
- **ASTM G 83-96.**- Standard Test Method for Wear Testing with a Crossed-Cylinder Apparatus (Withdrawn 2005), Este método cubre una prueba de laboratorio para clasificar parejas metálicas en su resistencia al desgaste por deslizamiento utilizando el aparato de cilindro cruzado. Durante la prueba, el desgaste ocurre en un contacto entre un cilindro giratorio y un cilindro estacionario que tienen sus ejes largos orientados de manera normal entre sí.

1.1.4 Formulación del Problema

La falta de innovación tecnológica para la recuperación de ejes se ve limitado a procesos tradicionales o simplemente la reposición de un nuevo componente mecánico, lo cual disminuye la posibilidad de encontrar alternativas viables y eficientes que ayuden a reducir el desgaste superficial.

El desgaste superficial se presenta en materiales que están en contacto entre sí, debido a que las partículas suspendidas entre dos superficies pueden causar fracturas que

conlleven a la destrucción de la superficie, por lo tanto, es necesario contar con un estudio que permita analizar la tecnología de recuperación de ejes por aspersion térmica.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación Teórica

Los trabajos realizados por varios investigadores a nivel mundial y nacional exponen que el desgaste superficial en diferentes componentes de máquinas constituyen un problema tecnológico y económico para la industria, para lo cual se ha expuesto varias alternativas de solución, sin embargo, en el Ecuador no se aplica ningún método para la evaluación de la resistencia al desgaste de estos revestimientos aplicados por aspersion térmica y por lo tanto el presente trabajo constituye un aporte teórico en el campo del proceso por aspersion térmica.

1.2.2 Justificación Metodológica

El presente trabajo de investigación presenta un aporte tecnológico y económico dentro de la industria, al mismo tiempo se definirá un proceso metodológico e innovador para evaluar la resistencia al desgaste de diferentes revestimientos superficiales, por tal motivo servirá como guía para otras investigaciones en el campo de la ciencia de los materiales para la recuperación y protección superficial contra el desgaste.

1.2.3 Justificación Práctica

El presente estudio del proceso tecnológico para evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de diferentes revestimientos superficiales, pretende aportar con los lineamientos y parámetros más importantes que posee el proceso por aspersion térmica para recuperación de ejes; los mismos que servirán de pauta para realizar diferentes experimentos, ofreciendo un recurso en el cual se pueden analizar las variables del proceso de manufactura en el campo de producción y mantenimiento que disminuya el desgaste superficial y permita alargar la vida útil de los componentes metálicos que se encuentran en diferentes ambientes y contacto entre sí.

1.2.4 Preguntas directrices

¿Cuál es la tecnología actual del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica?

¿Cuál será el procedimiento y equipos de ensayo que permita determinar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales?

¿Cuál será el revestimiento superficial que presente mayor resistencia al desgaste adhesivo, para el proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica?

1.2.5 Objeto

Desgaste superficial en ejes recuperados por aspersion térmica

1.2.6 Campo

Proceso por aspersion térmica.

1.2.7 Categorías fundamentales

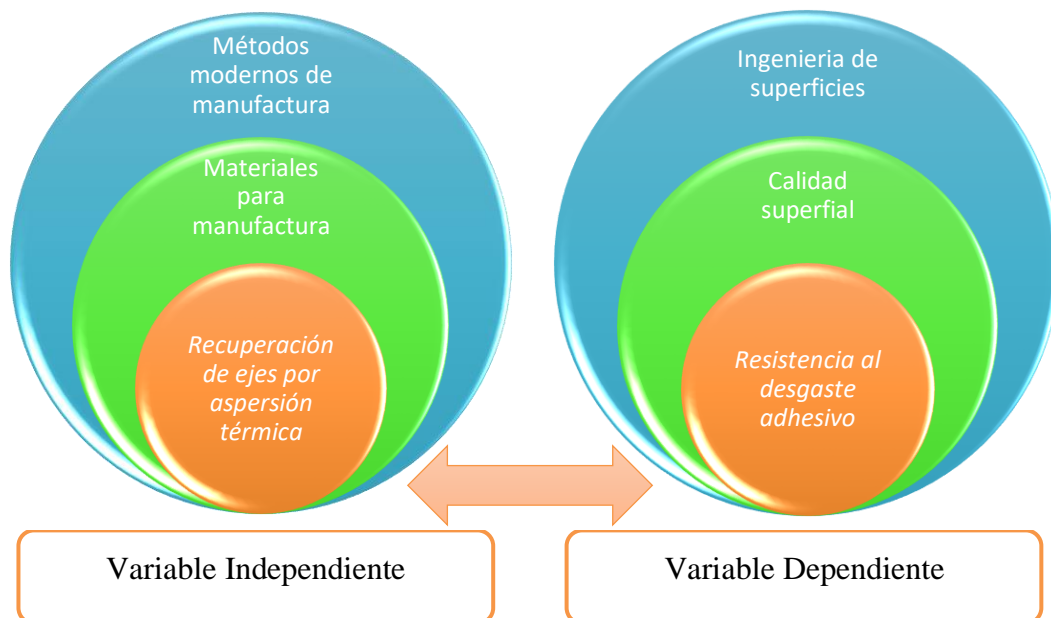


Figura 1.23.- Categorización de variables

1.2.8 Hipótesis

La determinación de la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica permitirá evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

1.2.9 Señalamiento de variables

1.2.9.1 Variable Independiente

“Tecnología del Proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica”

1.2.9.2 Variable Dependiente

“Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales”

1.2.9.3 Término de relación

“Incidencia”

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Proponer la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica para evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la metodología de recuperación de ejes por aspersion térmica.

Para el cumplimiento de este objetivo se analizará los parámetros técnicos de cada proceso de aspersion térmica para determinar el proceso más óptimo.

- Evaluar la resistencia al desgaste adhesivo bajo Norma ASTM G 83 - 96 de ejes recuperados por aspersion térmica.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizará ensayos de desgaste adhesivo bajo norma ASTM G 83-96, para conocer el coeficiente de desgaste de los revestimientos aplicados sobre el acero SAE 1018.

- Evaluar el desempeño de los revestimientos aplicados en la recuperación de ejes por aspersión térmica.

Para el cumplimiento de este objetivo con los resultados obtenidos del coeficiente de desgaste, se analizará el material que presente las mejores propiedades tribológicas.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el presente trabajo de investigación se detalla el acero SAE 1018 como material base, en el cual se aplicará tres tipos de revestimientos compuestos de aleaciones metálicas resistentes al desgaste.

2.1.1 Material Base

2.1.1.1 Eje de transmisión SAE 1018 (Acero de medio contenido de carbono).

Aplicaciones

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes como, por ejemplo: pernos, tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, etc. El acero SAE 1018 es factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. (Anexo 1)

Excelente soldabilidad.

Propiedades Químicas

Tabla 2.1.- Composición química del acero SAE 1018 [24]

Análisis típico %	%C	%Mn	%P	%S
SAE 1018	0,15 – 0,20	0 – 0,60	0 – 0,040	0 - 0,50

Propiedades mecánicas

Tabla 2.2.- Propiedades mecánicas del acero SAE 1018 [24]

Detalles	Valor
Esfuerzo de cedencia (kg/mm ²)	min 31
Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	51 - 71
Elongación, A5	20 %
Reducción de área. Z	57 %
Dureza (HB)	163

2.1.2 Revestimientos

2.1.2.1 ProXon® 21021

Características Principales

Es una aleación metálica a base de Ni-Al-Mo, se aplica como base de recargue autoadherente y funciona también como capa base de unión para otras aleaciones, presenta características de resistencia el desgaste friccional metal-metal.

Metal Base

Todos los metales industriales.

Procedimiento de aplicación

De acuerdo con lo especificado en la Ficha Técnica: *Eutectic+Castolin ProXon® 21021* (Anexo 2)

Capa base

No se requiere una base de liga.

Usos

Ejes, reconstrucción de piezas en acero y aleaciones de níquel, tales como: anillos de desgaste, bancadas de máquinas, recuperación de diámetros y también como base para recubrimientos de cerámica.

Datos técnicos

Tabla 2.3.- Datos técnicos del revestimiento superficial ProXon® 21021 [26]

Detalles	Mínimo	Típico
Dureza HB	140	160
Temp. máxima de servicio °C	540	700
Temp. de aplicación °C	240	260
Límite de espesor del depósito mm	3	6.3
Densidad	7.69 g/cm ³	

Acabado

Con herramienta de carburo de tungsteno o por rectificado.

Sistemas de aplicación

RotoTec 1A, TeroDyn 2000, CastoDyn 8000.

2.1.2.2 RotoTec® 29011

Características Principales

Aleación de metal frío autoadhesiva a base de Fe-Cr-Ni-Mo del tipo de acero inoxidable cromo/níquel, para el llenado de piezas sometidas a compresión y desgaste por fricción metal-metal, resistente a la oxidación y a la corrosión. Capa de conexión para aleaciones no autoadherentes. Posee un bajo coeficiente de fricción y excelente maquinabilidad. No deforma ni modifica la estructura del metal base.

Metal Base

Todos los metales excepto el cobre puro.

Procedimiento de aplicación

De acuerdo con lo especificado en la Ficha Técnica: *Eutectic+Castolin RotoTec® 29011* (Anexo 3)

Capa base

Aleación *ProXon® 21021*

Usos

Pistones neumáticos e hidráulicos, válvulas, bocinas, alojamientos de prensas, estopas, ejes en general, etc.

Datos técnicos

Tabla 2.4.- Datos técnicos del revestimiento superficial RotoTec® 29011 [26]

Detalles	Mínimo	Típico
Dureza (HV10)	200	240
Macro dureza típica: escala Rockwell B (Rb)	83	90
Temp. máxima de servicio °C	500	540
Temp. de aplicación °C	100	250
Límite de espesor del depósito mm:	1.905	1.3
Densidad típica	7.0 g/cm ³	

Acabado

Con herramienta de carburo de tungsteno.

Sistemas de aplicación

RotoTec I, RotoTec 1A, RotoTec 80, TeroDyn 2000, CastoDyn 8000.

2.1.2.3 MetaCeram® 28060

Características Principales

Polvo cerámico a base de corindón. Al₂O₃ - TiO₂ en porcentaje 60/40 su alta proporción de estabilización mejora la resistencia de la capa, aumenta la impermeabilidad y reduce el riesgo de grietas y poros. También es considerado un material aislante eléctrico y térmico, gran resistencia a la adherencia y resistente a la fricción por deslizamiento metálico, lubricado y sin lubricar, posee una capa protectora densa con alta elasticidad de depósito y buenas propiedades deslizantes.

Metal Base

Todos los metales industriales

Procedimiento de aplicación

De acuerdo a lo especificado en la Ficha Técnica Polvo cerámico MetaCeram 28060® (Anexo 4)

Capa base

Aleación *ProXon*® 21021

Usos

La combinación única de densidad, alta elasticidad y un bajo coeficiente de fricción, hace de *MetaCeram*® 28060 el material ideal para recubrimientos protectores en: Rodillos de alimentación para máquinas textiles, rodillos de estirado, guías de hilo, ejes de bombas, carcasas de ejes, rodillos de alimentación para materiales plásticos, superficies deslizantes, anillos de sellado para cojinetes, etc.

Datos técnicos

Tabla 2.5.- Datos técnicos del revestimiento superficial ProXon® 21021 [25]

Detalles	Valores
DIN EN 1274/96	12,4 - 63/15 - aglomerado
Composición química típica del polvo metálico en%	Al ₂ O ₃ – Ti O ₂ 60/40
Distribución del tamaño del grano [µm]	15 - 63
Microdureza (HV0.01):	1200
Punto de fusión °C	1840
Densidad (g/cm ³):	4.1
Temperatura máxima de servicio °C	700

Acabado

Con cualquier tipo de herramienta de corte.

Sistemas de aplicación

MetaCeram®28060 está especialmente desarrollado para su uso en equipos de pulverización de llama como el *CastoDyn DS 8000*.

2.1.2.4 Eutalloy®10009

Características Principales

Eutalloy®10009 (BoroTec) es una aleación metálica micropolvo a base de Ni-Cr-B-Si-Fe, con elevada resistencia al desgaste por fricción, que la hacen ideal para aplicaciones de revestimiento protector en casos de desgaste severo en una variedad de metales base, incluidos aceros inoxidable y otros aceros y aleaciones de níquel. El depósito es extremadamente resistente a la corrosión y oxidación, incluso a altas temperaturas. Tiene un bajo coeficiente de fricción y propiedades de resistencia al desgaste que lo hacen adecuado para la protección contra la fricción entre metales.

Metal Base

Hierros fundidos, acero al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, aleaciones de Níquel y Cobre.

Procedimiento de aplicación

De acuerdo con lo especificado en la Ficha Técnica Eutalloy®10009 (BoroTec) (Anexo 5)

Usos

Reconstrucción de pistas de rodamientos, guías de trefilación, válvulas de motores, levas, tornillos helicoidales, ejes excéntricos, moldes de extrusión, etc.

Datos técnicos

Tabla 2.6.- Datos técnicos del revestimiento superficial Eutalloy®10009 [25]

Detalles	Valores
Dureza HRc	56 - 63
Temperatura máxima de servicio °C	700
Intervalo de fusión (sol./liq.) °C	965 - 1210
Límite de espesor del depósito mm.	1.5
Densidad g/cm ³	7.82

Acabado

Por rectificado.

Sistemas de aplicación

Antorchas Eutalloy Super jet, Terodyn 2000

2.1.3 Probetas

Las probetas están realizadas en base a lo establecido en la norma ASTM G 83-96 como se muestra en la figura.

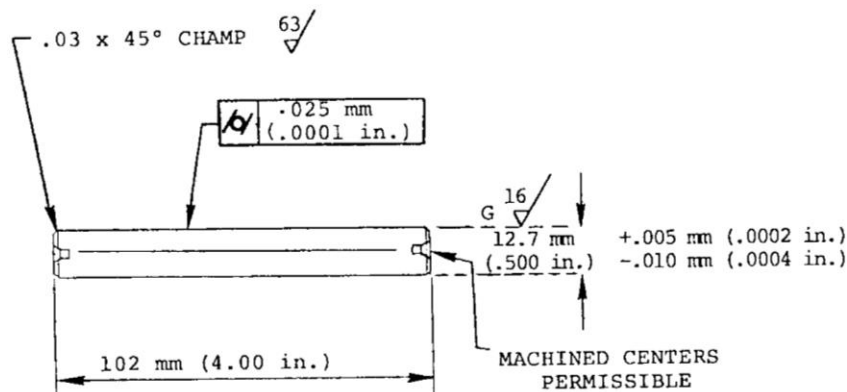


Figura 2.1.- Dimensiones de las probetas para ensayo de desgaste adhesivo. [29]

2.1.4 Equipos

Los principales equipos empleados en el proceso de aspersión térmica por flama son la pistola SuperJet -S- Eutalloy y el soplete de proyección oxi-acetilénico CastoDyn DS 8000, con los cuales se puede aplicar una gran variedad de polvos metálico y no metálicos.

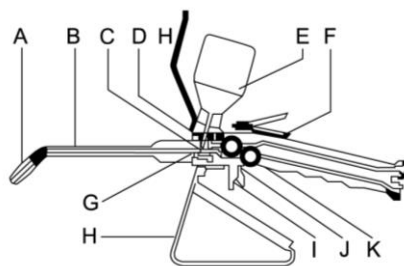
2.1.4.1 Pistola SuperJet -S- Eutalloy

Uno de los equipos empleado en el proceso de aspersión térmica es la pistola SuperJet -S- Eutalloy.

Con la pistola *SuperJet* se pueden proyectar una amplia gama de aleaciones que se funden y se unen metalúrgicamente al substrato. (Anexo 6)

La pistola tiene las siguientes características:

- Ensamblaje de la lanza manual con rotación para aspersión en toda posición.
- Gama completa de lanzas, cada una con su inyector y mezclador.
- Canal interno de polvo y boquillas diseñados para una máxima resistencia al desgaste y fiabilidad.
- Todos los elementos del soplete son fácilmente accesibles para su limpieza o reemplazamiento.
- Cierre rápido para un rápido reencendido de una llama ajustada sin la necesidad de actuar sobre las válvulas.
- Diseño ergonómico para un fácil y ligero manejo. Escudo térmico de protección orientable.



- A Boquilla
- B Tubo de lanza giratorio
- C Inyector de polvo
- D Válvula de alimentación de polvo
- E Modulo de polvo Eutalloy
- F Palanca de paso de polvo
- G Mezclador de gas
- H Escudo térmico
- I Cierre rápido
- J Válvula de Acetileno
- K Válvula de Oxígeno

Figura 2.2.- Pistola de pulverización.' SUPERJET -S- EUTALLOY. [27]

2.1.4.2 Soplete de proyección oxi-acetilénico CastoDyn DS 8000

En el soplete de proyección oxi-acetilénico CastoDyn DS 8000, el polvo es alimentado con la ayuda de un gas de transporte (nitrógeno, argón o aire) que crea un efecto inyector y es dirigido hacia la mezcla combustible (normalmente oxígeno/ acetileno). La llama caliente las partículas de polvo e impulsa las partículas semifundidas hacia el sustrato, formando así un recubrimiento denso con muy buena adherencia. Debido a la moderada transferencia de calor hacia la pieza, el material base permanece relativamente frío. (Anexo 7)

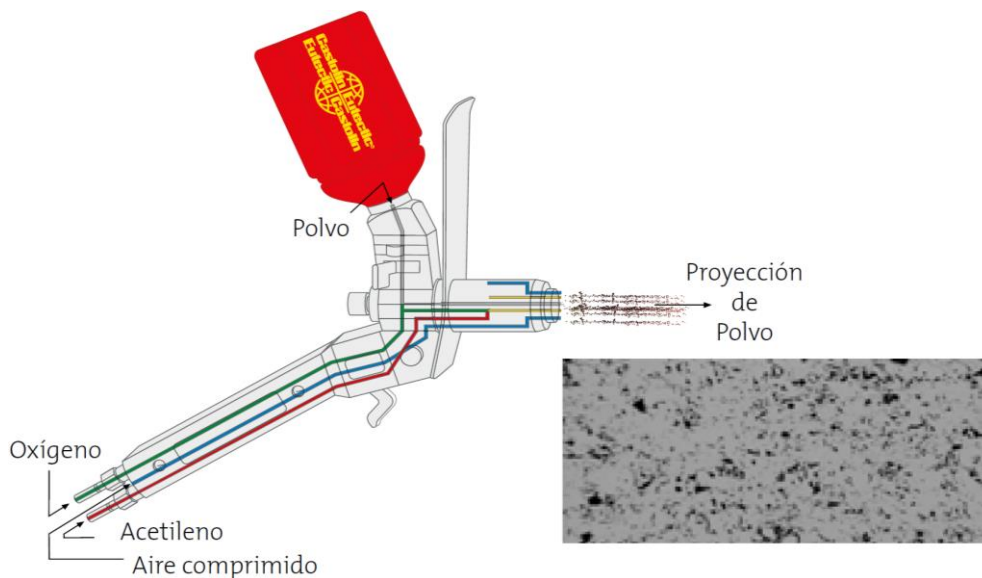


Figura 2.3.- Diagrama de funcionamiento del soplete de proyección oxi-acetilénico CastoDyn DS 8000 [28]

2.1.5 Enfoque

El presente proyecto de investigación se realizará mediante un análisis mixto, debido a que se establecerá la influencia de la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica en la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales, la cual será determinada cuantitativamente con mediciones adecuadas y controladas de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM G 83-96, mediante un análisis estadístico de los resultados de los ensayos, los cuales permitirán comprobar la hipótesis.

Al mismo tiempo se utilizará un análisis cualitativo de los datos obtenidos mediante la observación y conceptualización de los diferentes métodos de los ensayos como, la

determinación de la dureza superficial, el volumen de desgaste en cada probeta que forman el par tribológico que ayudará a determinar la resistencia al desgaste adhesivo de diferentes revestimientos superficiales.

2.1.6 Modalidad Básica de la investigación

2.1.6.1 Investigación Documental

En el estudio de la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica para determinar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales es necesario la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica para conocer el avance tecnológico de los procesos de aspersion térmica y las normas vigentes aplicables para ensayos de desgaste, metalografía, dureza, etc., que ayude a fortalecer las bases de nuestra investigación.

Se utilizó bibliotecas virtuales como Scielo, Sci-hu, Worldwidescience, Academic research microsoft, Redalyc, etc., para la obtención de artículos técnicos, también para consultas bibliográficas de libros y tesis virtuales, además se obtuvo información del Sistema de Red Académico nacional e internacional.

2.1.6.2 Investigación de Campo

Se aplicará la modalidad de investigación de campo puesto que se aplicará diferentes revestimientos superficiales mediante el proceso de aspersion térmica en ejes de acero de transmisión SAE 1018 en la empresa “IMETCA Cía. Ltda. Para determinar la resistencia al desgaste, se procederá a realizar ensayos de dureza, como también se analizará el coeficiente de desgaste mediante la medición de la pérdida de volumen de material en el proceso de recuperación de ejes, lo cual servirá para mejorar la calidad y alargar el tiempo de vida útil de componentes desgastados.

2.1.7 Nivel o tipo de investigación

2.1.7.1 Investigación Experimental

La presente investigación se elaborará en base a una experimentación, donde se establecerá el método que permita determinar un número adecuado de repeticiones y combinaciones de ensayos, para poder analizar la resistencia al desgaste adhesivo en

los revestimientos superficiales establecidos para el análisis mediante la manipulación de la variable independiente y poder establecer el coeficiente de desgaste, y de esta manera poder comprobar la hipótesis.

En primera instancia se establecerán parámetros de los factores determinados en la norma ASTM G 83-96, mediante una experimentación previa y en base a estudios anteriores, la cual se realizará contemplando los parámetros para el procedimiento de desgaste severo para luego proceder a la experimentación final.

2.1.7.2 Investigación Analítica

El proyecto de investigación también utilizará un nivel analítico, ya que se realizará mediante un análisis de la variable independiente que es la “Tecnología del Proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica” y su influencia en la variable dependiente que es la “Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales”.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

Para el presente estudio de investigación se aplicó tres tipos de revestimientos sobre el acero SAE 1018, los recubrimientos constan de una primera capa de enganche y una segunda capa de acabado.

Tabla 2.7.- Propiedades del revestimiento de enganche [25]

Capa de enganche			
Designación	Aleación	Aplicación	Propiedades
ProXon® 21021	Ni-Al- Mo	Aleación de recargue de protección y reconstrucción que resiste a la fricción metal-metal. Pistones hidráulicos, alojamiento de Prensa, ejes, etc.	~170 HV10 - Se utiliza sin capa de enganche Recomendada cuando solamente es posible el mecanizado mediante cuchilla de corte.

Tabla 2.8.- Propiedades de los revestimientos de acabado [25]

Capa de acabado			
Designación	Aleación	Aplicación	Propiedades
RotoTec® 29011	Fe-Cr- Ni-Mo	Recubrimiento de protección que resiste a la fricción metal-metal, a la oxidación y a la corrosión como, por ejemplo: ejes, alojamientos de prensa, pistones hidráulicos, etc.	250 HV10 Mecanizable con herramienta de corte. Buen coeficiente de fricción. Buena resistencia a la corrosión.
MetaCeram® 28060	Al ₂ O ₃ - TiO ₂	La combinación única de densidad, alta elasticidad y un bajo coeficiente de fricción, hace de MetaCeram®28060 el material ideal para recubrimientos protectores en: Rodillos de alimentación para máquinas textiles, guías de hilo, ejes de bomba, carcasas de eje, rollos de alimentación para materiales plásticos, superficies deslizantes, anillos de sellado para rodamientos.	Capa protectora densa con alta elasticidad de depósito y buena resistencia a la fricción deslizante en metal, con y sin lubricación. antideslizantes, reduce el agrietamiento y la formación de poros. Aislamiento eléctrico y térmico. Alta resistencia a la adhesión.
Eutalloy® 10009	Ni-Cr-B- Si-Fe	Levas, empujadores, paradas, guía ruedas, removedor de piedra de la torta de la presión para molino de azúcar, tornillo de decantador, puerta de vapor.	63 HRC Bajo coeficiente de fricción. Buena resistencia a la corrosión, la erosión y la abrasión bajo carga ligera.

2.2.1.1 Determinación del procedimiento de desgaste adhesivo

Según [29] pp. 3, considera tres procedimientos:

Procedimiento A

Es un ensayo relativamente para desgaste severo en materiales metálicos con alta resistencia al desgaste como, los aceros rápidos, aceros de alta velocidad o HSS (High Speed Steel) los cuales son una serie de aceros que se usan en herramientas, generalmente de series M y T (AISI-SAE) [29]

Tabla 2.9.- Parámetros de los procedimientos para el ensayo de desgaste según la norma ASTM G 83-96. [29]

Specified Procedure	Applied Force ^A			Revolutions	Speed, r/min ^B
	Equivalent (Newtons)	Force kgf	(Pounds Equivalent)		
A	71.2	7.26	16	80 000	400
B	71.2	7.26	16	40 000	400
C	71.2	7.26	16	10 000	100

^A Force Tolerance is $\pm 3\%$.

^B Speed Tolerance is $\pm 2\%$.

Procedimiento B

Es una variación a corto plazo del procedimiento A, se aplica para determinar desgaste moderado. [29]

Procedimiento C

Es un ensayo particularmente útil para materiales de baja resistencia al desgaste, se aplica para determinar desgaste leve. [29]

De acuerdo con los tres procedimientos detallados anteriormente, para nuestra investigación se procederá a realizar los ensayos de desgaste adhesivo bajo los parámetros del procedimiento A, con la finalidad de medir la resistencia al desgaste de los revestimientos.

2.2.2 Muestra

2.2.2.1 Cálculo del tamaño de la muestra para población infinita.

Para el cálculo de la población infinita cuando se desconoce el total de unidades de observación que la integran o la población es mayor a 10,000 aplicamos la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(Z_{\alpha})^2(p)(q)}{\delta^2}$$

Ecuación 2.1.- Calculo de la muestra finita

Donde:

N = Tamaño de la muestra infinita

Z α = Distancia de la media del valor de significación propuesto. Se obtiene de tablas de distribución normal de probabilidades y habitualmente se utiliza un valor de $\alpha = 0.05$, al que le corresponde el valor de $Z = 1.96$.

δ = Precisión o magnitud del error que estamos dispuestos aceptar.

p = Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (cuando se desconoce la proporción buscada, se utiliza $p=0.5$)

q = Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio ($1 - p$).

La suma de p y q siempre debe ser 1.

Desarrollo:

N = ?

Z α = 1.96

δ = 30 %, según [29] pp.4, establece un error máximo del 30% para el valor del coeficiente de variación entre ensayos.

p = 0.5

q = $1 - 05 = 0.5$

Entonces:

$$N = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)}{0.3^2}$$

$$N = 10,67$$

2.2.2.2 Cálculo del número mínimo de ensayos

Según [29] pp.5, para determinar el número mínimo de ensayos el literal (X1.4), se debe considera un tamaño pequeño de muestras (2-10), mientras más ensayos los valores de la desviación estándar tendrán mayor precisión.

Entonces

$$n = \frac{(N) (Z_{\alpha})^2(p)(q)}{E^2(N - 1) + (Z_{\alpha})^2(p)(q)}$$

Ecuación 2.2.- Cálculo de la muestra finita

Dónde:

n = Tamaño de la muestra finita

N = Población

E = Error de muestreo

Entonces:

$$n = \frac{(10,67) (1.96)^2(30)(70)}{30^2(10,67 - 1) + (1.96)^2(30)(70)}$$

$$n = 5$$

El número mínimo de ensayos para cada revestimiento es de cinco.

Para la combinación de 3 revestimientos superficiales sobre el Acero SAE 1018, se utilizará los siguientes materiales: RotoTec®29011, MetaCeram®28060 y Eutalloy®10009; los ensayos de desgaste se realizarán bajo los parámetros del procedimiento A, [29] pp.3 como se muestra en la tabla 2.10.

Tabla 2.10.- N° de ensayos de tres pares tribológicos.

Material Base	Revestimientos	Fuerza kgf	Revoluciones Rev	Velocidad rpm	N° de ensayos
ACERO SAE 1018	RotoTec® 29011	7.26	80 000	400	5
ACERO SAE 1018	MetaCeram® 28060	7.26	80 000	400	5
ACERO SAE 1018	Eutalloy® 10009	7.26	80 000	400	5
TOTAL					25

Tabla 2.11.- Códigos de las probetas

Material Base	Código para probetas estáticas	Revestimientos	Código para probetas móviles
ACERO SAE 1018	SAE-1018_RT_01 SAE-1018_RT_02 SAE-1018_RT_03 SAE-1018_RT_04 SAE-1018_RT_05	RotoTec® 29011	RT_29011_01 RT_29011_02 RT_29011_03 RT_29011_04 RT_29011_05
ACERO SAE 1018	SAE-1018_MC_01 SAE-1018_MC_02 SAE-1018_MC_03 SAE-1018_MC_04 SAE-1018_MC_05	MetaCeram® 28060	MC_28060_01 MC_28060_02 MC_28060_03 MC_28060_04 MC_28060_05
ACERO SAE 1018	SAE-1018_E_01 SAE-1018_E_02 SAE-1018_E_03 SAE-1018_E_04 SAE-1018_E_05	Eutalloy® 10009	E_10009_01 E_10009_02 E_10009_03 E_10009_04 E_10009_05

2.3 Operacionalización de las variables

2.3.1 Variable Independiente

Tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica.

Tabla 2.12.- Datos de operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
También conocido como Thermal Spray, es un proceso de recubrimiento que consiste en la proyección de partículas metálicas o no metálicas, fundidas o semifundidas en una pieza de trabajo ya preparada para proveer a la superficie de ciertas características requeridas para las condiciones de trabajo.	Parámetros de funcionamiento del equipo	Temperatura de trabajo °C	200 a 800	- Ensayo experimental. - Observación directa. - Catálogos.
		Velocidad de la partícula (m/s)	40	- Ensayo experimental. - Observación directa. - Recomendaciones del manual del equipo
	Calidad superficial	Porosidad %	10-15	- Ensayo de laboratorio. Norma ASTM G 83-96
		Tipo de revestimiento	RotoTec® 29011 MetaCeram® 28060 Eutalloy® 10009	- Observación directa. - Catálogos.

2.3.2 Variable Dependiente

Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

Tabla 2.13.- Datos de operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
De acuerdo con la norma DIN 50320, el desgaste se define como la pérdida progresiva de material de la superficie de un cuerpo sólido. Esta pérdida de material es ocasionada por fenómenos mecánicos y químicos, el material removido puede ser expulsado, transferido a la otra superficie o quedar atrapado dentro del sistema [10].	Coeficiente de Desgaste	Volumen de desgaste (V)	0,1 - 6 mm ³ /min	- Ensayo experimental. - Observación directa. Tribómetro de ejes cruzados Balanza de precisión 0.001 gr
	Coeficiente de Fricción	Coeficiente de Fricción (K)	0.2 - 8 E ⁻⁷	
	Parámetros de la norma ASTM G 83-96	Velocidad	100-400 (r.p.m.) +/- 2%	
		Revoluciones	10000 80000	

2.3.3 Recolección de la información

Plan de ejecución de la información.

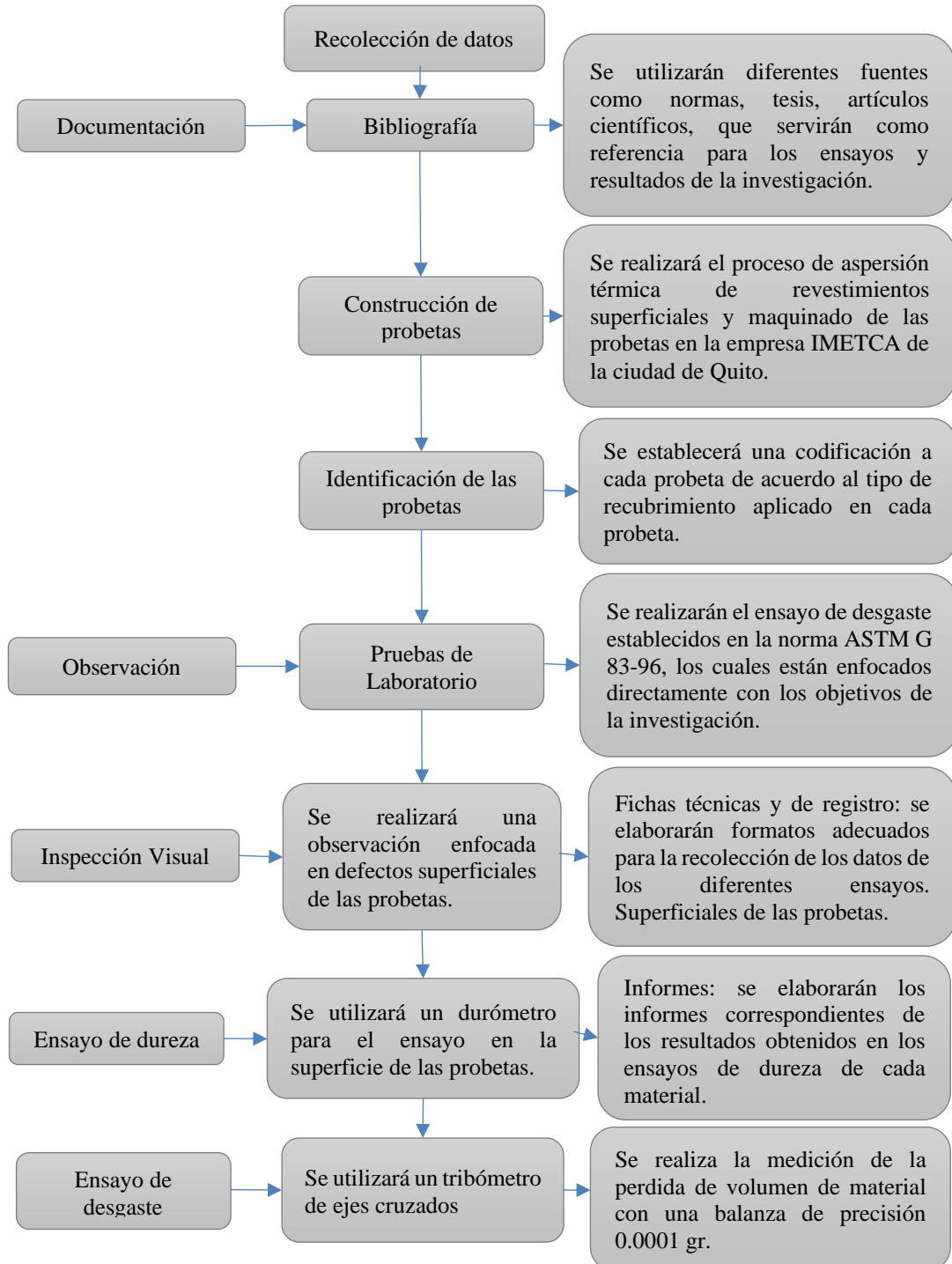


Figura 2.4.- Flujograma del plan de ejecución de la información

2.3.4 Procesamiento y análisis

Plan de procesamiento y análisis de la información.

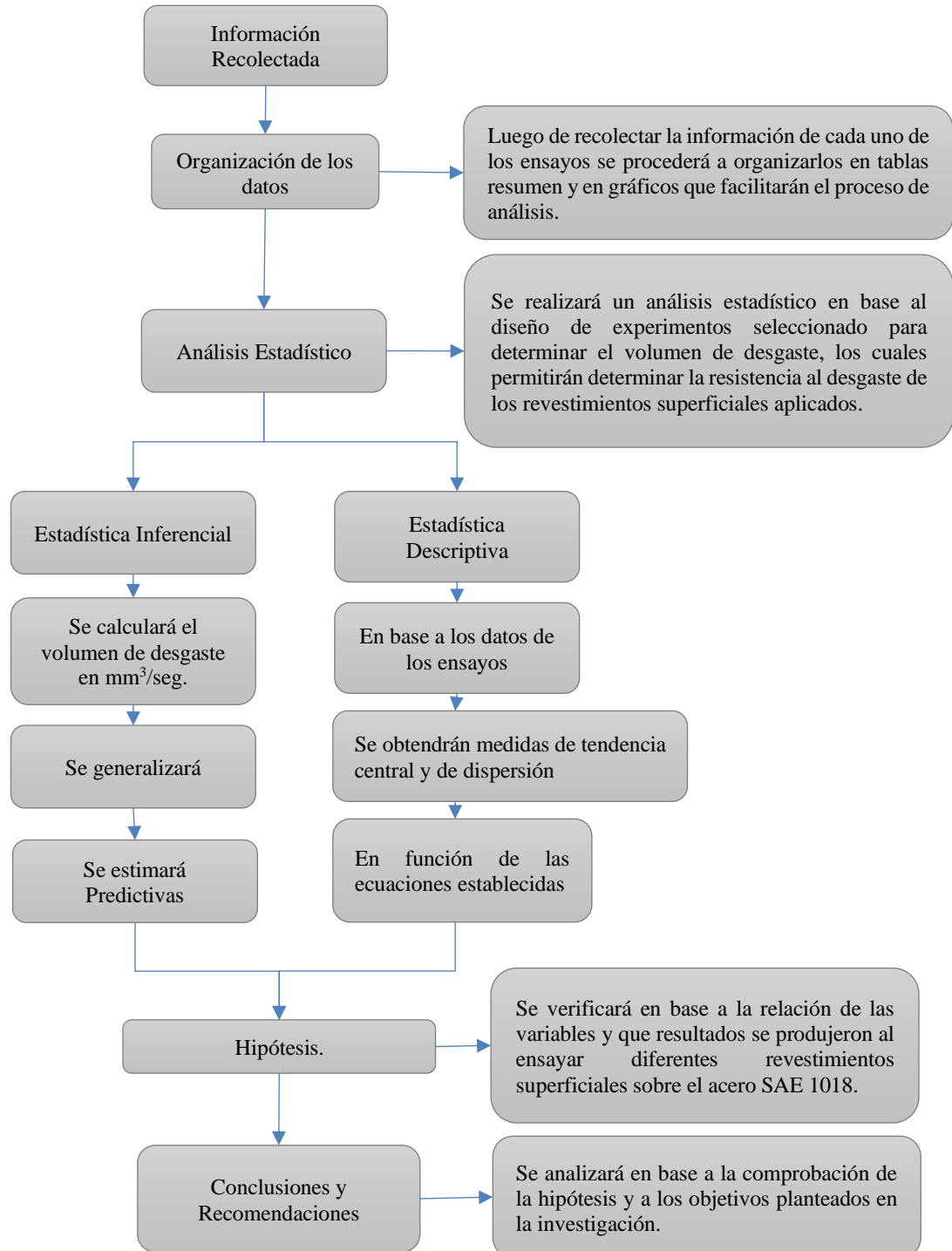
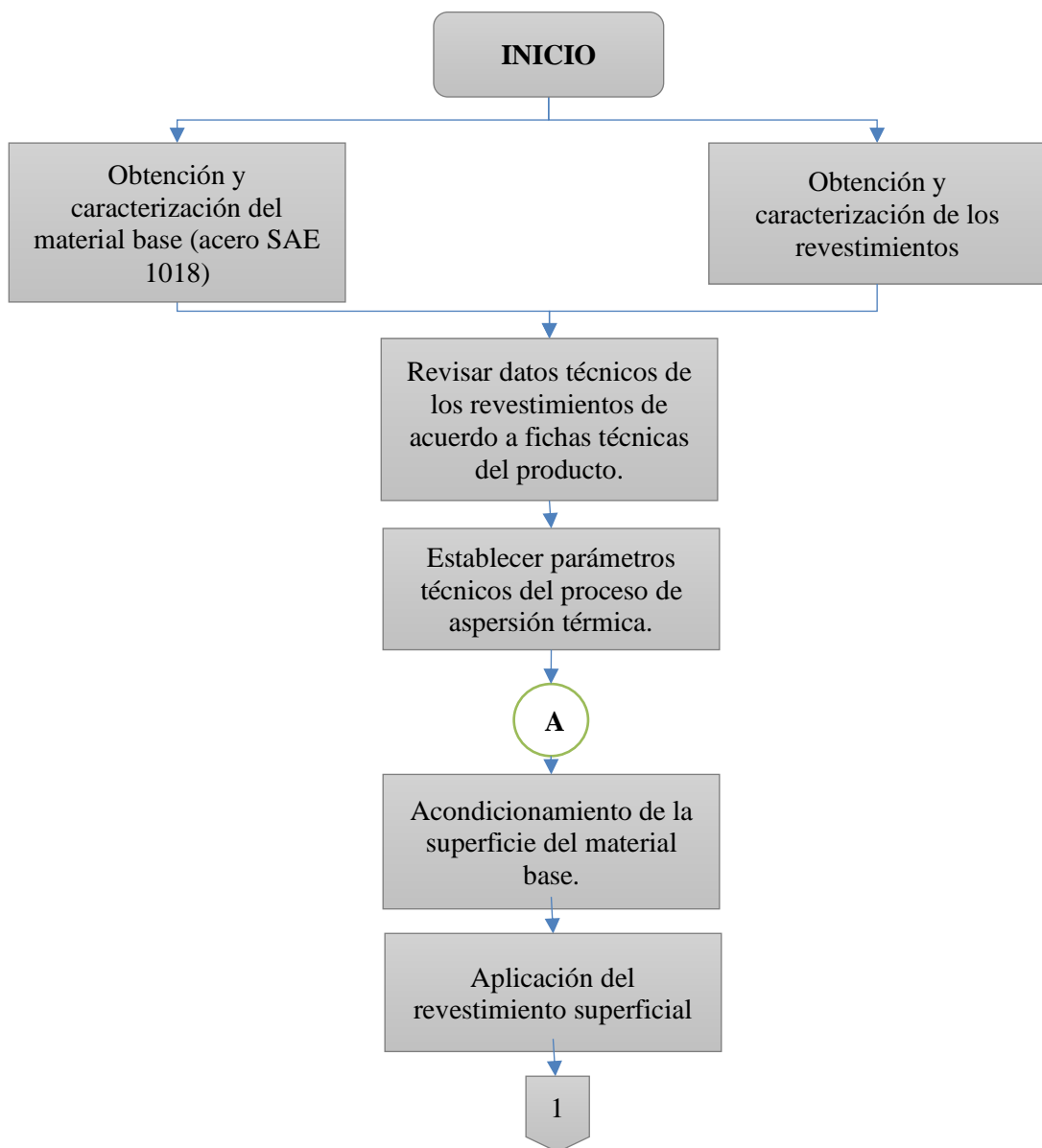


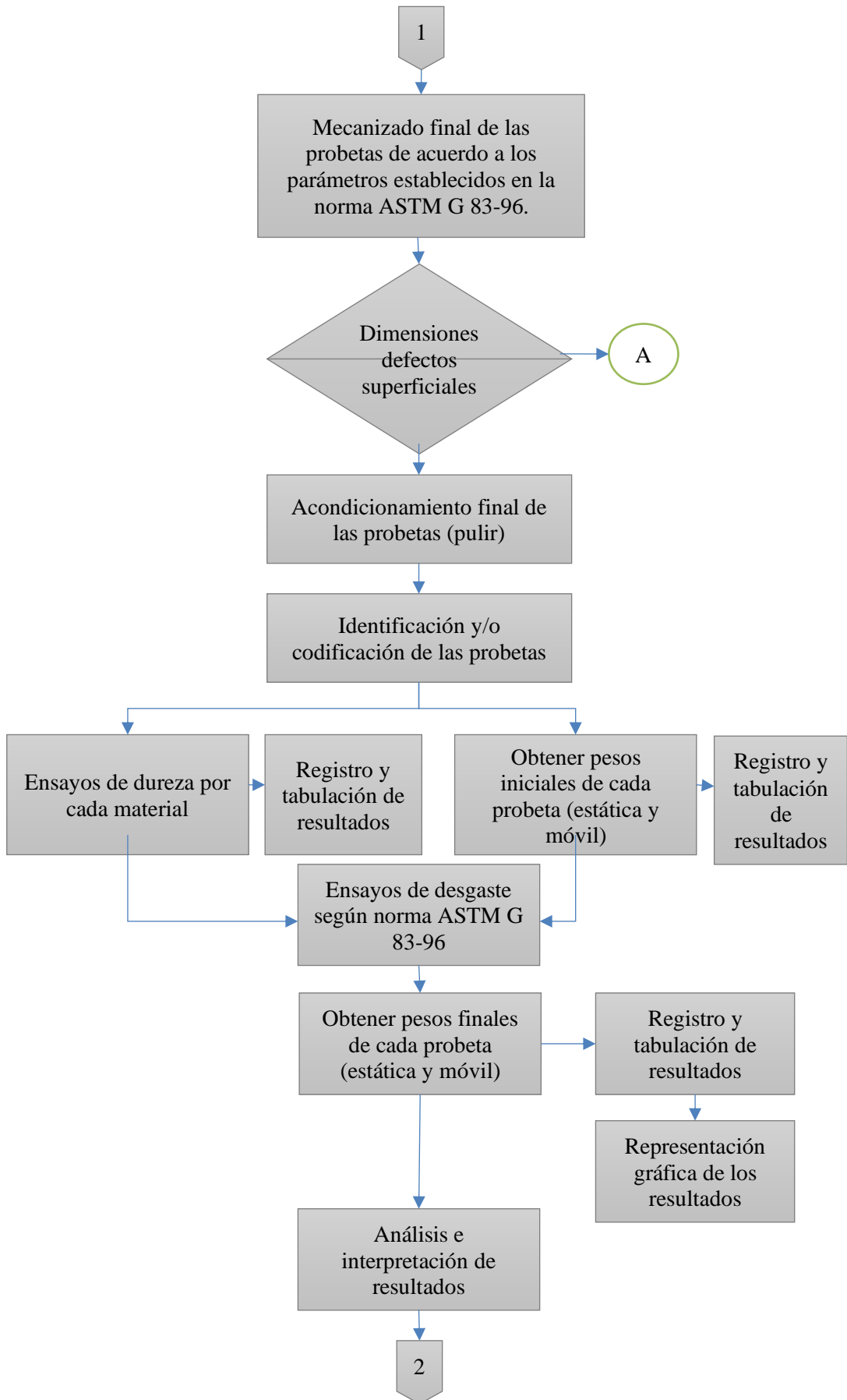
Figura 2.5.- Flujograma del plan de procesamiento y análisis de la información.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

La presente investigación utilizó un procedimiento para el desarrollo experimental en base al flujograma de la figura 3.1, que permitió aplicar los parámetros establecidos en la Norma ASTM G 83-96, para determinar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales aplicados en el acero SAE 1018 mediante el proceso de aspersión térmica. (Anexo 8)





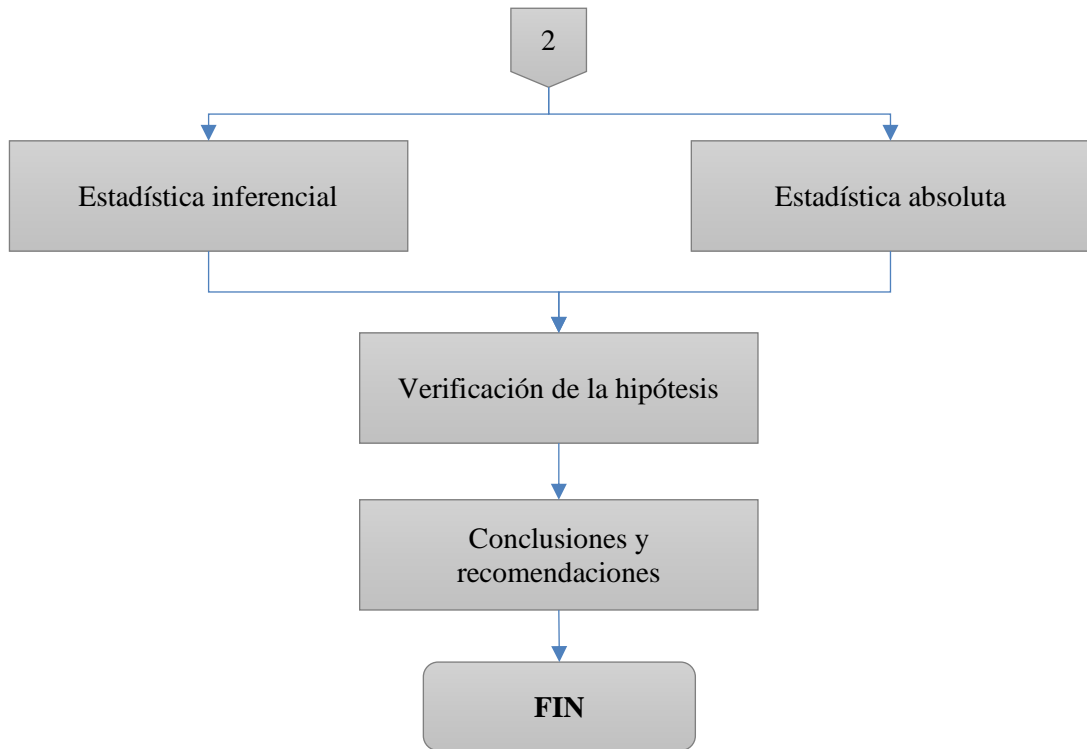


Figura 3.1.- Flujograma del análisis y discusión de los resultados.

3.2 Obtención, caracterización y ensayos preliminares del material



Para comenzar el análisis de la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales aplicados mediante el proceso de aspersion térmica, previamente es necesario obtener la materia prima del material base y los recubrimientos superficiales para caracterizarlos, siguiendo el procedimiento establecido, para conocer sus propiedades mecánicas y composición química, temperaturas de fusión, velocidades de rociado, etc.

3.2.1 Obtención de la materia prima



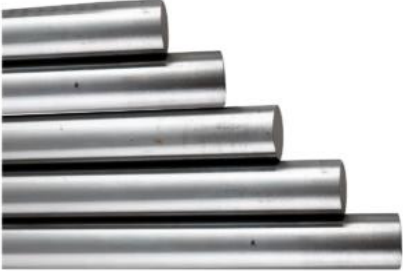
El material base es el acero SAE 1018 adquirido en la empresa IVAN BOHMAN, cuyos certificados de calidad garantizan que los materiales fueron fabricados bajo las normas ASTM. En base a lo mencionado se realizaron fichas técnicas de inspección inicial del material y de sus especificaciones como son propiedades mecánica y químicas, que se las puede observar a continuación.

3.2.2 Datos técnicos del material base, aleaciones de anclaje y aleaciones de acabado.



3.2.2.1 Información general del acero SAE 1018 (metal base)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RMB-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE METAL BASE			Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
INFORMACIÓN GENERAL DEL MATERIAL BASE					
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN: SI X NO -					
<i>ESPECIFICACIÓN:</i> ACERO DE TRANSMISIÓN					
<i>NORMA:</i> SAE 1018					
<i>PROVEEDOR:</i> IVAN BOHMAN C.A					
<i>Obs:</i> Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:					
<i>PRESENTACIÓN DEL MATERIAL:</i>					
<i>PERFIL ESTRUCTURAL</i>		-	<i>PERFIL LAMINADO</i>		-
<i>PLANCHA</i>		-	<i>BOBINA</i>		-
<i>EJE</i>		X	<i>BARRA PERFORADA</i>		-
<i>TIPO:</i>		EJE DE TRANSMISIÓN			
DIMENSIONES NOMINALES:					
Largo:		-	Ancho:		-
Espesor:		-	Peso:		-
Diámetro		3/4 in	Longitud:		6 m
DIMENSIONES DENTRO DE TOLERANCIAS: SI X NO					
<i>Obs:</i>					
CALIDAD SUPERFICIAL ACEPTABLE: SI X NO					
<i>Obs:</i>					
PROPIEDADES MECÁNICAS ACEPTABLES: SI X NO					
<i>Obs:</i>					
COMPOSICIÓN QUÍMICA ACEPTABLE: SI X NO					
<i>Obs:</i>					
ETIQUETA DE ACEPTACIÓN: N/D					
NÚMERO DE REPORTE DE NO-CONFORMIDAD: N/D					
NÚMERO DE ETIQUETA DE ESPERA: N/D					
CÓDIGO DE TRAZABILIDAD: N/D					
					Registrado por:
					Nombre: Ing. Neris Zambonino
					Cargo: Investigador



3.2.2.2 Especificaciones técnicas del acero SAE 1018 (metal base)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RMB-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE METAL BASE			Página:	2 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO PARA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL					
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL					
<i>Especificación:</i>		ACERO DE TRANSMISIÓN			
<i>Norma:</i>		SAE 1018			
<i>Proveedor:</i>		IVAN BOHMAN C.A			
Obs:	Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
<i>Tipo</i>	EJE	<i>Dureza</i>			
<i>Diámetro</i>	3/4 in	<i>Densidad</i>	7.87 g/cm ³		
<i>Longitud</i>	6 m	<i>Recubrimiento superficial</i>	N/D		
<i>Peso</i>	2,2 (kg/m)	<i>Acabado superficial</i>	N/D		
<i>Tolerancia</i>	h10 - h11	<i>Tratamiento térmico</i>	N/D		
PROPIEDADES MECÁNICAS					
<i>Esfuerzo de cedencia (kg/mm²)</i>	min 31	<i>Elongación % min:</i>	20		
<i>Resistencia a la tracción (kg/mm²)</i>	51 -57	<i>Módulo de elasticidad:</i>	205 GPa (29700 KSI)		
Obs:	N/D				
COMPOSICIÓN QUÍMICA					
	<i>% C</i>	<i>% Mn</i>	<i>% P</i>	<i>% S</i>	
	0,15 - 0,20	0,60	0,040	0,050	
Obs:	N/D				
Registro Fotográfico:					
Aplicaciones:	Piezas típicas como pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pesadores, tornillos				
				Registrado por:	
				Nombre:	Ing. Neris Zambonino
				Cargo	Investigador



3.2.2.3 Información general del revestimiento superficial ProXon®21021
(aleación para base adherente o de anclaje)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
INFORMACIÓN GENERAL DE LA ALEACIÓN DE PROTECCIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:		SI	X	NO		
<i>Especificación:</i>	ProXon® 21021					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:						
PRESENTACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE:		<i>Polvos metálicos</i>		X		
		<i>Polvos cerámicos</i>		/		
		<i>Aleaciones auto fundentes en polvo</i>		/		
		<i>Hilo metálico</i>		/		
Familia de producto:	ProXon					
<i>Obs:</i>	Aleación a base de Ni-Al-Mo					
Material de aporte:	Polvos metálicos					
<i>Obs:</i>	N/D					
Aporte térmico:	Bajo					
<i>Obs:</i>	N/D					
Máximo espesor (mm):	2 (10)*					
<i>Obs:</i>	(...)*Requiere una precaución/aleación especial					
Adherencia:	Muy buena, mediante difusión					
<i>Obs:</i>	N/D					
Rendimiento:	Medio					
<i>Obs:</i>	N/D					
Energía:	Combustión de gases					
<i>Obs:</i>	N/D					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo:	Investigador



**3.2.2.4 Especificaciones técnicas del revestimiento superficial ProXon®21021
(aleación para base adherente o de anclaje)**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Versión:	1
					Fecha:	4-nov-20
					Página:	2 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA IDENTIFICACIÓN DE ALEACIONES DE PROTECCIÓN						
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL						
<i>Especificación:</i>		ProXon® 21021				
<i>Proveedor:</i>		Castolin S.A				
<i>Observaciones:</i>		N/D				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
		Mínimo		Unidades		
	<i>Dureza</i>	140 - 160		(HV10)		
	<i>Temperatura máxima de servicio</i>	540		(°C)		
	<i>Temperatura de aplicación</i>	260		(°C)		
	<i>Límite de espesor del depósito</i>	3 - 6,3		(mm)		
	<i>Densidad</i>	7,69		g/cm ³		
<i>Obs:</i>						
Metal Base						
Hierros fundidos, acero al carbono, aceros aleados, acerosinoxidables, aleaciones de níquel y cobre.						
Acabado						
Con herramienta de carburo de tungsteno o por rectificado.						
Sistemas de Aplicación						
RotoTec 1A, TeroDyn 2000, CastoDyn 8000.						
<i>Obs:</i> Verificar ficha técnica del equipo						
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo:	Investigador



3.2.2.5 Información general del revestimiento superficial RotoTec®29011
(aleación para acabado tipo acero inoxidable)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
INFORMACIÓN GENERAL DE LA ALEACIÓN DE PROTECCIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:		SI	X	NO		
<i>Especificación:</i>	RotoTec® 29011					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:						
PRESENTACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE:		<i>Polvos metálicos</i>		X		
		<i>Polvos cerámicos</i>		/		
		<i>Aleaciones auto fundentes en polvo</i>		/		
		<i>Hilo metálico</i>		/		
Familia de producto:	RotoTec					
Obs:	Aleación de metal frío autoadhesiva a base de Fe-Cr-Ni-Mo del tipo de acero inoxidable cromo/níquel					
Material de aporte:	Polvos metálicos y polímeros					
Obs:	N/D					
Aporte térmico:	Bajo					
Obs:	N/D					
Máximo espesor (mm):	3 (10)*					
Obs:	(...)*Requiere una precaución/aleación especial					
Adherencia:	Buena adherencia mecánica, micro difusión					
Obs:	N/D					
Rendimiento:	Medio a alto					
Obs:	N/D					
Energía:	Combustión de gases					
Obs:	N/D					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador



3.2.2.6 *Especificaciones técnicas del revestimiento superficial RotoTec®29011
(aleación para acabado tipo acero inoxidable)*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	2 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA IDENTIFICACIÓN DE ALEACIONES DE PROTECCIÓN						
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL						
<i>Especificación:</i>		RotoTec® 29011				
<i>Proveedor:</i>		Castolin S.A D				
<i>Observaciones:</i>		N/D				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
		Mínimo		Unidades		
	<i>Dureza</i>	200 - 240		(HV10)		
	<i>Temperatura máxima de servicio</i>	540		(°C)		
	<i>Temperatura de aplicación</i>	100 - 250		(°C)		
	<i>Límite de espesor del depósito</i>	1,3		(mm)		
	<i>Densidad</i>	7,00		g/cm ³		
<i>Obs:</i>						
Metal Base						
Todos los metales excepto el cobre puro.inoxidables, aleaciones de níquel y cobre.						
Acabado						
Con herramienta de carburo de tungsteno.						
Sistemas de Aplicación						
RotoTec I, RotoTec 1A, RotoTec 80, TeroDyn 2000, CastoDyn 8000.						
<i>Obs:</i> Verificar ficha técnica del equipo						
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador



3.2.2.7 Información general del revestimiento superficial MetaCeram®28060
(aleación para acabado tipo polvo cerámico)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES			Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
INFORMACIÓN GENERAL DE LA ALEACIÓN DE PROTECCIÓN					
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:					
		SI	X	NO	
<i>Especificación:</i>		MetaCeram® 28060			
<i>Proveedor:</i>		Castolin S.A			
<i>Observaciones:</i>		N/D			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:					
PRESENTACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE:		<i>Polvos metálicos</i>		X	
		<i>Polvos cerámicos</i>		/	
		<i>Aleaciones auto fundentes en polvo</i>		/	
		<i>Hilo metálico</i>		/	
Familia de producto:		MetaCeram			
<i>Obs:</i>		Polvo cerámico a base de corindón. Al2O3 - TiO2 en porcentaje 60/40			
Material de aporte:		Polvos Cerámicos			
<i>Obs:</i>		N/D			
Aporte térmico:		Bajo			
<i>Obs:</i>		N/D			
Máximo espesor (mm):		0,4 (1)*			
<i>Obs:</i>		(...) *Requiere una precaución/aleación especial			
Adherencia:		Buena adherencia mecánica, micro difusión			
<i>Obs:</i>		N/D			
Rendimiento:		Medio			
<i>Obs:</i>		N/D			
Energía:		Combustión de gases			
<i>Obs:</i>		N/D			
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)					
				Registrado por:	
				Nombre:	Ing. Neris Zambonino
				Cargo:	Investigador



3.2.2.8 Datos técnicos del revestimiento superficial MetaCeram®28060 (aleación para acabado tipo polvo cerámico)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA IDENTIFICACIÓN DE ALEACIONES DE PROTECCIÓN						
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL						
<i>Especificación:</i>		MetaCeram® 28060				
<i>Proveedor:</i>		Castolin S.A D				
<i>Observaciones:</i>		N/D				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
		Mínimo		Unidades		
	<i>Dureza</i>	1200		(HV 0,01)		
	<i>Temperatura máxima de servicio</i>	700		(°C)		
	<i>Punto de fusión</i>	1840		(°C)		
	<i>Densidad</i>	4,10		g/cm ³		
<i>Obs:</i>						
Metal Base						
Todos los metales industriales.						
Acabado						
Con cualquier tipo de herramienta de corte.						
Sistemas de Aplicación						
CastoDyn DS 8000.						
<i>Obs:</i> Verificar ficha técnica del equipo						
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo:	Investigador

3.2.2.9 Información general del revestimiento superficial Eutalloy®10009
(aleación para acabado tipo cromo-níquel)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
INFORMACIÓN GENERAL DE LA ALEACIÓN DE PROTECCIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:		SI	X	NO		
<i>Especificación:</i>	Eutalloy® 10009					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:						
PRESENTACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE:		<i>Polvos metálicos</i>		X		
		<i>Polvos cerámicos</i>		/		
		<i>Aleaciones auto fundentes en polvo</i>		/		
		<i>Hilo metálico</i>		/		
Familia de producto:		Eutalloy				
<i>Obs:</i>	Aleación metálica de micro polvo a base de Ni-Cr-B-Si-Fe					
Material de aporte:		Aleaciones auto fundentes en polvo				
<i>Obs:</i>	N/D					
Aporte térmico:		Medio a alto				
<i>Obs:</i>	N/D					
Máximo espesor (mm):		3 (10)*				
<i>Obs:</i>	(...) *Requiere una precaución/aleación especial					
Adherencia:		Buena adherencia mecánica, micro difusión				
<i>Obs:</i>	N/D					
Rendimiento:		Medio a alto				
<i>Obs:</i>	N/D					
Energía:		Combustión de gases				
<i>Obs:</i>	N/D					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador

3.2.2.10 Datos técnicos del revestimiento superficial Eutalloy®10009 (aleación para acabado tipo cromo-níquel)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	2 de 2
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA IDENTIFICACIÓN DE ALEACIONES DE PROTECCIÓN						
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL						
<i>Especificación:</i>		Eutalloy® 10009				
<i>Proveedor:</i>		Castolin S.A				
<i>Observaciones:</i>		N/D				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
		Mínimo		Unidades		
	<i>Dureza</i>	58-62		(HRC)		
	<i>Temperatura máxima de servicio</i>	700		(°C)		
	<i>Rango de fusión (sol./liq.) (°C):</i>	965-1210		(°C)		
	<i>Límite de espesor del depósito</i>	1,5		(mm)		
	<i>Densidad</i>	7,80		g/cm ³		
<i>Obs:</i>						
Metal Base						
Hierros fundidos, acero al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, aleaciones de Níquel y Cobre.						
Acabado						
Con herramienta de carburo de tungsteno (rectificado)						
Sistemas de Aplicación						
Antorchas Eutalloy Super jet, Terodyn 2000						
<i>Obs:</i> Verificar ficha técnica del equipo						
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador

3.2.3 Pares tribológicos para los ensayos de desgaste adhesivo e Identificación de las probetas (similar a tesis de tribología)

3.2.3.1 Pares tribológicos para el Ensayo de Desgaste Adhesivo bajo Norma ASTM G 83-96.

Tabla 3.1.- Combinación de pares tribológicos

Pares Tribológicos		
Probeta móvil	Sobre	Probeta estática
<i>RotoTec®29011</i> (Aleación de tipo acero inoxidable)		Acero SAE 1018 (metal base)
<i>MetaCeram®28060</i> (Polvo cerámico)		Acero SAE 1018 (metal base)
<i>Eutalloy®10009</i> (Aleación anti desgaste Cromo-Níquel)		Acero SAE 1018 (metal base)

3.2.3.2 Identificación de las probetas para la combinación del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011.

Tabla 3.2.- Identificación de las probetas, par Tribológico #1

Par Tribológico #1			
Material Probeta móvil	Código	Material Probeta estática	Código
RotoTec® 29011	RT_29011_01	Acero SAE 1018	SAE-1018_RT_01
RotoTec® 29011	RT_29011_02	Acero SAE 1018	SAE-1018_RT_02
RotoTec® 29011	RT_29011_03	Acero SAE 1018	SAE-1018_RT_03
RotoTec® 29011	RT_29011_04	Acero SAE 1018	SAE-1018_RT_04
RotoTec® 29011	RT_29011_05	Acero SAE 1018	SAE-1018_RT_05

3.2.3.3 Identificación de las probetas para la combinación del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060.

Tabla 3.3.- Identificación de las probetas, par Tribológico #2

Par Tribológico #2			
Material Probeta móvil	Código	Material Probeta estática	Código
MetaCeram® 28060	MC_28060_01	Acero SAE 1018	SAE-1018_MC_01
MetaCeram® 28060	MC_28060_02	Acero SAE 1018	SAE-1018_MC_02
MetaCeram® 28060	MC_28060_03	Acero SAE 1018	SAE-1018_MC_03
MetaCeram® 28060	MC_28060_04	Acero SAE 1018	SAE-1018_MC_04
MetaCeram® 28060	MC_28060_05	Acero SAE 1018	SAE-1018_MC_05




3.2.3.4 Identificación de las probetas para la combinación del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009.

Tabla 3.4.- Identificación de las probetas, par Tribológico #3




Par Tribológico #3			
Material Probeta móvil	Código	Material Probeta estática	Código
Eutalloy® 10009	E_10009_01	Acero SAE 1018	SAE- 1018_E_01
Eutalloy® 10009	E_10009_02	Acero SAE 1018	SAE- 1018_E_02
Eutalloy® 10009	E_10009_03	Acero SAE 1018	SAE- 1018_E_03
Eutalloy® 10009	E_10009_04	Acero SAE 1018	SAE- 1018_E_04
Eutalloy® 10009	E_10009_05	Acero SAE 1018	SAE- 1018_E_05

3.2.4 Datos técnicos de los equipos empleados en el proceso de metalización

3.2.4.1 Especificaciones técnicas del soplete de proyección térmica, CastoDyn DS 8000.



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	REM-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE EQUIPOS DE METALIZADO			Página:	1 de 1
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
CastoDyn DS 8000					
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN :					
		SI	X	NO	
<i>Especificación:</i>	CastoDyn DS 8000				
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A				
<i>Observaciones:</i>	CDS 8000				
DATOS TÉCNICOS					
Tasa de deposición	1 - 8 kg/h				
Caudal de Acetileno	400 - 1800 Nl/h				
Caudal de Oxígeno	500 - 2000 Nl/h				
Presión de Oxígeno	4,0 bar				
Presión de Acetileno	0,7 bar				
Presión de Aire	0 - 6 bar				
CastoDyn DS 8000 Kits					
					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (https://www.castolin.com/es-ES/product/castodyn-ds-8000-kits)					
					Registrado por:
					Ing. Neris Zambonino
					Investigador

3.2.4.2 Especificaciones técnicas de la antorcha Eutalloy SuperJet.



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA REGISTRO DE EQUIPOS DE METALIZADO				Código:	REM-01																
					Versión:	1																
					Fecha:	4-nov-20																
					Página:	1 de 1																
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)																	
SuperJet-S																						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 16.6%; text-align: center;">SI</td> <td style="width: 16.6%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 16.6%; text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td><i>Especificación:</i></td> <td colspan="3">SuperJet-S- Eutalloy</td> </tr> <tr> <td><i>Proveedor:</i></td> <td colspan="3">Castolin S.A</td> </tr> <tr> <td><i>Observaciones:</i></td> <td colspan="3">Ref. 7169139 SuperJet-S- kit con A1S, B3S y C5S</td> </tr> </table>								SI	X	NO	<i>Especificación:</i>	SuperJet-S- Eutalloy			<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A			<i>Observaciones:</i>	Ref. 7169139 SuperJet-S- kit con A1S, B3S y C5S		
	SI	X	NO																			
<i>Especificación:</i>	SuperJet-S- Eutalloy																					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A																					
<i>Observaciones:</i>	Ref. 7169139 SuperJet-S- kit con A1S, B3S y C5S																					
PROPIEDADES ÚNICAS DEL SOPLETE MODULAR SUPERJET-S																						
<p>Ensamblaje manual rápido de la lanza con rotación para soldadura toda posición.</p> <p>Gama completa de lanzas, cada una con su inyector y mezclador para asegurar una óptima alimentación de polvo para cada ajuste de llama.</p> <p>Canal interno de polvo y boquillas diseñadas para una máxima resistencia al desgaste y fiabilidad.</p> <p>Todos los elementos del soplete son fácilmente accesibles para su limpieza o reemplazamiento.</p> <p>Cierre rápido para un rápido re-encendido de una llama ajustada sin la necesidad de actuar sobre las válvulas.</p>																						
SuperJet-S- Kits																						
																						
<p>Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (https://www.castolin.com/es-ES/product/superjet-s-kits)</p>																						
					Registrado por:																	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino																
					Cargo	Investigador																

3.2.5 Parámetros técnicos de revestimientos superficiales para metalización del Acero SAE 1018.



3.2.5.1 Parámetros técnicos del revestimiento superficial ProXon®21021, aplicado con antorcha Eutalloy SuperJet.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 1
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
PARÁMETROS TÉCNICOS DE APLICACIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:		SI	X	NO		
Especificación:	ProXon® 21021					
Proveedor:	Castolin S.A					
Observaciones:	N/D					
DATOS						
<i>T de precalentamiento</i>	50 - 150 °C					
<i>Boquilla pulverización estándar</i>	SSM 10					
<i>Distancia de pulverización</i>	150 (mm)					
<i>Velocidad de rotación</i>	20 (m/min)					
<i>Avance</i>	3 (mm/rev)					
<i>Revestimiento</i>	Capa 1	0,1 mm				
	Capa 2	0,3 mm				
	Capa 3	0,5 mm				
<i>Presión</i>	Oxígeno	4 bar				
	Acetileno	0,7 bar				
	Aire	0 - 6 bar				
<i>Equipo de pulverización:</i>	CastoDyn DS 8000.					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador



3.2.5.2 *Parámetros técnicos del revestimiento superficial RotoTec® 29011, aplicado con antorcha CastoDyn DS 8000.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 1
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
PARÁMETROS TÉCNICOS DE APLICACIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:						
		SI	X	NO		
<i>Especificación:</i>	RotoTec® 29011					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
DATOS						
<i>T de precalentamiento</i>	50 - 150 °C					
<i>Velocidad de rotación</i>	20-30 (m/min)					
<i>Avance</i>	3 (mm/rev)					
<i>Distancia de pulverización</i>	200 (mm)					
<i>Presión</i>	oxígeno	4 bar				
	Acetileno	0,7 bar				
	Aire	0 - 6 bar				
<i>Equipo de pulverización:</i>	CastoDyn DS 8000.					
PARÁMETROS DE ACABADO:						
RotoTec 29011	Torneado con herramienta de corte de carburo de tungsteno					
Tipo	ISO K10					
Angulo del avance	5 °					
Angulo de salida	5 °					
Velocidad de corte (m/min)	A 50	P 50				
Avance(mm/rev)	A 0,1	P 0,08				
Profundidad de corte (mm)	A 0,8	P 0,05				
Enfriamiento	Ninguno					
	A-acabado; F-pulido					
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo:	Investigador

3.2.5.3 *Parámetros técnicos del revestimiento superficial MetaCeram®28060 aplicado con antorcha CastoDyn DS 8000.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 1
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
PARÁMETROS TÉCNICOS DE APLICACIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:						
	SI	X	NO			
<i>Especificación:</i>	MetaCeram® 28060					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
DATOS						
<i>Angulo de pulverización óptimo</i>	90°					
<i>Pre calentamiento</i>	50 °C					
<i>Rugosidad de la superficie previo aplicación</i>	min 30 µm					
<i>Distancia de pulverización</i>	100 mm					
<i>Velocidad de rotación</i>	4 (m/min)					
<i>Avance</i>	5 (mm/rev)					
<i>Presión</i>	Oxígeno	4 bar				
	Acetileno	0,7 bar				
	Aire	0 - 6 bar				
<i>Equipo de pulverización:</i>	CastoDyn DS 8000.					
PARÁMETROS DE ACABADO:						
Mecanizado típico	Preparación/ Acabado				Pulido	
Velocidad rotación:	30 m/seg.				30 m/seg.	
Velocidad rotación:	20-23 m/min.				17 m/min.	
Velocidad avance:	0,4-0,5 m/min.				0,09 m/min.	
Profundidad de la trayectoria:	0.012-0.02 mm para trayecto.				0.01-0,05 mm para trayecto.	
Enfriamiento:	Emulsión (Blasocut Grindex).				Emulsión (Blasocut Grindex).	
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo:	Investigador



3.2.5.4 Parámetros técnicos del revestimiento superficial Eutalloy®10009 aplicado con antorcha CastoDyn DS 8000.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RRS-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
	REGISTRO DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES				Página:	1 de 1
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
PARÁMETROS TÉCNICOS DE APLICACIÓN						
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:						
		SI	X	NO		
<i>Especificación:</i>	Eutalloy® 10009					
<i>Proveedor:</i>	Castolin S.A					
<i>Observaciones:</i>	N/D					
DATOS						
<i>Proceso de aplicación</i>	pulverización térmica Ultrajet Eutalloy.					
<i>Tasa de flujo entre pasada:</i>	15 segundos					
<i>Rango de fusión aproximado</i>	Solido 954 ° C Líquido 1066 ° C					
<i>Cobertura de polvo:</i>	50 pulgadas ² por libra, 1/16" de espesor					
<i>Temperatura máxima de servicio:</i>	538 ° C					
<i>Pre calentamiento.</i>	Las piezas grandes y pesadas deben calentarse a unos 300 ° C (azul caliente).					
<i>Distancia entre la punta del cono de llama y la piscina fundida:</i>	aprox. 6-10 mm.					
<i>Equipo de pulverización:</i>	CastoDyn DS 8000					
PARÁMETROS DE ACABADO:						
Tipo de muela abrasiva: carburo de silicio verde						
Tamaño de grano: 60 - 80						
Grado: H (suave)						
Estructura: 5						
Tipo de enlace: Vitrificado						
Velocidad de la rueda: utilice la recomendación del fabricante						
Velocidad de trabajo: 50-65 pies de superficie por minuto						
Velocidad transversal: Desbaste, 5-15 "por minuto Acabado, 3-8" por minuto						
Entrada: Desbaste, 0,001 "por pasada Acabado, 0,0005" por pasada o menos						
Refrigerante: refrigerante de inundación con inhibidores de óxido en una concentración de 2-5%						
Datos técnicos obtenidos del catálogo de productos Castolin Eutectic® (www.castolin.es)						
					Registrado por:	
					Nombre:	Ing. Neris Zambonino
					Cargo	Investigador



3.2.6 Resultados de los ensayos de dureza Brinell

Los valores que se me muestran en las tablas de dureza Brinell, corresponden al (Anexo 9).



**3.2.6.1 Caracterización del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011
(ensayo de dureza Brinell)**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Versión:	1
					Fecha:	4-nov-20
			Página:	1 de 6		
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	RotoTec®29011					
Observaciones	Probeta con revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	3,05	1,220	150,00		
	2	3,02	1,208	154,00		
	3	3,09	1,236	146,00		
	4	3,04	1,216	151,00		
	5	3,00	1,200	156,00		
	Promedio		\bar{x}	151,40		
	Desviación estándar		Sn-1	3,85		
	Coeficiente de variación		CV %	2,54		
Observaciones:	n/a					
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.	
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis	



3.2.6.2 Caracterización del acero SAE 1018 sin revestimiento RotoTec®29011
(ensayo de dureza)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	RotoTec®29011					
Observaciones	Probeta sin revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	3,01	1,204	154,00		
	2	2,99	1,196	158,00		
	3	3,01	1,204	154,00		
	4	3,10	1,240	145,00		
	5	3,09	1,236	146,00		
	Promedio			\bar{x}	151,40	
	Desviación estándar			Sn-1	5,64	
	Coeficiente de variación			CV %	3,72	
Observaciones:	n/a					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.2.6.3 Caracterización del acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060
(ensayo de dureza)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	MetaCeram®28060					
Observaciones	Probeta con revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	2,64	1,056	204,00		
	2	2,61	1,040	209,00		
	3	2,84	1,136	175,00		
	4	2,62	1,040	211,00		
	5	2,69	1,076	197,00		
	Promedio			x̄	199,20	
	Desviación estándar			Sn-1	14,57	
	Coeficiente de variación			CV %	7,31	
Observaciones:	n/a					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.2.6.4 Caracterización del acero SAE 1018 sin revestimiento MetaCeram®28060
(ensayo de dureza)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	MetaCeram®28060					
Observaciones	Probeta sin revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	3,10	1,240	145,00		
	2	3,04	1,216	152,00		
	3	2,98	1,192	158,00		
	4	3,05	1,220	150,00		
	5	2,99	1,196	157,00		
	Promedio			x̄	152,40	
	Desviación estándar			Sn-1	5,32	
	Coeficiente de variación			CV %	3,49	
Observaciones:	El valor promedio de la dureza es de 152,4 HB, similar al valor de dureza del catálogo de IVAN BOHOMAN					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.2.6.5 Caracterización del acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009
(ensayo de dureza)



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	Eutalloy®10009					
Observaciones	Probeta con revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	2,71	1,084	193,00		
	2	2,69	1,076	196,00		
	3	2,73	1,092	190,00		
	4	2,84	1,156	169,00		
	5	2,74	1,096	189,00		
	Promedio		\bar{x}	187,40		
	Desviación estándar		Sn-1	10,64		
	Coeficiente de variación		CV %	5,68		
Observaciones:	n/a					
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.	
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis	

3.2.6.6 Caracterización del acero SAE 1018 sin revestimiento Eutalloy®10009
(ensayo de dureza)



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA ENSAYO DE DUREZA						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de prueba	ENSAYO DE DUREZA BRINELL					
Lugar de ejecución	Laboratorio – Ingeniería Mecánica FICM-UTA					
Norma del ensayo	ASTM E 10-78					
Tipo de ensayo	Cuantitativo					
Tipo de probeta	Metálica (cilíndrica)					
Equipo utilizado:	Durómetro para elementos Metálicos					
Fecha:	15-abr-21					
Observaciones:	n/a					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA						
Acondicionamiento de superficie:	n/a					
Temperatura Ambiente:	18,60 °C					
Iluminación:	Luz Natural					
Observaciones:	n/a					
MATERIAL DEL ENSAYO DE DUREZA						
Metal base	SAE 1018					
Revestimiento	Eutalloy®10009					
Observaciones	Probeta sin revestimiento superficial					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW		
	1	3,30	1,320	147,00		
	2	3,18	1,272	153,00		
	3	3,20	1,280	155,00		
	4	3,18	1,272	153,00		
	5	3,25	1,300	151,00		
	Promedio		\bar{x}	151,80		
	Desviación estándar		Sn-1	3,03		
	Coeficiente de variación		CV %	2,00		
Observaciones:	n/a					
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.	
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis	

3.2.7 Datos técnicos para ensayos de desgaste adhesivo



3.2.7.1 Datos técnicos del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
					Página:	1 de 3
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO PARA DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Tipo de estudio:		Prueba de laboratorio				
Tipo de prueba:		De Laboratorio				
Norma para el ensayo:		ASTM G83-96				
Lugar de Ejecución:		IMETCA Cía. Ltda.				
Tipo de probeta:		Cilíndrica				
Fecha:		24-nov-20				
Observaciones: n/a						
PARÁMETROS GENERALES PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:		Tribómetro de Cilindros Cruzados				
Tipo de movimiento:		Deslizamiento simple				
Tipo de lubricación:		Seca (sin lubricación)				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico				
Rugosidad de la superficie:		0,025 mm				
Limpieza de la superficie:		Alcohol etílico				
Responsable		Ing. Neris Zambonino				
Observaciones: n/a						
PARÁMETROS GENERALES DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento		"A"				
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
DATOS TÉCNICOS DE LOS MATERIALES DE LAS PROBETAS						
Probeta Móvil				Probeta Estática		
Material:	Acero SAE 1018			Material:	Acero SAE 1018	
Revestimiento:	RotoTec®29011			Revestimiento:	N/A	
Código:	RT_29011_xx			Código:	SAE-1018_RT_xx	
Densidad:	7,00	g/cm ³		Densidad:	7,87	g/cm ³
Dureza:	151,40	HB		Dureza:	151,40	HB
Diámetro:	12,7	mm		Diámetro:	12,7	mm
Longitud:	101,6	mm		Longitud:	101,6	mm
Observaciones: n/a						
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.	
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis	

3.2.7.2 Datos técnicos del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Versión:	1
				Fecha:	4-nov-20
				Página:	2 de 3
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO PARA DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO					
ESPECIFICACIONES GENERALES					
Tipo de estudio:		Prueba de laboratorio			
Tipo de prueba:		Ensayo de desgaste adhesivo			
Norma para el ensayo:		ASTM G83-96			
Lugar de Ejecución:		IMETCA Cía. Ltda.			
Tipo de probeta:		Cilíndrica			
Fecha:		24-nov-20			
Observaciones: n/a					
PARÁMETROS GENERALES PARA EL ENSAYO					
Equipo utilizado:		Tribómetro de Cilindros Cruzados			
Tipo de movimiento:		Deslizamiento simple			
Tipo de lubricación:		Seca (sin lubricación)			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico			
Rugosidad de la superficie:		0,025 mm			
Limpieza de la superficie:		Alcohol etílico			
Responsable		Ing. Neris Zambonino			
Observaciones: n/a					
PARÁMETROS GENERALES DE LA NORMA ASTM G83-96					
Procedimiento		"A"			
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%		
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%		
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%		
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%		
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.					
DATOS TÉCNICOS DE LOS MATERIALES DE LAS PROBETAS					
Probeta Móvil			Probeta Estática		
Material:	Acero SAE 1018		Material:	Acero SAE 1018	
Revestimiento:	MetaCeram®28060		Revestimiento:	N/A	
Código:	MC_28060_xx		Código:	SAE-1018_MC_xx	
Densidad:	4,10	g/cm ³	Densidad:	7,87	g/cm ³
Dureza:	199,20	HB	Dureza:	152,40	HB
Diámetro:	12,7	mm	Diámetro:	12,7	mm
Longitud:	101,6	mm	Longitud:	101,6	mm
Observaciones: n/a					
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis

3.2.7.3 Datos técnicos del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RED-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Versión:	1
				Fecha:	4-nov-20
				Página:	3 de 3
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO PARA DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO					
ESPECIFICACIONES GENERALES					
Tipo de estudio:		Prueba de laboratorio			
Tipo de prueba:		Ensayo de desgaste adhesivo			
Norma para el ensayo:		ASTM G83-96			
Lugar de Ejecución:		IMETCA Cía. Ltda.			
Tipo de probeta:		Cilíndrica			
Fecha:		24-nov-20			
Observaciones: n/a					
PARÁMETROS GENERALES PARA EL ENSAYO					
Equipo utilizado:		Tribómetro de Cilindros Cruzados			
Tipo de movimiento:		Deslizamiento simple			
Tipo de lubricación:		Seca (sin lubricación)			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico			
Rugosidad de la superficie:		0,025 mm			
Limpieza de la superficie:		Alcohol etílico			
Responsable		Ing. Neris Zambonino			
Observaciones: n/a					
PARÁMETROS GENERALES DE LA NORMA ASTM G83-96					
Procedimiento		"A"			
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%		
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%		
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%		
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%		
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.					
DATOS TÉCNICOS DE LOS MATERIALES DE LAS PROBETAS					
Probeta Móvil			Probeta Estática		
Material:	Acero SAE 1018		Material:	Acero SAE 1018	
Revestimiento:	Eutalloy®10009		Revestimiento:	N/A	
Código:	E_10009_xx		Código:	SAE-1018_E_xx	
Densidad:	7,80	g/cm ³	Densidad:	7,87	g/cm ³
Dureza:	187,40	HB	Dureza:	151,80	HB
Diámetro:	12,7	mm	Diámetro:	12,7	mm
Longitud:	101,6	mm	Longitud:	101,6	mm
Observaciones: n/a					
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis

3.3 Obtención, caracterización y ensayos de desgaste adhesivo



3.3.1 Ensayos de desgaste pesos iniciales

Los valores que se me muestran en las tablas de pesos iniciales corresponden al (Anexo 10).



3.3.1.1 *Peso inicial de las probetas de Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RPI-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
		Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO DE PESOS INICIALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	1		Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA			
Norma:	No Dispone		T ambiente del lugar:	20 °C			
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión		Flujo de aire del lugar:	Estático			
Legibilidad	0,1 (mg)		Fecha:	12-dic-20			
PESOS INICIALES							
Datos: Probeta Móvil							
Material:			Acero SAE 1018				
Revestimiento:			RotoTec®29011				
Tamaño de la muestra:			5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)			
1	RT_29011_01	12,70	101,6	100,2052			
2	RT_29011_02	12,70	101,6	99,1523			
3	RT_29011_03	12,70	101,6	99,8181			
4	RT_29011_04	12,70	101,6	99,5171			
5	RT_29011_05	12,70	101,6	99,8670			
Promedio			\bar{x}	99,7119			
Desviación estándar			Sn-1	0,40			
Coeficiente de variación			CV %	0,40			
Datos: Probeta Estática							
Material:			Acero SAE 1018				
Revestimiento:			N/A (sin revestimiento)				
Tamaño de la muestra:			5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)			
1	SAE-1018_RT_01	12,70	101,6	99,5842			
2	SAE-1018_RT_02	12,70	101,6	99,8723			
3	SAE-1018_RT_03	12,70	101,6	99,6965			
4	SAE-1018_RT_04	12,70	101,6	99,6853			
5	SAE-1018_RT_05	12,70	101,6	99,9234			
Promedio			\bar{x}	99,7523			
Desviación estándar			Sn-1	0,14			
Coeficiente de variación			CV %	0,14			
Obs:	N/A						
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.				
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis				

3.3.1.2 *Peso inicial de las probetas de Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RPI-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
					Página:	2 de 3
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO DE PESOS INICIALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA			
Norma:	No Dispone	T ambiente del lugar:	20 °C			
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Legibilidad	0,1 (mg)	Fecha:	12-dic-20			
PESOS INICIALES						
Datos: Probeta Móvil						
Material:		Acero SAE 1018				
Revestimiento:		MetaCeram® 28060				
Tamaño de la muestra:		5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)		
1	MC_28060_01	12,70	101,6	99,8230		
2	MC_28060_02	12,70	101,6	99,8278		
3	MC_28060_03	12,70	101,6	100,2009		
4	MC_28060_04	12,70	101,6	99,1742		
5	MC_28060_05	12,70	101,6	99,4804		
Promedio				\bar{x}	99,7013	
Desviación estándar				Sn-1	0,39	
Coeficiente de variación				CV %	0,39	
Datos: Probeta Estática						
Material:		Acero SAE 1018				
Revestimiento:		N/A (sin revestimiento)				
Tamaño de la muestra:		5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)		
1	SAE-1018_MC_01	12,70	101,6	97,9632		
2	SAE-1018_MC_02	12,70	101,6	97,1908		
3	SAE-1018_MC_03	12,70	101,6	92,0500		
4	SAE-1018_MC_04	12,70	101,6	98,0400		
5	SAE-1018_MC_05	12,70	101,6	91,1187		
Promedio				\bar{x}	95,2725	
Desviación estándar				Sn-1	3,40	
Coeficiente de variación				CV %	3,57	
Obs:	N/A					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.3.1.3 Peso inicial de las probetas de Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RPI-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
		Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO DE PESOS INICIALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	3		Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA			
Norma:	No Dispone		T ambiente del lugar:	20 °C			
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión		Flujo de aire del lugar:	Estático			
Legibilidad	0,1 (mg)		Fecha:	12-dic-20			
PESOS INICIALES							
Datos: Probeta Móvil							
Material:			Acero SAE 1018				
Revestimiento:			Eutalloy® 10009				
Tamaño de la muestra:			5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)			
1	E_10009_01	12,70	101,6	99,9204			
2	E_10009_02	12,70	101,6	98,7389			
3	E_10009_03	12,70	101,6	99,5488			
4	E_10009_04	12,70	101,6	100,0196			
5	E_10009_05	12,70	101,6	99,6294			
Promedio			\bar{x}	99,5714			
Desviación estándar			Sn-1	0,50			
Coeficiente de variación			CV %	0,51			
Datos: Probeta Estática							
Material:			Acero SAE 1018				
Revestimiento:			N/A (sin revestimiento)				
Tamaño de la muestra:			5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)			
1	SAE-1018_E_01	12,70	101,6	99,3883			
2	SAE-1018_E_02	12,70	101,6	99,1270			
3	SAE-1018_E_03	12,70	101,6	99,2961			
4	SAE-1018_E_04	12,70	101,6	99,1719			
5	SAE-1018_E_05	12,70	101,6	99,1064			
Promedio			\bar{x}	99,2179			
Desviación estándar			Sn-1	0,12			
Coeficiente de variación			CV %	0,12			
Obs:	N/A						
	Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador		Director de tesis			



3.3.2 Ensayos de desgaste pesos finales

Los valores que se me muestran en las tablas de pesos finales corresponden al (Anexo 10).



3.3.2.1 *Peso final de las probetas de Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RPF-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
				Página:	1 de 3	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO DE PESOS FINALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA			
Norma:	No Dispone	T ambiente del lugar:	20 °C			
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Legibilidad	0,1 (mg)	Fecha:	31-mar-21			
PESOS FINALES						
Datos: Probeta Móvil						
Material:		Acero SAE 1018				
Revestimiento:		RotoTec®29011				
Tamaño de la muestra:		5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso final (gr)		
1	RT_29011_01	12,70	101,6	99,9172		
2	RT_29011_02	12,70	101,6	98,8591		
3	RT_29011_03	12,70	101,6	99,4909		
4	RT_29011_04	12,70	101,6	99,1995		
5	RT_29011_05	12,70	101,6	99,5849		
Promedio			\bar{x}	99,4103		
Desviación estándar			Sn-1	0,40		
Coeficiente de variación			CV %	0,40		
Datos: Probeta Estática						
Material:		Acero SAE 1018				
Revestimiento:		N/A (sin revestimiento)				
Tamaño de la muestra:		5				
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso final (gr)		
1	SAE-1018_RT_01	12,70	101,6	99,3266		
2	SAE-1018_RT_02	12,70	101,6	99,6272		
3	SAE-1018_RT_03	12,70	101,6	99,4479		
4	SAE-1018_RT_04	12,70	101,6	99,4354		
5	SAE-1018_RT_05	12,70	101,6	99,6381		
Promedio			\bar{x}	99,4950		
Desviación estándar			Sn-1	0,13		
Coeficiente de variación			CV %	0,13		
Obs:	N/A					
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:		
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.3.2.2 *Peso final de las probetas de Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RPF-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20
				Página:	2 de 3
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
REGISTRO DE PESOS FINALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO					
ESPECIFICACIONES GENERALES					
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA		
Norma:	No Dispone	T ambiente del lugar:	20 °C		
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión	Flujo de aire del lugar:	Estático		
Legibilidad	0,1 (mg)	Fecha:	31-mar-21		
PESOS FINALES					
Datos: Probeta Móvil					
Material:		Acero SAE 1018			
Revestimiento:		MetaCeram® 28060			
Tamaño de la muestra:		5			
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso final (gr)	
1	MC_28060_01	12,70	101,6	99,6781	
2	MC_28060_02	12,70	101,6	99,6885	
3	MC_28060_03	12,70	101,6	100,0684	
4	MC_28060_04	12,70	101,6	99,0370	
5	MC_28060_05	12,70	101,6	99,3536	
Promedio			\bar{x}	99,5651	
Desviación estándar			Sn-1	0,39	
Coeficiente de variación			CV %	0,39	
Datos: Probeta Estática					
Material:		Acero SAE 1018			
Revestimiento:		N/A (sin revestimiento)			
Tamaño de la muestra:		5			
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso final (gr)	
1	SAE-1018_MC_01	12,70	101,6	97,9586	
2	SAE-1018_MC_02	12,70	101,6	97,1858	
3	SAE-1018_MC_03	12,70	101,6	92,0457	
4	SAE-1018_MC_04	12,70	101,6	98,0353	
5	SAE-1018_MC_05	12,70	101,6	91,1138	
Promedio			\bar{x}	95,2678	
Desviación estándar			Sn-1	3,40	
Coeficiente de variación			CV %	3,57	
Obs:	N/A				
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Nombre:	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.
Cargo:	Investigador	Cargo:	Investigador	Cargo:	Director de tesis



3.3.2.3 *Peso final de las probetas del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RPF-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
				Página:	3 de 3	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
REGISTRO DE PESOS FINALES DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3		Lugar de ejecución:	Laboratorio FICM-UTA		
Norma:	No Dispone		T ambiente del lugar:	20 °C		
Equipo Utilizado:	Balanza electrónica de precisión		Flujo de aire del lugar:	Estático		
Legibilidad	0,1 (mg)		Fecha:	31-mar-21		
PESOS FINALES						
Datos: Probeta Móvil						
Material:			Acero SAE 1018			
Revestimiento:			Eutalloy® 10009			
Tamaño de la muestra:			5			
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)		
1	E_10009_01	12,70	101,6	99,8913		
2	E_10009_02	12,70	101,6	98,7110		
3	E_10009_03	12,70	101,6	99,5219		
4	E_10009_04	12,70	101,6	99,9928		
5	E_10009_05	12,70	101,6	99,6006		
Promedio			\bar{x}	99,5435		
Desviación estándar			Sn-1	0,50		
Coeficiente de variación			CV %	0,51		
Datos: Probeta Estática						
Material:			Acero SAE 1018			
Revestimiento:			N/A (sin revestimiento)			
Tamaño de la muestra:			5			
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso Inicial (gr)		
1	SAE-1018_E_01	12,70	101,6	99,1208		
2	SAE-1018_E_02	12,70	101,6	98,8678		
3	SAE-1018_E_03	12,70	101,6	99,0329		
4	SAE-1018_E_04	12,70	101,6	98,8861		
5	SAE-1018_E_05	12,70	101,6	98,8560		
Promedio			\bar{x}	98,9527		
Desviación estándar			Sn-1	0,12		
Coeficiente de variación			CV %	0,12		
Obs:	N/A					
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:		
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4 Presentación de los resultados de desgaste adhesivo

3.4.1 Resultados de los ensayos de desgaste adhesivo



3.4.1.1 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Versión:	1
					Fecha:	4-nov-20
					Página:	1 de 6
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	RotoTec®29011					
Nº de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)		
1	RT_29011_01	100,2052	99,9172	0,2880		
2	RT_29011_02	99,1523	98,8591	0,2932		
3	RT_29011_03	99,8181	99,4909	0,3272		
4	RT_29011_04	99,5171	99,1995	0,3176		
5	RT_29011_05	99,8670	99,5849	0,2821		
Formulas:				\bar{x}	0,3016	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0451	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0194	Desviación estándar
Obs:				v	6,43	Coefficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.1.2 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 sin revestimiento
RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	2 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
N° de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)		
1	1018_RT_01	99,5842	99,3266	0,2576		
2	1018_RT_02	99,8723	99,6272	0,2451		
3	1018_RT_03	99,6965	99,4479	0,2486		
4	1018_RT_04	99,6853	99,4354	0,2499		
5	1018_RT_05	99,9234	99,6381	0,2853		
Formulas:				\bar{x}	0,2573	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0402	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0173	Desviación estándar
Obs:				v	6,72	Coficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.1.3 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	3 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia	3%		
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia	2%		
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia	2%		
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia	2%		
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	MetaCeram®28060					
N° de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf)(gr)		
1	MC_28060_01	99,8230	99,6781	0,1449		
2	MC_28060_02	99,8278	99,6885	0,1393		
3	MC_28060_03	100,2009	100,0684	0,1325		
4	MC_28060_04	99,1742	99,037	0,1372		
5	MC_28060_05	99,4804	99,3536	0,1268		
Formulas:				\bar{x}	0,1361	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0181	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0078	Desviación estándar
Obs:				v	5,72	Coefficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.1.4 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 sin revestimiento
MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
	Nº de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	
	1	1018_MC_01	97,9632	97,9586	0,0046	
	2	1018_MC_02	97,1908	97,1858	0,0050	
	3	1018_MC_03	92,0500	92,0457	0,0043	
	4	1018_MC_04	98,0400	98,0353	0,0047	
	5	1018_MC_05	91,1187	91,1138	0,0049	
Formulas:				\bar{x}	0,0047	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0007	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0003	Desviación estándar
Obs:				v	6,40	Coefficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.1.5 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	Eutalloy® 10009					
Nº de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)		
1	E_10009_01	99,9204	99,8913	0,0291		
2	E_10009_02	98,7389	98,7110	0,0279		
3	E_10009_03	99,5488	99,5219	0,0269		
4	E_10009_04	100,0196	99,9928	0,0268		
5	E_10009_05	99,6294	99,6006	0,0288		
Formulas:				\bar{x}	0,0279	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0023	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0010	Desviación estándar
Obs:				v	3,54	Coefficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.1.6 Volares de desgaste adhesivo del Acero SAE 1018 sin revestimiento
Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RCD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
					Página:	6 de 6
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DE DESGASTE						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	5-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
Nº de ensayo	Código probeta	Masa inicial mi (gr)	Masa final mf (gr)	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)		
1	1018_E_01	99,3883	99,1208	0,2675		
2	1018_E_02	99,1270	98,8678	0,2592		
3	1018_E_03	99,2961	99,0329	0,2632		
4	1018_E_04	99,1719	98,8861	0,2858		
5	1018_E_05	99,1064	98,8560	0,2504		
Formulas:				\bar{x}	0,2652	Promedio
Desgaste: $\Delta m = m_i - m_f$				R	0,0354	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0152	Desviación estándar
Obs:				v	5,74	Coefficiente de variación %
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.2 Resultados del volumen perdido de material en (mm³)



3.4.2.1 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			Código:	RVP-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Fecha:	4-nov-20	
				Página:	1 de 6	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	RotoTec®29011					
Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³		
1	RT_29011_01	0,2880	7,00	41,1429		
2	RT_29011_02	0,2932	7,00	41,8857		
3	RT_29011_03	0,3272	7,00	46,7429		
4	RT_29011_04	0,3176	7,00	45,3714		
5	RT_29011_05	0,2821	7,00	40,3000		
Formulas:				\bar{x}	43,0886	Promedio
				R	6,4429	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	2,7699	Desviación estándar
				v	6,43	Coefficiente de variación %
Obs:						
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.2.2 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 sin revestimiento RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVP-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	1 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
	Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³	
	1	1018_RT_01	0,2576	7,87	32,7319	
	2	1018_RT_02	0,2451	7,87	31,1436	
	3	1018_RT_03	0,2486	7,87	31,5883	
	4	1018_RT_04	0,2499	7,87	31,7535	
	5	1018_RT_05	0,2853	7,87	36,2516	
				\bar{x}	32,6938	Promedio
				R	5,1080	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	2,1960	Desviación estándar
				v	6,72	Coefficiente de variación %
Formulas:	$Vol. perdido = \frac{\Delta m (gr)}{\delta \frac{gr}{cm^3}}$					
Obs:						
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.2.3 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVP-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
					Página:	1 de 6
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	MetaCeram® 28060					
Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³		
1	MC_28060_01	0,1449	4,10	35,3415		
2	MC_28060_02	0,1393	4,10	33,9756		
3	MC_28060_03	0,1325	4,10	32,3171		
4	MC_28060_04	0,1372	4,10	33,4634		
5	MC_28060_05	0,1268	4,10	30,9268		
				\bar{x}	33,2049	Promedio
				R	4,4146	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	1,8980	Desviación estándar
				v	5,72	Coefficiente de variación %
Formulas:						
$Vol. perdido = \frac{\Delta m (gr)}{\delta \frac{gr}{cm^3}}$						
Obs:						
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.2.4 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 sin revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVP-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	1 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
	Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³	
	1	1018_MC_01	0,0046	7,87	0,5845	
	2	1018_MC_02	0,0050	7,87	0,6353	
	3	1018_MC_03	0,0043	7,87	0,5464	
	4	1018_MC_04	0,0047	7,87	0,5972	
	5	1018_MC_05	0,0049	7,87	0,6226	
				\bar{x}	0,5972	Promedio
				R	0,0889	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0382	Desviación estándar
				v	6,40	Coefficiente de variación %
Formulas:	$Vol. perdido = \frac{\Delta m (gr)}{\delta \frac{gr}{cm^3}}$					
Obs:						
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.2.5 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVP-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	5 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	Eutalloy®10009					
Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³		
1	E_10009_01	0,0291	7,80	3,7308		
2	E_10009_02	0,0279	7,80	3,5769		
3	E_10009_03	0,0269	7,80	3,4487		
4	E_10009_04	0,0268	7,80	3,4359		
5	E_10009_05	0,0288	7,80	3,6923		
				\bar{x}	3,5769	Promedio
				R	0,2949	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,1268	Desviación estándar
				v	3,54	Coefficiente de variación %
Formulas:						
$Vol. perdido = \frac{\Delta m (gr)}{\delta \frac{gr}{cm^3}}$						
Obs:						
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.2.6 Volares del volumen perdido de material del Acero SAE 1018 sin revestimiento Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVP-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
		Página:	6 de 6			
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO (mm³)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	13-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
	Nº de ensayo	Código probeta	Desgaste Δ(mi-mf) (gr)	Densidad gr/cm³	Volumen perdido mm³	
	1	1018_E_01	0,2675	7,87	33,9898	
	2	1018_E_02	0,2592	7,87	32,9352	
	3	1018_E_03	0,2632	7,87	33,4435	
	4	1018_E_04	0,2858	7,87	36,3151	
	5	1018_E_05	0,2504	7,87	31,8170	
Formulas:				\bar{x}	33,7001	Promedio
				R	4,4981	Rango
	$Vol. perdido = \frac{\Delta m (gr)}{\delta \frac{gr}{cm^3}}$			d2	2,326	Factor de desviación
				s	1,9338	Desviación estándar
				v	5,74	Coefficiente de variación %
Obs:	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:	
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.	
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis	

3.4.3 Resultados del volumen de desgaste en (mm³/min)



3.4.3.1 Volares del volumen de desgaste del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Código:	RVD-01	
				Versión:	1	
				Fecha:	4-nov-20	
				Página:	1 de 6	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	RotoTec®29011					
Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min		
1	RT_29011_01	41,1429	200	0,2057		
2	RT_29011_02	41,8857	200	0,2094		
3	RT_29011_03	46,7429	200	0,2337		
4	RT_29011_04	45,3714	200	0,2269		
5	RT_29011_05	40,3000	200	0,2015		
				\bar{x}	0,2154	Promedio
				R	0,0322	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0138	Desviación estándar
				v	6,43	Coefficiente de variación %
Formulas:						
$\text{Vol. desgaste } \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{min}} \right) = \frac{\text{Vol. perdido (mm}^3\text{)}}{t \text{ (min)}}$						
Obs:	n/a					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.3.2 Volares del volumen de desgaste del Acero SAE 1018 sin revestimiento
RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min		
1	1018_RT_01	32,7319	200	0,1637		
2	1018_RT_02	31,1436	200	0,1557		
3	1018_RT_03	31,5883	200	0,1579		
4	1018_RT_04	31,7535	200	0,1588		
5	1018_RT_05	36,2516	200	0,1813		
				\bar{x}	0,1635	Promedio
				R	0,0255	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0110	Desviación estándar
				v	6,72	Coefficiente de variación %
Formulas:						
$Vol. \text{desgaste} \left(\frac{mm^3}{min} \right) = \frac{Vol. \text{perdido} (mm^3)}{t (min)}$						
Obs: n/a						
Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.3.3 Volares del volumen de desgaste del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	MetaCeram® 28060					
Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min		
1	MC_28060_01	35,3415	200	0,1767		
2	MC_28060_02	33,9756	200	0,1699		
3	MC_28060_03	32,3171	200	0,1616		
4	MC_28060_04	33,4634	200	0,1673		
5	MC_28060_05	30,9268	200	0,1546		
				\bar{x}	0,1660	Promedio
				R	0,0221	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0095	Desviación estándar
				v	5,72	Coefficiente de variación %
Formulas:						
$Vol. \text{desgaste} \left(\frac{mm^3}{min} \right) = \frac{Vol. \text{perdido} (mm^3)}{t (min)}$						
Obs: n/a						
Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			



3.4.3.4 Volares del volumen de desgaste del Acero SAE 1018 sin revestimiento
MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVD-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
		Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Estática							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	N/A						
	Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min		
	1	1018_MC_01	0,5845	200	0,0029		
	2	1018_MC_02	0,6353	200	0,0032		
	3	1018_MC_03	0,5464	200	0,0027		
	4	1018_MC_04	0,5972	200	0,0030		
	5	1018_MC_05	0,6226	200	0,0031		
Formulas:				\bar{x}	0,0030	Promedio	
				R	0,0004	Rango	
				d2	2,326	Factor de desviación	
				s	0,0002	Desviación estándar	
				v	6,40	Coefficiente de variación %	
Obs:	n/a						
	Registrado por:		Revisó:		Aprobó:		
Nombre:	Ing. Neris Zambonino		Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.		
Cargo	Investigador		Investigador		Director de tesis		

3.4.3.5 Volares volumen de desgaste del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Móvil						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	RotoTec@29011					
	Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min	
	1	E_10009_01	3,7308	200	0,0187	
	2	E_10009_02	3,5769	200	0,0179	
	3	E_10009_03	3,4487	200	0,0172	
	4	E_10009_04	3,4359	200	0,0172	
	5	E_10009_05	3,6923	200	0,0185	
Formulas:				\bar{x}	0,0179	Promedio
				R	0,0015	Rango
				d2	2,326	Factor de desviación
				s	0,0006	Desviación estándar
				v	3,54	Coefficiente de variación %
Obs:	n/a					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.3.6 Volares volumen de desgaste del Acero SAE 1018 sin revestimiento
Eutalloy®10009



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RVD-01
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20
					Página:	6 de 6
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DESGASTE (mm³/min)						
ESPECIFICACIONES GENERALES						
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.			
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C			
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático			
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	21-abr-21			
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento	"A"					
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%			
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%			
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%			
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%			
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.						
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO						
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm					
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico					
Responsable	Ing. Neris Zambonino					
Observaciones: n/a						
Datos: Probeta Estática						
Material:	Acero SAE 1018					
Revestimiento:	N/A					
Nº de ensayo	Código probeta	Volumen perdido mm³	tiempo min	Volumen de Desgaste mm³/min		
1	1018_E_01	33,9898	200	0,1699		
2	1018_E_02	32,9352	200	0,1647		
3	1018_E_03	33,4435	200	0,1672		
4	1018_E_04	36,3151	200	0,1816		
5	1018_E_05	31,8170	200	0,1591		
					\bar{x}	0,1685 Promedio
					R	0,0225 Rango
					d2	2,326 Factor de desviación
					s	0,0097 Desviación estándar
					v	5,74 Coeficiente de variación %
Formulas:						
	$Vol. \text{desgaste} \left(\frac{mm^3}{min} \right) = \frac{Vol. \text{perdido} (mm^3)}{t (min)}$					
Obs:	n/a					
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis			

3.4.4 Resultados del coeficiente de fricción K



3.4.4.1 Volares del coeficiente de fricción K del Acero SAE 1018 con revestimiento RotoTec®29011

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		Código:	RKE-01		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Versión:	1		
				Fecha:	4-nov-20		
				Página:	1 de 6		
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T. ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Móvil							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	RotoTec®29011						
Dureza (HB)	151,40						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	RT_29011_01	12,70	3191865,60	41,1429	51	7,3602	8,93E-05
2	RT_29011_02	12,70	3191865,60	41,8857	51	7,3592	9,09E-05
3	RT_29011_03	12,70	3191865,60	46,7429	51	7,3598	1,01E-04
4	RT_29011_04	12,70	3191865,60	45,3714	51	7,3595	9,85E-05
5	RT_29011_05	12,70	3191865,60	40,3000	51	7,3599	8,75E-05
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	\bar{x}		9,35E-05
				Rango	R		1,40E-05
				Factor de desviación	d2		2,326
				Desviación estándar	s		6,01E-06
				Coeficiente de variación %	v		6,43
Obs: n/a							
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Nombre: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Cargo	Investigador	Cargo: Director de tesis			



3.4.4.2 Volares del coeficiente de fricción K del Acero SAE 1018 sin revestimiento
RotoTec®29011

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RKE-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
					Página:	2 de 6	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	1	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T. ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Estática							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	N/A						
Dureza (HB)	151,40						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	1018_RT_01	12,70	3191865,60	32,7319	51	7,3596	7,11E-05
2	1018_RT_02	12,70	3191865,60	31,1436	51	7,3599	6,76E-05
3	1018_RT_03	12,70	3191865,60	31,5883	51	7,3597	6,86E-05
4	1018_RT_04	12,70	3191865,60	31,7535	51	7,3597	6,89E-05
5	1018_RT_05	12,70	3191865,60	36,2516	51	7,3599	7,87E-05
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	x̄		7,10E-05
				Rango	R		1,11E-05
				Factor de desviación	d2		2,326
				Desviación estándar	s		4,77E-06
				Coefficiente de variación %	v		6,72
Obs: n/a							
	Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador		Director de tesis			



3.4.4.3 Volares del coeficiente de fricción *K* del Acero SAE 1018 con revestimiento MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RKE-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
					Página:	3 de 6	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Móvil							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	MetaCeram®28060						
Dureza (HB)	199,20						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	MC_28060_01	12,70	3191865,60	35,3415	67,4	7,3598	1,01E-04
2	MC_28060_02	12,70	3191865,60	33,9756	67,4	7,3598	9,75E-05
3	MC_28060_03	12,70	3191865,60	32,3171	67,4	7,3602	9,27E-05
4	MC_28060_04	12,70	3191865,60	33,4634	67,4	7,3592	9,60E-05
5	MC_28060_05	12,70	3191865,60	30,9268	67,4	7,3595	8,87E-05
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	x̄		9,53E-05
				Rango	R		1,27E-05
				Factor de desviación	d2		2,326
				Desviación estándar	s		5,44E-06
				Coefficiente de variación %	v		5,71
Obs: n/a							
	Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador		Director de tesis			



3.4.4.4 Volares del coeficiente de fricción *K* del Acero SAE 1018 sin revestimiento
MetaCeram®28060

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RKE-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
					Página:	4 de 6	
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	2	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Estática							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	N/A						
Dureza (HB)	152,40						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	1018_MC_01	12,70	3191865,60	0,5845	51,7	7,3580	1,29E-06
2	1018_MC_02	12,70	3191865,60	0,6353	51,7	7,3572	1,40E-06
3	1018_MC_03	12,70	3191865,60	0,5464	51,7	7,3521	1,20E-06
4	1018_MC_04	12,70	3191865,60	0,5972	51,7	7,3580	1,31E-06
5	1018_MC_05	12,70	3191865,60	0,6226	51,7	7,3511	1,37E-06
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	x̄		1,32E-06
				Rango	R		1,95E-07
				Factor de desviación	d2		2,326
				Desviación estándar	s		8,38E-08
				Coefficiente de variación %	v		6,37
Obs: n/a							
	Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador		Director de tesis			

3.4.4.5 Volares coeficiente de fricción K del Acero SAE 1018 con revestimiento Eutalloy®10009

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RKE-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
		Página:	5 de 6				
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Móvil							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	Eutalloy®10009						
Dureza (HB)	187,40						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	E_10009_01	12,70	3191865,60	3,7308	63,0	7,3599	1,00E-05
2	E_10009_02	12,70	3191865,60	3,5769	63,0	7,3587	9,59E-06
3	E_10009_03	12,70	3191865,60	3,4487	63,0	7,3595	9,25E-06
4	E_10009_04	12,70	3191865,60	3,4359	63,0	7,3600	9,21E-06
5	E_10009_05	12,70	3191865,60	3,6923	63,0	7,3596	9,90E-06
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	x̄	9,59E-06	
				Rango	R	7,91E-07	
				Factor de desviación	d2	2,326	
				Desviación estándar	s	3,40E-07	
				Coefficiente de variación %	v	3,54	
Obs:	n/a						
	Registrado por:	Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino		Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.			
Cargo	Investigador	Investigador		Director de tesis			

3.4.4.6 Volares coeficiente de fricción K del Acero SAE 1018 sin revestimiento
Eutalloy®10009

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				Código:	RKE-01	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				Versión:	1	
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Fecha:	4-nov-20	
		Página:	6 de 6				
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)		
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (K Experimental)							
ESPECIFICACIONES GENERALES							
Ensayo N.º:	3	Lugar de ejecución:	IMETCA Cía. Ltda.				
Norma:	ASTM G83-96	T ambiente del lugar:	20 °C				
Tipo de prueba:	De Laboratorio	Flujo de aire del lugar:	Estático				
Tamaño de la muestra:	5	Fecha:	26-abr-21				
PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM G83-96							
Procedimiento	"A"						
Fuerza Aplicada	7,26	Kgf	Tolerancia 3%				
Revoluciones (rev)	80000	rev	Tolerancia 2%				
Velocidad (rpm)	400	rpm	Tolerancia 2%				
Tiempo (min)	200	min	Tolerancia 2%				
Observaciones: Según la Norma ASTM G83-96, el procedimiento "A" consiste en una prueba de desgaste severo aplicable en materiales metálicos que presenten resistencia al desgaste.							
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO							
Equipo utilizado:	Tribómetro de Cilindros Cruzados						
Tipo de movimiento:	Deslizamiento simple						
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)						
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico						
Rugosidad de la superficie:	0,025 mm						
Limpieza de la superficie:	Alcohol etílico						
Responsable	Ing. Neris Zambonino						
Observaciones: n/a							
Datos: Probeta Estática							
Material:	Acero SAE 1018						
Revestimiento:	N/A						
Dureza (HB)	151,80						
Nº de ensayo	Código probeta	Diámetro (mm)	Distancia de deslizamiento (mm) L	Volumen perdido (mm ³) V	Equivalencia Dureza (carga por unidad área) Kg/mm ² H	Carga aplicada Kg P	K Experimental
1	1018_E_01	12,70	3191865,60	33,9898	51,61	7,3594	7,47E-05
2	1018_E_02	12,70	3191865,60	32,9352	51,61	7,3591	7,24E-05
3	1018_E_03	12,70	3191865,60	33,4435	51,61	7,3593	7,35E-05
4	1018_E_04	12,70	3191865,60	36,3151	51,61	7,3592	7,98E-05
5	1018_E_05	12,70	3191865,60	31,8170	51,61	7,3591	6,99E-05
Formulas: $L = d * \pi * \#rev$				Promedio	x̄		7,40E-05
				Rango	R		9,88E-06
				Factor de desviación	d2		2,326
				Desviación estándar	s		4,25E-06
				Coefficiente de variación %	v		5,74
Obs:							
Registrado por:		Revisó:		Aprobó:			
Nombre:	Ing. Neris Zambonino	Ing. Neris Zambonino	Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.				
Cargo	Investigador	Investigador	Director de tesis				

3.5 Análisis e interpretación de resultados.

3.5.1 Resumen de los resultados de dureza de probetas móviles

En la figura 3.2 se muestra los valores de los ensayos de dureza en las probetas que se aplicó el revestimiento superficial, las cuales según el ensayo de desgaste adhesivo serán las probetas que estén en movimiento deslizante.

El revestimiento con mayor dureza superficial es MetaCeram®28060, mientras que el revestimiento RotoTec®29011 es el que presenta la menor dureza superficial.

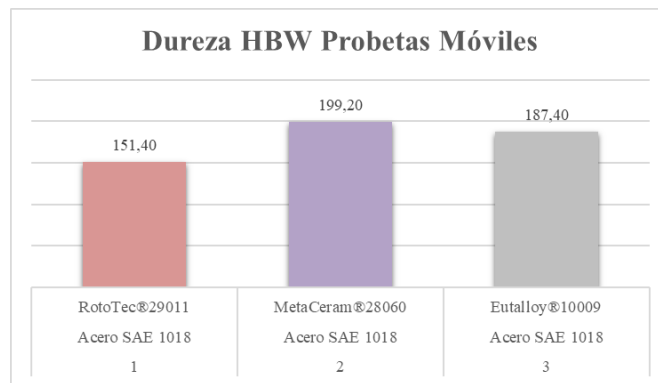


Figura 3.2.- Valores de los ensayos de dureza HB en probetas con revestimientos superficiales

3.5.2 Resumen de los resultados de dureza de probetas estáticas

En la figura 3.3 se observa que la dureza promedio de acero SAE 1018 es de 151.5 HBW, esta dureza es mayor referente al catálogo del producto, debido al endurecimiento superficial que sufre luego del proceso de aspersión térmica.

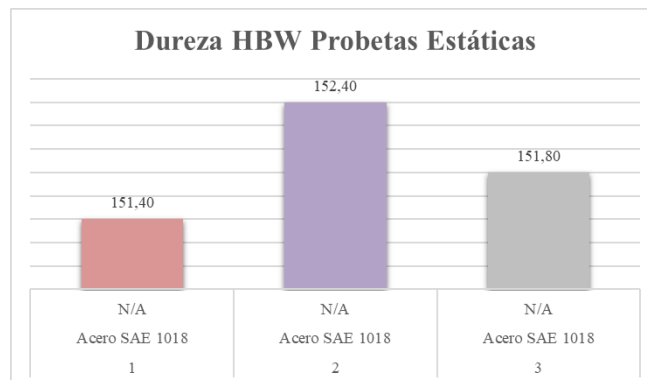


Figura 3.3.- Valores de los ensayos de dureza HB en probetas sin revestimientos superficiales

3.5.3 Comparación de los resultados del ensayo de dureza en probetas móviles y estáticas

La figura 3.4 se muestran los valores de los ensayos de dureza, (Anexo 9) para las probetas móviles y las probetas estáticas, se puede observar que los revestimientos aplicados son más duros que el material base.

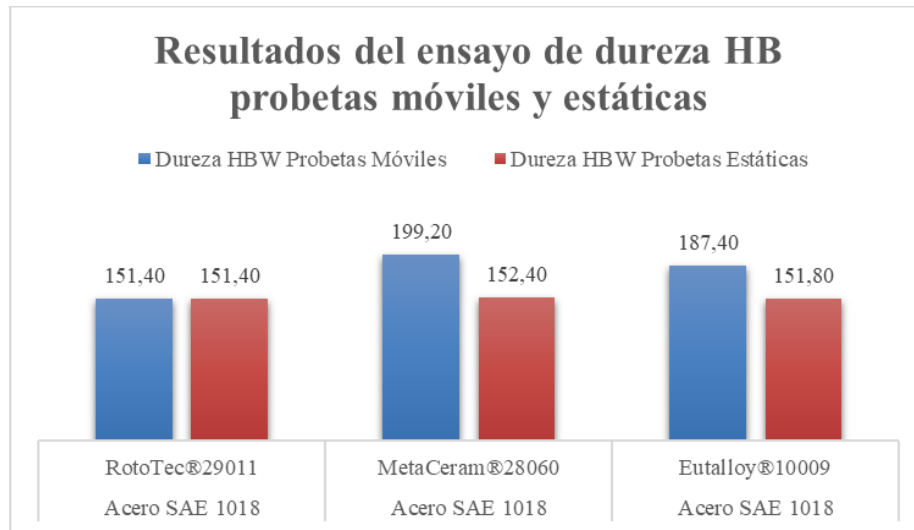


Figura 3.4.- Resumen de los valores de los ensayos de dureza HB en probetas con y sin revestimientos superficiales

3.5.4 Resumen de los resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles

La figura 3.5 muestra los valores de desgaste en gramos de las probetas móviles.

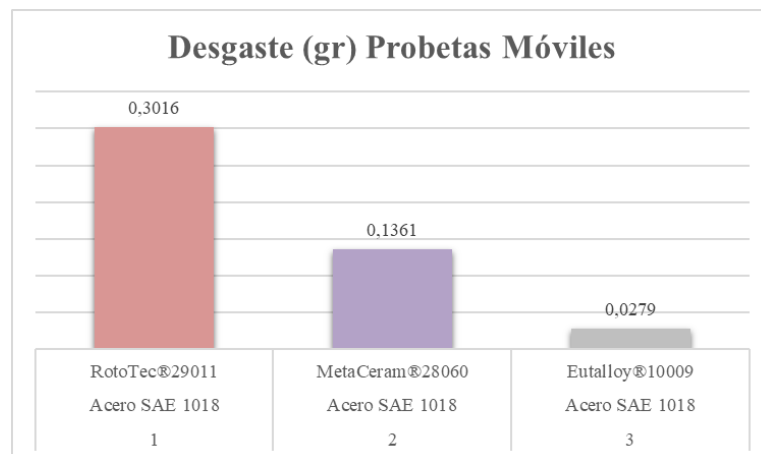


Figura 3.5.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles

3.5.5 Resumen de los resultados de desgaste en gramos de las probetas estáticas

La figura 3.6 muestra los valores de desgaste en gramos de las probetas estáticas.

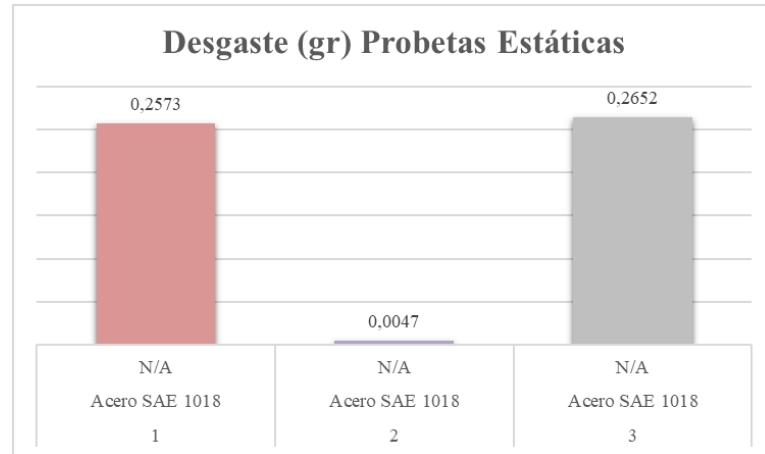


Figura 3.6.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas estáticas

3.5.6 Comparación de los resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles y estáticas

La figura 3.7 muestra la comparación entre los valores de desgaste en gramos de las probetas móviles y estáticas, la probeta móvil que mayor desgaste presenta es la que tiene el revestimiento RotoTec®29011, la probeta estática con mayor desgaste es la que tienen el revestimiento Eutalloy®10009.

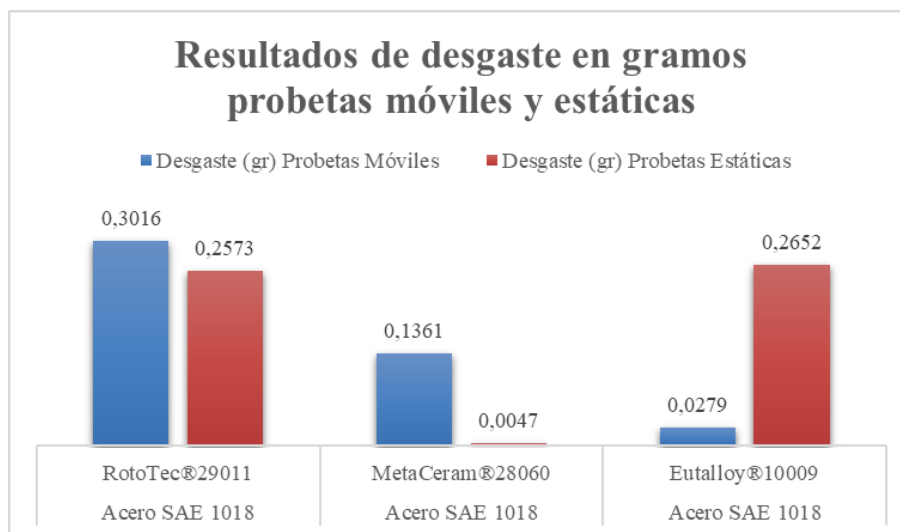


Figura 3.7.- Resultados de desgaste en gramos de las probetas móviles y estáticas

3.5.7 Resumen de los valores del desgaste total en gramos de las probetas móviles y estáticas

La figura 3.8 presenta los valores de desgaste de cada par tribológico, este valor se obtuvo sumando el valor de desgaste de la probeta móvil y estática.

El par tribológico con revestimiento MetaCeram@28060 tiene menor desgaste.

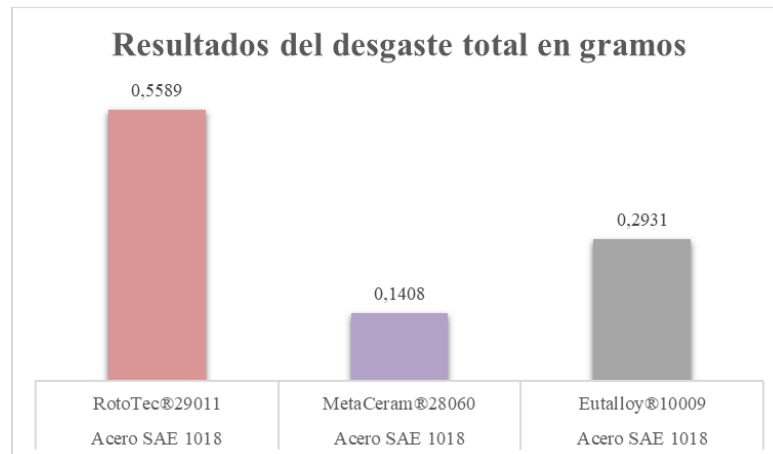


Figura 3.8.- Desgaste total en gramos de las probetas móviles y estáticas

3.5.8 Resumen de los resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas móviles

La figura 3.9 muestra los valores del volumen perdido de material de las probetas móviles.

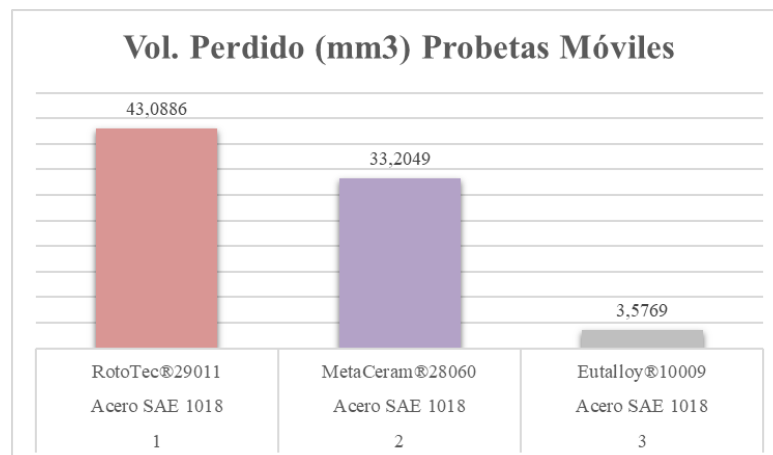


Figura 3.9.- Resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas móviles

3.5.9 Resumen de los resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas estáticas.

La figura 3.10 muestra los valores del volumen perdido de material de las probetas estáticas.

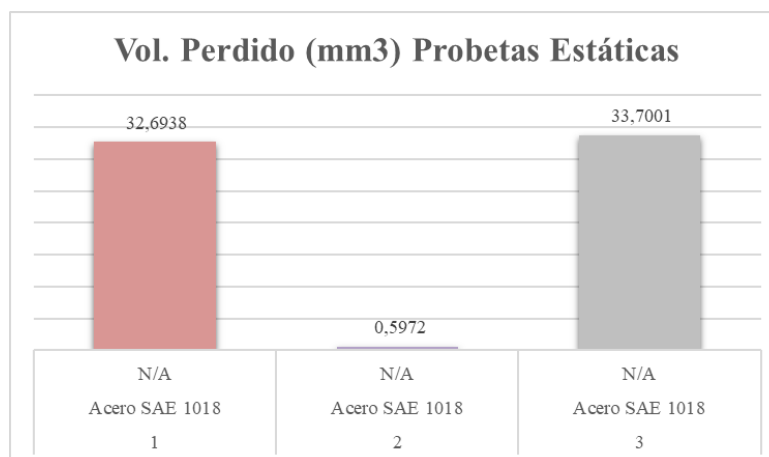


Figura 3.10.- Resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas estáticas

3.5.10 Comparación de los resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas móviles y estáticas

La figura 3.11 muestra los resultados del volumen de material perdido en mm³. la probeta estática del par tribológico de revestimiento MetaCeram®28060 es la que menor volumen de material ha perdido.

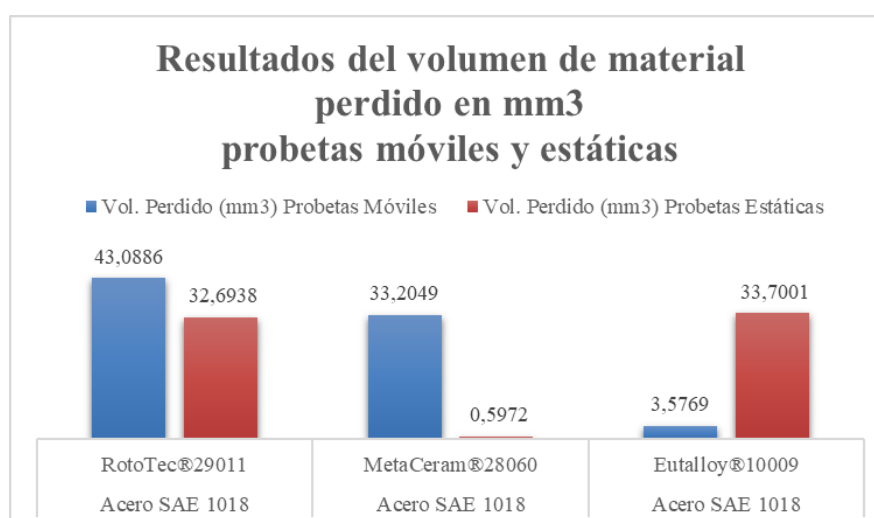


Figura 3.11.- Resultados del volumen de material perdido en mm³ de las probetas móviles y estáticas

3.5.11 Resumen de los valores del volumen total de material perdido en mm³ probetas móviles y estáticas.

La figura 3.12 muestra la suma total de los valores del volumen de material perdido de los tres pares tribológicos, de los cuales podemos observar que el par con revestimiento MetaCeram®28060 es el que menos volumen pierde.

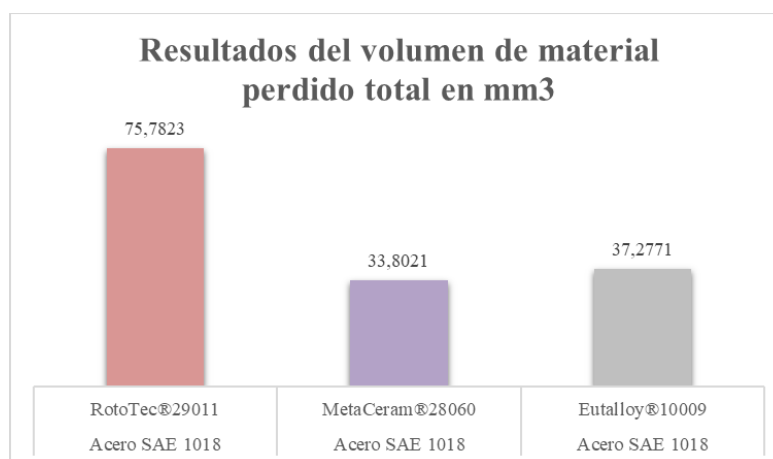


Figura 3.12.- Volumen total de material perdido mm³ de las probetas móviles y estáticas

3.5.12 Resumen de los resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles

La figura 3.13 muestra los resultados del volumen de desgaste $\frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$ de las probetas móviles con revestimiento superficial, la probeta con revestimiento Eutalloy®10009 presenta el menor valor para el volumen de desgaste.

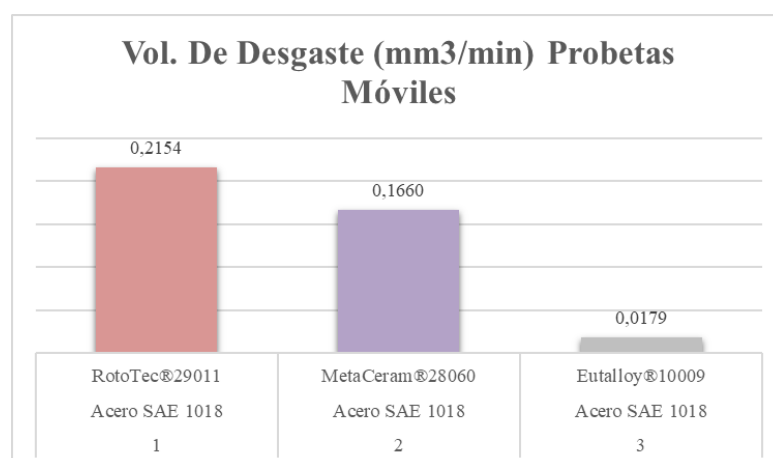


Figura 3.13.- Resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles

3.5.13 Resumen de los resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas estáticas.

La figura 3.14 muestra los resultados del volumen de desgaste $\frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$ de las probetas estáticas sin revestimiento superficial, la probeta del par tribológico MetaCeram®28060 presenta el menor valor para el volumen de desgaste.

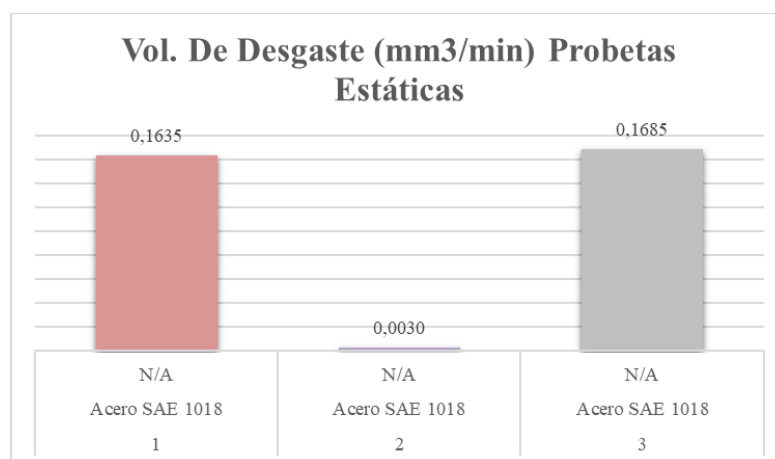


Figura 3.14.- Resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles

3.5.14 Comparación de los resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles y estáticas

La figura 3.15 muestra los valores del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles y estáticas, la probeta con revestimiento RotoTec®29011 es la que mayor volumen de desgaste presenta.

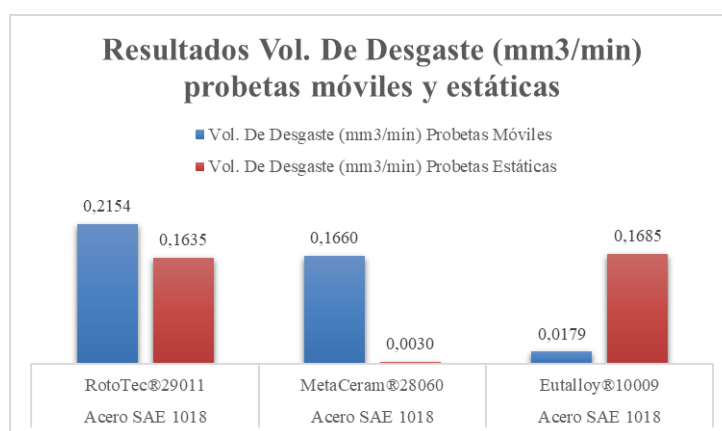


Figura 3.15.- Resultados del volumen de desgaste en mm³/min de las probetas móviles y estáticas.

3.5.15 Resultados del volumen total de desgaste en $\frac{mm^3}{min}$ de las probetas móviles y estáticas

La figura 3.16 muestra el volumen total de desgaste en mm^3/min , el par tribológico con revestimiento MetaCeram®28060 presenta menor perdida de volumen de desgaste.

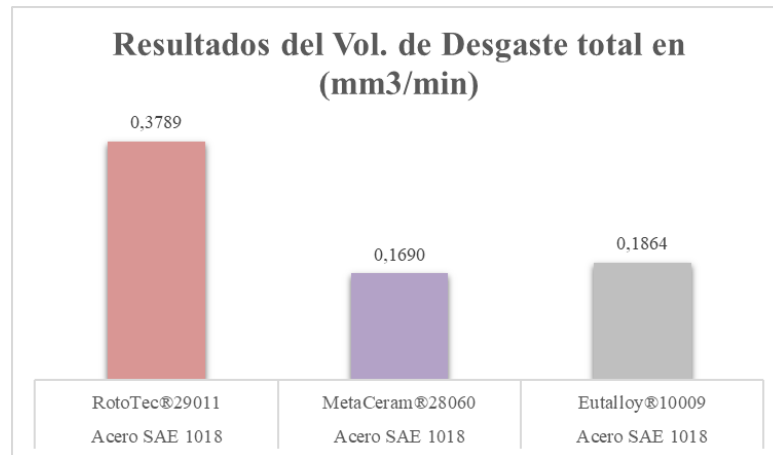


Figura 3.16.- Volumen total de desgaste en mm^3/min de las probetas móviles y estáticas

3.5.16 Resumen de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles

La figura 3.17 muestra los valores del coeficiente de desgaste K de las probetas móviles, la probeta móvil con revestimiento Eutalloy®10009 presenta el menor coeficiente de desgaste.

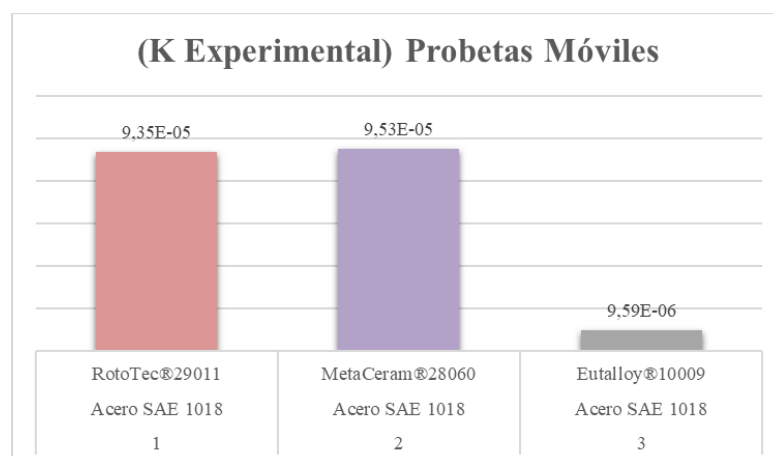


Figura 3.17.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles

3.5.17 Resumen de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas estáticas

La figura 3.18 muestra los valores del coeficiente de desgaste K de las probetas estáticas, la probeta estática sin recubrimiento del par tribológico con revestimiento MetaCeram®28060, presenta el menor coeficiente de desgaste.

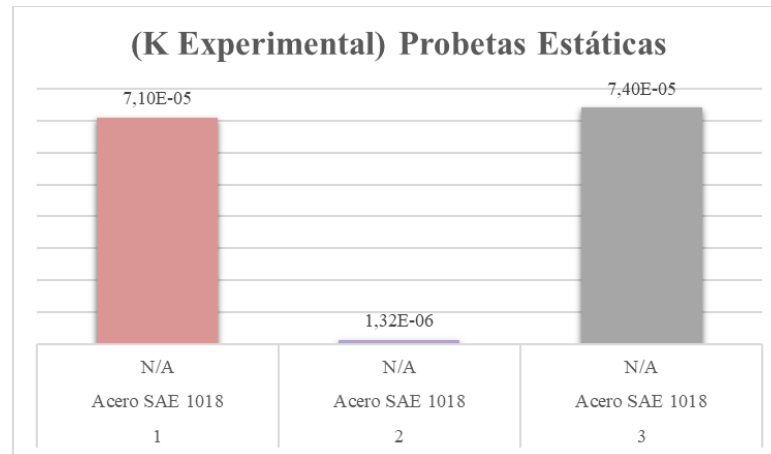


Figura 3.18.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas estáticas

3.5.18 Comparación de los resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles y estáticas

La figura 3.19 muestra los valores del coeficiente de desgaste, para las probetas móviles con revestimiento RotoTec®29011 y MetaCeram®28060 tienen mayor coeficiente de desgaste.

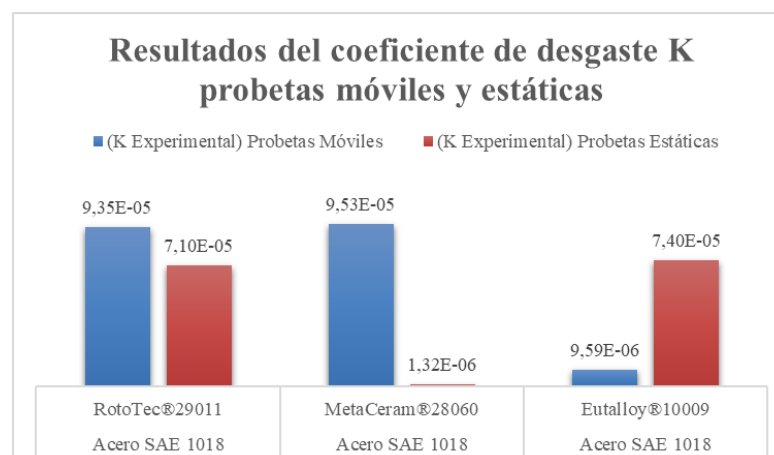


Figura 3.19.- Resultados del coeficiente de fricción K en las probetas móviles y estáticas

3.5.19 Resultados del coeficiente total de fricción K en las probetas móviles y estáticas

La figura 3.20 presenta la suma de los coeficientes de desgaste de las probetas móviles y estáticas, el par tribológico con menor coeficiente de desgaste es el que tiene el revestimiento superficial Eutalloy®10009.

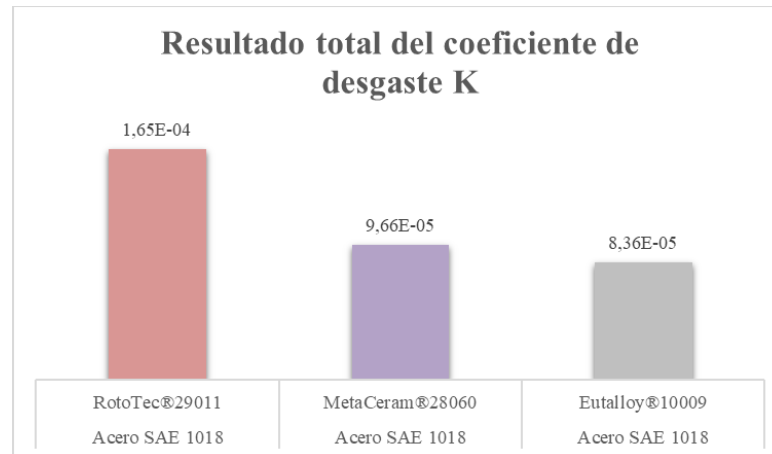


Figura 3.20.- Coeficiente total de fricción K en las probetas móviles y estáticas

3.5.20 Análisis e interpretación de los resultados de dureza

Los ensayos de dureza en las probetas móviles se realizaron en el área donde se aplicó el revestimiento, la aleación MetaCeram®28060 es la que tiene mayor dureza, esto debido a que es polvo cerámico a base de corindón (Al₂O₃ - TiO₂ en porcentaje 60/40).

Para los ensayos de dureza en las probetas móviles se realizó en una probeta fija de cada par tribológico puesto que estas probetas sin revestimiento son del mismo material Acero SAE 1018, por tal motivo se tiene durezas similares de acuerdo a los ensayos, pero valores diferentes con la dureza especificadas en el catálogo del producto.

3.5.21 Análisis e interpretación de los valores de desgaste

Los datos de desgaste se obtienen entre la diferencia de masas de las probetas móviles y estáticas antes y después de realizar los ensayos de desgaste adhesivo, de acuerdo a

los resultados obtenidos la probeta móvil con revestimiento Eutalloy®10009 presenta menor desgaste.

La probeta fija sin revestimiento superficial del par tribológico con revestimiento MetaCeram®28060 tiene el menor valor de desgaste, esto debido a que este tipo de revestimiento es a base de polvo cerámico (Al_2O_3 - TiO_2 en porcentaje 60/40), materiales considerados antifricción reduciendo el desgaste por micro soldaduras entre las superficies desgastadas.

Para los valores de desgaste total el par tribológico con revestimiento MetaCeram®28060 que presenta menor desgaste

3.5.22 Análisis e interpretación del volumen de material perdido en mm^3

La probeta móvil con revestimiento Eutalloy®10009 presenta menor cantidad de volumen perdido de material, mientras que la probeta móvil con revestimiento RotoTec®29011 presenta el mayor volumen de material perdido.

La probeta estática con revestimiento MetaCeram®28060 presenta menor pérdida de volumen de material, mientras que la probeta estática con revestimiento Eutalloy®10009 presenta mayor volumen de material perdido.

En la suma total de volumen perdido de material de las probetas para los tres pares tribológicos ensayados podemos mencionar que el revestimiento MetaCeram®28060 presenta menor volumen de material perdido.

3.5.23 Análisis e interpretación del coeficiente de fricción K-experimental

El mayor valor del coeficiente de desgaste en las probetas móviles se tiene con el revestimiento Eutalloy®10009.

El mayor valor del coeficiente de desgaste en las probetas estáticas se tiene con el MetaCeram®28060.

De los valores observados podemos mencionar que el par tribológico con revestimiento Eutalloy®10009 es el que más resiste al desgaste por su alto valor del coeficiente de desgaste.

3.6 Verificación de la hipótesis

Luego de realizar los ensayos de desgaste adhesivo bajo los parámetros establecidos en la norma ASTM G 83-96, para el procedimiento “A” sobre el acero SAE 1018 con aplicación de tres diferentes tipos de revestimientos superficiales mediante el proceso por aspersión térmica, se logró obtener el coeficiente de desgaste (K).

Para poder determinar el coeficiente de desgaste es importante conocer la dureza superficial del material, la densidad, el volumen de material perdido, propiedades tribológicas necesarias para poder determinar la resistencia al desgaste de cada par tribológico.

En la figura 3.5 muestra los valores de desgaste de la probeta móvil y estática arrojan resultados cuantitativos de los cuales podemos apreciar que la probeta móvil con revestimiento RotoTec®29011 (aleación a base de Fe-Cr-Ni-Mo del tipo de acero inoxidable cromo/níquel) es la que mayor desgaste presenta, también se puede apreciar que el material con mejor resistencia al desgaste es la probeta con revestimiento Eutalloy®10009 (Aleación metálica de micro polvo a base de Ni-Cr-B-Si-Fe).

De la misma manera estos materiales al estar en contacto con otro material también generan desgaste debido a la micro soldadura de las partículas desprendidas, es por eso que la figura 3.6 podemos ver que la probeta estática de acero SAE 1018 con mayor desgaste la del par tribológico del revestimiento Eutalloy®10009, y la que menos desgaste presenta es la probeta estática de acero SAE 1018 con el revestimiento MetaCeram®28060.

La Tabla 3.5 muestra los valores del coeficiente de desgaste en pares tribológicos de materiales del mismo tipo, estos datos serán tomados como referencia para comprobar la hipótesis estadísticamente mediante el método de Chi Cuadrado.

Tabla 3.5.- Valores calculados del coeficiente de desgaste adhesivo K para un número de pares tribológicos con deslizamiento en seco. [30]

Material	k
Acero (sobre acero)	7.0E-03
Latón	6.0E-04
PTFE	2.5E-05
Aleación Cobre-Berilio	3.7E-05
Acero endurecido para herramienta	1.3E-04
Acero perlítico inoxidable	1.7E-05
Polietileno	1.3E-07

Los datos también indican que los valores experimentales de K , los cuales varían para diferentes condiciones y diferentes combinaciones de materiales sometidos a desgaste adhesivo para muchas aplicaciones industriales, en los cuales generalmente tiene asociaciones con valores de K en el rango de 10^{-5} o más pequeños como se muestra en la tabla 3.5.

En la tabla 3.6 podemos apreciar los datos experimentales del coeficiente de desgaste en pares tribológicos combinados con diferentes materiales de aplicación industrial.

Tabla 3.6.- Valores calculados de K para desgaste adhesivo en diferentes de pares tribológicos con deslizamiento en seco y lubricado. [31]

COMBINACIÓN	K
<i>METALES DEL MISMO TIPO</i>	
SECO	2×10^{-4} -0.2
LUBRICADO	2×10^{-7} - 9×10^{-4}
<i>METALES NO DEL MISMO TIPO</i>	
SECO	6×10^{-4} - 2×10^{-3}
LUBRICADO	9×10^{-8} - 3×10^{-4}
<i>PLÁSTICOS SOBRE METALES</i>	
SECO	3×10^{-7} - 2×10^{-5}
LUBRICADO	1×10^{-6} - 5×10^{-6}

3.6.1 Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

Para verificar la hipótesis se empleó el análisis estadístico Chi Cuadrado para demostrar el estado de dependencia de las siguientes variables.

Hipótesis Ho: La tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica NO permitirá evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

Hipótesis Hi: La tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica SI permitirá evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

3.6.1.1 Frecuencias observadas

La Tabla 3.7 muestra las frecuencias esperadas de las probetas móviles y estáticas las cuales están asociadas con la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica y la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales, valores que son el resultado del cálculo del volumen de material perdido expresado en mm³.

Tabla 3.7.- Valores de frecuencias observadas.

Frecuencias Observadas	Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.		
Tecnología del Proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica	Desgaste (mg)	Volumen de material perdido (mm ³)	Σj
RotoTec®29011	301,62	43,09	344,71
MetaCeram®28060	136,14	33,20	169,34
Eutalloy®10009	27,90	3,58	31,48
Σi	465,66	79,87	545,53

3.6.1.2 Frecuencias esperadas

Las frecuencias esperadas se obtendrán de la distribución de frecuencias del total de volumen de material perdido de la probeta estática y la probeta móvil, esto quiere decir que el 75,78 mm³ de volumen de material perdido de un total de 146,86 mm³ corresponden al par tribológico del acero SAE 1018 con revestimiento superficial RotoTec®29011, el 33,80 mm³ de volumen de material perdido de un total de 146,86 mm³ corresponden al par tribológico del acero SAE 1018 con revestimiento superficial MetaCeram®28060 y el 37,28 mm³ de volumen de material perdido de un total de

146,86 mm³ corresponden al par tribológico del acero SAE 1018 con revestimiento superficial Eutalloy®10009.

Esa misma proporción se debe dar para el volumen de material perdido de los tres revestimientos superficiales sobre el acero SAE 1018, de manera que el cálculo responde al siguiente razonamiento: si de 146.86 mm³ el 79.78 mm³ corresponden a la pérdida de volumen de las probetas de acero SAE 1018 con aplicación de revestimiento RotoTec®29011, este razonamiento aplica para todas las probetas de acero SAE 1018 con aplicación y sin aplicación de revestimientos superficiales mediante el proceso por aspersión térmica.

Para el cálculo de las frecuencias esperadas se utilizará los siguientes términos y ecuaciones.

Notación:

Tabla 3.8.- Términos para calcular frecuencias esperadas

Término	Descripción
i	Filas
j	Columnas
O _{ij}	Frecuencia observada en la celda (i, j)
E _{ij}	Frecuencia esperada para la celda (i, j)

Ecuación para frecuencias esperadas:

$$E_{ij} = \frac{(total\ de\ la\ fila\ i) * (total\ de\ la\ columna\ j)}{suma\ total}$$

Ecuación 3.1.- Frecuencias Esperadas

La tabla 3.9 muestra los valores calculados de las frecuencias esperadas

Tabla 3.9.- Valores calculados de las frecuencias esperadas

Frecuencias Esperadas	<i>Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.</i>		
<i>Tecnología del Proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica</i>	Desgaste (mg)	Volumen de material perdido (mm ³)	Σj
RotoTec®29011	294,24	50,47	344,71
MetaCeram®28060	144,55	24,79	169,34
Eutalloy®10009	26,87	4,61	31,48
Σi	465,66	79,87	545,53

Los valores de las frecuencias esperadas que se muestran en la tabla 3.9, son las que deberían darse si la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica fuera independiente de la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales, es decir, si fuera cierta la hipótesis nula.

3.6.2 Demostración de la hipótesis mediante Chi-Cuadrado

3.6.2.1 Cálculo de chi cuadrado

Para el cálculo de Chi-Cuadrado se utilizará los siguientes términos y ecuaciones.

Notación

Tabla 3.10.- Términos para calcular Chi-Cuadrado de Pearson

Término	Descripción
i	Filas
j	Columnas
O _{ij}	Frecuencia observada en la celda (i, j)
E _{ij}	Frecuencia esperada para la celda (i, j)
r	Número de filas
c	Número de columnas
X^2	Chi-cuadrado de Pearson
α	Alfa
gl	Grados de libertad
$X^2_{crítico}$	Chi-cuadrado crítico

Ecuación chi-cuadrado de Pearson:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Ecuación 3.2.- Chi-cuadrado de Pearson

Con los valores de la tabla 3.7 de frecuencias observadas y los valores de la tabla 3.9 de frecuencias esperadas aplicamos la ecuación 3.2 de Pearson.

Tabla 3.11.- Valores calculados para chi cuadrado

Cálculo de Chi cuadrado	<i>Resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.</i>		
<i>Tecnología del Proceso de recuperación de ejes por aspersión térmica</i>	Desgaste (mg)	Volumen de material perdido (mm ³)	X²
RotoTec®29011	0,185	1,079	
MetaCeram®28060	0,489	2,854	
Eutalloy®10009	0,040	0,231	
Σ	0,714	4,164	4,878

Nota:

Una condición básica para que podamos llevar a cabo una prueba chi-cuadrado es que las frecuencias de las distintas clases deben ser suficientemente altas como para garantizar que pequeñas desviaciones aleatorias en la muestra no tengan importancia decisiva sobre el valor del estadístico de discrepancia.

Regla

Para que la prueba sea viable ninguna de las frecuencias esperadas debe ser menor que 1 y no más del 25%, en lo que refiere a las frecuencias observadas no existirían límites.

3.6.2.2 Cálculo de chi cuadrado critico

Determinación de los grados de libertad gl.

$$gl = (n^{\circ} \text{ de filas} - 1) \times (n^{\circ} \text{ de columnas} - 1)$$

Ecuación 3.3.- Grados de libertad

Desarrollo:

$$gl = (r-1) * (c-1)$$

$$gl = (2-1) * (3-1)$$

$$gl = 2$$

Para el cálculo de chi cuadrado critico emplearemos los siguientes términos.

Tabla 3.12.- Valores del nivel de significancia α

Término	Descripción	Valor
r	Número de filas	2
c	Número de columnas	3
gl	Grados de libertad	2
χ^2	Chi-cuadrado de Pearson	4.878
α	nivel de significancia	5%
p	Probabilidad	95%

Con los valores referenciales mostrados en la Tabla 3.13 (Anexo 11), obtenemos el valor de chi cuadrado critico = 5.9915.

Tabla 3.13.- Distribución de Chi-cuadrado [32]

Distribución Chi Cuadrado χ^2

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361

Criterios para determinar la relación de variables:

Tabla 3.14.- Criterios para determinar la relación de variables:

X^2 calculado	>	X^2 crítico	Se rechaza Ho
X^2 calculado	<	X^2 crítico	Se acepta Ho

Tabla 3.15.- Criterios para determinar la relación de variables (continuación):

p	≤	α	Se rechaza Ho
P	≥	α	Se acepta Ho

Interpretación

Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5%, de concluir que existe una asociación entre las variables cuando no hay una asociación real.

De los valores calculados y observados en la tabla 3.14 y 3.15 de chi cuadrado y P obtenemos los siguientes datos:

Tabla 3.16.- Valores de Chi cuadrado calculado vs Chi cuadrado crítico

X^2 calculado	<	X^2 crítico	Se acepta Ho
4,878		5.9915	
P	≥	α	Se acepta Ho
9%		5%	

Por lo tanto, $p \geq \alpha$: No se puede concluir que las variables están asociadas (aceptamos la hipótesis nula Ho)

De acuerdo con los resultados obtenidos, el valor de chi calculado (4,878) es inferior al valor chi crítico (5.99), por lo que dicho valor cae en la zona de aceptación de la hipótesis nula. El p valor correspondiente es de 0,1 que es mayor a 0,05 (grado de significancia preestablecido), lo que significa que la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica no presenta asociación con la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales.

CAPITULO IV.- DESARROLLO DE PROPUESTA

4.1 Desarrollo de la propuesta

Implementación de una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 en la empresa IMETCA Cía. Ltda.

4.2 Datos Informativos

El presente estudio contempla la implementación de una guía técnica del proceso de aspersion térmica para la recuperación dimensional de ejes, desarrollado en la empresa IMETCA Cía. Ltda., dedicada a realizar y ejecutar diferentes procesos de aspersion térmica. Pionera en el mercado ecuatoriano ofreciendo la aplicación de una variada gama de recubrimientos metálicos, cerámicos, poliméricos, recubrimientos compuestos (cerámicos-metálicos), por ejemplo: carburos de tungsteno y carburo de wolframio, aplicados con diferentes equipos de rociado térmico, como una solución a los problemas de desgaste y corrosión en materiales metálicos. Está ubicada en la provincia de Pichincha, ciudad de Quito en la Calles S60-B y Av. Maldonado (Parque Industrial Sur).

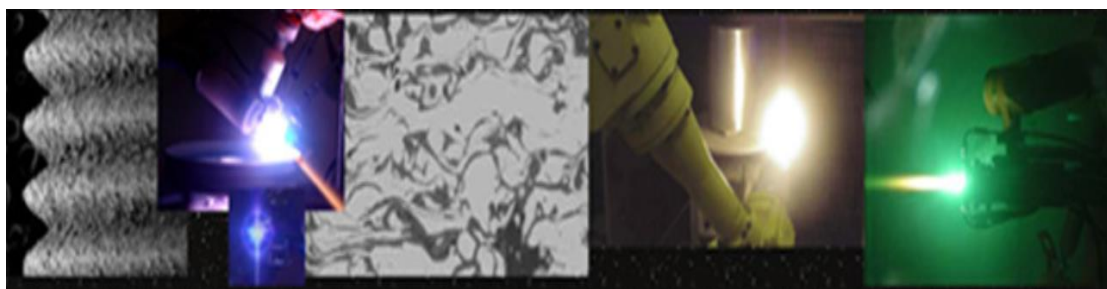


Figura 4-1.- Diferentes procesos de aspersion térmica en la empresa IMETCA Cía. Ltda. [33]

En base a los datos obtenidos en la presente investigación se propone utilizar el revestimiento superficial Eutalloy®10009, en la recuperación dimensional de ejes y émbolos de bombas debido a su alta resistencia al desgaste cuando está en contacto lineal con otros materiales.

4.3 Antecedentes de la propuesta

En la última década se ha realizado una gran cantidad de estudios sobre las propiedades mecánicas, térmicas, químicas y tecnológicas de los recubrimientos superficiales aplicados mediante el proceso de aspersion térmica, con la finalidad de ayudar a controlar y disminuir los problemas superficiales que implican desgaste y corrosión en componentes mecánicos de alto rendimiento y de esta manera poder recuperar piezas desgastadas.

El proceso por aspersion térmica es una herramienta potente en la ingeniería moderna que abarca diferentes técnicas de aplicación con una gran variedad de productos y capas protectoras como una alternativa técnica, económica y competitiva para la industria que permite mejorar la productividad de los procesos, contribuyendo a aumentar la funcionalidad de componentes mecánicos que trabajan bajo condiciones severas de corrosión y desgaste, incrementando las inversiones industriales en el sector petrolero, textil, automotriz, metal-mecánico etc. También en las industrias de alta tecnología: generadores de energía, biotecnología, aeroespacial, e instituciones de investigación de nuevos materiales.

El proceso de aspersion térmica tipo Eutalloy® por llama oxiacetilénica de proyección y fusión simultánea está diseñado para depositar una gran variedad de recubrimientos de protección de alta resistencia al desgaste con espesores entre 0.1-3 mm con alta eficiencia y rendimiento de aleación (> 90%), empleando un soplete oxiacetilénico de proyección de aleaciones micro pulverizadas CastoDyn DS 8000 lo que permite generar una alta tasa de adherencia en una amplia gama de piezas metálicas de máquinas industriales sometidas a desgaste gracias a la difusión metalúrgica durante el proceso.

Una variada gama de aleaciones Eutalloy® auto fundentes ha sido especialmente desarrollada en términos de granulometría y morfología de las partículas, asegurando un depósito homogéneo y exento de porosidad. Esta variedad de polvos a base de níquel son excelentes para todas aquellas aplicaciones que requieren resistencia al desgaste y corrosión para prolongar la vida útil de sus productos, aumentar su eficiencia de producción y reducir los costos de mantenimiento, lo que ahorraría gran parte del consumo mundial de materiales, ya que se disminuiría el cambio de piezas.

4.4 Justificación de la propuesta

En los últimos años a nivel mundial existe gran variedad de métodos físicos, químicos y galvánicos de protección de superficies metálicas. La elección del método de protección y del tipo de material del recubrimiento superficial depende de las condiciones de trabajo de la pieza a proteger. Sin embargo, cabe señalar la tendencia en los países desarrollados de sustituir procesos contaminantes, como son los galvánicos, por técnicas de aspersión térmica con el propósito de solucionar problemas ecológicos cada vez es más común.

En Colombia, el proceso por aspersión térmica es conocido con el nombre de metalización, aludiendo al tipo de recubrimiento, que casi siempre es metálico. Y aunque es cierto, también es capaz de aplicar materiales cerámicos y / o polímeros sintéticos o cualquier combinación deseada, según las necesidades técnicas de la industria. [12]

En Ecuador, la aplicación de recubrimientos superficiales marca Eutalloy®10009, pueden ser un medio rentable para proteger la superficie de una pieza mecánica que esté sufriendo problemas de desgaste, corrosión a las dos, es por eso que en el presente estudio se propone realizar un guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersión térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 que es una aleación metálica de micro polvo a base de Ni-Cr-B-Si-Fe, que presenta excelentes propiedades tribológicas como: resistencia al desgaste, corrosión y erosión. El revestimiento superficial Eutalloy®10009 se puede aplicar en cojinetes (superficies de cabeza imantada), correderas, ejes de motores, rodillos de molinos, émbolos, motores de propulsión etc.

En Ecuador existe pocas empresas dedicadas a la aplicación de recubrimientos metálicos, cerámicos y poliméricos, bajo el proceso de aspersión térmica sobre distintos tipos de superficies, algunas son; Imetca, Siproelectrik, Disproind.

4.5 Objetivos de la Propuesta

4.5.1 Objetivo General

- Elaborar una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009.

4.5.2 Objetivos Específicos

- Conocer las especificaciones técnicas y parámetros del equipo de aspersion térmica para la obtención de un proceso de calidad.
- Establecer la secuencia de actividades para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 en la empresa IMETCA Cía. Ltda.
- Realizar una evaluación técnica económica de la recuperación dimensional de un eje desgastado mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009.

4.6 Análisis de factibilidad

La propuesta es factible realizar ya que se cuenta con recursos técnicos, económicos, materiales, infraestructura y equipos adecuados para alcanzar los objetivos planteados, además la información obtenida en la presente investigación, misma que servirá como guía.

El material sobre el cual se realizará el proceso de aspersion térmica, es un acero de transmisión SAE 1018, el cual es comercializado por la empresa nacional IVAN BOHMAN C.A, el revestimiento superficial Eutalloy®10009, el personal humano, instalaciones, equipos, materiales e instrumentos fueron facilitados por la empresa IMETCA Cía. Ltda.

La propuesta se basa en la implementación de una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009, por lo que se utilizó información del

catálogo de productos y equipos Castolin-Eutectic® y fichas técnicas de la marca Eutalloy®, que son documentos que detallan los parámetros técnicos para la aplicación del producto.

4.7 Análisis tecnológico

La propuesta es factible tecnológicamente, porque para la implementación de una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica, se dispone de materia prima (Acero SAE 1018. Metal base), revestimiento superficial Eutalloy®10009, soplete oxiacetilénico de proyección de aleaciones micro pulverizadas CastoDyn DS 8000, también se cuenta con las instalaciones, instrumentos y equipos de la empresa IMETCA Cía. Ltda. Y toda la información necesaria para la elaboración de la propuesta.

4.8 Análisis económico

Se realizó el análisis económico para costos de materiales, operación y mantenimiento, que implican el desarrollo de la implementación de una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 en la empresa IMETCA Cía. Ltda.

4.9 Fundamentación

La presente propuesta se fundamenta en los capítulos II, III, de la investigación realizada sobre la recuperación de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica para mejorar la resistencia al desgaste, la cual se realizó mediante la recolección de información para poder establecer los valores de desgaste de tres tipos de revestimientos superficiales y a través de un diseño experimental se pudo comprobar la hipótesis de la investigación. Cuyos resultados y datos obtenidos servirán para realizar la implementación de una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009.

4.9.1 Etapas del proceso de aspersion térmica para recuperación dimensional de ejes desgastados con aplicación del revestimiento superficial Eutalloy®10009.

La secuencia de actividades para la implementación de una guía técnica de recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 se detalla en el flujograma de la figura 4.1, el cual permitirá conocer cada uno de los parámetros del proceso para desarrollar la presente propuesta.

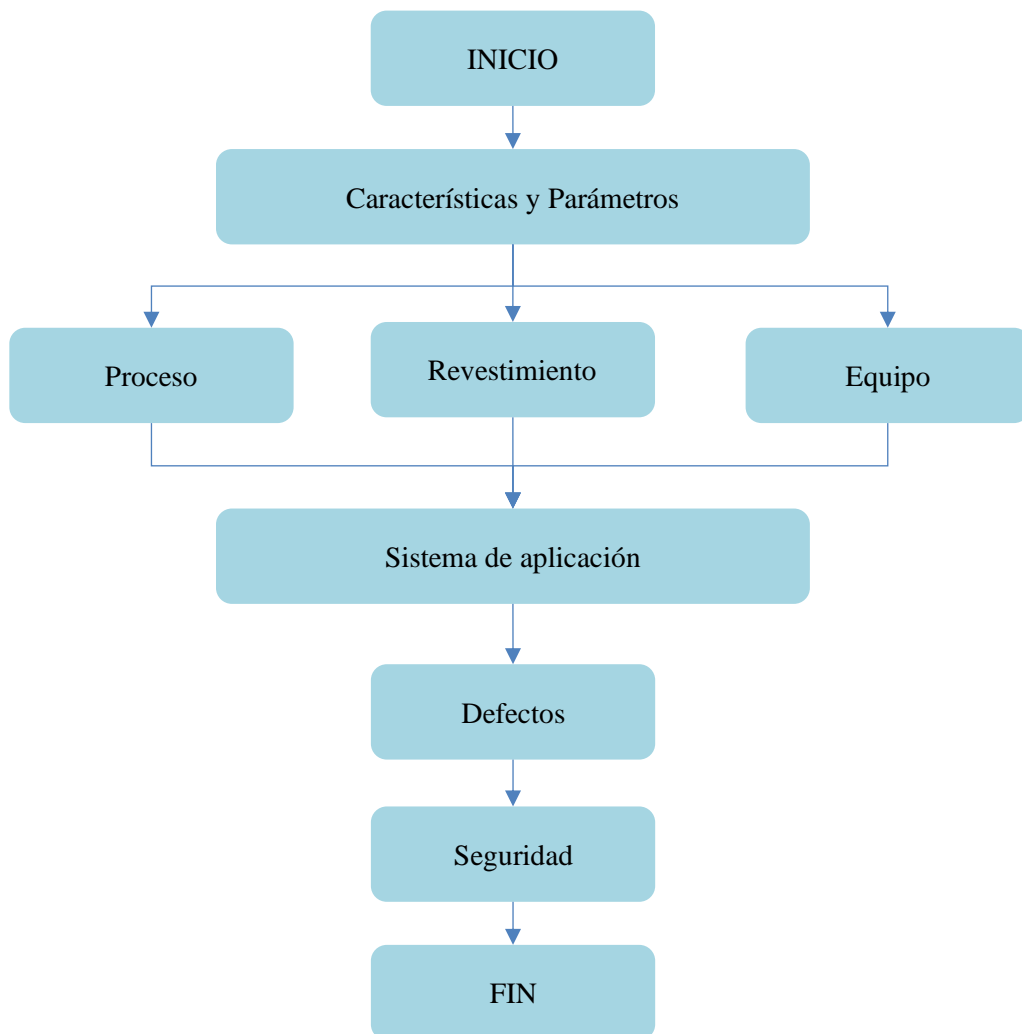


Figura 4-2.- Diagrama de flujo para recuperación de ejes por aspersion térmica

4.9.1.1 Características y Parámetros del proceso

En la tabla 4.1, muestra las variantes de los diferentes procesos de aspersión térmica, los cuales están determinados por las fuentes de energía utilizadas para aplicar el revestimiento.

Tabla 4.1.- Distintas técnicas de aspersión térmica agrupadas de acuerdo con el tipo de fuente de energía empleado. [13]

Fuente de Energía				
Tipo	Energía Cinética	Combustión	Plasma	Arco eléctrico
Baja Velocidad		Llama / Alambre	V.P.S. (Vacuum Plasma Spray) o L.P.P.S (Low Pressure Plasma Spray)	En atmósfera controlada
		Llama / Polvo		En atmósfera inerte
Alta Velocidad	Cold Spray	H.V.O.F (High Velocity Oxy-Fuel Spray)	A.P.S. (Air Plasma Spray)	
		D.G.S (Detonation-Gun Spray)	C.A.P.S. (Controlled-Atmosphere Plasma Spray)	

4.9.1.2 Proceso de Llama/Polvo

Este proceso se basa en el principio operacional, en dónde una mezcla de gases de acetileno y oxígeno se quema en la boquilla dónde es alimentado el revestimiento en forma de polvo, este proceso tiene una alta porosidad y posee tasas de proyección que varían entre 0.5 – 9 Kg/h. El calor generado se debe a la reacción química entre los gases de combustión que alcanzan temperaturas hasta de 3100 °C para generar la fusión de las partículas. La velocidad de las partículas es relativamente baja (menor a 100 m/s).

Este proceso es una opción para aquellos materiales que por sus características no pueden fabricarse en forma de alambre o electrodos, tales como los revestimientos cerámicos.

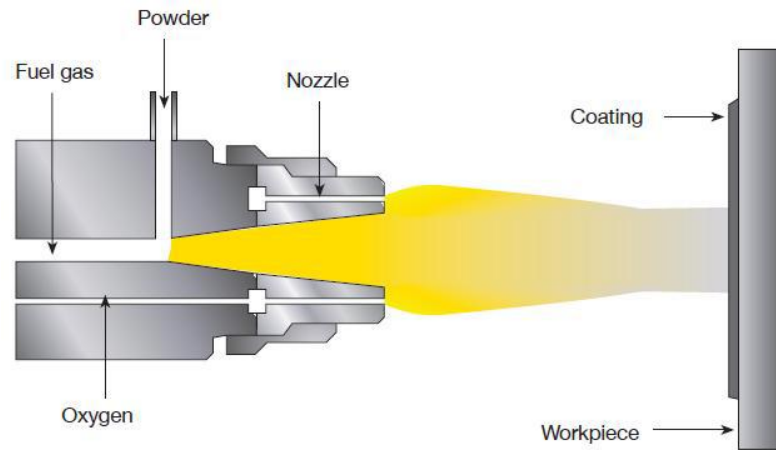


Figura 4-3.- Diagrama Esquemático del equipo utilizado para el proceso de aspersión térmica por Combustión directa de Polvo [14]

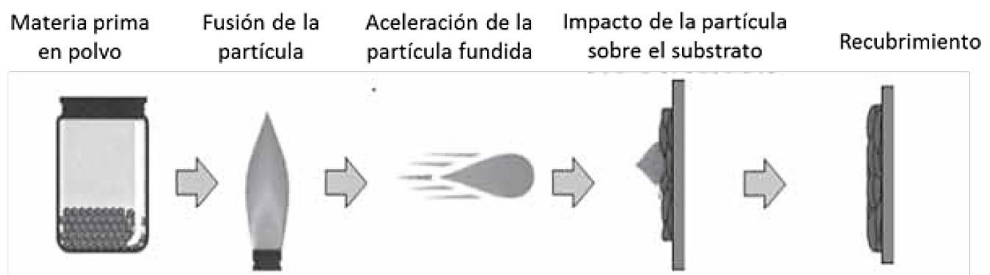


Figura 4-4.- Etapas en la aplicación de un recubrimiento por proyección térmica [15]

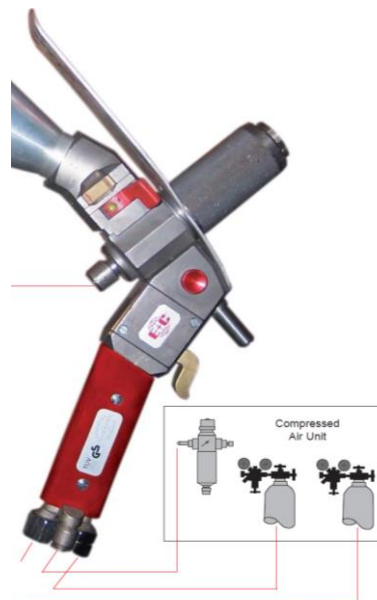


Figura 4-5.- Conexión de la pistola de aspersión térmica [28]

4.9.1.3 Características y Parámetros de los revestimientos

Existen diferentes tipos de recubrimientos pertenecientes a la familia Eutalloy®

Tabla 4.2.- Características de diferentes procesos de revestimiento Eutalloy [25]

Familia de producto	Material de aporte	Material base	Aporte térmico	Máximo espesor (mm)	Área de aportación	Estructura del recubrimiento
Eutalloy	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones (aluminio, bronce) *	Medio a alto	2 (10)*	Pequeña y precisa	Homogéneo
Eutalloy SF	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	2 (6)*	Media-grande	Homogéneo
Eutalloy RW	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	2 (6)*	Media	Homogéneo

Tabla 4.3.- Características de diferentes procesos de revestimiento Eutalloy® (continuación) [25]

Familia de producto	Microporosidad del recubrimiento	Adherencia	Tasa de deposición	Rendimiento	Energía	Inversión en equipos
Eutalloy	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Media	Medio	Combustión de gases	Baja
Eutalloy SF	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Alta	Alta	Combustión de gases	Baja
Eutalloy RW	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Media a alta	Medio a alto	Combustión de gases	Baja

	La mejor
	Segunda opción

(...)*Requiere una precaución/aleación especial

Características principales del revestimiento Eutalloy®10009

Es una aleación de enganche a base de Níquel, Cromo y Boro con elevada resistencia al desgaste por fricción.

- Mantiene su dureza a altas temperaturas.
- Excelente pulido.

Metal Base

Se puede aplicar en hierros fundidos, aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, aleaciones de níquel y cobre.

Datos técnicos:

- Dureza: 58-62 HRc
- Temperatura máxima de servicio: 700 °C
- Intervalo de fusión: 965-1210 °C
- Límite de espesor del depósito: 1.5 mm
- Densidad: 7.82 g/cm³

Usos

Reconstrucción de pistas de rodamiento, guías de trefilación, válvulas de motores, levas, tornillos helicoidales, ejes excéntricos, moldes de extrusión, etc.

Acabado

Por rectificado.

4.9.1.4 Características y Parámetros del equipo CastoDyn DS 8000

El soplete de proyección térmica CastoDyn DS 8000 está configurado en un avanzado sistema modular, que permite la proyección de una amplia gama de materiales para diversas aplicaciones que van desde las resistentes a la abrasión, hasta las barreras térmicas. El CDS 8000 puede ser incluso integrado en configuraciones totalmente automatizadas, como las de producción a larga escala para la proyección térmica en caliente, de aleaciones Eutalloy RW Para la proyección térmica en frío de aleaciones RotoTec y Proxon, para la proyección térmica en frío de aleaciones MetaCeram.

Ventajas

- Máxima seguridad para el operario, soplete de muy fácil manejo
- Kit listo para puesta en marcha, con maleta para un fácil transporte
- Módulos de proyección estándar (SSM), para proyección de diferentes materiales

- Sistema único con corte rápido de llama, para mayor seguridad y fácil regulación de la llama

Módulos que contemplan el kit equipo CastoDyn DS 8000.

Módulo	NI/min	NI/min	NI/min
SSM10	1000	950	240
SSM20	1000	950	240
SSM30	2000	1800	80
SSM40	1000	950	330



Figura 4-6.- Kit completo DS 8000 con 4 módulos SSM [25]

4.9.1.5 Parámetros de aplicación para sistemas Eutalloy®.

Preparación de la superficie

Se requiere superficie limpia, libre de lubricantes, grasas, óxidos.

Regulación de equipo

Utilizar llama neutra (T aprox. 3200 °C)

Regulación de presiones

Tabla 4.4.- Regulación de presiones para aplicación de revestimientos por sistema Eutalloy® [25]

	Oxígeno		Acetileno	
	Kg/cm ²	PSI	Kg/cm ²	PSI
Boquilla N° 53	1.5	18 – 20	0.2	4 – 5
Boquilla N° 48	2.0	25 – 30	0.4	5 – 6
Boquilla N° 45	2.0	25 – 30	0.4	5 – 6

Pre calentamiento

Realizar un pre calentamiento a toda la pieza a 120° C aproximadamente.

Rociado y Fusión

Luego del pre calentamiento, efectuar un rociado sobre toda la superficie, manteniendo el soplete a 20 mm aprox.

- T de llama aprox. 3100 °C
- Micropolvo se inyecta a 20 °C
- Energía térmica = 25 000 BTU/h
- Velocidad partícula = 70 m/s
- Espesor de capa no debe exceder los 0.2 mm por pase
- Asegurarse que el metal aportado alcance un color rojo suave (850 – 900 °C) antes de iniciar la fusión
- Mover el soplete lentamente sin detenerse para evitar inclusiones de escoria y gases
- Realizar pases sucesivos rociando y fundiendo al mismo tiempo de modo uniforme hasta alcanzar espesor deseado

Enfriamiento

Si es posible enfriar depósito lentamente para aliviar tensiones

Terminación o mecanizado

Mecanizar con herramienta de corte de carburo de tungsteno tipo 1S0 K10

Consideraciones generales

- Cuidar distancia de proyección
- Evitar flujo incorrecto de gases
- No exceder espesor indicado y asegurar que toda la pieza tenga la temperatura necesaria para evitar sobrecalentamiento.

4.9.1.6 Defectos durante la aplicación

Incidencia de parámetros

La energía calórica es un parámetro importante que se debe considerar durante la aplicación, el diseño inadecuado o la mala selección de la pistola influye genera presiones inadecuadas de gases de combustión lo causa defectos de adherencia o deformación de la pieza.

Flujos inadecuados

- Menor energía calórica: pobre plastificación y unión de partículas.
- Mayor energía calórica: sobrecalentamiento de la partícula lo cual genera oxidación.
- Baja velocidad de proyección: impide la unión de partículas y genera mala adherencia del revestimiento.

Distancia o tiempo

- Corto: imposibilita plastificación; depósito poroso; mala adherencia.
- Largo: excesiva transferencia de calor; oxidación

4.10 Metodología

Para realizar de forma correcta y segura la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009, se recomienda seguir los parámetros que se detallan en el flujograma de la figura 4.7.

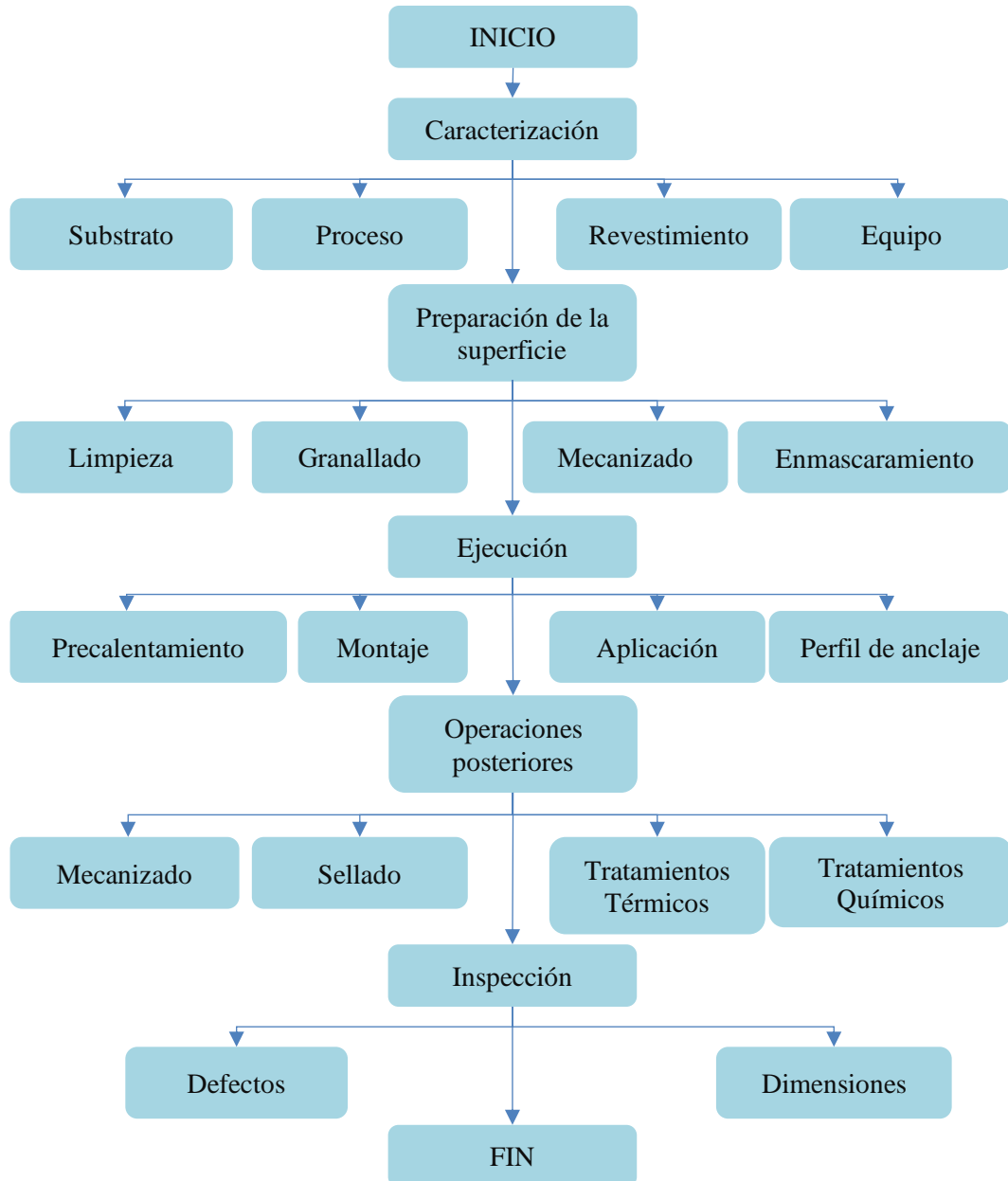




Figura 4-7.- Flujograma para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 [25]

4.10.1 Guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica.

Tabla 4.5.- Guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
GUÍA TÉCNICA PARA LA RECUPERACIÓN DIMENSIONAL DE EJES DESGASTADOS MEDIANTE EL PROCESO DE ASPERSION TÉRMICA CON REVESTIMIENTO SUPERFICIAL EUTALLOY®10009.		Código:	GTPM-01		
		Versión:	1		
		Fecha:	4-nov-20		
Programa:	Maestría en Mecánica	Mención:	Manufactura	Cohorte:	Primera (2019)
1.- Objetivos					
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer la caracterización de los parámetros principales para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica. • Determinar las normas que aplican al proceso de aspersion térmica. • Determinar los defectos que se generan durante el proceso aspersion térmica. • Establecer parámetros de inspección para asegurar la calidad del producto. 					
2.- Alcance					
<p>La presente guía técnica establece los parámetros antes, durante y después de las actividades necesarias para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009 en la empresa IMETCA Cía. Ltda.</p>					
3.- Documentación de referencia					
Normas ASTM					
<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C633_2017 (Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings) • ASTM D 4541_2017 (Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers) 					

Normas AWS

- AWS C2.16/C2.16M:2017, Guide for Thermal Spray Operator Qualification Programs
- AWS C2.18-93R, Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and their Alloys and Composites
- AWS C2.19/C2.19M:2013, Specification for the Application of Thermal Spray Coatings to Machine Elements for OEM and Repair
- AWS C2.20/C2.20M:2016, Specification for Thermal Spraying Zinc Anodes on Steel Reinforced Concrete
- AWS C2.21M/C2.21:2015, Specification for Thermal Spray Equipment Performance Verification
- AWS C2.23M/C2.23:2018, Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel
- AWS C2.25/C2.25M:2013 (R2018), Specification for Thermal Spray Feedstock - Wire and Rods
- AWS C2.26/C2.26M, Specification for Thermal Spraying and Welding Powder Consumables
- AWS C2.27/C2.27M, Guide for Thermal Spray Masking
- AWS C2.28/C2.28M, Guide to Thermal Spray Equipment Selection

Fuente: <https://www.aws.org/standards/committee/c2-committee-on-thermal-spray>

Catálogos:

Según: [24]-[28]

4.- Generalización

La realización de la guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersión térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009, permitirá realizar de manera eficiente la ejecución de cada actividad del proceso para mejorar la calidad y aumentar la rentabilidad.

5.- Caracterización de los parámetros iniciales

5.1.- Caracterización de la información técnica del sustrato

Identificar los siguientes datos del material base o sustrato.

Especificación, Norma, Fabricante

Identificar los datos de las siguientes especificaciones técnicas

- Tipo
- Diámetro
- Longitud
- Peso
- Tolerancia
- Dureza
- Densidad
- Recubrimiento superficial
- Acabado superficial
- Tratamiento térmico

Identificar los datos de las siguientes propiedades mecánicas

- Esfuerzo de cedencia (kg/mm^2)
- Resistencia a la tracción (kg/mm^2)
- %Elongación
- Módulo de elasticidad.

Identificar los datos de la composición química

% C, Mn, P, S, etc.

5.2.- Caracterización del proceso

Identificar los siguientes parámetros técnicos:

- Caudal, presión y composición química de los gases de combustión
- Caudal, presión del gas de transporte

- Caudal de alimentación del revestimiento
- Tamaño de las partículas del revestimiento, morfología y propiedades térmicas
- Tipo de equipo para el proceso
- Diseño de la boquilla.
- La distancia de proyección desde la boquilla hasta el sustrato
- Angulo de aplicación
- Tipo de avance, manual o automático
- Velocidad de avance de aplicación
- T de trabajo
- T de aplicación
- Espesor de la capa por cada pasada

5.3.- Caracterización del revestimiento

Detallar la siguiente información general

- Especificación
- Fabricante

Detallar las siguientes especificaciones técnicas antes del proceso.

- Tipo
- Familia de producto
- Material de aporte
- Aporte térmico
- Máximo espesor (mm)
- Adherencia
- Rendimiento
- Energía
- Dureza
- Temperatura máxima de servicio
- Temperatura de aplicación
- Límite de espesor del depósito
- Densidad
- Metal Base

- Acabado
- Sistemas de Aplicación

Detallar las siguientes especificaciones técnicas durante el proceso

- Proceso de aplicación
- Tasa de flujo entre pasada
- Rango de fusión aproximado
- Cobertura de polvo
- Temperatura máxima de servicio
- Pre calentamiento del sustrato
- Distancia de aplicación
- Equipo de pulverización:

5.4.- Caracterización del equipo

Detallar las siguientes especificaciones

- Especificación (marca/modelo)
- Fabricante

Detallar los siguientes datos técnicos

- Tasa de deposición
- Caudal de Acetileno
- Caudal de Oxígeno
- Presión de Oxígeno
- Presión de Acetileno
- Presión de Aire

6.- Preparación de la superficie

6.1.- Limpieza

Para la limpieza de la superficie se puede aplicar diferentes categorías de preparación de superficie definidas por la SSPC de acuerdo a la necesidad.

A continuación, se presenta varios tipos de limpieza superficiales, se recomienda la limpieza con chorro de abrasivo también conocido como granallado ligero, de acuerdo a la norma SSPC-SP 7 /NACE N° 4.

Diferentes categorías de preparación de superficie definidas por la SSPC a la fecha (Julio 2015).

Norma SSPC	Descripción		Última revisión
SSPC-SP COM	Comentarios sobre Preparación de superficie para acero y substratos de hormigón		mar-15
SSPC-SP 1	Limpieza con Solventes	/	Abr. 2015
SSPC-SP 2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc	Nov. 2014
SSPC-SP 3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas	Herramientas eléctricas o neumáticas	Nov. 2014
SSPC-SP 5 / NACE N° 1	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Metal Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 6 / NACE N° 3	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Comercial	Ene. 2007
SSPC-SP 7 / NACE N° 4	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Ligero	Ene. 2007
SSPC-SP 8	Decapado químico	/	Nov. 2014
SSPC-SP 10 / NACE N° 2	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Semi-Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 11	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza metal limpio o desnudo c/ rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 12 / NACE N° 5	Limpieza con Agua presión - Waterjetting	Reescrita en Julio 2012 y reemplazadas por las normas SSPC-SP WJ-1,2,3, y 4	Jul. 2002
SSPC-SP 13 / NACE N° 6	Limpieza de concreto	/	Mar. 2003
SSPC-SP 14 / NACE N° 8	Granallado industrial	/	Ene 2007
SSPC-SP 15	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza comercial con rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 16	Limpieza metales no ferrosos	Galvanizado, Acero Inoxidable, cobre aluminio, latón, etc.	Abr. 2010

Nota:

Los datos se actualizan conforme van evolucionando la norma SSPC. 2015 [34]



Métodos de preparación superficial para los procesos de aspersión térmica [13]

La limpieza está normalizada por algunas asociaciones internacionales, siendo la más conocida y la cual vamos a emplear, es la norma americana SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA).

6.2.- Granallado

Se recomienda aplicar los valores del tamaño de tamiz para procesos de granallado establecidos en la norma americana SSPC-SP-5 / NACE N°5 (Norma de preparación de superficies para juntas Limpieza con chorro abrasivo granallado / arenado de metal blanco), como se indica en la siguiente tabla.

Tamaños de granos para el granallado en procesos de aspersion térmica. [16]

Rugosidad	Tamaño de grano (Malla)	Tamiz de apertura (mm)	Aplicaciones
Gruesa	-10 / +30	2.007 / 0.610	Para recubrimientos superiores a 0.25 mm (0.010 in) y mejor adherencia.
Media	-14 / +40	1.422 / 0.432	Para la adherencia justa y acabados más suaves de los recubrimientos de menos de 0.25 mm (0.010 in) de espesor.
Fina	-30 / +80	0.610 / 0.175	Para acabados más suaves sobre recubrimientos de menos de 0.25 mm (0.010 in) de espesor para ser utilizado.

6.3.- Mecanizado

Para el mecanizado mediante desprendimiento de viruta, rotativo o lineal se debe aplicar los valores de la siguiente tabla.

Profundidad de Pre-maquinado [8]

Profundidad de Pre-maquinado recomendado		
Diámetro del eje (plg)	Servicio Clase A (plg)	Servicio Clase B (plg)
Menor a 1	-	0.015
1 – 2	0.040	0.025
2 – 4	0.050	0.035
4 – 6	0.060	0.045
Mayor a 6	0.070	0.055

Velocidad en RPM vs Diámetro del eje a maquinar [8]

Diámetro del eje (plg)	Velocidad RPM
< 2	300
2 – 4	150
4 – 6	100
6 – 8	75
8 – 10	50

6.4.- Enmascarado

Con la finalidad de cubrir y proteger el área que no se va aplicar el revestimiento se debe realizar el enmascarado para evitar el exceso de material y partículas que puedan adherirse durante el rociado.

Existen muchas técnicas para enmascarar superficies, a continuación, mostraremos las más comunes.

Enmascaramiento con metal sombra .- Consiste en aplicar un material específico diferente al material de acabado, con el objetivo de reducir los impactos generados por la proyección de partículas, el material empleado para el enmascaramiento debe ser de fácil remoción luego de culminar el proceso de metalizado.

Enmascaramiento con cinta .- Consiste en proteger la superficie que se va a conservar mediante cintas duras con resistencia a altas temperaturas, para evitar la contaminación generada por granitos de arena abrasivos y las partículas proyectadas.

7.- Aplicación & Ejecución

7.1.- Pre calentamiento

El pre calentamiento del sustrato se debe realizar a una temperatura de aplicación comprendida entre los 100 a 150 °C (210 a 300 ° F), con un tiempo de aplicación de 60 segundos, lo que es suficiente para eliminar la humedad. [17] pp.117

El pre calentamiento se debe realizar por combustión, utilizando pistolas de llama, pero también se puede realizar utilizando equipos de inducción eléctrica.

Luego de alcanzar la temperatura recomendada de pre calentamiento se debe realizar de forma inmediata el proceso de aspersión pues las partículas fundidas o semifundidas se adhieren mejor en una superficie seca y pre calentada para evitar el enfriamiento brusco en la aplicación de la primera capa.

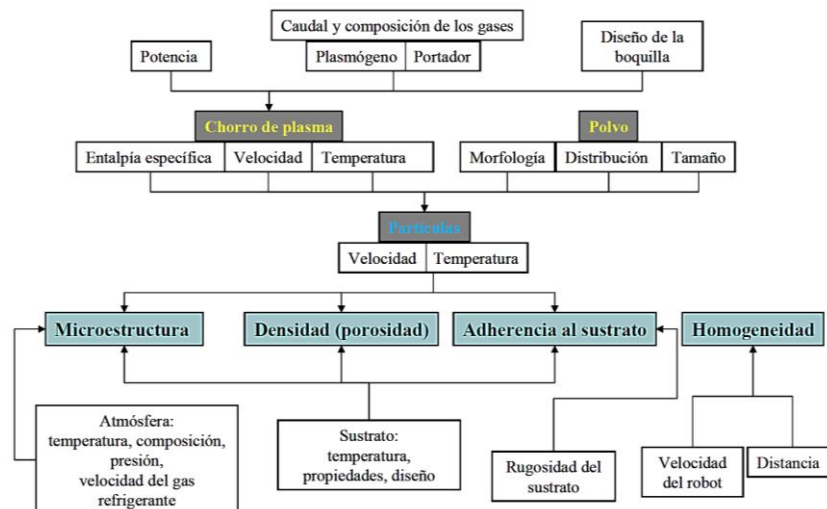
Cuando el proceso de aspersión no amerite pre calentamiento del sustrato, se recomienda almacenar el sustrato a temperatura ambiente en áreas secas y con un contenido de humedad por debajo de 30%.

7.2.- Aplicación

Durante la aplicación del revestimiento es importante controlar los siguientes parámetros críticos que influyen en el proceso de aspersión térmica y la calidad superficial:

- Caudal, presión y composición química de los gases de combustión
- Caudal, presión del gas de transporte
- Caudal de alimentación del revestimiento
- Tamaño de las partículas del revestimiento, morfología y propiedades térmicas
- Tipo de equipo para el proceso
- Diseño de la boquilla.
- La distancia de proyección desde la boquilla hasta el sustrato
- Angulo de aplicación
- Tipo de avance, manual o automático
- Velocidad de avance de aplicación
- T de trabajo
- T de aplicación
- Espesor de la capa por cada pasada

El flujograma describe la correlación e influencia de los parámetros críticos del proceso de aspersión térmica, que debe ser considerados para optimizar las propiedades del recubrimiento.



Influencia de los parámetros críticos de proyección en las propiedades del recubrimiento [18]

Considerar los diferentes tipos de gases de combustión y trasportación para el proceso de aspersion térmica,

Gases utilizados para el proceso de aspersion térmica [17]

Procedimiento	Gases
Aspersion por llama (baja velocidad)	Acetileno, Grieson®, Propano, Hidrogeno, Oxigeno.
Aspersion por llama (alta velocidad)	Acetileno, Grieson®, Mapp®, Propano, Hidrogeno, Oxigeno.
Aspersion por plasma	Argón, Helio, Hidrogeno, Nitrógeno (también se puede combinar entre estos gases)
Enfriamiento	Nitrogeno, Dioxido de carbono
Fusion	Acetileno, Grieson, Oxigeno.

Es importante controlar la temperatura que alcanzan los diferentes gases utilizados en el proceso de aspersion térmica, para evitar deformación en el substrato.

Temperatura de fuentes de calor para los diferentes procesos de Metalización [8]

Fuente/Energía	Temperatura (°C)
Propano, Oxígeno	2526 - 2640
Gas Natural, Oxígeno	2538 - 2735
Hidrógeno, Oxígeno	2660 - 2690
Propileno, Oxígeno	2843
MAPP*, Oxígeno	2927
Acetileno, Oxígeno	3000 - 3100
Arco Eléctrico	2500 - 3000
Arco Plasma	2200 - 28000

* Gas: Metil Acetileno Propadieno

A continuación, se presenta los valores recomendados de velocidad de las partículas que impactan al sustrato para los diferentes procesos de aspersión térmica.

Velocidad promedio de impacto de las partículas de material de aporte al sustrato [8]

Llama – Polvo	■										
Llama – Alambre		■									
Llama – HVOF					■	■	■	■	■	■	■
Detonación								■	■		
Arco Eléctrico		■	■								
Plasma de baja energía		■	■								
Plasma de alta energía			■	■	■	■					
Velocidad (m/s)	.0.	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Se debe considerar las características y propiedades de los distintos procesos de aspersión térmica como se resume en la siguiente tabla.

Características y Propiedades de los distintos Procesos de aspersión térmica [8]

	Velocidad de la partícula (m/s)	Adherencia (MPa)	Contenido de óxido (en metales) %	Porosidad %	Velocidad de la deposición (kg/hr)	Espesor típico del depósito (mm)
Llama	40	< 8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
Arc Spray	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	200-300	> 70	1-3	5-10	1-5	0.2-2

Considerar las características Químico–Mecánicas de algunos materiales de aporte para los revestimientos empleados en el proceso de aspersión térmica.

Características Químico – Mecánicas de los materiales de Aporte [17]

Características Químico – Mecánicas					
	Tracción	Corrosión Acida	Corrosión Alcalina	Abrasión	Fricción
Aceros al Carbono	++++	+	++	++++	++++
Aceros Inoxidables	++++	++	++++	+++	+++
Aluminio	++	+	++++	+	+
Bronce	++++	+	++++	+	++
Zinc	++	+	++++	+	+
Babbit	++++	+	+	+	++
Carburos de Tungsteno	+++++	+	+	+++++	+++++
Cerámicos	++++	+++++	+++++	++++	+++++

Resistencia:

+++++ Excelente

+ Bajo

7.3.- Perfil de anclaje

Para obtener un buen perfil de anclaje, es decir una buena adhesión del revestimiento al substrato, la superficie a metalizar debe cumplir con la rugosidad adecuada, esto depende de dos parámetros importantes como son el tamaño de grano del material que se utilizó para el proceso de granallado y el tipo de herramienta si la superficie fue maquinada.

8.- Operaciones posteriores a la aplicación.

8.1.- Mecanizado

Torneado

No existen reglas estandarizadas para determinar las velocidades, la profundidad de corte por pasada y ángulos apropiados para el maquinado de los recubrimientos. Una práctica generalmente aceptada es reducir significativamente en la profundidad de corte por pasada. Usualmente, dicha profundidad se limita a 0.5 mm por pasada. Esta práctica tiende a limitar el esfuerzo generado en la intercara recubrimiento-substrato.

Los recubrimientos metálicos se tornean fácilmente para remover la rugosidad generada por la deposición del recubrimiento. Debido a que las estructuras de los materiales rociados son granulares en vez de homogéneas, las virutas son similares a las resultantes durante el torneado de hierro fundido. Las velocidades de torneado, el avance, y la forma de las herramientas depende de las características de cada

material. Los fluidos de corte, lubricantes, refrigerantes, o maquinado en seco pueden ser utilizados. Sin embargo, dichos fluidos pueden penetrar y permanecer en el recubrimiento después del maquinado. Las herramientas de carburo se recomiendan debido a que en general los recubrimientos rociados son muy abrasivos y pueden desgastar rápidamente al herramental usado. [19]

Esmerilado

El esmerilado luego de la aplicación de revestimientos por proyección térmica se lo puede realizar en seco o lubricado, es recomendable el esmerilado en seco debido a la gran variedad de abrasivos y discos de desbaste.

Para realizar un esmerilado correcto se recomienda las siguientes consideraciones:

- Los revestimientos rociados tienden a “sobrecargar” rápidamente a los discos abrasivos; para controlar el desgaste de los discos, se usan granos relativamente gruesos con poco contenido en aglutinante.
- Uso de cortes ligeros debido a que la presión excesiva puede ocasionar agrietamiento, remoción, delaminación o fractura en el recubrimiento.
- No obtener “chispeo” en la pasada final pues esto puede deformar el recubrimiento.
- Mantener los discos lo más frío posible.
- Pueden ser usados discos de alúmina, carburo de silicio y diamante.

8.2.- Sellado

Materiales sellantes más comunes empleados para corregir imperfecciones si el substrato presenta algún defecto en la superficie.

Lista algunos selladores orgánicos comunes. [19]

NO SECABLE	RECOCIDOS
Ceras	Fenólicos recocidos
Aceites	Fenólicos Epóxicos
Grasas	Poliamidas
	Resinas epóxicas afinadas
	Poliésteres

Lista algunos selladores orgánicos comunes. (continuación) [19]

SECABLES AL AIRE	CATALÍTICOS
Tintas	Resinas Epóxicas
Fenólicos secables al aire	Poliésteres
Fenólicos Epóxicos	Poliuretano
Vinilos	OTROS
Poliésteres	Silicato de Sodio
Resinas de Silicona	Etil Silicatos
Carbón molido	
Poliuretano	

Lista de algunos selladores orgánicos comunes [19]

Material orgánico	Características
Pintura	Solubles en agua o solventes
Cera	Fusión a baja temperatura
Fenólicos	Curado con aire caliente y seco
Epoxi-fenólicos	Curado con aire caliente y seco
Epoxi resinas	Curado con empleo de catalizadores
Poliésteres	Curado al aire. o con calor y empleando catalizador
Silicones	Curado con calor
Poliuretanos	Curado con aire seco o curado con catalizador
Aceite de linaza	Aire seco
Poliamidas	Curado con calor
Pintura de alquitrán	Curado con aire seco
Anaeróbicos	Curado en ausencia de aire

8.3.- Tratamientos Térmicos posteriores

Es importante realizar tratamientos térmicos luego del metalizado con el fin de establecer sus dimensiones finales, mejorar su microestructura y reducir la porosidad. Los principales tratamientos térmicos posteriores al proceso de aspersión térmica más recomendables son la difusión y recristalización, las mejoras que se obtienen son las siguientes:

- Cambios microestructurales.
- Mejora en la resistencia de adhesión.
- Relación de los esfuerzos internos (residuales).
- Reducción de la porosidad.

- Mejorar la homogeneidad del recubrimiento.
- Reducir el contenido de óxidos.
- La precipitación de una fase dura.
- Modificaciones químicas.

El tratamiento térmico tiene lugar a altas temperaturas, pero también a temperaturas inferiores al punto de fusión del material del que está hecho el recubrimiento, por lo general se recomienda un rango de Temperatura: 800-1250 °C y duración máxima de 1 hora. [19]

Los métodos para la realización del tratamiento térmico incluyen:

- Tratamiento térmico de cementación, recocido, revenido, mediante horno al aire libre o bajo una atmósfera inerte o hidrogenada.
- Horno al vacío o bajo presión, empleando gases inertes.
- Calentamiento por inducción.

8.4.- Tratamientos Químicos

Cuando la superficie no requiera estar en contacto con otras superficies se puede aplicar varios tratamientos químicos para aumentar la vida útil del revestimiento.

A continuación, se da a conocer los tratamientos químicos más comunes:

- Recubrimientos adhesivos poliméricos
- Aluminización
- Cromo duro
- Galvanizado
- Pinturas anticorrosivas


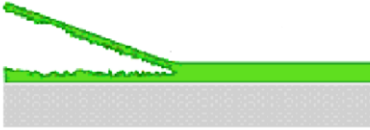

9.- Inspección

9.1.- Defectos

Se recomienda verificar la calidad superficial para corregir los defectos más comunes dentro del proceso de aspersion térmica son:

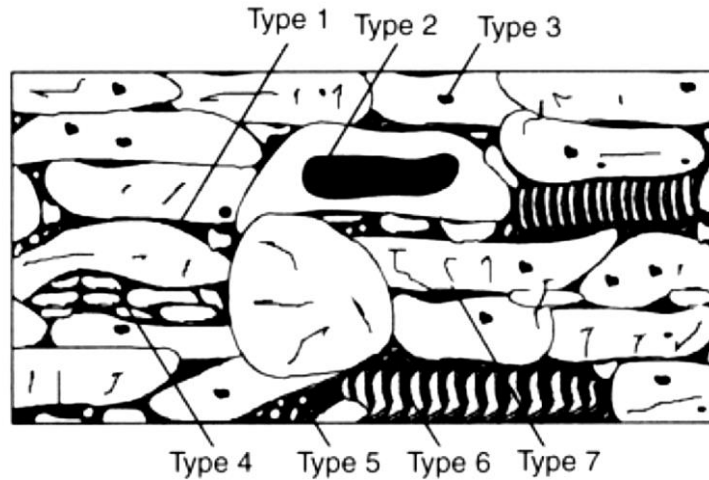
- Morfología de los splats
- Inclusiones de óxidos
- Porosidad
- Falta de adhesión
- Esfuerzos residuales
 - Esfuerzos intrínsecos
 - Esfuerzos residuales de tensión
 - Esfuerzos residuales de compresión
 - Esfuerzos térmicos generados durante el rociado.
 - Expansión térmica.
 - Esfuerzos de templado.
 - Esfuerzo de enfriamiento
 - Esfuerzos generados en una pasada de la antorcha.
- Defectos dimensionales
- Defectos de forma

Defectos de adhesión de los recubrimientos por rociado térmico, deben ser evaluados de acuerdo con la especificación ASTM D 4541 con un total de tres pruebas dentro de un área de 100 cm² (cuando el tamaño de la pieza lo permita) y el resultado promedio de las tres mediciones debe ser reportado [20]

Tipo de falla	Esquema
Falla de Adhesión	
Falla Cohesiva	
Falla del Sustrato	

Tipos de falla de un recubrimiento [13]

Tipos de porosidad de acuerdo a su origen



Tipos de porosidad de acuerdo a su origen en el proceso de rociado térmico. [13]

Tipo 1	Se origina por apilamiento entre las placas y depende del tamaño de las partículas rociadas y de la <u>distribución de rociado</u> .
Tipo 2	Se origina por gas atrapado entre las placas y depende de la <u>turbulencia del flujo</u> de rociado.
Tipo 3	El poro está ubicado dentro del splat y es debido a <u>disolución de gases</u> en el metal de aporte fundido durante el proceso de enfriamiento.
Tipo 4	La gran <u>velocidad de la partícula</u> provoca a veces una fragmentación o desintegración en el instante del impacto.
Tipo 5	Las <u>altas temperaturas</u> involucradas en los procesos expuestos al aire, originan en las partículas procesos de evaporación y súbita condensación al impactar sobre la <u>superficie fría del sustrato</u> esto hace que se forme poros.
Tipo 6	Se origina cuando el <u>enfriamiento es demasiado</u> rápido durante la solidificación de la partícula del revestimiento.
Tipo 7	Se origina microgrietas cuando existe <u>elevadas tensiones</u> , de tracción o de compresión en la capa, por lo general ocurre en recubrimientos compuestos.

9.2.- Dimensiones

Para determinar que la pieza cumpla con las dimensiones especificadas, debemos tomar en cuenta los siguientes parámetros.

- Unidades / Sistema
- Área
- Diámetro
- Longitud
- Tolerancia

9.2.1 Rugosidad superficial

Especificación de acabados superficiales.

Para ensayos de rugosidad superficial se recomienda emplear los parámetros de la norma ANSI B46.1, 2009, la cual regula los temas relativos para la designación, control y medición de la textura superficial.

4.10.2 Resumen de los parámetros generales para los procesos por aspersión térmica.

En la tabla 4.6 se muestra los principales parámetros que se debe tener en cuenta para cada proceso de aspersión térmica.

Tabla 4.6.- Características de los procesos de proyección térmica por flama. [21]

Atributo	Proyección por flama	HVOF	D-Gun	Arco Eléctrico	Arco de plasma al aire	Arco de plasma al vacío
Chorro						
Temperatura °K	3500	5500	5500	>25,000	15,000	12,000
Velocidad, m/s	10-100	500-1200	>1000	50-100	300-1000	200-600
Flujo de gases, sLm	100-200	400-1100	.....	500-3000	100-200	150-250
Tipos de gases	O2, acetileno	CH4, C3H6, H2, O2	O2, acetileno	Aire, N2, Argón	Ar, He, H2, N2	Ar, He, H2
Potencia suministrada, kW	20	150-300	.....	2-5	40-200	40-120
Material de alimentación						
Temperatura máxima de la partícula, °C	2500	3300	.....	>3800	>3800	>3800
Velocidades de partícula m/s	50-100	200-1000	.....	50-100	200-800	200-600
Tasa de alimentación de material g/min	30-50	15-50	.....	150-2000	50-150	25-150
Velocidad de impacto de la partícula	30 (polvo), 180 (alambre)	610-1060	910	240	240	240-610
Recubrimiento obtenido						
Rango de densidad (%)	85-90	>95	>95	80-95	90-95	90-99
Resistencia de adhesión. Mpa	7-18	68	82	10-40	<68	>68
Contenido de óxidos	Alto	Moderado	Bajo	Moderado a alto	Moderado	Nulo

4.11 Costos de Producción

4.11.1 Comparación de parámetros para la selección de procesos de aspersión térmica en base a costo-beneficio.

La tabla 4.7 muestra la comparación de parámetros para la selección de procesos de aspersión térmica en base a costo-beneficio.

Tabla 4.7.- Comparación de algunos procesos de obtención de recubrimientos [17]

Característica del equipo	Recubrimiento electrolítico	Proyección Térmica	CVD	PVD
Costo de equipo	Bajo	De bajo a moderado	Moderado	De moderado a alto
Costo de operación	Bajo	De bajo a moderado	De bajo a moderado	De moderado a alto
Entorno del proceso	Solución acuosa	De atmosférico a cámara de vacío	Atmosférico y cámara de medio vacío	Alto vacío
Geometría de recubrimiento	Omnidireccional	Limitado al área de impacto	Omnidireccional	Limitado al área de impacto
Espesor de recubrimiento	De moderado a grueso: de 10 μ m-mm	Grueso: 50 μ m-cm	Delgado a grueso, 0.1 μ m-mm	De muy delgado a moderado
Temperatura del sustrato	Bajo	De bajo a moderado	Moderado a alto	Bajo
Adherencia	De adhesión mecánica moderada a muy buena adhesión química	Buena adherencia mecánica	De muy buena adherencia química a excelente adhesión por difusión	De moderada unión unión química
Acabado superficial	De moderadamente áspero hasta brillante	De áspero a suave	De suave a brillante	De suave a muy
Materiales para recubrimiento	Metales	Polvo/alambre, polímetros, metales/cerámicos	Metales, cerámicos y polímeros	Metales, cerámicos,

4.11.2 Costos de los equipos y su portabilidad.

El equipo básico de proyección térmica es de un costo relativamente bajo (va de \$7000 USD a \$15,000 USD para combustión de baja velocidad o arco eléctrico hasta \$75,000 USD para equipos de plasma) es pequeño y portátil, y permite proyecciones in situ.

4.11.3 Análisis del consumo estimado de material a proyectar.

El costo de los materiales a rociar se calcula conociendo los requerimientos del recubrimiento, por ejemplo, el espesor final, el área a recubrir y la eficiencia de deposición

del proceso empleado. Los números en la tabla 4.8 se pueden utilizar para calcular el material requerido por una aplicación o una tasa de producción (tiempo de rociado).

Tabla 4.8.- Valores para cálculos de tasa de producción [22]

Material	Peso del recubrimiento*	Material Eficiencia	Requerido* de deposición	
	(lbs/ft ² /0.001")	40%	60%	80%
Aluminio	0,013	0,033	0,022	0,016
Aluminio-Bronce	0,033	0,083	0,055	0,042
Alúmina (+2% de óxido de Titanio)	0,017	0,043	0,028	0,021
Zirconato de Calcio	0,021	0,053	0,035	0,026
Oxido Crómico	0,026	0,065	0,043	0,033
Cobre	0,039	0,098	0,065	0,049
Molibdeno	0,046	0,115	0,077	0,058
Níquel	0,039	0,098	0,065	0,049
80/20 Níquel-Cromo	0,038	0,095	0,063	0,048
Níquel-Cromo (16% Cromo)	0,039	0,098	0,065	0,049
Acero Inoxidable (17% Cr, 12% Ni)	0,035	0,088	0,058	0,044
Acero	0,036	0,090	0,060	0,045
Óxido de Titanio	0,021	0,053	0,035	0,026
Tungsteno	0,088	0,220	0,147	0,110
Carburo de Tungsteno (12% Co)	0,064	0,160	0,107	0,080
Carburo de Tungsteno (17% Co)	0,057	0,143	0,095	0,071
Carburo de Tungsteno (46% Ni, 35% Ni-Co 11% Cr)	0,043	0,108	0,072	0,054
Carburo de Tungsteno (33% Ni, 50% Ni-Co 9% Cr)	0,048	0,120	0,080	0,060
Zinc	0,039	0,098	0,065	0,049
Zinc-Aluminio (85/15)	0,035	0,088	0,058	0,044
Óxido de zirconio	0,028	0,070	0,047	0,035
*multiplicar por 19.2 para convertir a kg/m ² / 100 micras				

La tabla 4.8 aplica para grandes superficies metálicas planas previamente granalladas. Para componentes pequeños y de geometría compleja duplicar los valores de la tabla 4.9.

Tabla 4.9.- Peso necesario de material para recubrir un pie cuadrado de substrato con recubrimiento de 0.001'' de espesor [22]

Material	Peso en onzas requeridas para depositar 0.001 pulgada en 1 ft² del substrato
Estaño	0.9
Zinc	0.9
Zinc-Aluminio (85/15)	0.8
Aluminio	0.25
Bronce	0.9
Cobre	0.9
Acero	0.8

4.11.4 Cálculo del costo total aproximado para la recuperación dimensional de la superficie de un eje desgastado de 2.5 pulgadas mediante el proceso de aspersión térmica con la aplicación de revestimiento superficial Eutalloy®10009.

4.11.4.1 Costo de depreciación del equipo

Promedio de vida del equipo: 5 años

$$24h \times 365d = 8760 \text{ por año}$$

$$8760h \times 5\text{años} = 43800 \text{ h vida util.}$$

Costo del equipo: \$45000

$$45000 \div 43800h = \frac{1.03\text{usd}}{h}$$

$$\text{Costo} = \frac{1.03\text{usd}}{h} \times \text{tiempo efectivo de proyección}$$

$$\text{Costo} = \frac{1.03\text{usd}}{h} \times 0.10h$$

$$\text{Costo} = 0.10\text{usd}$$

4.11.4.2 Costo del revestimiento

Datos:

- *Diametro = 2.5 pulgadas*
- *longitud = 10 pulgadas*
- *Área por recubrir = 78.54 pulgadas² = 0.545417ft²*
- *Factor de protección: 10% de sobre rociado debido a perforaciones y bordes*
- *Material de revestimiento: Aleación Cr, Ni*
- *Espesor: 0.1" de espesor del recubrimiento.*
- *Eficiencia: 80% de eficiencia de deposición.*
- *Tasa de rociado: $\frac{6kg}{h} = \frac{13.20lb}{h}$*
- *Tiempo: 90% del tiempo efectivo de rociado.*

Desarrollo:

Por lo tanto, la cantidad de material requerido en libras es:

$$Peso = \frac{(Superficie\ por\ recubrir)(Espesor\ deseado\ en\ milésimas\ de\ pulgada)(Peso\ del\ recubrimiento\ *)}{(Factor\ de\ corrección\ por\ sobrerrociado)(Eficiencia\ de\ deposición)}$$

*Factor de Tabla 4.8

Sustituyendo los datos:

$$Peso = \frac{(0,545417\ ft^2)(100\ milésimas\ de\ pulgada) * \left(\frac{0,039\ lbs}{\frac{ft^2}{milésimas}}\ de\ pulgada \right)}{(0.8)(0.8)} = 3,32\ lb.$$

El costo del revestimiento es 50 usd / kilogramo

$$3.32lb = 1.5\ kg$$

$$1.5kg \times 50usd = 75\ usd$$

El costo del revestimiento Eutalloy®10009 = 75 usd

4.11.4.3 Cálculo del tiempo de rociado o tasa de producción.

El tiempo que tomará una operación de rociado se puede estimar (usando las consideraciones anteriores) así:

$$\text{Tiempo de rociado} = \frac{\text{Cantidad de material a rociar}}{(\text{Tasa de rociado})(\% \text{ de tiempo efectivo de rociado})}$$

$$\text{Tiempo de rociado} = \frac{3.32 \text{ lb}}{\left(13.2 \frac{\text{lbs}}{\text{h}}\right) (0.8)}$$

$$\text{Tiempo de rociado} = 0.31 \text{ horas} = 18.60 \text{ minutos}$$

4.11.4.4 Costo del consumo de energía eléctrica del compresor de aire.

El costo de energía eléctrica se considera por uso del compresor de aire.

Datos del compresor:

- Motor: 10 Hp -7.5 kW
- Voltaje: 220 V- 31.7 A

Desarrollo:

$$31.7A \times 220V = 6974Wh$$

Las horas que se va a utilizar el compresor son de 2 horas aproximadamente, (Tiempo efectivo de proyección + Tiempo de granallado)

$$6974Wh \times 2horas = 13948Wh$$

Para transformarla a kW dividimos por 1000

$$13948 \div 1000 = 13.95kWh$$

En la industria ecuatoriana en promedio el costo del kW/h es de \$ 0,10 sin considerar ningún recargo adicional

Entonces el costo por hora del uso del compresor es:

$$13.95kWh \times 0.10usd = 1.39 usd$$

4.11.4.5 Costo del consumo de gases de combustión.

Para determinar el costo de los gases se considera el costo de carga de cada uno de los cilindros:

Oxigeno tanque $6 m^3 = 480 usd$

Acetileno tanque $6 m^3 = 250 usd$

El tiempo útil de la carga se determinó al trabajar con el equipo en diferentes tiempos tales como, el encendido de la pistola, ajustar niveles de presiones para el encendido, el precalentamiento de la pieza antes de la proyección y finalmente el tiempo de proyección. En el proceso experimental ambas cargas rindieron un tiempo aproximado de 120 minutos

Datos:

Suma del costo total de gases = 730 usd

Tiempo de duración de los tanques :120 min

Tiempo efectivo de proyección: 0.31 horas = 18.6 min

Costo de los gases: 730 usd/120 min

Costo de los gases =6.08 usd/min

Costo total de los gases/hora

Costo de los gases \times Tiempo efectivo de proyección

Costo total de los gases = 6.08 usd/min \times 18.6 min

Costo total de los gases =113 usd

4.11.4.6 Costo del del proceso de granallado.

La granalla utilizada para este proceso es “Arena para sandblasting chorro de arena”.
La granalla utilizada no se recupera al trabajarla.

El costo de la granalla se considera por saco de 45 kg tiene un valor de 55 usd.

Datos de la arena para sandblasting y chorro de arena

Abrasivo fino de 0.5 mm

Dureza al impacto 6000 psi

Abrasivo filtrado evita el taponamiento de la pistola

Tiempo del proceso de granallado = 8 min

Área para granallar = 78.54 pulgadas

Flujo de granallar=lb/min [de acuerdo al tipo de pistola=4.2 lb/min]

Cantidad de granallar utilizada = 4.2 lb/min × 8 min = 33.6 lb

Costo de la granalla = 11.80 usd

4.11.4.7 Costo de mano de obra.

El costo por mano de obra se considera especializado, 620 usd/mes, 20 usd/día

Costo mano de obra/h x (Tiempo de granallado + Tiempo de proyección) + 0.5 [hr] de tiempo de preparaciones.

$$\frac{2.50\text{usd}}{h} \times (0.13h + 0.31h + 0.5h)$$

Costo de mano de obra por aplicación = 2.35 usd

4.11.4.8 Costo del mecanizado para acabado

Para el costo de maquinado, desbastado, rectificado y pulido se considera un costo aproximado de 50 usd.

4.11.4.9 Costo total de operación para la aplicación de revestimiento Eutalloy®10009.

Tabla 4.10.- Costo total de operación para la aplicación de revestimiento Eutalloy®10009.

Cotos	Valor Usd
Costo de depreciación del equipo	0,10
Costo del revestimiento	75
Costo del consumo de energía eléctrica	1,39
Costo del consumo de gases de combustión	113
Costo del del proceso de granallado	11,80
Costo de mano de obra	2,35
Costos del maquinado de acabado	50
Costos indirectos	5
Suma de costos	258,64
Utilidad	30 %
Costo total	336,23

Como se muestra en la tabla 4.10, el valor final para realizar la recuperación dimensional de un eje desgastado de diámetro 2.5 pulgadas y longitud de 10 pulgadas cuesta 336.23 usd. Sin incluir el valor del IVA.

Aparentemente parece un costo elevado, pero debemos considerar los bajos tiempos de producción en relación al tiempo de importación del eje original.

4.12 Previsión de la evaluación

Una vez finalizado el trabajo investigativo se ha podido establecer una guía técnica para la recuperación dimensional de ejes desgastados mediante el proceso de aspersion térmica con revestimiento superficial Eutalloy®10009. La cual servirá como punto de partida para conocer los principales parámetros del proceso de aspersion térmica el cual sirve para recuperar dimensiones y proteger superficies en distintos elementos mecánicos desgastados, permitiendo prolongar la vida útil de las piezas y reduciendo los costos por reposición de nuevos componentes.

Se sugiere revisar la guía técnica del procedimiento establecido en el presente trabajo para prevenir inconvenientes antes, durante y después del proceso de aspersion térmica con la finalidad de obtener un acabado superficial de calidad.

La aplicación del recubrimiento se realizó en las instalaciones empresa IMETCA Cía. Ltda. Ubicada en la ciudad de Quito. Los ensayos requeridos para la investigación se los realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería civil y mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

La investigación se la realizó en base normativas ASTM, AWS, SSPC, relacionadas con el proceso de aspersion térmica las cuales permiten mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del producto. Lo que permite realizar investigaciones posteriores a este trabajo, en la cual se contiene con investigaciones relacionas con el proceso de aspersion térmica para otro tipo de material base y variación del revestimiento.

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica para determinar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales fue realizada mediante ensayos de desgaste adhesivo bajo norma ASTM G 83-96, para conocer el coeficiente de desgaste de los tres tipos de revestimientos.
- Para conocer la tecnología del proceso de recuperación de ejes por aspersion térmica se analizó los parámetros de cada uno de los procesos de aspersion térmica, determinando que el proceso de aspersion térmica por flama es el más económico y de mayor aplicación industrial, debido a que utiliza gases combustibles para generar la temperatura suficiente para fundir una gran variedad de revestimientos.
- Para los ensayos de desgaste se tomaron en cuenta los parámetros del procedimiento “A” de la norma ASTM G 83-96, para ensayos de desgaste adhesivo severos, lo cual sirvió de guía para determinar la carga aplicada, el numero ciclos y la velocidad para obtener datos para calcular el desgaste de cada material.
- En los revestimientos aplicados sobre el acero SAE 1018, se realizaron ensayos de dureza, también se realizó el peso de cada probeta, antes y después de los ensayos para medir el volumen de desgaste.
- La experimentación y el análisis estadístico permitió evaluar la resistencia al desgaste adhesivo de revestimientos superficiales aplicados mediante el proceso aspersion térmica por flama, que está en base a la dureza, densidad, rugosidad superficial y composición química, para cada tipo de material.
- Se determinó el desempeño de los revestimientos RotoTec®29011, MetaCeram®28060 y Eutalloy®10009 aplicados mediante el proceso de aspersion térmica cuyos resultados se los pudo comparar mediante ensayos de

desgaste adhesivo donde se obtuvieron valores del coeficiente de desgaste siendo el revestimiento Eutalloy®10009 el más resistente al desgaste.

5.2 Recomendaciones

- En base a los resultados obtenidos de la presente investigación se recomienda realizar ensayos con revestimientos del mismo material, para determinar la variación y el comportamiento al desgaste.
- En futuras investigaciones de aplicación de revestimientos superficiales por aspersion térmica se recomienda utilizar revestimientos a base de polvos cerámicos, pero mantener como material base aceros con medio contenido de carbono.
- Se recomienda realizar estudios de la resistencia al desgaste en aceros de medio carbono con aplicación de revestimientos superficiales a base de polvos cerámicos y su relación con los tratamientos térmicos posteriores al proceso de aspersion térmica.
- Se recomienda realizar estudios para determinar la factibilidad de calificar operarios para procesos de aspersion térmica bajo la norma AWS C2.16/C2.16M:2017.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Aguirre. “*Optimización de los parámetros del proceso de plasma trasferido por arco (PTA) utilizado en la recuperación de componentes de acero grado herramienta D2*”, Tesis de Maestría, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales División de estudios de Posgrado, Saltillo Coahuila México, 2012. Disponible en: <https://n9.cl/7pc4>
- [2] Vashishthaa N. y Sapatea S. “*Effect of Experimental Parameters on Wear Response of Thermally Sprayed Carbide*”. Department of Metallurgical and Materials Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology (VNIT), *South Ambazari Road, Nagpur, India*, 2018. Disponible en: <https://n9.cl/0bm25>
- [3] Marulanda J., Tristancho J., Gonzáles H. “*La tecnología de recuperación y protección contra el desgaste está en el rociado térmico*”. Revista Prospectiva Print version ISSN 1692-8261, 2014, pp. 70-71 Disponible en: <https://n9.cl/2cm4pi>
- [4] Aulestia C, “*Introducción a los procesos de proyección térmica y recubrimientos térmicos*”. Revista: PATERNA (Valencia) SPAIN, AIMME Instituto Tecnológico Metalmecánico. Universidad libre Colombia. 2015. Disponible en: <https://n9.cl/ycbb5>
- [5] Reyes H. Thermal Spray, “*Protección de alto impacto*”. Asociación Venezolana de Galvanizadores. Volumen 40. Primera Edición. 2015. Disponible en: <https://n9.cl/troer>
- [6] Moreno C, Pérez I, Quintero L. “*Influencia de los parámetros de depósito sobre la adhesión del recubrimiento Ni-Al-Mo por spray térmico*”. Revista: Ingeniería y Competitividad, Volumen 17, No. 2, 2015. pp. 101–109 Recuperado de: <https://n9.cl/zjvnm>
- [7] Cubillos. L. y Mera J. “*Desarrollo de estándares de calidad en producción de recubrimientos por termorociado de Arco Eléctrico y HVOF en la empresa IMETCA*”. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2012.

- [8] Moreano O. “*Reparación de un Eje de Motor Eléctrico Mediante un Proceso de Metalización*”. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2012.
- [9] Donaldson, FILTRATION SOLUTION, “*Aspersión térmica.*” Disponible en: <https://n9.cl/jc90k>
- [10] Duramet, Metalización e Ingeniería. “*Metalización en frío.*” Disponible en: <https://n9.cl/yvonb>
- [11] Duramet, Metalización e Ingeniería. “*Metalización en caliente.*” Disponible en: <https://n9.cl/p9ie>
- [12] Marulanda J. Meneses A., Velásquez E. “*Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico*”. Scientia et Technica Año XIII, No 34. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Colombia. 200. Recuperado de: <https://n9.cl/wkaex>
- [13] Pagnola M. “*Recubrimientos por Thermal Spray*”. Jornadas Cyted de Materiales para Alta Temperatura. 2009. Recuperado de: <https://n9.cl/dgmmm>
- [14] I. Pawlowsky, “*The science and engineering of thermal spray coatings.*”, Inglaterra: John Wiley and sons ltd. 2008.
- [15] Torres E., Moreno C., Cárdenas L., Fuentes J. Salamanca M, “*Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica.*” Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 16 N° 2, ISSN Impreso 1900-771X, ISSN, Sogamoso-Boyacá. Colombia. 2016. pp. 55-65. Recuperado de: <https://n9.cl/b6dae>
- [16] Robert C. Tucker, J. “*Praxair Surface Technologies*”. Inc. Surface Engineering (Vol. 5). Thermal Spray ASM Handbook. 1994.
- [17] Handbook, A. “*Thermal Spray Technology*”. (Vol. 9). (J. R. Davis, Ed.) USA: Materials Park, Ohio: ASM International, 2004.

- [18] Puzryakov A. “*Bases teóricas de la proyección térmica*”. MGT Baumann, Moscú, 2003.
- [19] Morán I, Ramírez D. “*Caracterización del proceso de rociado térmico de acero inoxidable sobre aceros de bajo contenido de carbono*”. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México. 2010.
- [20] Termal Spraying. “*New Construction and Maintenance, Engineer Manual*”. CECW-ET, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC 20314-1000, (EM 1110-2-3401). 1999.
- [21] R. Lula. “*Stainless Steel*”. Carnes Publication Services, Ind. USA. 1993.
- [22] William D. Callister Jr. “*Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. Editorial Reverté, 5a reimpression, Barcelona. 2001.
- [23] Sulzer Metco, The secret of staying ahead, “*Termorociado Principios Básicos*” SMTS, Mexico, 2005, Disponible en: <http://www.sulzernetco.com>
- [24] Catálogo de productos, IVAN BOHMAN C.A., III Edición, Guayaquil Ecuador, 2018, pp. 32
- [25] Catálogo de productos, Castolin-Eutectic®, III Edición, Alcobendas Madrid, 2014.
- [26] Soldaduras de Mantenimiento y Reparación, Castolin-Eutectic®, I Edición, Cali Colombia, 2016.
- [27] SuperJet.S. Eutalloy®, Castolin-Eutectic®, I Edición, Alcobendas Madrid, 2018.
- [28] CastoDyn® DS 8000, Eutectic Corporation, ® Reg. T.M., I Edición, WI 53051 USA, 2008.
- [29] *Standard Test Method for Wear Testing with a Crossed-Cylinder Apparatus*, American Society for Testing and Materials ASTM, Designation G 83 – 96, United States, pp. 1-6, 1996.

- [30] A. Cubillán, “*Estudio de la resistencia al desgaste del acero aisi 4340 bajo condiciones de deslizamiento sin lubricación,*” tesis de pregrado Universidad Central de Venezuela, Caracas 2002, Disponible en: <https://n9.cl/35sj4>
- [31] E. A. Gallardo H. “*Desarrollo de un prototipo tribológico funcional de configuración esfera sobre disco para medir el desgaste por deslizamiento en condiciones secas y lubricadas*”, Instituto Politécnica Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, México D.F, 2002. Disponible en: <https://n9.cl/xef3>
- [32] K. Cárdenas, “*Tabla chi cuadrado*”, Disponible en: <https://n9.cl/dfhvk>
- [33] IMETCA, “*Ingeniería de Metalización*”, Disponible en: <http://www.imetca.com>
- [34] CYM MATERIALES S.A, “*Preparación de superficies*”, Disponible en: <https://n9.cl/hc4t2>
- [35] Asociación Venezolana de Galvanizadores. “*Thermal Spray Protección de alto impacto.*” I Ed. Municipio Chacao, Caracas, 2010.
- [36] N. Zambonino, “*Análisis de los Factores de Desgaste Adhesivo en Diferentes Materiales Antifricción sobre el Acero AISI 4340 bajo Norma ASTM G83-96 y su Efecto en las Propiedades Tribológicas*”, Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.

ANEXOS

Anexo 1.- Datos técnicos del Acero SAE 1018

ACEROS

Eje de transmisión

► Cód. IBCA: SAE 1018 - Tolerancias h10 - h11



Información general

Acero de bajo contenido de carbono.

Análisis típico %	C	Mn	P	S
SAE 1018	0,15 - 0,20	0,60	0,040	0,050
Código de color	Azul			

Aplicaciones

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ejemplo: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc.

Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso.

Excelente soldabilidad.

Propiedades mecánicas

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas 2 1/2" o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o toneado de desbaste.

Diámetro, mm	
Esfuerzo de cedencia (kg/mm ²)	min 31
Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	51 - 71
Elongación, A5	20 %
Reducción de área, Z	57 %
Dureza (HB)	163

Medidas en stock

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
1/4	0,2	1.3/8	7,5	4	63,6
5/16	0,4	1.1/2	8,9	4.1/2	80,5
3/8	0,6	1.3/4	12,2	5	99,4
1/2	1,0	2	15,9	5.1/2	120,3
5/8	1,6	2.1/4	20,1	6	143,2
3/4	2,2	2.1/2	24,9	7	194,9
7/8	3,0	2.3/4	30,1	8	254,6
1	4,0	3	35,8	9	322,2
1.1/8	5,0	3.1/4	42,0	10	397,8
1.1/4	6,2	3.1/2	48,7		

* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

Anexo 2.- Datos técnicos del revestimiento ProXon®21021

One-step alloy powder for "cold" process

ProXon® 21021

For rebuilding of worn parts

Description

Proxon 21021 is a nickel-based alloy developed specifically for spray delivery systems such as the RotoTec 80 or CastoDyn System DS 8000.

For the protective coating of various alloys, steels and other industrial materials.

No distortion of the workpiece or alteration to its dimension-and structure.

Unaffected by residual stresses. Suitable for coating on large surfaces. Homogeneous deposit hardness. Good corrosion resistance. Easy to machine. Excellent bonding with base metal.

Technical data

	Minimum	Typical
Deposit hardness (HV ₁₀)	140	160
Max. service temperature (°C)	-	700
Deposit thickness (mm)	-	Max. 3

Applications

The dense lamellar structure and excellent bonding properties of Proxon 21021 are ideal for the protective coating of:

- Interference fits.
- Sliding surfaces.
- Turbine guide vanes.

Procedure for use

The area to be coated should be readily accessible so that the optimum spraying angle (90°) is maintained. For example in blind holes and similar, the flame gases could be trapped causing turbulence in the spray particles and thus defects in the protective coating.

Preparation of surfaces to be coated

The area to be coated must be clean and free of dirt and grease. Any sharp edges or corners should be eliminated or rounded off. Where possible the preparation should include slight preheating to remove any moisture from the surface. Roughening either by grit blasting, grinding or threading should be carried out while the part is still warm. Ceramic grinding wheels should be used for grinding. Care must be taken to keep the base metal clean after this preparation.

Preparatory machining

The worn area on which the coating will be deposited must be machined down until all the irregularities caused by wear have been eliminated.

Coating procedure

The workpiece should be coated immediately after preparation of the surface, while the part is still warm. As Proxon 21021 is self-bonding, no special bonding layer is necessary.

Spray systems

RotoTec 80 with ProXon-module adaptator and CastoDyn DS 8000.

Standard spray parameters for the RotoTec 80			
		Extension	+ CastoJet
Oxygen pressure (bar)	4.0	4.0	4,0
Acetylene pressure (bar)	0.7± 0.	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Acetylene valve	Neutral (N)	Neutral (N)	Neutral (N)
Spraying distance (mm)	150	150	150
Peripheral speed (m/min)	20-30	20-30	20-30
Advance (mm/tour)	3-5	3-5	3-5
Thickness per pass (mm)	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
Air pressure (bar)		Max. 2.0	Max. 2.0

Typical spray parameters for the CastoDyn DS® 8000	
Powder	21021
Standard Spray Module	SSM 10
Setting of container mounting	3
Flame setting	Neutral
Air without extension neck (bar)	0-1
Air with extension neck (bar)	1
Spraying distance (mm)	150
Rotation speed (m/min)	20
Advance (mm/rev)	3
Pressure: Ox = 4 bar; Ac = 0.7 bar; Air = 0-6 bar	
Start parameters adjustments may be needed due to application, piece, equipment, etc.	

Anexo 3.- Datos técnicos del revestimiento RotoTec®29011

Alloy powder for "cold" process

RotoTec® 29011

For anti-wear coatings

Description

The alloy RotoTec 29011 is a protective coating alloy with a deposit that resists atmospheric corrosion and metal/metal friction. It is also recommended for applications where easy machining is required. The deposit also has excellent anti-seizing properties.

Technical Data

	<i>Minimum</i>	<i>Typical</i>
Hardness (HV ₁₀):	200	240

Applications

Coatings on press and bearing surfaces that are subject to wear through adherence.

For all ferrous metals, coppers and aluminium alloys. Coating without deformation, distortion or metallurgical structural changes.

Procedure for use

Equipment

The powder RotoTec 29011 is deposited using the RotoTec 80 or CastoDyn DS 8000 torches.

Preparation of surface to be coated

Cleaning

To obtain a perfect coating, the surface must be clean and free from grease.

Preparatory machining

The worn area on which the coating will be deposited must be machined down until all the irregularities caused by wear have been eliminated. If the base metal is a hardened or surface treated metal, a carborundum grinder without lubrication should be used for machining. A rough surface is thus obtained on which the coating can then be deposited.

Obtaining the bonding surface

It is recommended to preheat at 50°C-150°C before preparation.

Threading by means of cutting tool. The thread is half as deep as the pitch (example: pitch 0.7 mm; depth: 0.35 mm). Grit blasting or grinding is an alternative surface treatment.

The areas which are not to be coated should be protected with R 104 solution.

Coating

Spray the bonding layer of alloy RotoTec 29029S. This first deposit should be approximately 0,1 mm thick, obtained in a single pass. 29029S brings about an exothermic reaction so that a solid state metallurgical bonding is obtained, thus making it possible to deposit bonding layers on ferrous metals, coppers and on aluminium alloys.

Next, the alloy is deposited, by spraying a layer of 29011 onto this bonding layer until the deposit thickness is 0.3 to 0.5 mm

above the final dimension required. During the coating, the temperature of the part must not exceed 200°C.

Spray parameters

- Rotation speed (m/min)=.....20-30
- Advance (mm/rev)=.....3

CastoDyn DS 8000

RotoTec 29011	Bond coat	anti-wear coating
Powder	29029S	29011
Standard Spray Module	SSM 10	SSM 10
Setting of container mounting (bar)	3	4
Flame setting	Neutral	Neutral
Air without extension neck (bar)	0-1	0-1
Air with extension neck (bar)	1	1
Spraying distance (mm)	150	200
Pressure: Ox = 4 bar; Ac = 0.7 bar; Air = -		
Start parameters : adjustments may be needed due to application, piece, equipment, etc.		

RotoTec 80

- Valve "A"pos:.....N
- Oxygen:(bar)..... 4 (58 lbf/in²)
- Acetylene:(bar).....0.7 (10 lbf/in²)
- Acetylene[U K](bar):..... 0.6 (8.7 lbf/in²)
- Spraying distance:(mm)..... 200.

Machining

Turning

RotoTec 29011	Turning with tungsten carbide cutting tool	
Type	ISO K10	
Rake angle(°)	+5	
Relief angle (°)	5	
Cutting speed (m/min)	R 50	F 50
Feed (mm/rev)	R 0.1	F 0.08
Depth of cut (mm)	R 0.8	F 0.05
Cooling	none	
R=Rough ; F=Finish		

Grinding

With a grinding stone corresponding to 11C80F13VPmF

Use a coolant for cutting and grinding.

IMPORTANT: For additional information regarding machining parameters (turning, planing) or by grinding, consult the brochure "Guide to the machining of E+CTeroCote coatings"

Packaging and storage

RotoTec 29011 is available in MegaPak of 2.7 kg. or in 12.5 kg container.

Safely stack and store products in a dry location to avoid pick up or damage.

Anexo 4.- Datos técnicos del revestimiento MetaCeram®28060

Ceramic powder

MetaCeram® 28060

For anti-wear protective coatings

Description

MetaCeram 28060 is specially developed for use in flame spray equipment such as the CastoDyn DS 8000. It is an aluminium-titanium based, oxygen-stabilised complex compound with specific grain size distribution and controlled morphology.

Compact, lamellar structure with strong interparticle bonding.

Dense protective coat with high deposit elasticity and good sliding properties.

The coating is a conductor of static electricity.

Technical data

	Typical
Microhardness (HV0.01):	1200
Melting point (°C):	1840
Density (g/cm ³):	4.1
Max. service temperature (°C):	700

Applications

The unique combination of density, high elasticity and a low coefficient of friction, makes MetaCeram 28060 the ideal material for protective coatings on:

Feed rolls for textile machines, drawing rolls, yarn guides, pump shafts, shaft casings, feed rolls for plastic materials, sliding surfaces, sealing rings for bearings.

Procedure for use

The area to be coated should be readily accessible so that the optimum spraying angle (90°) is maintained. For example in blind holes and similar, the flame gases could be trapped causing turbulence in the spray particles and thus defects in the protective coating.

Preparation of surfaces to be coated

The area to be coated must be clean and free of dirt and grease. The utmost cleanliness is essential to ensure perfect bonding between coating and the metal surface. Corners and edges should be eliminated or rounded before spraying. The workpiece should be slightly pre-heated to remove any moisture. Roughening either by grit blasting or grinding should be carried out while the part is still warm. The surface roughness should be at least 30 µm deep. Ceramic grinding wheels should be used for grinding. Corundum is suitable for grit blasting.

Coating procedure

The workpiece should be coated immediately after preparation of the surface, while the part is still warm.

First, a bond coat approximately 0.15 mm thick is applied using 51000 alloy, followed immediately by a coat of MetaCeram 28060.

Typical spray parameters for the CastoDyn DS 8000		
	Bond coat	Coat
	51000	28060
Standard Spray Module	SSM 30 *	SSM 30 *
Setting of container mounting	4	1-2
Flame setting	Neutral	Neutral
Air without extension neck (bar)	3	3
Air with extension neck (bar)	3	3
Spraying distance (mm)	150	100
Rotation speed (m/min)	40	40
Advance (mm/rev)	5	5
Pressure: Ox = 4 bar; Ac = 0.7 bar; Air = 0-6 bar		
* Use at least 2 cylinders of Acetylene		
Start parameters: adjustments may be needed due to application, piece, equipment, etc.		

Machining

Ceramic grinding wheels

Dimensions: Ø 400 mm; width 25-40 mm (average)

Preparation	Finishing	Polishing
11 C 80 F 13 V Pmf *	11 C 320 F 20 V Pfl *	11 C 500 L 3 B *
C 80 2 H 8 AV 18**	Roughness (Ra) 1.5 ± 0.5 µm	Roughness (Ra) 1.0 ± 0.5 µm

Typical machining	Preparation/Finishing	Polishing
Circumferential speed:	30 m/sec.	30 m/sec.
Circumferential speed:	20-23 m/min.	17 m/min.
Translatory speed:	0.4-0.5 m/min.	0.09 m/min.
Depth of path:	0.012-0.02 mm for path.	0.01-0.05 mm for path.
Cooling:	Emulsion (for ex: Blasocut Grindex).	Emulsion (for ex: Blasocut Grindex).

* Schweizerische Schmirgelscheibenfabrik AG 8400 Winterthur (Schweiz).

** Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski KG 6130 Schwaz (Österreich).

Diamond grinding wheels

Designation: Shape 1 A 1 (peripheral disc)

Dimensions: \varnothing 300 mm, width 15-20 mm (average values)

Diamond particle size: D 126-D 151 *, finishing D 54-D91

Concentration: 75-100

Binder: Synthetic or metal **

* *Particle size according to FEPA standards (European Federation of Abrasive Product Manufacturers)*

** *Recommendations.: Synthetic binder B 55*

Metal binder M-263/2

DIAMETAL AG, 2500 Bienne (Switzerland)

Operating parameters:

Wheel peripheral speed: 25-32 m/sec

Workpiece peripheral speed: 50-85 m/min

Table speed: 0.7 m/min, finishing 0.3 m/min

Feed: 0.01-0.02 mm per travel, finishing 0.005-0.01 mm

Coolant: Emulsion (e.g. Polasol, 5 %)

Surface roughness: 1.0-6.0 μm (bronze binder)

Remarks:

The above mentioned operating parameters apply only for cylindrical grinding. Since each firm produces its own specifications, different parameters may be applicable to wheels manufactured by other firms. The above mentioned roughness values are affected by wheel quality and operating procedure.

Packaging and storage

MetaCeram 28060 is available in MegaPak of 1200 g net weight. Safely stack and store products in a dry location to avoid humidity pick up or damage.

Anexo 5.- Datos técnicos del revestimiento Eutalloy® 10009

Atomised Metal Powder

Eutalloy® 10009

For anti-wear coatings

Description

Eutalloy 10009 (BoroTec) is a chrome-nickel alloy with properties which make it ideal for protective coating applications in cases of severe wear on a variety of base metals including stainless and other steels and nickel alloys. The deposit is extremely resistant to corrosion and oxidation, even at high temperatures. -It has a low coefficient of friction and wear resistance properties which make it suitable for protection against metal-to-metal friction.

Eutalloy 10009 is manufactured using a process of atomisation, designed to ensure both optimum spheroidisation and controlled granulometry. This in turn ensures trouble-free applications of the alloy using Eutalloy torch SuperJet.

Eutalloy 10009, applied with the Eutalloy System, produces smooth and uniform quality coatings.

This maintenance-engineered coating technology increases the value and reliability of parts treated, with results far superior to conventional repair processes, as well as savings in costs including machining costs.

Industrial components protectively coated with Eutalloy 10009 can outlast new parts several times over, even making it possible to use cheaper base metals for such components.

Technical data

Melting range (sol./liq.) (°C):..... 965-1210
Hardness (HRC)..... 56-63
Specific gravity (g/cm³): 7.8
Max. service temperature (°C): ~700
Metal-to-metal
friction resistance:..... Excellent
Abrasion resistance: Very good
Heat-stability: Good

Corrosion resistance:..... Good
Machinability:..... By grinding
Base materials:..... Recommended
for steels
including
stainless and
nickel alloys.
Torches: Eutalloy A, B,
KoolTip and
SuperJet.

Applications

Protective coating of conveyor screws, grit-blasting components, turbine guide vanes, wire-drawing dies, fan blades, pump screws.

Procedure for use

Preparation

All surfaces to be coated should be thoroughly cleaned, removing all contaminants, oxides and grease. Thin surfaces and edges require no preheating. Large, heavy parts should be heated to about 300°C (blue hot).

Coating instructions

For coating operations the flame of the Eutalloy SuperJet torch should be adjusted to neutral when the powder feed is on.

To prevent oxidation of the base material we recommend spraying a thin coat of Eutalloy 10009. A second coat is delivered in the following manner: preheat locally to fusion point (when the first coat becomes glazed in appearance), then spray the second coat, moving progressively along the entire surface following this fuse-then-spray procedure.

Distance between the flame cone tip and the molten pool: approx. 6-10 mm.

Leave the part to cool slowly and avoid draughts. Where possible, place it in vermiculite or Kieselgur.

Packaging

For the customer's convenience, Eutalloy 10009 can be obtained in both a 700-gram EcoPak size and a 3500-gram Mega-Pak size.



SuperJet.S. Eutalloy®

Soplete para realizar recubrimientos antidesgaste con las aleaciones en polvo EUTALLOY®



Nuevas mejoras de diseño que suponen:

- Flujos de gases y polvo optimizados a través de los circuitos internos del soplete.
- Incremento de la tasa de proyección en grandes piezas o de fuertes espesores.
 - Mayor control de pequeños depósitos en esquinas y bordes finos.Reduzierter
 - Sobreproyección de polvo minimizada y sus costes de eliminación.
 - Prolongación de la vida en servicio de las piezas e incremento de la productividad industrial.



SUPERJET S. Eutalloy®

Con el proceso Eutalloy se aplican recubrimientos de protección en piezas de máquinas industriales sometidas a desgaste, prolongando su rendimiento en servicio. Se pueden proyectar una amplia gama de aleaciones que se funden y unen metalúrgicamente al sustrato utilizando la última tecnología de proyección SuperJet S. Aprobaciones independientes y extensivos ensayos de campo aseguran un nuevo standard de calidad en los campos del mantenimiento preventivo y aplicaciones de reparación.

Sistema Modular, Multi-Propósito.

SuperJet-S- Eutalloy es un soplete de proyección que puede ser fácilmente adaptado para realizar recubrimientos de superficies, reparación de superficies metálicas planas bordes de precisión ó piezas de rotación. Propiedades únicas del soplete modular SuperJet-S :

- Ensamblaje manual rápido de la lanza con rotación para soldadura toda posición.
- Gama completa de lanzas, cada una con su inyector y mezclador para asegurar una óptima alimentación de polvo para cada ajuste de llama.
- Canal interno de polvo y boquillas diseñados para una máxima resistencia al desgaste y fiabilidad.
- Todos los elementos del soplete son fácilmente accesibles para su limpieza o reemplazamiento.
- Cierre rápido para un rápido reencendido de una llama ajustada sin la necesidad de actuar sobre las válvulas.
- Diseño ergonómico para un fácil y ligero manejo. Escudo térmico de protección orientable.

Diseño Exclusivo con Mejoras de Calidad: El cuerpo de soplete

- Tecnología CNC de mecanizado de precisión para asegurar unas alineación y trayectoria perfectas del paso de gases en el cuerpo monobloque permitiendo un flujo axial y uniforme de polvo, evitando obstrucciones y paradas de mantenimiento.
- La palanca de accionamiento manual de polvo ha sido endurecida superficialmente para incrementar sustancialmente su vida en servicio.
- Los asientos de las válvulas de Ox. y Acetileno han sido tratados superficialmente para una mayor seguridad en el cierre estanco del paso de gas y para una mayor vida en servicio.

Lanzas con montaje integral:

A0 S para recargues puntuales de precisión.

Nueva edición especial para recargues puntuales reparaciones de toque de máxima precisión y la menor cantidad de calor aportada. Pequeñas esquinas y bordes finos susceptibles de sobrecalentamiento y oxidación.

- Optimización de la potencia de llama que reduce las pérdidas por sobre-proyección al mínimo y elimina los costes de la operación de limpieza.
- Tubos de lanzas de acero inoxidable que resisten mucho mejor el calor reflejado de la llama.
- Escudo térmico orientable para una óptima protección en diferentes posiciones de trabajo

A1 S y A2 S para precisión lineal.

Geometría interna de la boquilla completamente rediseñada para generar una llama suave y estable con un corte preciso del paso de polvo. Asegura un mayor control de los perfiles de los depósitos lineales sin sobrecalentamiento o deformación del sustrato.

B3 S y B4 S lanzas intermedias standard. C5 S la lanza de mayor potencia.

- Micromecanizado y pulido de los canales interconectados de polvo y boquillas para un mayor caudal de paso y velocidad de recargue.
- Optimización de la potencia de llama que reduce las pérdidas por sobre-proyección al mínimo y elimina los costes de la operación de limpieza.

Más Fuerte, con Castolin Eutectic
www.castolin.com www.eutectic.com

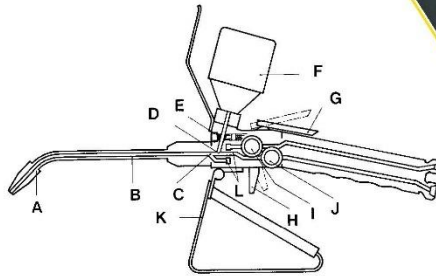


48991-R-05-2020

Superjet -S- Eutalloy® Kits

El kit SuperJet-S- Eutalloy se puede suministrar en un estuche plástico adecuado conteniendo todos los accesorios necesarios para un montaje rápido y fácil, opcionalmente con todas o algunas de las lanzas y con o sin envases de aleaciones en polvo.

- A Boquilla
- B Tubo de lanza giratorio
- C Inyector de polvo
- D Válvula de alimentación de polvo
- E Módulo de polvo Eutalloy
- F Palanca de paso de polvo
- G Mezclador de gas
- H Escudo térmico
- I Cierre rápido
- J Válvula de Acetileno
- K Válvula de Oxígeno



Superjet -S- Eutalloy® Accesorios.

Una lanza refrigerada denominada KoolTip® está disponible como kit opcional accesorio. Este kit se recomienda cuando el SuperJet S está sometido a un factor de trabajo elevado o a prolongados reflejos de calor. La lanza refrigerada por agua facilita y agiliza el trabajo de recubrir piezas grandes y diámetros internos. Opcionalmente, está disponible una tolva de aluminio rellenable, útil para transferir el polvo desde los grandes envases sin tener que desmontarla.



KoolTip® Kit

Superjet -S- Eutalloy® Seguridad Primero

El soplete SuperJet-S- Eutalloy es fácil de utilizar por cualquier operario reuniendo los requerimientos de seguridad más exigentes.

- El empleo de oxígeno puro como gas de transporte minimiza los riesgos de retrocesos.
- Cada lanza incorpora elementos de seguridad para prevenir los retrocesos.
- Cierre de accionamiento rápido sobre los gases sin afectar a los ajustes de la llama
- Escudo térmico ajustable para protección contra la reverberación térmica.

La alimentación del polvo Eutalloy se realiza a el vacío creado por el caudal de gas oxígeno en el inyector. Solamente después de este paso se permite el paso del gas acetileno a la mezcla.

Proyección en frío	Sistema de aportación	Procesos de Fusión
Series de Polvo		Series de Polvo
RotoTec® RotoTec® LT ProXon® MetaCeram®	CastoDyn® DS 8000	Eutalloy® RW
	SUPERJET -S- Eutalloy®	Eutalloy®
	CastoDyn® SF Lanza	Eutalloy® SF
	EUTRONIC GAP	EuTroLoy



Más Fuerte, con Castolin Eutectic
www.castolin.com www.eutectic.com

48991L-FR-07-2020

Castolin Eutectic ofrece una completa gama de polvos Eutalloy autofundentes y otras formulaciones de aleación en polvo, junto con sistemas de aportación apropiados para el recubrimiento de protección de herramientas industriales y componentes de máquinas.

El procedimiento Eutalloy®

El procedimiento Eutalloy está desarrollado para aplicar recubrimientos con espesores entre 0.1-3 mm, en una sola pasada y sobre una amplia gama de piezas metálicas utilizando un soplete oxiacetilénico.

Aleaciones en polvo especiales son proyectadas y fundidas para crear un anclaje fuerte por difusión, sin fundir el sustrato.

Una tecnología avanzada de atomización del polvo en combinación con el nuevo SuperJet facilita su empleo en la mayoría de las aplicaciones preventivas de mantenimiento y reparación dentro de cualquier sector industrial.

CastoDyn® DS 8000

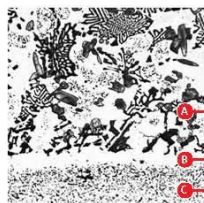
El CastoDyn DS 8000 es un soplete diseñado como un sistema versátil de proyección, para la aplicación de los siguientes tipos de recubrimientos de protección:

- Proyección "en frío" con las aleaciones RotoTec de bajo punto de fusión LT y de autoenganche ProXon y los polímeros termoplásticos de la serie CastoPlast.
- Proyección "en frío" de las aleaciones resistentes al calor y polvos cerámicos MetaCeram.
- Aleaciones para proyección y fusión de la serie Eutalloy RW.

Lanza CastoDyn® SF

La lanza CastoDyn SF Lance es un accesorio del soplete CastoDyn DS 8000 para la proyección y fusión simultáneas, con alta tasa de aportación y un excelente factor de rendimiento.

Esta lanza extensión, está diseñada y optimizada para su uso exclusivo con las aleaciones en polvo autofundentes Eutalloy SF.



Recubrimiento

Zona de Difusión

Metal Base

Exentos de dilución
Anclaje metalúrgico

Eutronic GAP®

El proceso EuTronic GAP emplea un Arco Trans-ferido de Plasma de alta energía, junto con un gas de protección y de arrastre de polvo para el depósito a alta velocidad de recubrimientos de protección.

Las series de aleación en polvo EuTroLoy están formuladas para realizar depósitos repetitivos de alta calidad resistentes al desgaste, con extremadamente baja dilución y distorsión.

Su proveedor de soluciones para la protección, reparación y unión

Pl. de Alcobendas c/San Rafael, 6
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel + 34 914 900 300
Fax + 34 916 626 501
castolinmadrid@castolin.es

Av Josep Anselm Clavé, 21
08820 El Prat de Llobregat (Barcelona)
Tel + 34 902 193 730
Fax + 34 934 781 294
castolinbarcelona@castolin.es

Felipe Serrate, 3
48013 Bilbao
Tel + 34 944 420 550
Fax + 34 944 415 579
castolinbilbao@castolin.es

Av. Salgueiro Maia, 1025 Parque Ind. da Cortai-Arm 20A
Abóboda-2785-501 S. Domingos de Rana (Portugal)
Tel + 35 228 317 087
Fax + 35 228 326 014
thibaut.demoustier@demoustierpt



www.castolin.es - www.castolin.com

Anexo 7.- Catalogo del soplete metalización CastoDyn DS 8000

Equipos División Recubrimientos

CASTODYN® DS 8000



El soplete de proyección térmica CastoDyn DS 8000 está configurado en un avanzado sistema modular, que permite la proyección de una amplia gama de materiales para diversas aplicaciones que van desde las resistentes a la abrasión, hasta las barreras térmicas. El CDS 8000 puede ser usado integrado en configuraciones totalmente automatizadas, como las de producción a larga escala

Para la proyección térmica en caliente, de aleaciones Eutalloy RW

Para la proyección térmica en frío de aleaciones RotoTec y Proxon

Para la proyección térmica en frío de aleaciones MetaCeram

Para la proyección térmica en frío de CastoPlast, polvos plásticos termoendurecibles

Ventajas

- Máxima seguridad para el operario, soplete de muy fácil manejo
- Kit listo para puesta en marcha, con maleta para un fácil transporte
- Módulos de proyección estándar (SSM), para proyección de diferentes materiales
- Sistema único con corte rápido de llama, para mayor seguridad y fácil regulación de la llama

Kit completo 8000 con 4 módulos SSM
Ref. 8000 DS

Módulo	Caudal oxígeno/llama NI/MN	Caudal acetileno NI/MN	Caudal oxígeno (gas de transporte) NI/MN
SSM10	1000	950	240
SSM20	1000	950	240
SSM30	2000	1800	80
SSM40	1000	950	330

124

LANZA CASTODYN SF

La Lanza CastoDyn SF incrementa nuestro rango de aplicaciones, permitiendo al soplete DS 8000 realizar una proyección térmica con fusión simultánea.

Datos Técnicos

Módulo de proyección standard	SSM 50	SSM 51	SSM 52 opcional
Tasa de deposición	4-9 kg/h	2-4 kg/h	1-2 kg/h
Rendimiento típico	>90 %	>90 %	>90 %
Caudal de oxígeno	2000 NI/h	1000 NI/h	500 NI/h
Caudal de acetileno	1900 NI/MN	950 NI/MN	475 NI/MN
Caudal de oxígeno (gas de transporte)	330 NI/MN	240 NI/MN	80 NI/MN
Potencia de llama	~ 28 KW	~ 14 KW	~ 7 KW
Espesor del depósitoN (1 pasada)	1-3 mm	0,8-2,5 mm	0,8-2 mm



El soplete modular CastoDyn DS 8000 junto con la lanza SF es un conjunto robusto, refrigerado por agua que permite la deposición del recargue con una alta eficiencia, pudiéndose emplear tanto de forma manual como semi automatizada.



Esquema del conjunto Lanza SF, módulo y soplete CastoDyn DS 8000



EQUIPOS DIVISIÓN RECUBRIMIENTOS

CASTOLIN M&R

LANZA CASTODYN SF



El kit incluye dos módulos de proyección standard que generan dos potencias de flama diferentes, permitiendo así diferentes espesores de depósito en piezas de diferentes geometrías



LANZA CASTODYN SF EXTRA PLANA



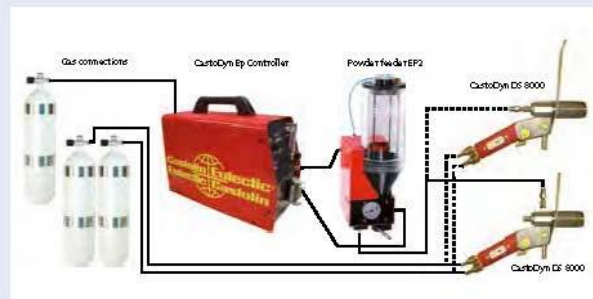
La lanza CastoDyn SF Extra-Flat es una solución cuando el acceso a la zona de recargue representa un problema. Una apertura mínima de 60 mm es suficiente para permitir el acceso de la lanza y la aplicación del recargue. Una aplicación típica es el recargue de decanters con aleaciones altamente resistentes al desgaste. Este conjunto incluye el módulo SSM 51 y una lanza de longitud 380mm

125

Conexiones para CastoDyn DS 8000 y Lanza SF



Controlador CastoDyn EP



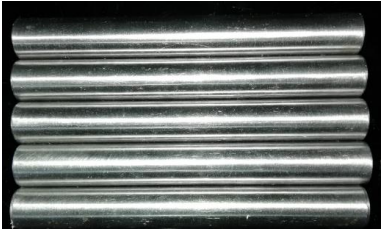





CDS 8000 - Tolva de aluminio

Permite un rápido montaje en el soplete con el sistema de rosca. La parte superior puede ser fácilmente removida para llenar el depósito sin desmontar la tolva. Ideal tanto para el uso convencional del equipo CDS 8000, como para el conjunto con Lanza SF.

EQUIPOS DIVISIÓN RECUBRIMIENTOS

Anexo 8.- Procedimiento estándar para ensayos de desgaste adhesivo

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO	
Preparación inicial de la probeta.	
Corte	
Aplicación del revestimiento por proceso de aspersión térmica.	
Maquinado (Dimensiones de acuerdo a la fig. 2 de la norma ASTM G 83-96), pp. 3	
Pulido	

Etiquetado de las probetas	
Etiquetar de acuerdo al tipo de material	
Identificación de las probetas	
Obtención de las Masas Iniciales de cada una de las probetas antes de ensayar.	
<p>Pesos iniciales de las probetas</p> <p>(Equipo empleado: balanza digital con sensibilidad de 0.1 mg, de acuerdo al literal 6.6 de la norma ASTM G 83-96), pp.3</p>	
Calibración de Parámetros en el equipo, (Tribómetro de ejes cruzados), para el ensayo.	
<p>Carga Velocidad Tiempo</p> <p>(Parámetros de los ensayos de acuerdo a la tabla 1 de la norma ASTM G 83-96), pp. 3</p>	
Montaje de las probetas	
Montaje de la Probeta Fija [36]	

Montaje de la Probeta Móvil. [36]





Obtención de Masas Finales de cada probeta, luego del ensayo.

Pesos finales

(Equipo empleado: balanza digital con sensibilidad de 0.1 mg, de acuerdo al literal 6.6 de la norma ASTM G 83-96), pp.3



Registrar los parámetros obtenidos

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Código:	RED-01																
			Versión:	1																
			Fecha:	4-nov-20																
			Página:	1 de 1																
REGISTRO PARA DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO																				
ESPECIFICACIONES GENERALES																				
Tipo de estudio: Tipo de prueba: Norma para el ensayo: Lugar de Ejecución: Tipo de probeta: Fecha: Observaciones:																				
PARÁMETROS GENERALES PARA EL ENSAYO																				
Equipo utilizado: Tipo de movimiento: Tipo de lubricación: Acondicionamiento de la superficie: Rugosidad de la superficie: Limpieza de la superficie: Responsable: Observaciones:																				
PARÁMETROS GENERALES DE LA NORMA ASTM G83-96																				
Procedimiento <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Fuerza Aplicada</td> <td style="text-align: right;">Kgf</td> </tr> <tr> <td>Revoluciones (rev)</td> <td style="text-align: right;">rev</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (rpm)</td> <td style="text-align: right;">rpm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo (min)</td> <td style="text-align: right;">min</td> </tr> </table> Observaciones:					Fuerza Aplicada	Kgf	Revoluciones (rev)	rev	Velocidad (rpm)	rpm	Tiempo (min)	min								
Fuerza Aplicada	Kgf																			
Revoluciones (rev)	rev																			
Velocidad (rpm)	rpm																			
Tiempo (min)	min																			
DATOS TÉCNICOS DE LOS MATERIALES DE LAS PROBETAS																				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Probeta Móvil</td> <td style="text-align: right;">Probeta Estática</td> </tr> <tr> <td>Material:</td> <td style="text-align: right;">Material:</td> </tr> <tr> <td>Revestimiento:</td> <td style="text-align: right;">Revestimiento:</td> </tr> <tr> <td>Código:</td> <td style="text-align: right;">Código:</td> </tr> <tr> <td>Densidad:</td> <td style="text-align: right;">Densidad:</td> </tr> <tr> <td>Dureza:</td> <td style="text-align: right;">Dureza:</td> </tr> <tr> <td>Diámetro:</td> <td style="text-align: right;">Diámetro:</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td style="text-align: right;">Longitud:</td> </tr> </table> Observaciones:					Probeta Móvil	Probeta Estática	Material:	Material:	Revestimiento:	Revestimiento:	Código:	Código:	Densidad:	Densidad:	Dureza:	Dureza:	Diámetro:	Diámetro:	Longitud:	Longitud:
Probeta Móvil	Probeta Estática																			
Material:	Material:																			
Revestimiento:	Revestimiento:																			
Código:	Código:																			
Densidad:	Densidad:																			
Dureza:	Dureza:																			
Diámetro:	Diámetro:																			
Longitud:	Longitud:																			
	Registrado por:	Revisó:	Aprobó:																	
Nombre:																				
Cargo																				

Fórmulas para el cálculo del coeficiente de desgaste K

Cálculo de la Densidad

$$\delta = m/v$$

δ = densidad del material gr/mm³

m = masa (gr)

v = volumen (mm³)

$$v = \pi * r^2 * l$$

l = longitud (mm)

Cálculo del Desgaste en gramos (gr)

$$\Delta m = m_i - m_f$$

m_i = masa inicial (gr)

m_f = masa final (gr)

Cálculo del Volumen de Material Perdido (mm³)

$$\text{Volumen de material perdido} = ((m_i - m_f) / \delta) * 1000$$

δ = gr/cm³

Cálculo de la Distancia Total Deslizada (mm)

$$L = d * \pi * \# \text{ rev del ensayo}$$

d = diámetro (mm)

Cálculo del Volumen de Desgaste

$$Vd = V / t$$

V = Volumen perdido (mm³)

t = Tiempo real del ensayo (min)

Cálculo del Coeficiente de Fricción (K Experimental)

$$K = V * H / P * S$$

V = Volumen de desgaste (mm³)

H = Dureza (carga por unidad área) (kg/mm²)

K = Distancia de deslizamiento (mm)

P = Carga aplicada (kg)

Evaluación de Resultado.

Probeta estática

Probeta móvil

(Formulas estadísticas de acuerdo al literal X1.2, para el cálculo de la desviación estándar según norma ASTM G83-96), pp. 5



Anexo 9.- Ensayo de Dureza Brinell



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA <i>Laboratorio – Ingeniería Mecánica</i>			
ENSAYO DUREZA BRINELL			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	De laboratorio	ORDEN N°:	005
Identificación del componente de estudio:	Acero 1018 - Recubrimientos		
Solicitado por:	Ing. Neris Zambonino	Fecha:	12/12/2020
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía - FICM		
PARÁMETROS			
Equipo:	Durómetro para elementos Metálicos		
	Temperatura Ambiente:	Dureza:	Iluminación:
	18.60 ° C	BRINELL	Luz Natural
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		N/A	
Temperatura durante el pulido:	24 °C	Superficie preparada en:	Moldeo
RESULTADOS:			
PROBETA Eutalloy® - 10009			
Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2.71	1.084	193
2	2.69	1.076	196
3	2.73	1.092	190
4	2.84	1.156	169
5	2.74	1.096	189
PROMEDIO	2.742	1.1008	187.4

PROBETA Acero 1018 - Eutalloy® - 10009

Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.30	1.32	147,00
2	3.18	1.272	153,00
3	3.2	1.28	155,00
4	3.18	1.272	153,00
5	3.25	1.3	151,00
PROMEDIO	3.222	1.2888	151,80

PROBETA RotoTec® - 29011

Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.05	1.22	150
2	3.02	1.208	154
3	3.09	1.236	146
4	3.04	1.216	151
5	3.00	1.2	156
PROMEDIO	3.04	1.216	151.4

PROBETA Acero 1018 - RotoTec® - 29011

Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.01	1.204	154
2	2.99	1.196	158
3	3.01	1.204	154
4	3.1	1.24	145
5	3.09	1.236	146
PROMEDIO	3.04	1.216	151.4

PROBETA MetaCeram® - 28060

Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2.64	1.056	204
2	2.61	1.04	209
3	2.84	1.136	175
4	2.62	1.04	211
5	2.69	1.076	197
PROMEDIO	2.68	1.0696	199.2

PROBETA Acero 1018 - MetaCeram® - 28060

Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.1	1.24	145
2	3.04	1.216	152
3	2.98	1.192	158
4	3.05	1.22	150
5	2.99	1.196	157
PROMEDIO	3.032	1.2128	152.4

CONCLUSIÓN:

- La probeta del recubrimiento Eutalloy 10009 tiene una dureza Brinell promedio de 187,4 HB, con una resistencia a la tracción de 90 Kpsi.
- La probeta de acero 1018 con recubrimiento tiene una dureza Brinell promedio de 151,8 HB, con una resistencia de la tracción de 76 Kpsi.
- La probeta del recubrimiento RotoTec 29011 tiene una dureza Brinell promedio de 151,4 HB, con una resistencia a la tracción de 76 Kpsi.
- La probeta de acero 1018 con recubrimiento RotoTec 29011 tiene una dureza Brinell promedio de 151,4 HB, con una resistencia de la tracción de 76 Kpsi.
- La probeta del recubrimiento MetaCeram 28060 tiene una dureza Brinell promedio de 199,2 HB, con una resistencia a la tracción de 100 Kpsi.
- La probeta de acero 1018 tiene una dureza Brinell promedio de 152,4 HB, con una resistencia de la tracción de 80 Kpsi.

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

PROBETA Acero 1018 Eutalloy® - 10009



PROBETA Recubrimiento Eutalloy® - 10009



PROBETA Acero 1018 RotoTec® - 29011



PROBETA Recubrimiento RotoTec® - 29011



PROBETA Acero 1018 MetaCeram® - 28060



PROBETA Recubrim. MetaCeram® - 28060



Firmado electrónicamente por:
EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ

Ing. Sebastián Villegas S
TÉCNICO DE LABORATORIO
INGENIERÍA MECÁNICA

Anexo 10.- Pesos iniciales y finales del ensayo de desgaste adhesivo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



**PESO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DESGASTE
ADHESIVO**

SOLICITADO POR: ING. NERIS ZAMBONINO

FEBRERO 2021
AMBATO – ECUADOR







INFORME
Lb1-0001-2021
Objetivo

Obtener el peso de distintas probetas antes y después del ensayo de abrasión en metales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)		
Tipo de material:	ROTOTEC®29011		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5
			

CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
RT_29011_01	100,2052		99,9172	
RT_29011_02	99,1523		98,8591	
RT_29011_03	99,8181		99,4909	
RT_29011_04	99,5171		99,1995	
RT_29011_05	99,8670		99,5849	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)		
Tipo de material:	ACERO SAE 1018		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5
			












CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
SAE-1018_RT_01	99,5842		99,3266	
SAE-1018_RT_02	99,8723		99,6272	
SAE-1018_RT_03	99,6965		99,4479	
SAE-1018_RT_04	99,6853		99,4354	
SAE-1018_RT_05	98,9234		99,6381	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales		Campus Huachi
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)		
Tipo de material:	METACERAM® 28060		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5
			

CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
MC_28060_01	99,8230		99,6781	
MC_28060_02	99,8278		99,6885	
MC_28060_03	100,2009		100,0684	
MC_28060_04	99,1742		99,0370	
MC_28060_05	99,4804		99,3536	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)		
Tipo de material:	ACERO SAE 1018	Orden: 001	
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5
			

CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
SAE 1018_MC_01	97,9632		97,9586	
SAE 1018_MC_02	97,1908		97,1858	
SAE 1018_MC_03	92,0500		92,0457	
SAE 1018_MC_04	98,0400		98,0353	
SAE 1018_MC_05	91,1187		91,1138	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
DATOS INFORMATIVOS:				
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato	
Lugar:	Laboratorios de Materiales		Campus Huachi	
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)			
Tipo de material:	EUTALLOY® 10009			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5	
				
CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
E_10009_01	99,9204		99,8913	
E_10009_02	98,7389		98,7110	
E_10009_03	99,5488		99,5219	
E_10009_04	100,0196		99,9928	
E_10009_05	99,6294		99,6006	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	01/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales		Campus Huachi
Equipo:	Balanza de precisión (0.0001 gr)		
Tipo de material:	ACERO SAE 1018		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Dimensiones (mm):	Φ12,6 mm x 101 mm	Nº de probetas:	5
			

CODIFICACIÓN	PESO INICIAL	IMAGEN	PESO FINAL	IMAGEN
SAE 1018_E_01	99,3883		99,1208	
SAE 1018_E_02	99,1270		98,8678	
SAE 1018_E_03	99,2961		99,0329	
SAE 1018_E_04	99,1719		98,8861	
SAE 1018_E_05	99,1064		98,8560	



Escaneado con el lector de documentos para:
EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ

Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Anexo 11.- Tabla chi cuadrado

Distribución Chi Cuadrado χ^2

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2493	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361