

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



**REPARACION DE EJE DE BOMBA WARMAN 650 MCR MEDIANTE EL
PROCESO DE TERMOROCIADO DE PROYECCION DE POLVO POR
COMBUSTION**

Tesis presentada por la Bachiller:

Paco Acosta Diego Renzo

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecánico

Asesor:

Ing. Alvarez Florez Darwin Reynaldo

Arequipa – Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 16 de Septiembre del 2020

Dictamen: 000761-C-EPIMMEM-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000761, presentado por:

2013242901 - PACO ACOSTA DIEGO RENZO

Titulado:

**REPARACIÓN DE EJE DE BOMBA WARMAN 650 MCR MEDIANTE EL PROCESO DE
TERMOROCIADO DE PROYECCION DE POLVO POR COMBUSTION**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1634 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE
DICTAMINADOR**



**1734 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de tesis a mis padres Omar y Raquel, todo lo que conseguí es gracias a su apoyo incondicional. También quiero agradecer a mi hermano de quién estoy muy orgulloso.



Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme llevar a cabo con éxito esta investigación y brindarme la fuerza y persistencia necesaria para la culminación de este trabajo que me permitirá adquirir en grado de Ingeniero Mecánico.

Agradezco a mis padres, familiares y personas cercanas por ayudarme y apoyarme en todo momento, gracias por sus consejos y la paciencia en el tiempo que se llevó acabo esta investigación.

Agradezco al ingeniero Darwin Alvares y Hermann Alcázar por brindarme su experiencia, tiempo y conocimiento, gracias por la valiosa colaboración en la elaboración del presente trabajo.

También quiero agradecer a los supervisores, personal administrativo y personal técnico de la empresa que me guió por el camino correcto para adquirir el conocimiento adecuado y por brindarme su ayuda en todo momento.

RESUMEN

En la actualidad la ingeniería y la ciencia de materiales trabajan constantemente para desarrollar procesos que mejoran el rendimiento operativo de las piezas mecánicas que sufren algún tipo de falla o desgaste en la superficie producido por algunos de los mecanismos más comunes de desgaste como el desgaste por fricción, erosión, corrosión y cavitación.

El proyecto de tesis comprende la reparación y evaluación del mantenimiento mediante el proceso de rociado térmico de proyección de polvo por combustión aplicado al eje de bomba Warman 650 MCR, utilizada en el sector minero. Debido a que el desgaste y la pérdida de medidas nominales es un problema muy frecuente en la maquinaria, lo que podría ocasionar una parada de mantenimiento que afectaría directamente a la producción. En el presente trabajo se detalla paso a paso como se llevó a cabo la reparación del eje, desde que ingresa a planta hasta el momento de la inspección final para realizar su envío. Se evaluó el estado inicial del eje respetando normas internacionales para ver si aún cumplía con los requisitos necesarios para el mantenimiento o si era necesaria la fabricación de una pieza nueva. La reparación fue aplicada respetando los parámetros dados por el fabricante.

Se concluye que la reparación es económicamente viable frente a la fabricación de una pieza nueva, el análisis de costos muestra que la reparación por rociado térmico obtiene un ahorro de 8400 dólares aproximadamente. Además de obtener excelentes resultados siempre y cuando se aplique un procedimiento adecuado. El eje se repara cada dos años y ha pasado más de un año desde que fue reparado y entregado.

Palabras clave: Rociado térmico, proyección, combustión, reparación, desgaste.

ABSTRACT

At present, engineering and materials science are constantly working to develop processes that improve the operational performance of mechanical parts that suffer some type of failure or wear on the surface produced by some of the most common wear mechanisms such as friction wear, erosion, corrosion and cavitation.

The thesis project includes the analysis of the application of the combustion dust projection thermal spray process to carry out the repair of a Warman 650 MCR pump shaft, used in the mining sector. Because wear and loss of nominal measurements is a very frequent problem in machinery, which could cause a maintenance stop that would directly affect production. In this work, it is detailed step by step how the shaft repair was carried out, from the moment that it enters at the plant until the time of the final inspection for shipment. The initial condition of the shaft was evaluated according to international standards to see if it still met the necessary requirements for maintenance or if it was necessary to manufacture a new part. The repair was applied respecting the parameters given by the manufacturer.

It is concluded that the repair is economically viable compared to the manufacture of a new part, the cost analysis shows that the thermal spray repair obtains a saving of approximately \$8,400. In addition to obtaining excellent results as long as a suitable procedure is applied. The shaft is repaired every two years and it has been more than a year since it was repaired and delivered.

Key words: Thermal spray, projection, combustion, repair, wear.

INTRODUCCION

Actualmente la tecnología de re-utilización y mantenimiento tienen gran importancia, es por eso que el rociado térmico es una gran opción dentro del mantenimiento correctivo y preventivo, esto debido a que presenta algunas características como fácil aplicación, aumento de vida útil y variedad de materiales y sustratos con los que se puede trabajar.

Muchos de los trabajos de recuperación de piezas se realizan con soldadura y esto se debe a que algunas personas creen la recuperación de por rociado térmico tiende a fallar, pero no es del todo cierto, debido a que gran parte de estas fallas se producen por una práctica inadecuada. Es por eso que se lleva a cabo esta investigación, que busca realizar la reparación y evaluación del mantenimiento de un eje realizando una correcta aplicación del rociado térmico y un análisis de costos para poder determinar si el rociado térmico es una opción económicamente viable. Muchas veces los costos hacen que la mejor opción sea cambiar de pieza antes de repararla.

En el capítulo I se describe la actualidad de la tecnología de rociado térmico y la importancia que se ve reflejada en las aplicaciones. En el capítulo II se resumen los fundamentos teóricos necesarios para llevar a cabo esta investigación y familiarizarse con el tema. En el capítulo III se explica algunos pasos previos que se den realizar antes de empezar con el proceso de reparación, estos pasos harán que la aplicación del rociado térmico sea la adecuada, ya que se debe seleccionar un revestimiento y proceso de acuerdo al uso de la pieza a reparar, dureza del material, condiciones de trabajo y tipo de desgaste. El primer paso para lograr lo propuesto fue identificar los diferentes procesos y sistemas para la aplicación del rociado térmico para tener en cuenta las características de cada proceso y seleccionar el

proceso que permita obtener una alta eficiencia a bajo costo. En nuestro caso trabajaremos con un acero DIN 34 Cr Ni Mo 6, es importante que el revestimiento tenga propiedades mecánicas iguales o superiores al material base, también se tuvo en cuenta el tipo de desgaste, las condiciones de trabajo y el estado inicial del eje, ya que es necesario no exceder el límite de espesor de capa que tiene cada revestimiento. En el capítulo IV se describe como se realizó la reparación en el taller paso a paso. Primero se realizó un control dimensional para saber el espesor de capa necesaria para recuperar el ajuste, luego se determinó el ajuste adecuado para cada rodamiento, esto se realizó con la ayuda de los catálogos proporcionados por las empresas fabricantes de los rodamientos Tinkem y FAG. También se realizó una adecuada preparación superficial de la pieza de trabajo según las recomendaciones de Sager S.A., por lo que después de generar una superficie con la rugosidad necesaria se prosiguió a aplicar una delgada capa de una aleación de NiAl o NiCr para incrementar la adhesión entre el revestimiento y el sustrato. Se propone utilizar el método de preparación superficial de Sager S.A. debido a que es una empresa europea dedicada al desarrollo y producción de productos para protección de superficies y uniones especiales mediante soldaduras. En el capítulo V se presenta un análisis de costo de la aplicación del rociado térmico y de la fabricación de un nuevo eje, para evaluar si la reparación del eje es la mejor opción.

El mantenimiento se llevó a cabo en una empresa metalmecánica con más de 15 años de experiencia dedicada al mantenimiento de elementos de maquinaria minera e industrial. El taller se encuentra en la ciudad de Arequipa y el cliente también lleva a cabo sus operaciones en dicha ciudad. La investigación abarca la recopilación de información a través de la práctica y la experiencia adquirida por la supervisión de varios trabajos de reparación de ejes a través del rociado térmico de la mano con técnicos de larga experiencia en el tema, entrevistas no estructuradas con el personal técnico con el fin de obtener datos reales y

experiencias sobre el proceso. La cotización se llevó a cabo con datos reales aplicados por la empresa a la hora de realizar cotizaciones teniendo en cuenta costos directos e indirectos, tiempo requerido para llevar a cabo la reparación y la inclusión de parámetros de acuerdo a normas internacionales necesarias para cada procedimiento dentro del trabajo, ya que aplicar rociado térmico sin tener en cuenta parámetros como deflexión, ajuste, preparación superficial y precalentamiento llevaría a una baja adherencia y bajo rendimiento del revestimiento.



ÍNDICE

<i>Dedicatoria</i>	iii
<i>Agradecimiento</i>	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCION.....	vii
 CAPITULO I.....	 2
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Definición del problema	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1.Objetivo general.....	3
1.2.2.Objetivos específicos	4
1.3. Limitaciones.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Usos y aplicaciones	6
 CAPITULO II	 11
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Rociado térmico.....	11
2.1.1.Antecedentes	11
2.1.2.Definición	13
2.1.3.Clasificación de los procesos de rociado térmico	17
2.1.3.1.Rociado térmico según la fuente de energía	17
2.1.3.1.1.Combustión de gases	17
2.1.3.1.2.Energía eléctrica.....	17
2.1.3.2.Rociado térmico según el tipo de depósito	18
2.1.3.2.1.Rociado térmico en frío	18
2.1.3.2.2.Rociado térmico en caliente.....	19
2.1.4.Procesos de revestimiento por rociado térmico.....	19
2.1.4.1.Proyección de polvo por combustión	19
2.1.4.2.Proyección de alambre por combustión	20
2.1.4.3.Proyección de alambre por arco eléctrico	21
2.1.4.4.Proyección pro plasma	21
2.1.4.4.1.Proyección por plasma de arco no transferido	21

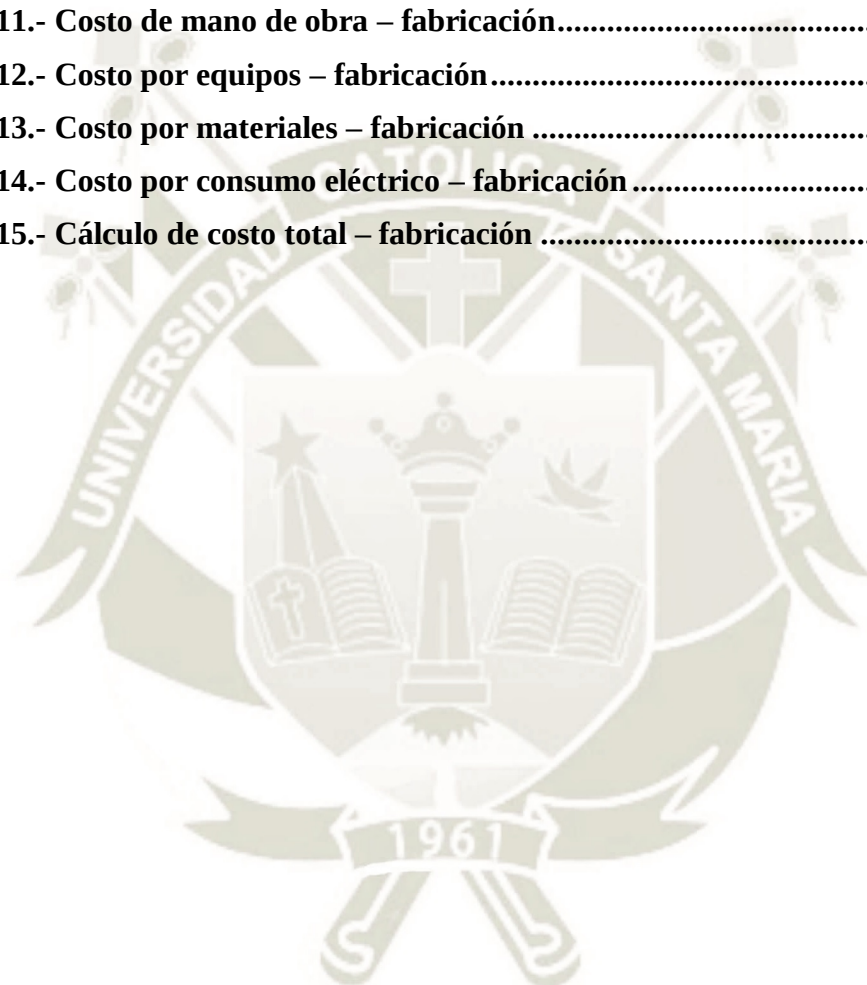
2.1.4.4.2.	Proyección por plasma de arco transferido	22
2.1.4.5.	Proyección de alta velocidad oxi-combustible (HVOF).....	23
2.1.5.	Características de revestimiento.....	25
2.1.5.1.	Protección contra desgaste	25
2.1.5.2.	Protección contra corrosión.....	25
2.1.5.3.	Revestimientos aislantes.....	25
2.1.6.	Ventajas y desventajas	26
2.2.	Bomba warman 650 MCR.....	27
2.2.1.	Características de bomba Warman serie MC	29
2.2.2.	Generalidades del eje	30
CAPITULO III.....		34
3.DESARROLLO DE LA INVESTIGACION		34
3.1.	Características de eje.....	34
3.2.	Selección del proceso de rociado térmico.....	35
3.3.	Materiales de aporte.....	37
3.4.	Selección del revestimiento.....	38
3.5.	Equipo utilizado en la proyección	45
3.6.	Seguridad en el proceso de rociado térmico	47
CAPITULO IV		51
4.REPARACION DE EJE.....		51
4.1.	Control dimensional inicial	51
4.2.	Ensayo de líquidos penetrantes	53
4.3.	Deflexión	56
4.3.1.	Definición	56
4.3.2.	Medida de deflexión.....	58
4.4.	Ajuste y tolerancia de rodamientos.....	61
4.5.	Preparación superficial	63
4.5.1.	Definición	63
4.5.2.	Métodos de preparación superficial	63
4.5.2.1.	Arenado o granallado.....	63
4.5.2.2.	Mecanizado	68
4.5.3.	Procedimiento de preparación superficial	69
4.6.	Control dimensional final.....	72

CAPITULO V.....	79
5.COSTOS PARA EL PROCESO DE ROCIADO TERMICO.....	79
5.1. Cálculo de material necesario para NU2252-E-M1A	82
5.2. Cálculo de material necesario para HH949549-902A2.....	85
5.3. Cálculo de costo para la reparación.....	87
5.3.1.Costo por mano de obra	87
5.3.2.Costo por equipos y herramientas.....	88
5.3.3.Costo por materiales	89
5.3.4.Costo por consumo eléctrico	91
5.3.5.Costo total	91
5.4. Cálculo de costo para la fabricación de un nuevo eje.....	92
5.4.1.Costo por mano de obra	92
5.4.2.Costo por equipos y herramientas.....	93
5.4.3.Costo por materiales	93
5.4.4.Costo por consumo eléctrico.....	94
5.4.5.Costo total	94
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS	100
APENDICE.....	103

Índice de tablas

Tabla 2.1.- Temperatura de fuentes de calor para los procesos de rociado térmico	15
Tabla 2.2.- Rango de velocidad de impacto de partículas pulverizadas.....	16
Tabla 2.3.- Cuadro resumen de procesos de rociado térmico.....	24
Tabla 2.4.- Características y dimensiones de bomba Warman 650 MCR	28
Tabla 2.5.- Descripción de los rodamientos de apoyo	32
Tabla 3.1.- Designaciones del VCN en normas internacionales.....	34
Tabla 3.2.- Composición química del VCN	34
Tabla 3.3.- Datos y propiedades mecánicas del eje	35
Tabla 3.4.- Características generales del proceso de proyección de polvo	37
Tabla 3.5.- Características de los materiales de aporte	38
Tabla 3.6.- Materiales de aporte	39
Tabla 3.7.- Familias de revestimiento en polvo	40
Tabla 3.8.- Descripción de aleaciones y recubrimientos	41
Tabla 3.9.- Características de Metaceram 29012	44
Tabla 3.10.- Características de CastoDyn DS 8000.....	45
Tabla 3.11.- Duración de nivel de ruido admisible	49
Tabla 4.1.- Control dimensional inicial	52
Tabla 4.2.- Control dimensional inicial del diámetro interior del rodamientos.....	53
Tabla 4.3.- Clasificación del examen de líquidos penetrantes	54
Tabla 4.4.- Tiempos de penetración mínimo recomendado.....	55
Tabla 4.5.- Deflexión máxima en ejes	58
Tabla 4.6.- Deflexion maxima permitida.....	58
Tabla 4.7.- Deflexión inicial	60
Tabla 4.8.- Especificaciones y precisión de rodamientos	61
Tabla 4.9.- Ajuste y tolerancia para la reparación	62
Tabla 4.10.- Normas internacionales de preparación superficial.....	64
Tabla 4.11.- Grados de norma SPCC	65
Tabla 4.12.- Demasía de revestimiento para mecanizado	74
Tabla 4.13.- Control dimensional final.....	75
Tabla 4.14.- Ajuste real eje - rodamiento	75
Tabla 5.1.- Componentes principales de costos en taller	81
Tabla 5.2.- Datos de consumo para Metaceram.....	84
Tabla 5.3.- Costo de mano de obra directa – rociado térmico.....	88

Tabla 5.4.- Costo de mano de obra indirecta – rociado térmico.....	88
Tabla 5.5.- Costo por equipos – rociado térmico	89
Tabla 5.6.- Costo por materiales – rociado térmico	90
Tabla 5.7.- Tabla de conversión de gases	90
Tabla 5.8.- Costo por consumo eléctrico – rociado térmico.....	91
Tabla 5.9.- Cálculo de costo total – rociado térmico	91
Tabla 5.10.- Cálculo de masa del eje	92
Tabla 5.11.- Costo de mano de obra – fabricación.....	93
Tabla 5.12.- Costo por equipos – fabricación.....	93
Tabla 5.13.- Costo por materiales – fabricación	93
Tabla 5.14.- Costo por consumo eléctrico – fabricación	94
Tabla 5.15.- Cálculo de costo total – fabricación	94



Índice de figuras

Figura 2.1.- Esquema de la primera pistola de aspersión por alambre	12
Figura 2.2.- Esquema del revestimiento por rociado térmico.....	14
Figura 2.3.- Diagrama de proceso de proyección de polvo por combustión	20
Figura 2.4.- Diagrama de proceso de proyección de alambre por combustión.....	20
Figura 2.5.- Diagrama de proceso de proyección de alambre por arco eléctrico.....	21
Figura 2.6.- Diagrama de proceso de proyección de plasma no transferido	22
Figura 2.7.- Diagrama de proceso de proyección de plasma transferido	23
Figura 2.8.- Diagrama de proceso de proyección de alta velocidad	24
Figura 2.9.- Cuadro de selección rápida de serie MC.....	28
Figura 2.10.- Bomba Warman serie MC	30
Figura 2.11.- Ensamble general de Warman 650 MCR.....	31
Figura 2.12.- Vista general de camisa porta-rodamiento	31
Figura 3.1.- Equipo de proyección de polvo – CastoDyn DS 8000	46
Figura 3.2.- Partes de pistola CastoDyn DS 80000.....	46
Figura 4.1.- Estado inicial de eje.....	51
Figura 4.2.- Estado inicial en las zonas afectadas	52
Figura 4.3.- Puntos de control dimensional inicial.....	52
Figura 4.4.- Fundamentos del ensayo por líquidos penetrantes	54
Figura 4.5.- Inspección NDT por líquidos penetrantes	56
Figura 4.6.- Montaje de eje sobre torno	59
Figura 4.7.- Deflexión inicial de eje	59
Figura 4.8.- Puntos para medir deflexión.....	60
Figura 4.9.- Proceso de arenado	67
Figura 4.10.- Muestra de los grados de preparación superficial.....	68
Figura 4.11.- Preparación superficial	69
Figura 4.12.- Limpieza de la zona a revestir	70
Figura 4.13.- Retiro de capa dañada	70
Figura 4.14.- Debaste inicial	71
Figura 4.15.- Area cubierta por solución R-104.....	71
Figura 4.16.- Preparación superficial de la zona dañada	72
Figura 4.17.- Zona de aplicación de revestimiento	73
Figura 4.18.- Aplicación de Metaceram 29012.....	73
Figura 4.19.- Puntos de control dimensional final	74

Figura 4.20.- Control dimensional final	75
Figura 4.21.- Acabado superficial para rodamiento NU2252-E-M1A	76
Figura 4.22.- Acabado superficial para rodamiento HH949549-902A2.....	76
Figura 4.23.- Estado final de eje	77
Figura 5.1.- Proceso para la elaboración de productos y servicios en taller metalmecánico	80
Figura 5.2.- Datos de Metaceram 29012	81





CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBELMA

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Definición del problema

En la actualidad gran parte de equipos y elementos de máquinas usados para actividades productivas y extractivas como la minería están sometidos a altos niveles de desgaste por fricción, abrasión, corrosión y cavitación. En la industria minera y energética piezas como las paletas de los rotores de bombas o turbinas también sufren desgaste y por lo general se optaba por reemplazar de forma total o parcial la parte desgastada. Por ejemplo, es muy común reparar rotores aunque una opción usual es cambiar las paletas y reemplazarlas con materiales más resistentes a la abrasión como planchas bimetálicas. Las planchas bimetálicas son planchas de acero a la que se le agregan aleaciones de carburo de cromo para que sean más resistentes al desgaste. La dificultad se encuentra al momento de soldar las paletas con el alma del rotor, debido a que por el aporte de calor que genera la soldadura, las paletas tienden a inclinarse a un lado, lo que no permite que las paletas y el rotor queden perpendiculares uno respecto del otro. Se debe tener mucho cuidado con la forma de las paletas, el radio de curvatura debe ser exactamente igual al de las paletas originales. Construir un nuevo rotor presenta los mismos problemas y adicionalmente un mayor costo. Los ejes son piezas que antiguamente requerían un procedimiento de reparación por soldadura para recuperar las propiedades mecánicas y medidas nominales, el mayor problema de la soldadura es el aporte térmico que genera.

En la industria automotriz existe gran variedad de partes del motor y del vehículo en general que también están sometidas a altos niveles de desgaste, por lo que el proceso de rociado térmico es un gran aporte para realizar el mantenimiento de piezas con desgaste donde lo que se requiere

es recuperar las medidas nominales, alargar la vida útil de la pieza y un bajo costo de mantenimiento.

Es por esto que se lleva a cabo este proyecto, con la intención de reconocer los puntos que se deben tener en cuenta para poder llevar a cabo una reparación exitosa y disminuir costos de mantenimiento. El rociado térmico es un proceso de que se lleva a baja temperatura, lo que asegura que la pieza a reparar no va a sufrir modificaciones geométricas. Se busca conocer el rociado térmico como un proceso efectivo para combatir el desgaste superficial, evitar el deterioro de las piezas de trabajo y alargar su vida útil, es por eso que se trabajará con la preparación superficial propuesta por la empresa Sager S.A. debido a que la preparación superficial de la pieza es un paso fundamental para asegurar la adhesión entre el revestimiento y el sustrato. Sager S.A. es considerada una de las empresas con mayor dominio dentro del área de recubrimientos, es por eso que este procedimiento ha logrado tanta acogida sobre todo en los rubros azucarero y paplero donde se vienen realizando varios trabajos de revestimiento. (Armas Ramos, 2019)

1.2. Objetivos

Para la realización de este trabajo, se plantearon los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo general

- Realizar la reparación y evaluación del mantenimiento del eje de bomba Warman 650 MCR, mediante la aplicación del proceso de rociado térmico de proyección de polvo por combustión.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los procesos para la aplicación del rociado térmico, describir el funcionamiento del proceso de proyección de polvo por combustión y seleccionar el revestimiento más adecuado, que presente una alta eficiencia a bajo costo.
- Describir el procedimiento de rociado térmico y los cuidados necesarios que se debe tener para llevar a cabo el proceso de proyección.
- Identificar y llevar a cabo la reparación respetando las indicaciones de preparación superficial, selección y aplicación del revestimiento del método desarrollado por Sager S.A.
- Determinar los costos de la aplicación del proceso de rociado térmico para la reparación de ejes de bombas centrífugas sometidos a desgaste por fricción.
- Determinar los costos para la fabricación de un eje y evaluar si el proceso de rociado térmico presenta ventaja económica frente a la fabricación de un nuevo eje.

1.3. Limitaciones

El presente proyecto caracterizará el procedimiento con el que se realizó la reparación de un eje de acero DIN 34 Cr Ni Mo 6 se mostrará el estado inicial de como llegó el eje a planta realizando un control dimensional, como fue despachado y cada paso realizado por el personal encargado, más no se realizará ningún tipo de ensayo.

1.4. Justificación

El rociado térmico es un proceso simple de bajo costo y fácil aplicación que se utiliza para la recuperación de superficies, normalmente accesorios rotativos de algunas máquinas, como ejes o

rotores. El mantenimiento industrial se usa para aumentar la disponibilidad inmediata de repuestos y disminuir costos de reparaciones. Con ello se logra un aumento en la disponibilidad de sistemas críticos y se reduce drásticamente la compra de repuestos (Marulanda A. & Trujillo S., 2007). El rociado térmico cuenta con la ayuda de una gran variedad de revestimientos como aislantes térmicos, eléctricos y conductores con características tales como dureza, resistencia a la oxidación, fricción y abrasión. Las aleaciones de Fe-Cr-Mo son una buena opción, ya que se utilizan en recubrimientos para proteger componentes que están sometidos a condiciones de desgaste y corrosión (Guevara Chávez, Acevedo Dávila, Hernandez Gutierrez, Ruiz Mondragon, & Zambrano-Robledo, 2016). Normalmente en estos tipos de elementos sufren desgaste por fricción o abrasión y lo que se busca es recuperar las dimensiones nominales, con la ayuda de un material superior o con las mismas propiedades del material base.

Antiguamente para la reparación de estos accesorios se utilizaban otros métodos como recuperación por soldadura, fabricación de un casquillo o el uso de un revestimiento brochable

que demandaban mucho personal de trabajo, muchas horas-hombre y material de trabajo para llevar a cabo el proceso, lo que hacía la reparación muy costosa o deficiente, tanto como para tener como opción la fabricación de una pieza nueva en vez de repararla.

La recuperación por soldadura es un proceso caro, donde se usa más de un material de aporte para llevar a cabo su reparación, por lo general se usa un tipo de soldadura como base y otro tipo con mejores propiedades mecánicas para el acabado. Lo relevante en este proceso es que se debe controlar la deformación en la zona de trabajo, así como condiciones específicas de acuerdo a la soldadura a utilizar.

La deformación de la pieza se produce gracias al fenómeno de la dilatación y contracción. Al calentar un metal aumenta su volumen y este fenómeno se conoce como dilatación, luego de ser calentado tiende a enfriar y disminuir su volumen, esto se conoce como contracción, ambos fenómenos traen como consecuencia la deformación de las piezas soldadas y la formación de tensiones internas que debilitan la junta soldada. Debemos tener en cuenta que la deformación máxima de un eje de transmisión es 0.01 pulg/ft de longitud y en eje de máquinas es de 0.001-0.002 pulg/ft de longitud (Barzola, s.f.).

En el proceso de maquinado de casquillo se debe tener en cuenta dos aspectos. El primero es el ajuste, si el ajuste es demasiado alto el casquillo podría fracturarse de lo contrario, si el ajuste es muy holgado el casquillo podría girarse provocando desgaste y reducción de la vida útil del eje y rodamiento. El segundo aspecto a tener en cuenta es la deformación del casquillo debido a la temperatura, si el casquillo es muy delgado hay la posibilidad que se deforme el diámetro exterior con tan solo estar expuesto al sol, de lo contrario si el casquillo es más grueso se dificulta el embone. Evidentemente la deformación del casquillo es de décimas o centésimas de milímetro, pero recordemos que estos ejes trabajan con elementos de precisión como rodamientos que también tienen un ajuste recomendado por el fabricante.

1.5. Usos y aplicaciones

Barrera térmica

El rociado térmico se usa como barra térmica o TBC (Thermal Barrier Coating), en motores diesel, turbinas a gas, automóviles y generación de energía, se usa revestimientos de baja conductividad para cubrir componentes que trabajan a elevadas temperaturas con el fin de y

facilitar el funcionamiento de las piezas disminuir la temperatura. Una capa de 0,30 mm de espesor de aislante por TBC puede reducir la temperatura de componentes de la turbina en hasta 300°C (Marulanda Arévalo, Trisancho Reyes, & Gonzáles B., 2014). El uso de materiales compuestos por Niobio, Cromo y Tungsteno aumenta la dureza de las piezas, dan resistencia al desgaste abrasivo, la corrosión y funcionan como barrera térmica (Rojas Sáenz, 2012).

Industria Automotriz

En la industria automotriz se usa recubrimientos resistentes al desgaste por fricción para cubrir el interior de los cilindros y pistones. Por otro lado, M. Grujicic *et al.* del centro internacional de investigación del automóvil junto con el grupo BMW realizaron un estudio económico sobre la viabilidad de la producción de una pieza con núcleo metálico recubierto por un molde de plástico y lograr combinar las funciones estructurales y no estructurales de una serie de componentes para el uso de piezas automotrices que van desde el tablero del auto hasta el parachoques. (Villa, Dosta, Fernández, & Guilemany, 2012)

Industria aeronáutica

El rociado térmico se usa en la manufactura y en la industria aeronáutica, para proporcionar características especiales a las superficies expuestas a de trabajo especiales. El rociado térmico se emplea para proteger los sistemas hidráulicos del tren de aterrizaje y como barrera térmica para las turbinas, lo que provoca un menor consumo de refrigerante (Yané Montezuma, 2019).

Industria naval

La industria naval es un campo donde los componentes se encuentran sometidos a desgaste y corrosión producto del trabajo en medios agresivos y también producto de la cavitación en

bombas y hélices. Otro factor importante es el desgaste por movimiento de cargas que se puede observar en engranajes y cables de amarre, en los casos donde se necesita combatir desgaste por cavitación o corrosión por el trabajo en medios agresivos los revestimientos obtenidos por medio del rociado térmico son la mejor opción en cuanto a costo y versatilidad. (Armas Ramos, 2019)

Industria textil

Las empresas que trabajan con maquinaria textil usan rociado térmico para los rodillos que están en contacto con los hilos, la superficie debe ser muy lisa para evitar la rotura del hilo y maximizar la producción, normalmente se usan productos cerámicos con una capa intermedia de níquel que proporciona una mejor adhesión.

Prótesis

Otro uso de los recubrimientos se encuentra la hidroxiapatita, que es un material biocompatible que se usa en ortopedia, odontología y cirugías maxiofaciales. Actualmente se usa esmalte dental que es elaborado de productos artificiales con poca resistencia. Adicionalmente la hidroxiapatita es capaz de solucionar algunas limitaciones que presentan las prótesis de Titanio, ya que el revestimiento de hidroxiapatita sobre la prótesis acelera el crecimiento del hueso en la fase de oseointegración y mejora la fijación del injerto. (Peón, y otros, 2017)

La hidroxiapatita también se usa en la creación de prótesis a base de huesos ovinos procesados, esta solución es más barata que las prótesis de titanio y presentan una solución para implantes de ortopedia. En oftalmología como implantes orbitarios, en donde si una persona sufre pérdida total o parcial del globo ocular, con este implante se podría rellenar la parte libre que dejó la pérdida del globo ocular.

En Perú empresas como Ferreyros usan el proceso de rociado térmico y mecanizado de piezas desgastadas para posteriormente montarlas en motores y sistemas de transmisión de carros mineros. Actualmente el proceso de termo-rociado no es muy común en la industria peruana, esto se debe a que el usuario no tiene la certeza que el proceso dé los resultados esperados, ya que el proceso aparte de recuperar la superficie desgastada, mejora las propiedades mecánicas, físicas y químicas superficiales de la pieza. El proceso se desarrolló inicialmente en 1920, se viene desarrollando nuevas tecnologías en la actualidad y hay gran cantidad de estudios que revelan los grandes beneficios obtenidos.

Castolin Eutectic lanzó un revestimiento con componentes cerámicos conocido como XuperCoat para revestir placas y tubos, estos tubos se usan normalmente en fundición de aceros, protegiendo los moldes de cobre del desgaste provocados por el acero caliente. Se podría utilizar el rociado térmico como opción al cromado, que genera protección contra la corrosión y desgaste. Se podría utilizar revestimientos de cromo puro o carburos. El aspecto del cromado se puede lograr por medio del pulido.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Rociado térmico

2.1.1. Antecedentes

El rociado térmico tiene un notable desarrollo desde 1909, año dónde Max Ulrich Schoop obtuvo la patente en Reichsgericht in Leipzig, hoy en día conocido como el tribunal administrativo federal de Alemania. La idea surgió luego de ver que sus hijos jugaban a tirar bolas de plomo en las paredes del jardín, dónde se había formado un revestimiento de plomo. Poco después Max Ulrich construyó su primer equipo de rociado térmico que consistía de un compresor que suministraba aire que era calentado al pasar por un serpentín tubular. El aire caliente propulsaba el metal fundido que provenía del recipiente y era proyectado como un fino rocío, que debería adherirse a la superficie preparada superficialmente para recibirlo. Después Schoop y sus colaboradores decidieron que sería posible rociar polvos para obtener revestimientos con mayor adherencia. Los experimentos mostraron que eso solo era posible si las partículas en el polvo eran calentadas lo suficiente por el gas, el cual las proyectaría. En 1912 construyeron su primer equipo de aspersión que constaba de una turbina acoplada a un sistema reductor, el proceso consistía en fundir un alambre metálico con una llama oxiacetilénica y proyectarlo con la ayuda de aire presurizado. (Romero López, 2013).

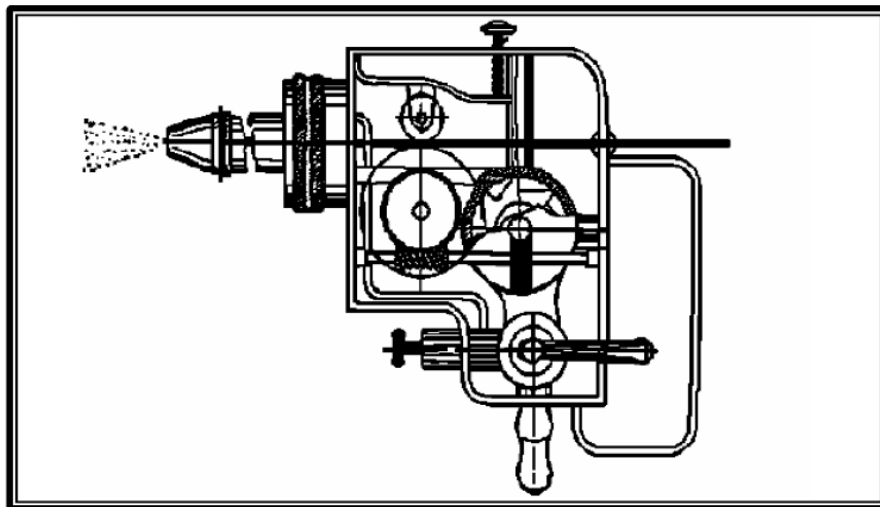


Figura 2.1: Esquema de la primera pistola de aspersión por alambre. - Romero López, 2013

El proceso de revestimiento de superficies lleva más de 100 años desde la primera vez que se aplicó y al igual que el revestimiento por soldadura o soldadura de mantenimiento se logra alargar la vida útil de la pieza revestida con mayores índices de rendimiento y reducción en el número de fallas, un beneficio muy importante, sobre todo en sistemas críticos es el aumento de disponibilidad de piezas, ya que el tiempo necesario para revestir una pieza y maquinarla es por mucho menor que el tiempo que tomará revestir la pieza con soldadura.

Son muchos los factores que pueden dañar una pieza causando deformaciones, como por ejemplo el desgaste, la fatiga y la corrosión. Los revestimientos son un medio eficaz y rápido con el que se logra combatir el desgaste al momento en que el equipo deje de trabajar en condiciones óptimas, de esta forma se logra optimizar la disponibilidad de los equipos. Los tipos más conocidos de desgaste son: Abrasión, erosión, cavitación, impacto y desgaste por deslizamiento.

El rociado térmico no afecta la estructura molecular de la pieza, las propiedades mecánicas no varían ya que se trabaja por debajo del punto de fusión de los materiales. Incluso se podría generar un distensionado térmico al llegar a los 150°C – 250°C si es que presenta deformaciones

o si fue sometida a mecanizado, lo que provocaría una reducción de tensiones residuales evitando la formación de fisuras y el descascaramiento. Cada logro obtenido por Eutectic + Castolin ha sido puesto a prueba bajo sobrecalentamiento básico obteniendo resultados satisfactorios, debido que se requiere revestimientos que protejan el metal base de las posibles distorsiones que se podría generar (Chicol Cabrera, 2004).

Los revestimientos vienen sufriendo grandes cambios, pero los nuevos materiales como polímeros y compuestos se adecuan al uso y tienen propiedades superiores a los materiales tradicionales, es por eso que la ingeniería de la superficie vienen creciendo drásticamente, debido a los altos costos de los materiales avanzados y a la creciente necesidad de elevar la vida útil del componente, así como su disponibilidad. Villa, Dosta, Fernández, & Guilemany (2012) afirman que la mayor parte de obras en ingeniería provienen de la fundición, por lo que la empresa Pratt & Whitney desarrolló un modelo de análisis de costo sobre la deposición de polvo por láser usando titanio como materia prima. Se obtuvo que el costo de materia prima podría reducirse en un 50%, la reelaboración y acabado en un 75 %, y el molde, fundido/vertido y los costes de fundición son eliminados. Alrededor del 70 % del coste de la cadena de valor podría ser reducido o eliminado.

2.1.2. Definición

El rociado térmico también conocido como termo-rociado, termal spray o metalizado es un proceso en el que se proyectan partículas metálicas o no metálicas para ser depositadas en forma fundida o semi-fundida sobre un sustrato (material base), las partículas son proyectadas con la ayuda de aire comprimido que viaja a través del equipo.

La Figura 2.2 es una imagen del proceso del rociado térmico. El revestimiento es formado por gotas de metal que al ser proyectadas sobre la superficie se aplanan y solidifican formando el revestimiento que se ancla mecánicamente a la superficie. El rociado térmico consta de dos etapas, la primera es la atomización donde ocurre el rompimiento del material de aporte en gotitas y la segunda etapa es la deposición que va desde que las gotitas interactúan con el gas de transporte hasta que el material de aporte impacta en la superficie del sustrato. (Moreano Merchán, 2012)

El revestimiento es formado por la unión cohesiva entre capas de partículas proyectadas. Las capas de revestimiento pueden ser formadas por gran variedad de materiales, como puede ser polímeros, cerámicos, acero inoxidable, aluminio, zinc, bronce y carburos.

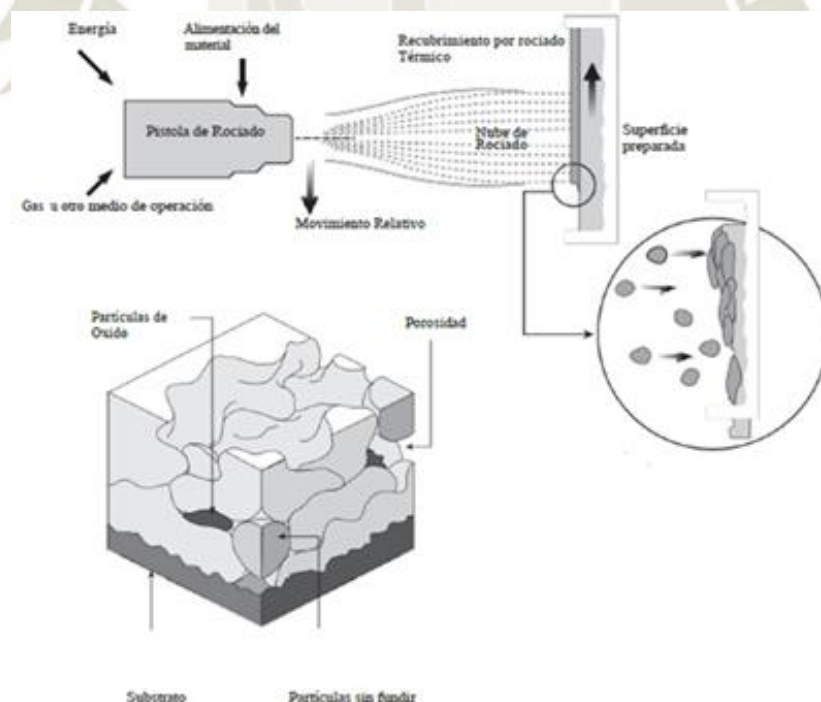


Figura 2.2: Esquema del revestimiento por rociado térmico. - Metal Spray Coating Corp., 2015

El rociado térmico consta de una fuente de poder, que normalmente es una compresora que suministra aire a presión, un material de aporte en forma de polvo o alambre y una fuente de calor que puede ser la reacción entre gases como el oxígeno y acetileno, un arco eléctrico, un arco de plasma o la detonación de una mezcla explosiva. La fuente de calor logra calentar el material de aporte hasta obtener un estado fundido o semi-fundido, con la ayuda de la corriente de aire presurizado se logra proyectar el material de aporte a través de la pistola, depositando material a gran velocidad sobre la superficie de la pieza a reparar.

En la Tabla 2.1 se observa el rango de temperaturas con las que trabajan las distintas fuentes de calor según el proceso aplicado, tener en cuenta que la tabla hace referencia a las temperaturas de la fuente de calor, no a la del material de aporte.

Tabla 2.1: Temperatura de fuentes de calor para los procesos de rociado térmico. - Moreano Merchán, 2012

FUENTE	TEMPERATURA (°C)
Propano, Oxígeno	2,526 – 2,640
Gas Natural, Oxígeno	2,538 – 2,735
Hidrógeno, Oxígeno	2,660 – 2,690
Propileno, Oxígeno	2,843
MAPP*, Oxígeno	2,927
Acetileno, Oxígeno	3,000 – 3,100
Arco Eléctrico	2,500 – 3,000
Arco Plasma	2,200 – 28,000

El gas más utilizado es el acetileno debido que presenta el mayor poder calorífico 1,470 BTU/pie³. El propano y el hidrógeno se utilizan para materiales con un bajo punto de fusión como zinc o aluminio. Es importante resaltar que las propiedades finales de la pieza reparada son mejores o iguales que las propiedades originales, son más resistentes al desgaste, ataque químico y altas temperaturas a pesar que el revestimiento presenta poros y óxidos (YanéZ Montezuma, 2019). La cara superficial de la pieza a reparar debe tener una rugosidad alta, la que permita

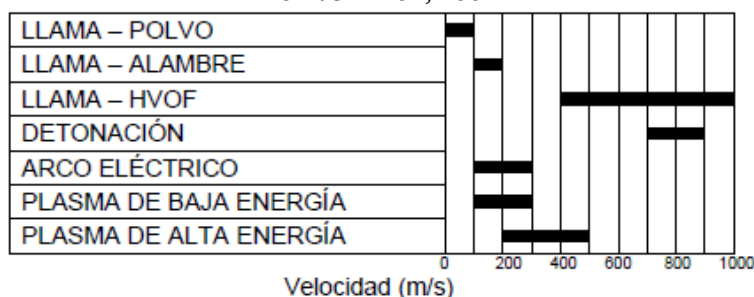
aumentar la adhesión del revestimiento, evidentemente los poros y oxido son propios del proceso. El proceso de rociado térmico se da por adhesión, no por fusión. La adhesión depende de una serie de factores como es estado del sustrato, rugosidad superficial, limpieza, temperatura del sustrato antes de la aspersion y la velocidad de impacto.

En la Tabla 2.2 se observa el rango de velocidad con la que el material de aporte impacta sobre la superficie a reparar. La velocidad con la que se proyecta el material de aporte sobre la superficie preparada depende de varios factores:

- Presión del aire
- Material de aporte
- Equipo de rociado térmico
- Distancia de aplicación entre la pistola y el sustrato

Cada uno de estos factores depende del tipo de proceso utilizado, porque de acuerdo al proceso se selecciona un equipo (pistola o antorcha) que trabaja con determinados parámetros establecidos por el fabricante.

Tabla 2.2: Rango de velocidad de impacto de partículas pulverizadas. –
Porras Mirón, 2007



2.1.3. Clasificación de los procesos de rociado térmico

2.1.3.1. Rociado térmico según la fuente de energía

2.1.3.1.1. Combustión de gases

Estos procesos utilizan la energía producida por la llama para poder proyectar las partículas fundidas del revestimiento, estos revestimientos pueden estar en forma de alambre, polvo o varilla. Los materiales usados tienen un punto de fusión menor a los 2000 °C y la temperatura de la llama varía de 2700 a 3100°C (Marulanda Arévalo, Tristanchó Reyes, & Gonzáles B., 2014). Cuando la fuente de energía es por combustión existen dos sistemas de proyección que son subsónicos o hipersónicos.

Los sistemas de proyección subsónicos constan de una mezcla de gases, generalmente se usa propano, propileno, acetileno y oxígeno para generar la energía necesaria y fundir el material de aporte que puede ser en forma de polvo o alambre. Los sistemas de proyección hipersónicos se mezclan gases explosivos como acetileno y oxígeno, se cargan con el material de aporte en forma de polvo para ser depositados sobre la superficie del material base.

2.1.3.1.2. Energía eléctrica

Cuando la fuente de energía es eléctrica existen dos sistemas de proyección que son arco y plasma. El sistema de arco normalmente usa metales en forma de alambre para producir un arco eléctrico continuo y con la ayuda de aire proyectarlo sobre la superficie a reparar. El sistema de plasma usa una pistola que tiene la característica de generar un arco de plasma en el que se inyecta material de aporte en forma de polvo.

2.1.3.2. Rociado térmico según el tipo de depósito

2.1.3.2.1. Rociado térmico en frío

Proceso de rociado térmico que consiste en proyectar partículas metálicas sobre el sustrato a velocidades supersónicas producidas por gases presurizados (helio o nitrógeno) a temperaturas entre 300 y 800°C. Uno de los mayores atractivos de la técnica de proyección fría es la posibilidad de obtener recubrimientos con unas propiedades únicas que los procesos convencionales son capaces de alcanzar, debido a que el cold spray trabaja con el material de aporte en estado sólido, a diferencia de los procesos convencionales que deben fundir el material de aporte para poder proyectarlo. Esto produce que las reacciones de descomposición u oxidación son prácticamente eliminadas. (Villa, Dosta, Fernández, & Guilemany, 2012)

La principal diferencia entre los sistemas convencionales y el cold spray es que la energía cinética es mucho mayor que la energía térmica, los procesos convencionales necesitan ambos tipos de energía. El proceso de cold spray presenta una velocidad mucho mayor que es procedimiento HVOF. Villa, Dosta, Fernández, & Guilemany (2012) afirman que el cold spray presenta distintas ventajas sobre los procesos convencionales:

- Disminuye la porosidad del revestimiento debido a la alta velocidad de proyección.
- Disminuye los óxidos en el revestimiento debido a que no se llega a fundir el material de aporte, la reactividad superficial es menor que en los procesos convencionales.
- La composición y micro estructura del material se mantiene.
- El costo de aplicación es mucho menor que cualquier proceso convencional de rociado térmico aproximadamente en un 30%.

2.1.3.2.2. Rociado térmico en caliente

También llamado rociado térmico por detonación, este proceso se lleva a cabo proyectando partículas en estado fundido o semi-fundido producto de la combustión de gases o energía eléctrica. El material de aporte se encuentra en forma de alambre o polvo. Dentro de los procesos se tiene como ejemplo los procesos convencionales como poder flame, plasma arc, wire arc y High velocity oxy-fuel (HVOF).

2.1.4. Procesos de revestimiento por rociado térmico

Como se explicó anteriormente los procesos difieren en varios aspectos como el estado del material de aporte, porosidad, dureza y espesor de recubrimiento, pero una diferencia fundamental relaciona con los aspectos mencionados anteriormente es la cantidad de energía térmica y cinética impartida a las partículas de pulverización por cada proceso. La energía térmica está relacionada a la temperatura que alcanza la llama y la energía cinética está relacionada a la velocidad del gas. (Metal Spray Coating Corp., 2015)

2.1.4.1. Proyección de polvo por combustión

El proceso de polvo por combustión o flame powder utiliza material de aporte en forma de polvo, se funde por la reacción entre dos gases como acetileno y oxígeno, es conducido a través de la pistola y depositado sobre la superficie gracias a aire comprimido. Este proceso cuenta con mayor número de materiales a disposición que procesos como el de proyección de alambre por combustión, por lo que es el proceso más económico y el más usado en el mercado. El gas más usado es el acetileno, por ser uno de los que tiene mayor temperatura de llama con el menor costo. (Metal Spray Coating Corp., 2015)

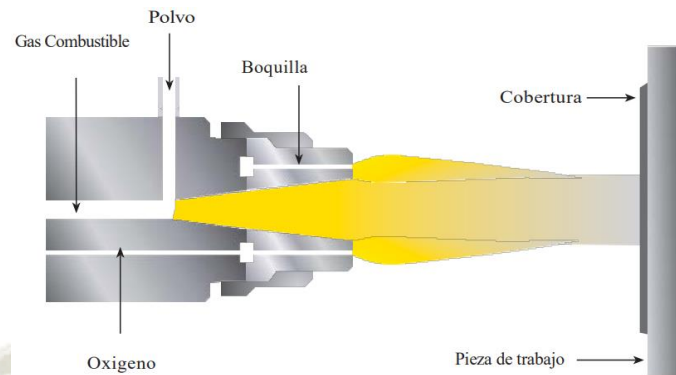


Figura 2.3: Diagrama de proceso de proyección de polvo por combustión. – Metal Spray Coating Corp., 2015

2.1.4.2. Proyección de alambre por combustión

El proceso de proyección de alambre por combustión o flame wire es similar al proceso de proyección de polvo, con la diferencia que la reacción de los gases funde el material de aporte que se encuentra en forma de alambre, que se alimenta de forma concéntrica para ser depositado sobre la superficie a recuperar.

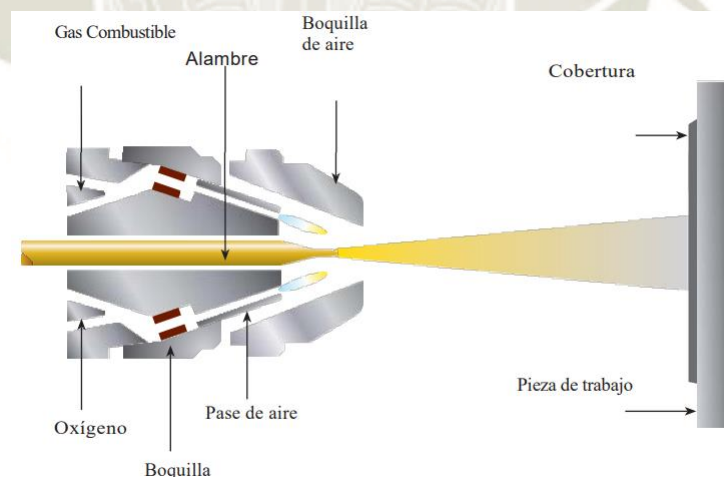


Figura 2.4: Diagrama de proceso de proyección de alambre por combustión. – Metal Spray Coating Corp., 2015

2.1.4.3. Proyección de alambre por arco eléctrico

Rociado térmico por arco eléctrico también conocido como arc spray o wire spray, es un proceso que usa como fuente de calor energía eléctrica, consta de dos alambres, uno positivo y otro negativo que al tener contacto cierran circuito, pulverizando la punta de contacto entre ambas y siendo conducido a través de la pistola por aire comprimido. La cantidad de material pulverizado se regula por la velocidad de alambre suministrado.

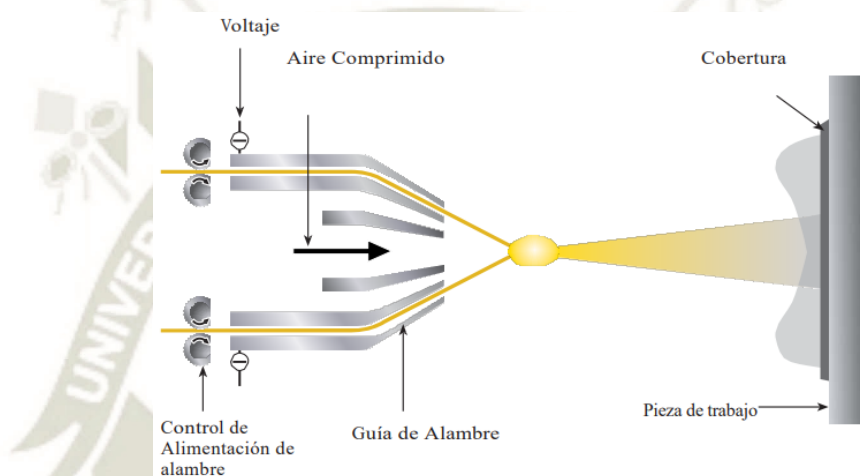


Figura 2.5: Diagrama de proceso de proyección de alambre por arco eléctrico. – Metal Spray Coating Corp., 2015

2.1.4.4. Proyección pro plasma

El proceso de proyección por plasma o plasma spray existen dos tipos de procesos:

2.1.4.4.1. Proyección por plasma de arco no transferido

Consta de un ánodo de cobre y un cátodo de tungsteno que generan un arco de alta frecuencia, los gases suministrados (helio, neón, etc.) se ionizan generando un haz de plasma. El polvo suministrado es proyectado por el haz de plasma que llega hasta los 15700°C (dentro del haz de plasma). El sistema es refrigerado por agua.

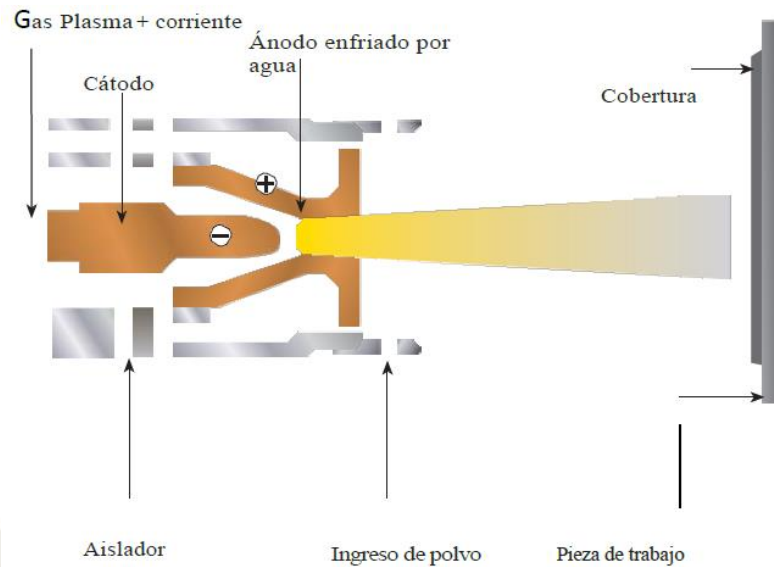


Figura 2.6: Diagrama de proceso de proyección de plasma no transferido. – Metal Spray Coating Corp., 2015

2.1.4.4.2. Proyección por plasma de arco transferido

En este proceso se tiene un electrodo en la punta de la antorcha que sirve como cátodo y el sustrato como ánodo. Este proceso es considerado como una combinación del proceso de soldadura con el rociado térmico, donde la fusión y la profundidad de penetración están controladas por la corriente del arco.

El proceso es parecido a proceso de soldadura GMAW, donde hay un gas protector para el material de aporte que es expulsado a través de la antorcha, por lo que los revestimientos son densos. Otro beneficio del proceso es que puede ser alimentado por polvo o alambre.

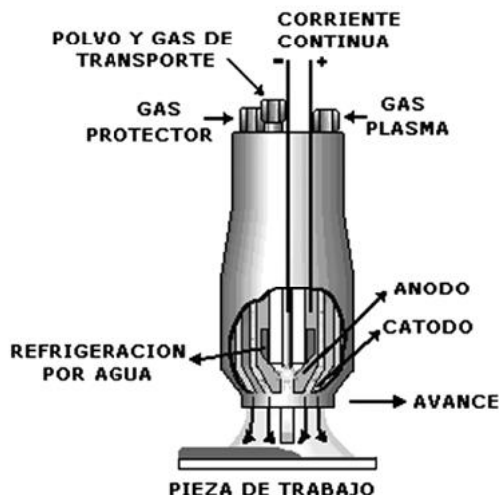


Figura 2.7: Diagrama de proceso de proyección de plasma transferido. - Marulanda Arévalo, Tristanco Reyes, & Gonzáles B., 2014

2.1.4.5. Proyección de alta velocidad oxi-combustible (HVOF)

High velocity oxy-fuel (HVOF) es un proceso similar a la proyección de polvo por combustión, la diferencia está en que usa un chorro supersónico para proyectar el polvo sobre la superficie, lo que incrementa las propiedades del depósito porque la velocidad de impacto sobre el sustrato es mayor.

El rociado de alta velocidad por combustión con oxígeno emplea una flama como fuente de calentamiento del material obtenida a partir de la combustión de oxígeno y gas combustible, el material absorbe energía térmica y posteriormente es impulsada hacia el sustrato con la ayuda de aire comprimido, alcanzando velocidades supersónicas del gas mayor a 1800 m/s y de las partículas arriba de los 600 m/s. El proceso HVOF forma revestimientos densos de baja porosidad con una adherencia mayor a 13 000 psi. (YanéZ Montezuma, 2019)

Otras ventajas del revestimiento son las bajas tensiones residuales y la poca sensibilidad al ángulo de rociado. El mecanismo de combustión se encuentra al final del chorro, a diferencia del proceso convencional que lo lleva en la parte inicial.

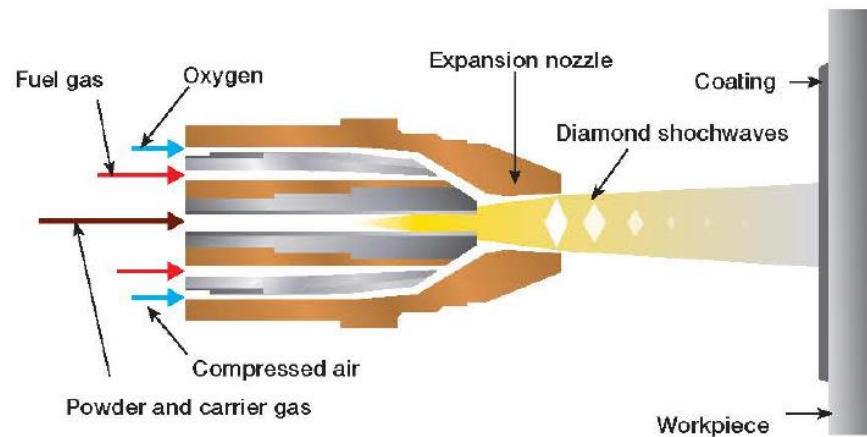


Figura 2.8: Diagrama de proceso de proyección de alta velocidad. – Metal Spray Coating Corp., 2015

En la Tabla 2.3 se muestra rápidamente algunas características de los distintos tipos de procesos de rociado térmico:

Tabla 2.3: Cuadro resumen de procesos de rociado térmico. – Elaboración propia

	Fuente de calor	Material de aporte	Velocidad de impacto (m/s)
Flame powder	Combustión	Polvo	0 - 100
Flame wire	Combustión	Alambre	100 - 200
Wire arc	Arco eléctrico	Alambre	100 - 300
Plasma spray	Arco eléctrico	Polvo	100 - 500
HVOF	Combustión	Polvo	400 - 1000

2.1.5. Características de revestimiento

2.1.5.1. Protección contra desgaste

Uno de los usos más importantes de los recubrimientos aplicados por rociado térmico es para protección contra desgaste. En estas aplicaciones, la cerámica y los materiales de carburo son muy utilizados (Metal Spray Coating Corp., 2015).

2.1.5.2. Protección contra corrosión

Materiales como el hierro fundido, aceros de bajo carbono (0.08% - 0.25%) y aceros no aleados son muy susceptibles a la corrosión, por lo que se podría aplicar protección superficial con la ayuda de revestimientos de aluminio o zinc. Recubrimientos densos con aluminio o zinc pueden ser aplicados para resistir las más severas condiciones de corrosión y dar de 5 a 15 años de vida útil, prácticamente sin ningún mantenimiento (Marulanda A., Zapata Meneses, & Isaza Velásquez, 2007).

2.1.5.3. Revestimientos aislantes

La barrera térmica se usa a menudo, ya que aumenta la vida útil del componente al reducir la temperatura superficial y también aumenta la eficiencia ya que aumenta la pérdida de calor a la misma temperatura de funcionamiento. Estos sistemas constan de dos capas, una capa de $MCrAlY$ ($M = Fe, Ni$ o Co) y otra capa de cerámico. Los materiales cerámicos son excelentes aislantes térmicos y eléctricos. También poseen buena resistencia a la oxidación y al desgaste. Estas características son muy útiles en los componentes de un motor y de la turbina como revestimiento de barrera térmica (Metal Spray Coating Corp., 2015).

La barrera térmica se usa a menudo, ya que aumenta la vida útil del componente al reducir la temperatura superficial y también aumenta la eficiencia ya que aumenta la pérdida de calor a la misma temperatura de funcionamiento. Estos sistemas constan de dos capas, una capa de $MCrAlY$ ($M = Fe, Ni$ o Co) y otra capa de cerámico.

2.1.6. Ventajas y desventajas

Ventajas

- Los revestimientos obtenidos por el rociado térmico agregan características y mejoran el funcionamiento de la superficie sin afectar la microestructura del material base.
- El rociado térmico aumenta la vida útil de operación del componente en un 75% aproximadamente y reduce el tiempo de reparación.
- Una ventaja importante del rociado térmico es la capacidad de retirar el revestimiento y poder revestir nuevamente la pieza.
- Reducción de costo y tiempo de mantenimiento, alargue de vida útil del componente.
- Actualmente se está usando revestimientos para barrera térmica que consiste en la aplicación de metales con baja conductividad térmica sobre elementos que trabajan a gran temperatura, reduciendo la fatiga térmica y aumentando la vida útil del componente. La reducción de temperatura es de $300^{\circ}C$ por cada 0.3mm de espesor.

Desventajas

- Algunos materiales de aporte requieren técnicas especiales para su aplicación. Tener en cuenta que no todos los materiales se pueden aplicar sobre todos los sustratos.
- Cargas puntuales podrían desprender la capa de revestimiento, los revestimientos no son resistentes a desgaste por impacto.
- Los costos de aplicación comparados con los procesos de pintura son más caros en un 50%.

2.2. Bomba Warman 650 MCR

Las bombas Warman serie MC son usadas en circuitos de molienda, sometidas a uso de desgaste agresivo, trabaja con partículas de gran tamaño, densas y abrasivas. Es la mejor opción para trabajar en la zona de descarga de molienda abrasiva y bombeo de mineral chancado. La serie MC lleva más de 25 años trabajando en investigación para lograr incorporar lo último en aleación dura y tecnología de elastómeros para prolongar la vida útil. Existen tres tipos de combinaciones disponibles como: MCU, MCR y MCM.

- MCR: Revestimiento interno de elastómero (liners), carcasa exterior de hierro dúctil, impulsor de metal y colchón de elastómero y bastidor revestido de liners.
- MCU: Carcasa exterior de metal blanco, impulsor de metal y bastidor revestido de placas metálicas.
- MCM: Revestimiento metálico de hierro duro en el interior, carcasa de hierro dúctil, impulsor de metal y revestimiento de placa.

En el Apéndice 1 se puede observar una tabla con las dimensiones generales de una bomba Warman 650MCR.

Tabla 2.4: Características y dimensiones de bomba Warman 650 MCR. - Weir Minerals Services, 2018

Dimensiones Warman 650 MCR	
Alto	3.309 m
Largo	3.498 m
Ancho	3.343 m
Características Warman 650 MCR	
Tamaño de descarga	5"-34" (155-850mm)
Capacidad	12500 m ³ /hr
Altura de descarga	150 ft (46m)
Presión	130 psi (900Kpa)

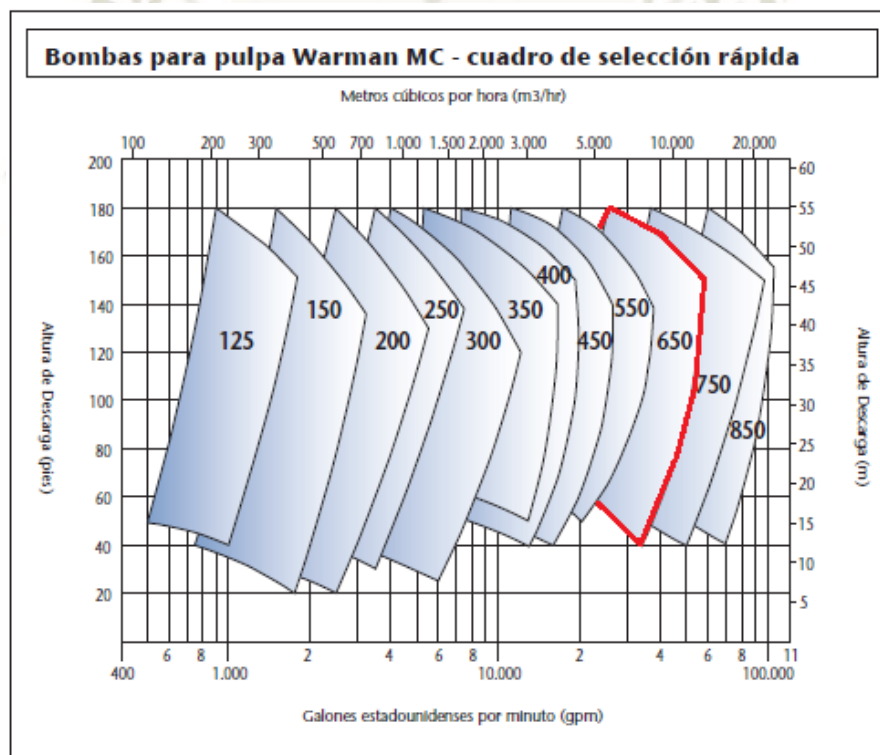


Figura 2.9: Cuadro de selección rápida serie MC. - Weir Minerals Services, 2018

2.2.1. Características de bomba Warman serie MC

- La serie MC con modelos MCR, MCM y MCU son modelos de fácil centrado, que usan un sistema de prensa estopa que alarga la vida de la empaquetadura y reduce el mantenimiento de los sellos. El eje que se aloja en el sistema de prensa estopa, es el eje que estudiaremos y en el que se realizará la reparación.
- Las bombas de la serie MC poseen una carcasa dura y resistente, elastómeros de alto rendimiento, con impulsores de aleación que alargan la vida útil.
- Posee un revestimiento lateral ajustable, sin necesidad de parar el funcionamiento de la bomba.
- Eje impulsor de menor tamaño, lo que reduce la flexión en el eje y alarga la vida útil de prensa estopas, rodamientos y empaquetadura.
- El revestimiento metálico que posee la serie MC y los elastómeros de fácil cambio, reducen los costos de mantenimiento.
- Impulsores de gran tamaño que trabajan a baja velocidad con bajos costos de operación y mayor vida útil.
- Posee rodamientos que facilitan su mantenimiento, sin necesidad de ser desmontados.



Figura 2.10: Bomba Warman serie MC. - Weir minerals Australia Ltd, 2009

2.2.2. Generalidades del eje

En nuestro caso, vamos a reparar el eje que va alojado en una camisa porta-rodamiento. Este eje conecta el impulsor con el motor eléctrico, que permite accionar la bomba. En la Figura 2.11 se puede observar el ensamble general de la camisa porta-rodamiento y el eje que se va a tratar.

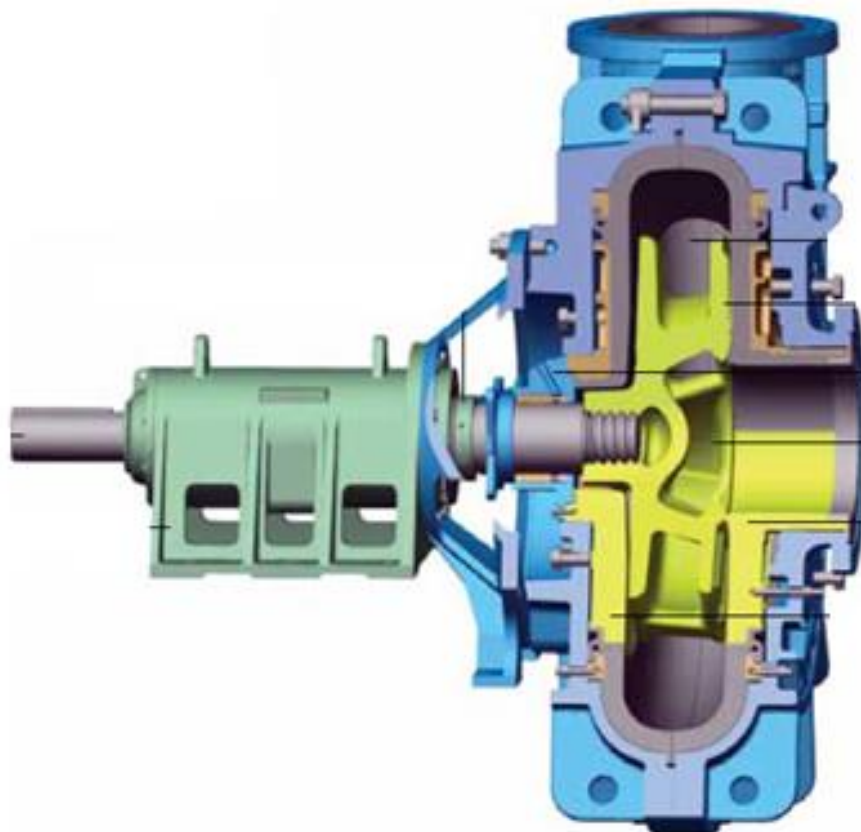


Figura 2.11: Ensamble general de Warman 650 MCR. - Weir minerals Australia Ltd, 2009

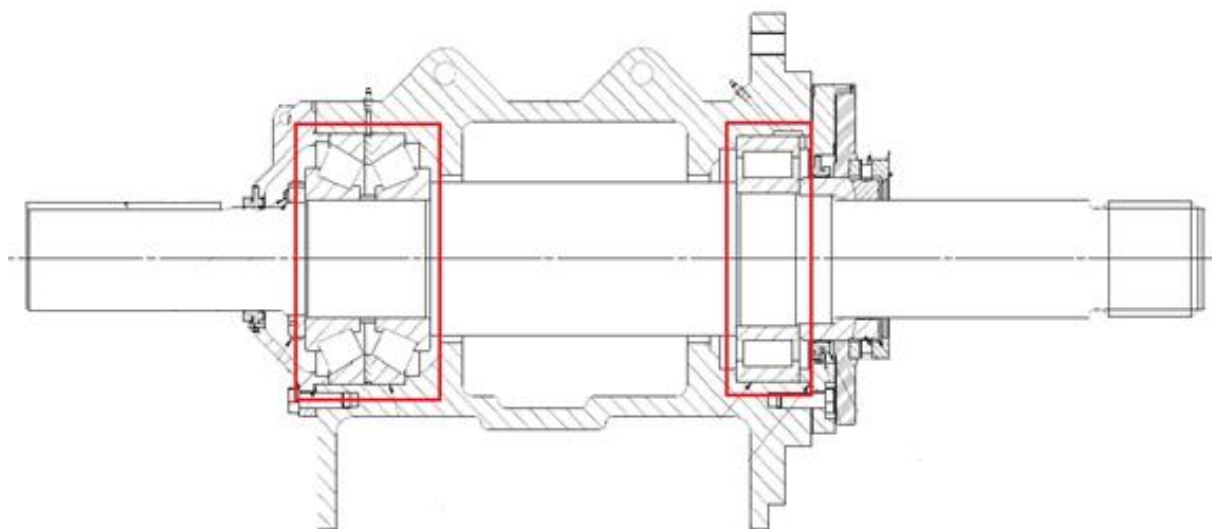


Figura 2.12: Vista general camisa porta-rodamiento. - Vulco Perú S.A., 2012

El fabricante indica la designación de ambos rodamientos, esto es muy importante ya que cada rodamiento tiene un ajuste distinto. Cada rodamiento trabaja con una determinada tolerancia, al igual que el eje; ese dato nos indicará cuantos milímetros debemos recuperar aproximadamente para obtener un ajuste adecuado. Recordemos que cada aporte tiene un límite de espesor de capa. Este dato en algunos casos será determinante para saber si el aporte seleccionado es el indicado y si trabajará dentro de los rangos indicados por el fabricante.

En la Tabla 2.5 se indica el tipo de rodamientos con los que trabaja el eje. En el Apéndice 2 y 3 se encuentra la ficha técnica de cada rodamiento.

Tabla 2.5: Descripción de los rodamientos de apoyo. - Elaboración propia

Tipo	Designación	Ø int. (mm)	Nº de filas	Descripción
Rodamiento de rodillos cónicos	HH949549-902A2	228.6	2	Soporta alta carga radial y axial con alta durabilidad Diseñado para ofrecer velocidades más altas
Rodamiento de rodillos cilíndricos	NU2252-E-M1A	260	1	Agujero recto. Alta capacidad de carga.



CAPITULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

3.1. Características de eje

En este capítulo veremos el proceso con el que se llevó a cabo a reparación del eje que mostramos en el capítulo anterior. Debemos empezar definiendo el material del eje y algunas de sus características. El acero es un 34 Cr Ni Mo 6 más conocido como VCN, en las Tablas 3.2 y 3.3 se muestran algunas características. En el Apéndice 4 podemos ver la ficha técnica de acero.

Tabla 3.1: Designaciones del VCN en normas internacionales. - Elaboración propia

Designaciones del material		
DIN	34 Cr Ni Mo 6	Alemania
EN	34 Cr Ni Mo 6KD	Europa
AISI	4340 H	Estado Unidos
AFNOR	34 Cr Ni Mo 6	Francia
UNI	34 Cr Ni Mo 6	Italia

Tabla 3.2: Composición química del VCN. - Aceros Bohler del Perú S.A., 2019

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Mín.	0.30	0.50	-	-	-	1.30	1.30	0.15
Max.	0.38	0.80	0.40	0.025	0.035	1.70	1.70	0.30

Tabla 3.3: Datos y propiedades mecánicas del eje. - Aceros Bohler del Perú S.A., 2019

Propiedades mecánicas	
Dureza (HB)	300 (41HRC)
Peso de eje (Kg)	1066
Longitud de eje (m)	2.5
Diámetro mayor de eje (mm)	320
Límite de fluencia (N/mm ²)	780
Resistencia a la tracción (N/mm ²)	1180
Elongación (%)	9 – 13

3.2. Selección del proceso de rociado térmico

Debemos asegurar que el revestimiento sea adecuado para el tipo de material con el que vamos a trabajar y que el espesor de recubrimiento sea alcanzable para nuestro caso. Identificar el revestimiento y equipo con el menor costo y fácil aplicación que cumpla o supere las propiedades mecánicas como la dureza del material base. Se debe tener en cuenta que no todos los revestimientos son adecuados para cualquier tipo de material, por lo que normalmente se busca un revestimiento de una dureza similar a la del sustrato. Además, algunos procesos pueden ser bastante complejos y costosos, por lo que un análisis de costos puede determinar si un revestimiento es una solución práctica. (Metal Spray Coating Corp., 2015)

El proceso de proyección de polvo por combustión es un proceso en el que se funde material metálico o no metálico en forma de polvo para ser depositado sobre un sustrato. El proceso consta de una fuente de calor, que normalmente es producida por la reacción química entre gases, como por ejemplo oxígeno y acetileno. Esta mezcla es apta para fundir materiales en forma de polvo o alambre metálicos o no metálicos con puntos de fusión menores a 2000°C.

Otro componente importante para llevar a cabo la proyección es el medio por el que las partículas fundidas van a viajar a través del equipo hasta ser depositados sobre la pieza a reparar,

pueden ser aire comprimido, Ne, He o N₂. La aplicación de gases especiales se usa para disminuir la oxidación del revestimiento, para este proceso usaremos aire comprimido. Se debe tener en cuenta que en la aplicación del revestimiento habrá exceso de polvo fino en la superficie, ya que no todos los granos de material llegan a fundirse completamente, en los siguientes pasos el exceso de polvo será arrastrado la superficie, donde quedarán atrapadas.

Los óxidos se forman debido a la humedad que existe en el ambiente y en gran parte al contenido de oxígeno que tiene cada material de aporte. Se forman en el tiempo que existe entre un pase y otro en la superficie de la capa. Se podría minimizar la oxidación si se trabajara en vacío o en una atmósfera inerte.

Los poros encontrados en la estructura del revestimiento se deben a la densidad y tamaño de grano que presenta el material de aporte, por eso es importante seleccionar adecuadamente el material a utilizar; si el material no es denso y presenta granos de gran tamaño, la estructura del revestimiento presentará mayor porosidad que un material de aporte más denso y con granos más pequeños.

La reparación se llevará a cabo mediante el proceso de proyección de polvo por combustión debido a que el costo de operación y de materia (pistola, polvo y gases) son menores que los demás procesos. Se usará una capa de intermedia para mejorar la adhesión y protección contra la corrosión.

Una gran ventaja del proceso de proyección de polvo es que cuenta con gran variedad de materiales metálicos y no metálicos que no están disponibles en forma de alambre, incluyendo los

materiales cerámicos que son los más utilizados y con mayor eficiencia cuando se requiere combatir el desgaste. Otra ventaja del proceso es que no se necesita mano de obra calificada para su aplicación ya que es de fácil uso.

El proceso de proyección de polvo por combustión es un proceso en el que la temperatura de sustrato no pasa de los 250°C según la ficha técnica del polvo seleccionado, pero en el campo se observó que la temperatura no se encuentra dentro del rango de 120 a 150°C, por lo que la energía térmica que produce, es menor a los demás procesos, por lo que existe mayor riesgo a que las partículas de los polvos no se fundan completamente, por lo que aumenta la probabilidad de generar poros. En la Tabla 3.4 podemos observar algunos parámetros generales del proceso de rociado térmico por proyección de polvo por combustión.

Tabla 3.4: Características generales del proceso de proyección de polvo. - Elaboración propia

Flame powder	
Tasa de deposición	1-8 kg/hr
Contenido de óxido	10-15 %
Velocidad de partícula	50-100 m/s
Resistencia a la adherencia	7-48 Mpa
Espesor de revestimiento	0.2-5 mm
Porosidad	3-15 %

3.3. Materiales de aporte

Las capas de revestimiento pueden ser formadas por gran variedad de materiales como puede ser polímeros, cerámicos, acero inoxidable, aluminio, zinc, bronce y carburos. En la Tabla 3.5 se indica las características de los materiales de aporte más comunes utilizados en el proceso de rociado térmico.

Tabla 3.5: Características de los materiales de aporte. - Moreano Merchán, 2012

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO – MECÁNICAS					
	Tracción	Corrosión Ácida	Corrosión Alcalina	Abrasión	Fricción
Aceros al Carbono	++++	+	++	++++	++++
Aceros Inoxidables	++++	++	++++	+++	+++
Aluminio	++	+	++++	+	+
Bronce	++++	+	++++	+	++
Zinc	++	+	++++	+	+
Babbitt	++++	+	+	+	++
Carburos de Tungsteno	+++++	+	+	+++++	+++++
Cerámicos	++++	+++++	+++++	++++	+++++

Depende de las características que se requiera en el revestimiento es que se va a escoger el material de aporte. También es importante tener en cuenta el medio y las condiciones de servicio al que se va a exponer la pieza reparada, así como el tipo de material base y su dureza.

3.4. Selección del revestimiento

El espesor de la capa del revestimiento generado por el proceso de proyección de polvo por combustión es menor a cualquier espesor de otro proceso, por lo que, si la reparación requiere de una capa mayor a los 2 mm o 5 mm para aleaciones no ferrosas, el proceso de proyección de polvo por combustión no es el indicado. En la Tabla 3.6 se muestra las clases de materiales y características.

Tabla 3.6: Materiales de aporte. - Metal Spray Coating Corp., 2015

Clase de material	Aleación típica	Característica	Ejemplo de aplicación
Metales puros	Zn, Al	Protección contra corrosión.	Construcción de puentes
Aleaciones auto fundentes	FeNiBSi	Mínima porosidad.	Ejes y rodamientos
Aceros	Fe13Cr	Económica y resistencia al desgaste	Reparaciones
Cerámicos	FeCrNi	Resistencia al desgaste y a la corrosión	Ejes - desgaste.
MCrAlY	NiCrAlY	Resistencia a la corrosión y a la alta temperatura.	Alabes de turbinas a gas
FeCrMo	FeCrMo	Protección contra erosión en caliente, zonas super calientes	Tubos de calderas
níquel-grafito	Ni25C	Anti-desgaste por rozamiento	Conductos de entrada del compresor
Óxidos	Al ₂ O ₃	Resistencia a la oxidación, alta dureza	Industria textil.
Carburos	WC12Co	Resistencia al desgaste	Ejes.

En nuestro caso, el eje sufre desgaste por la fricción generada entre el eje y los rodamientos de apoyo, por lo que usaremos material cerámico para llevar a cabo la reparación. Adicionalmente los materiales cerámicos presentan protección contra la corrosión.

En el Apéndice 5 se muestra datos de los procesos de rociado térmico. Tener en cuenta la dimensiones que se desea recuperar, para el proceso de proyección de polvo por combustión se tiene un espesor máximo de revestimiento de 5.0 mm y si el material de aporte es cerámico el espesor máximo es de 2.0mm. El espesor límite depende del material de aporte, no todos los polvos tienen las mismas características. En el Apéndice 6 se puede observar una tabla de resumen de la familia de productos en polvo para recuperar y dar mantenimiento a piezas, cada cual con sus respectivas ventajas y desventajas.

Tabla 3.7: Familias de revestimiento en polvo. - Sager S.A., 2014

Familia de producto	Hilo metálico	Material base	Aporte térmico	Adherencia	Inversión en equipos
RotoTec	Polvos metálicos y cerámicos	Todos los metales	Bajo	Buena	Bajo
ProXon	Polvos metálicos	Todos los metales	Bajo	Buena	Bajo
Metaceram	Polvos cerámicos	Todos los metales	Bajo	Buena	Bajo
Eutalloy	Aleaciones auto fundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Medio a alto	Muy buena	Bajo
Eutalloy SF	Aleaciones auto fundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	Muy buena	Bajo
Eutalloy RW	Aleaciones auto fundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	Muy buena	Bajo
EuTroLoy	Polvos o hilo metálico	Aceros, fundiciones	Medio a alto	Excelente	Medio
EuTronicArc	Hilo metálico	Todos los metales	Bajo	Buena	Medio

En la tabla 3.8 observaremos una lista de productos, específicamente un producto de cada familia que tenga una dureza mayor o igual a la del material base.

Tabla 3.8: Descripción de aleaciones y recubrimientos. - Sager S.A., 2014

Familia de producto	Designación	Dureza	Uso
RotoTec	RotoTec 29240	-	Para recargues anti fricción
ProXon	ProXon 21032	30HRC	Excelente resistencia en ambientes cáusticos y reductores. Para superficies que requieren de buen coeficiente de fricción seco o lubricado.
Metaceram	Metaceram 29012	43 HRC	Adecuado para la fricción metal/ metal. Resistente a la fricción y corrosión. Reparación de máquinas de herramientas, alojamiento de rodamientos, cigüeñales y ejes. Obtención de mejor acabado superficial mediante rectificado.
Eutalloy	Eutalloy 3305 PE	36-42 HC	Adecuado para la fricción metal/ metal. Reparación de ejes, excéntricas y cojinetes.
	Eutalloy 10611	55 HRC	Transporte de productos químicos, álabes de ventiladores, sinfines y tornillos. Resistencia a la abrasión y corrosión.
Eutalloy SF	Eutalloy SF PE 8213	55 HRC	Recubrimiento en instalaciones petroleras y gasíferas. Resistencia a la fisuración, abrasión y corrosión.
Eutalloy RW	Eutalloy RW 3309 PE	40 HRC	Recubrimiento de manguitos de bombas desgastados, punzones de plantas de vidrio y piezas de válvulas. Adecuado para impacto.
EuTroLoy	EuTroLoy 5218	41-44 HRC	Elementos de valvulería trabajando en presencia de vapor, de petróleo de productos químicos y de agua de mar. Válvulas de motores diesel. Excelente comportamiento a corrosión en medio ácido
EuTronicArc	EuTronic Arc 42012	41-43 HRC	Recuperación dimensional de elementos de maquinaria. Temperatura de trabajo hasta 650 °C Alta resistencia al desgaste y a la formación de cascarilla a alta temperatura.

Podemos concluir que la familia Metaceram es la clase de material que estamos buscando (cerámico), en el Apéndice 7 se muestra una lista de materiales de aporte, características, propiedades y aplicaciones. Metaceram presenta muchos beneficios, trabaja con todos los metales como base, con bajo aporte térmico y bajo costo de inversión

Se usará como material de aporte en polvo el Metaceram 29012, ya que presenta una dureza superior a la del material con el que vamos a trabajar y dentro de sus aplicaciones podemos encontrar nuestro caso de estudio (revestimiento de alojamiento de rodamiento).

Hay productos como el ProXon que son revestimientos que se aplican en un solo paso, pero también encontraremos productos como Metaceram y RotoTecn, estos revestimientos se aplican en dos pasos, el primero es la aplicación de una capa de enganche para asegurar una buena adherencia al metal base. El segundo paso consiste en la aplicación del revestimiento final que aportará las propiedades de resistencia deseadas.

Metaceram 29012 es una aleación de acero inoxidable con alto contenido de cromo, posee una excelente resistencia al desgaste por fricción, abrasión y compresión; se usa para proceso de rociado térmico donde la temperatura no supera los 150°C. (Sager S.A., 2014)

Posee la característica de no deformar ni alterar la estructura del material base. También es usado para trabajar a alta presión de fricción metal – metal, oxidación y corrosión.

Usos típicos de Metaceram 29012

- Recuperación de alojamiento de rodamientos, cigüeñales, prensa estopas, etc.
- Reparación de partes de bombas
- Recuperación de guías de cilindros
- Reparación de husillos de máquinas y herramientas.

Debemos tener en cuenta que según el CENAPROT (Centro Nacional de Proyección Térmica) el Metaceram 29012 es un polvo que no presenta níquel en su aleación, es por eso que las capas intermedias son aleaciones de Níquel, lo que ayudará a incrementar la adhesión del revestimiento con el sustrato y también ayudará proporcionar mayor protección contra la corrosión debido al Aluminio o Cromo. El Níquel incrementa la resistencia de un material ante desgaste por abrasión.

Usaremos una base de Ultrabond 50000 debido a que en la ficha técnica del polvo el fabricante recomienda su uso como base y también porque a veces la adhesión entre de materiales cerámicos con el sustrato no cumple con la resistencia mínima de la unión, por lo que se le aplica una capa de una aleación de NiAl o NiCr. En el Apéndice 8 y 9 se encuentra la ficha técnica del Metaceram 29012 y Ultrabond 50000.

Tengamos en cuenta que el uso de una capa intermedia también ayuda a la obtención de una superficie rugosa para incrementar la adhesión del material de aporte, así como en los sistemas de pintura, al pintar planchas galvanizadas o de acero inoxidable (donde la superficie es extremadamente lisa) se usa un imprimante antes de la aplicación de la capa final, para poder

cerrar película y obtener una mayor adhesión de la pintura por medio de una superficie más rugosa, en este caso el Ultrabond 50000 cumplirá el papel del imprimante.

Tabla 3.9: Características de Metaceram 29012. - Elaboración propia

Ultrabond 50000	
Espesor de Ultrabond 50000	0.1 – 0.2 mm
Temperatura máxima de servicio	540°C
Temperatura de aplicación	100-250 °C
Metaceram 29012	
Límite de espesor de depósito	1.5 mm
Temperatura máxima de servicio	540°C
Temperatura de aplicación	100-250 °C
Dureza HRC	43 (400HB)
Temperatura de precalentamiento	100°C

Existen normas que regulan la temperatura de precalentamiento como la norma ANSI/AWS C2.18, Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites para recubrimientos de Aluminio y Zinc, nosotros nos guiaremos de las recomendaciones del fabricante, por lo que usaremos 100°C como temperatura de precalentamiento.

Los gases protectores a usar son oxígeno y acetileno, si el ambiente en el que se trabaja presenta condiciones adversas como humedad o algún medio oxidante, se recomienda reemplazar el aire y trabajar con gases como el helio y argón con la finalidad de reducir la oxidación del revestimiento.

3.5. Equipo utilizado en la proyección

Para este caso la pistola usada para la recuperación del eje es el modelo CastoDyn DS 8000. Este equipo tiene un diseño ergonómico y poco peso (40% de la mayoría de equipos en el mercado) no se necesita herramientas para montarlo y tampoco conocimiento especializado para operarlo debido a que cuenta con controles que hacen simple su uso. El único control ajustable es la válvula utilizada para establecer el flujo de acetileno). Cuenta con una palanca de cierre rápido que permite a la antorcha encenderse nuevamente sin tener que tocar ningún otro control (Sager S.A., 2009). En el Apéndice 10 se encuentra la ficha técnica de la pistola CastoDyn DS 8000.

Tabla 3.10: Características de CastoDyn DS 8000. - Elaboración propia

CastoDyn 8000	
Tasa de deposición	1-8 kg/hr
Caudal de acetileno	400-18000 NI/hr
Presión de acetileno	0.7 bar
Caudal de oxígeno	500-2000 NI/hr
Presión de oxígeno	4.0 bar
Presión de aire	0-6 bar
Niveles de ruido	70-80 dB

La pistola de proyección térmica CastoDyn DS 8000 presenta las siguientes ventajas:

- Trabaja con aleaciones de rototec, proxon y metaceram para metalizado con temperaturas menores a 250°C y aleaciones de eutalloy RW para rociado térmico con temperaturas mayores a 250°C.
- La pistola puede ser automatizada para producción a gran escala.
- Máxima seguridad para el operario, el soplete es de muy fácil manejo.

- Pues en marcha fácil, se transporta en una pequeña maleta. Presenta una palanca de cierre rápido que protege al operario y permite encender la antorcha nuevamente sin tocar ningún control.



Figura 3.1: Equipo de proyección de polvo – CastoDyn DS 8000. - Sager S.A., 2014

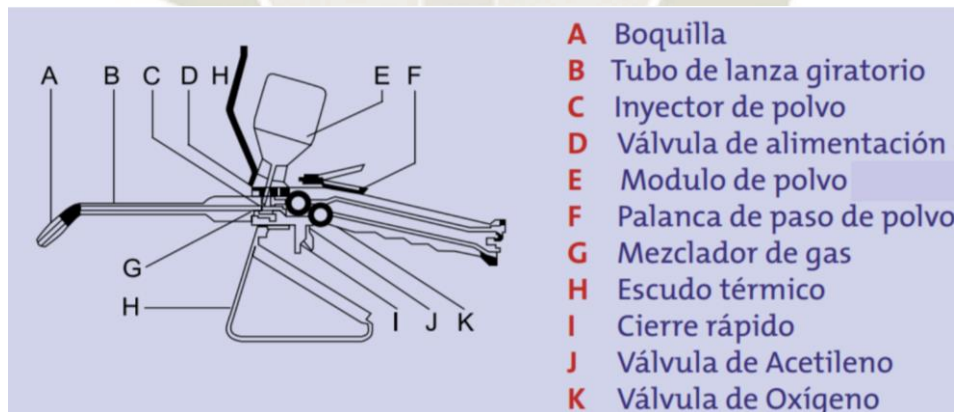


Figura 3.2: Partes de la pistola CastoDyn DS 8000. - Sager S.A., 2014

Distancia de aplicación (Standoff)

La distancia entre el sustrato y la punta de la boquilla de la pistola. Si la distancia es muy larga, el aporte llegará en un estado plástico al sustrato, si la distancia es muy corta las partículas llegarán crudas. La aplicación se debe dar en una distancia media, entre los 180 y 200 mm a 180° del sustrato (Sager S.A., 2015). Si la distancia de aplicación es muy corta o larga el revestimiento no tendrá la adherencia adecuada.

3.6. Seguridad en el proceso de rociado térmico

Si bien es cierto, el proceso de proyección de polvo por combustión no es un proceso en el que los riesgos de salud y seguridad son elevados, ya que el operario no está expuesto a niveles elevados de ruido, chispas y gases como los procesos de soldadura o amolado.

El proceso de rociado térmico está regulado con las mismas normas con los que se regula los procesos de soldadura, la norma ANSI/AWS Z49.1 Safety and welding and cutting, en la ANSI Z87.1 Standard practices for respiratory protection y ANSI Z89.1 Standard practices for industrial head protection with low voltage hazards. Es importante que los operarios y el personal relacionado con el proceso tengan conocimiento de las normas, ya que en estas incluyen el correcto uso de antorchas, riesgos en sistemas abrasivos y uso de equipos de protección personal.

Según la norma ANSI Z88.2 (2015), es importante tener en cuenta el uso de respiradores y filtros de polvo y gas, ya que el proceso de rociado térmico produce polvo y gases, la correcta aplicación se debería efectuar en una cámara de rociado implementada con extractores de humo, pero la realidad es distinta. La mayoría de talleres realizan las reparaciones al aire libre, por lo

que se debe buscar la forma de disminuir los riesgos con el uso de equipos de protección personal. Podemos disminuir los riesgos relacionados a los equipos, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, inspeccionándolos antes de usarlos, teniendo cuidado con la manipulación y almacenamiento de gases y con las conexiones eléctricas.

Debemos tener mucho cuidado al trabajar con oxígeno, debido a que no podemos trabajar con cualquier aceite o grasa porque se produciría una explosión, solo debemos trabajar con lubricantes resistentes a la oxidación. El acetileno no debe trabajar a más de 103 Kpa (1.03bar), cuando se requiera de una presión mayor se debe buscar otro gas (Moreano Merchán, 2012).

Según la norma ANSI Z87.1 (2015) y ANSI Z89.2 (2014), el operario debe usar casco, guantes y gafas o mascarilla, para protección de ojos, rostro, cabeza y manos. También se debe contar con ropa especial como overoles o ropa resistente a proyección de partículas.

El rociado térmico que se aplica en campo abierto no necesita una protección respiratoria obligatoria, si el trabajo es ligero y de duración corta. Se recomienda usar mascarillas con filtros de polvo y metal, estos respiradores tienen almohadillas que son intercambiables cuando se encuentran sucias.

El rociado térmico en espacios confinados se debe realizar con la ayuda de un casco y una capucha para evitar que las partículas proyectadas dañen al operario. El aire generado por el compresor debe ser limpiado y filtrado por la línea de aire del casco, para entregar al operario aire limpio y seco, libre de olores y humedad generados por el compresor. Este sistema también

es usado en el proceso de arenado, ya que el operario está expuesta a gran cantidad de polvo generado por la proyección de arena.

Otro aspecto con el que se debe tener cuidado es el nivel de ruido, normalmente el proceso de rociado térmico va desde los 70 (dB) en un proceso de proyección de polvo por combustible hasta los 140 (dB) en un proceso de proyección por plasma. Si el nivel de ruido sobrepasa los 90(dB) existe una restricción de un máximo de horas al día. Todo personal relacionado al proceso debe contar con protectores de oídos y usarlos durante el proceso.

Tabla 3.11: Duración de nivel de ruido admisible. - Moreano Merchán, 2012

Nivel de Ruido (dB)	hr / día
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
105	1
110	0.5
115	< 0.25



CAPITULO IV

REPARACION DE EJE

CAPITULO IV

4. REPARACION DE EJE

4.1. Control dimensional inicial

Inmediatamente después de la recepción del eje, se realizó la limpieza en la zona afectada de los elementos eliminando restos de grasa, oxido y demás contaminantes. En nuestro caso el eje tenía las pistas de rodadura ensambladas al eje, por lo que se procedió a retirarlas mediante un proceso de dilatación. Ver Figura 4.1.



Figura 4.1: Estado inicial de eje. - Elaboración propia

El eje presenta desgaste en las zonas donde se aloja los rodamientos, por lo que se tomó medidas de la zona afectada para tener una referencia del estado inicial de la pieza. Se realizó medidas con la ayuda de un micrómetro de exteriores en dos puntos transversales y tres puntos a lo largo de la zona desgastada, según en ancho del rodamiento como se observa en la Figura 4.3.



Figura 4.2: Estado inicial de las zonas afectadas. - Elaboración propia

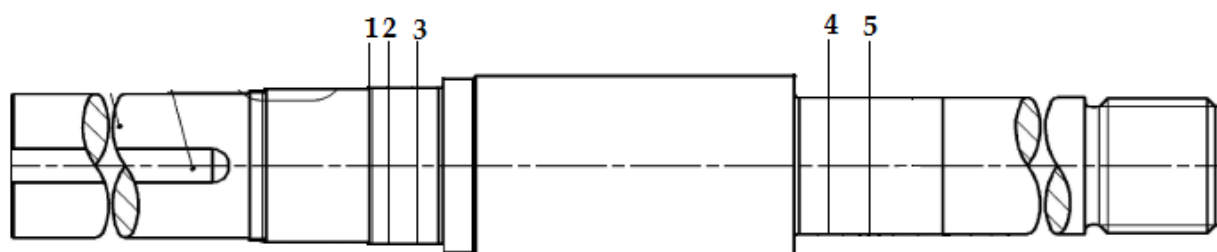


Figura 4.3: Puntos de control dimensional inicial. - Elaboración propia

Los diámetros de los puntos medidos que se muestran en la Tabla 4.1. Según la ficha técnica de los rodamientos los diámetros son 260.0mm y 9 pulgadas.

Tabla 4.1: Control dimensional inicial. - Elaboración propia

Medidas iniciales en la zona de alojamiento de rodamientos					
	1	2	3	4	5
Ø ext. real eje $\updownarrow$	228.600mm	228.588mm	228.600mm	260.010mm	260.010mm
Ø ext. real eje $\longleftrightarrow$	228.598mm	228.593mm	228.593mm	260.009mm	260.010mm
Promedio	228.599mm	228.5905mm	228.5965mm	260.0095mm	260.010mm

El espesor del revestimiento son decimas de milímetro, por lo que el revestimiento seleccionado cumple con la condición. También se tomó medidas en los rodamientos, tanto del diámetro interior, como del diámetro exterior, para asegurarse que se encuentra dentro de la tolerancia establecida por el fabricante.

Tabla 4.2: Control dimensional inicial de diámetro interior de rodamientos. - Elaboración propia

	Diámetros interior de rodamientos				
	1	2	3	4	5
Ø interior real rodamiento ↑↓	228.608mm	228.607mm	228.604mm	259.998mm	259.988mm
Ø interior real rodamiento ↔	228.602 mm	228.606mm	228.601mm	259.998mm	259.972mm
promedio	228.605 mm	228.6065mm	228.6025mm	259.998mm	259.980mm
Ø interior nominal rodamiento	228.60 mm (9 inch)			260.00 mm	

4.2. Ensayo de líquidos penetrantes

El ensayo de líquidos penetrantes es un ensayo tipo NDT (non destructive testing) aplicado para verificar que el eje no posea fisuras o discontinuidades superficiales que puedan dar lugar a futuras fallas. En términos generales el ensayo consiste en aplicar un líquido fluorescente a una superficie, para que penetre las discontinuidades por el fenómeno de capilaridad, remover los restos del líquido y aplicar un revelador que delinearé el contorno de las fisuras. La norma ASTM E165/E165M es el método de ensayo normalizado para el examen por líquidos penetrantes.

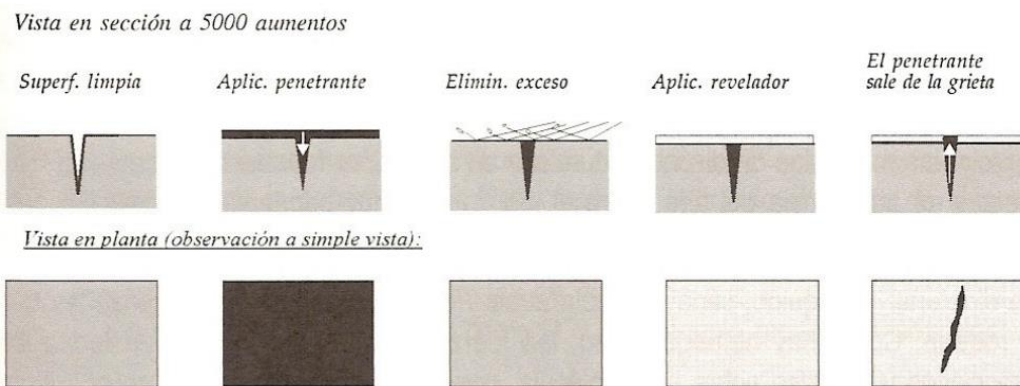


Figura 4.4: Fundamento del ensayo por líquidos penetrantes. - Serrano Lledó

Según la norma ASTM E165/E165M – 18 Red, hay dos tipos de examen de líquidos penetrantes, cada uno con distintos métodos como se indica en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Clasificación del examen de líquidos penetrantes. - American Society of Testing Materials, 2016

Tipo I – Examen Penetrante Fluorescente
Método A – Lavable con agua (ver Método de ensayo E 1209)
Método B – Post emulsificable Lipofílico (ver Método de ensayo E 1208)
Método C – Removible con Solvente (ver Método de ensayo E 1219)
Método D – Post-emulsificable Hidrofílico (ver Método de ensayo E 1210)
Tipo II – Examen con Penetrantes Visibles
Método A – Lavable con agua (ver el método de Ensayo E1418)
Método B – Removible con Solvente (ver Método de ensayo E 1220)

Nosotros aplicaremos el tipo II examen penetrante visibles, método B, removible con solvente. Los penetrantes fluorescentes normalmente son excitados por una luz negra, por lo que son más brillantes que los penetrantes visibles. Los penetrantes visibles son usualmente rojos y generan un contraste definido con el fondo blanco del revelador. Para la aplicación del ensayo se recomienda que la superficie se encuentre entre los 4 y 52°C, si el medio no permite aplicar el ensayo dentro del rango permitido, se puede calificar según otro procedimiento descrito en la norma.

El proceso consiste en limpiar la superficie donde se realizará el ensayo, por lo que se debe eliminar restos de grasa, aceite, pintura, escamas y cualquier otro contaminante que interfiera con el proceso del penetrante. Después de limpiar las piezas y eliminar los residuos de cualquier contaminante es necesario que la superficie se encuentre totalmente seca, ya que cualquier residuo líquido obstaculizará la penetración. El secado puede ser efectuado por calentamiento de piezas en hornos, uso de lámparas infrarrojas, aire forzado o exposición a temperatura ambiente.

Después de realizar el sacado y limpieza de la pieza, se aplicará el penetrante de manera que se cubra toda la pieza o área a evaluar. Hay muchos métodos para aplicar el penetrante como la inmersión, brochado y atomizado, la inmersión normalmente se usa cuando la pieza a evaluar es grande y geométricamente compleja. En nuestro caso usaremos penetrante en spray, ya que el área a evaluar es de fácil acceso y pequeña.

El tiempo que el penetrante debe permanecer sobre la superficie para realizar una buena penetración es recomendada por el fabricante, pero en la Tabla 4.4 nos permite seleccionar el tiempo para una gran variedad de materiales y formas.

Tabla 4.4: Tiempos de penetración mínimo recomendado. - American Society of Testing Materials, 2016

Material	Forma	Tipo de Discontinuidad	Tiempo de Penetración (minutos)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón y Bronce, Ti y Aleac Alta Temp.	Fundición y soldaduras	Gotas frías, porosidad, falta de fusión, fisuras (todas las formas)	5	10
	Materiales forjados-extrusión Forja, planchas	Traslape, fisuras (todas las formas)	10	10
Herramientas Carburos		Falta de fusión, porosidad, fisuras	5	10
Plásticos	Todas las formas	Fisuras	5	10
Vidrio	Todas las formas	Fisuras	5	10
Cerámicos	Todas las formas	Fisuras, porosidad		

La aplicación del removedor se realizará usando un trapo de material seco y limpio para remover los restos del penetrante, luego con la ayuda de un trapo ligeramente humedecido con removedor frotar cuidadosamente el área con remanentes para evitar remover el penetrante de la discontinuidad. Se recomienda que el revelador sea aplicado inmediatamente después del secado de la pieza para que se asegure un óptimo resultado. El revelador delimitará inmediatamente el área de cualquier discontinuidad presente en la superficie de la pieza.



Figura 4.5: Inspección NDT por líquidos penetrantes. - Elaboración propia

4.3. Deflexión

4.3.1. Definición

La deflexión es un punto muy importante que se debe considerar al reparar ejes, ya que si excede de los límites establecidos por la norma, el eje no podrá ser reparado y la única solución sería fabricar una nueva pieza.

Los ejes son elementos que hacen posible la transmisión de potencia de un motor hacia una máquina. Normalmente lleva instalado poleas, engranajes, acoples, sprocket, etc. Según la disposición de montaje se pueden clasificar en dos tipos: ejes estacionarios y ejes giratorios. Los ejes giratorios son el tipo de eje que está sometido a esfuerzos más críticos, por lo que se debería tener mayor cuidado en su funcionamiento. Los ejes giratorios se dividen en dos grupos: ejes de máquinas y ejes de transmisión.

Los ejes de transmisión son los ejes que se crearon con la finalidad de transmitir torque sin tener mayor importancia la deformación a la que esté sometido. En este grupo se considera los ejes que soportan poleas, engranajes, sprocket y acoples.

Los ejes de máquinas son importantes ya que están sometidos a esfuerzos y deformaciones que podrían influenciar sobre otros elementos que participan en la transmisión, por lo que las deformaciones permitidas son más exigentes (Barzola, s.f.). Según la norma ANSI / ASME B106.1M (1985), indica que los límites de deflexión para los ejes son:

Tabla 4.5: Deflexión máxima en ejes. – Barzola

Ejes de transmisión	
Deflexión máxima: Y_{max}	0.01 pulg/ft de long
Ejes de máquinas	
Deflexión máxima: Y_{max} Para casos generales	0.001 – 0.002 pulg/ft de long
Deflexión máxima: Y_{max} Para ejes que portan engranajes	0.005/F pulg
Deflexión máxima: Y_{max} Para engranajes de precisión	0.0005 pulg/pulg de ancho de diente
Deflexión máxima: Y_{max} Para engranajes cónicos	0.003 pulg
Deflexión máxima: Y_{max} Ejes con chumaceras de deslizamiento	0.00015 L
F: Ancho del flanco del diente del engranaje. L: Distancia entre la carga y el centro de la chumacera más próxima (pulg)	

4.3.2. Medida de deflexión

Nuestro caso de estudio es considerado como un eje de máquina, ya que las deformaciones que puede sufrir afectan directamente al centrado del rotor de la bomba, lo que genera un mayor gasto de energía eléctrica, menos vida útil del componente y menor rendimiento de la máquina. También debemos considerar que nuestro eje no lleva accesorios como poleas o engranajes. El eje mide 2.25 m, por lo que tenemos un rango de deflexión máximo entre 0.1867 mm y 0.3735mm.

Tabla 4.6: Deformaciones máxima permitidas. - Barzola

Ejes de máquinas		
Deflexión máxima: Y_{max} Para casos generales	0.001 – 0.002 pulg/ft de long	0.083 – 0.1667 mm/m de long

Teniendo en cuenta estos datos procedemos a verificar la deflexión de nuestro eje con la ayuda de un torno con una bancada lo suficientemente grande como para poder sujetar el eje. Marcamos cuatro puntos radiales a 0° , 90° , 180° y 270° en 5 puntos distintos a lo largo de todo el eje.



Figura 4.6: Montaje de eje sobre torno. - Elaboración propia



Figura 4.7: Deflexión inicial de eje. - Elaboración propia

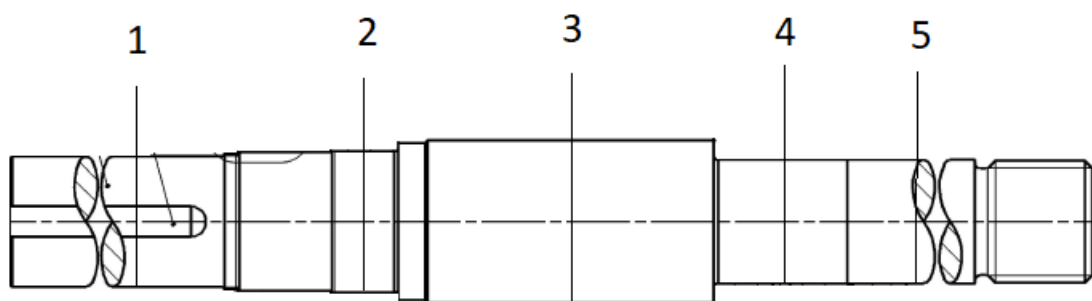


Figura 4.8: Puntos para medir deflexión. - Elaboración propia

Con la ayuda de un reloj comparador se pudo medir la deflexión en los 5 puntos mostrados en la Figura 4.8, los resultados se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Deflexión inicial. - Elaboración propia

Deflexión de eje						Deflexión máxima
	1	2	3	4	5	
0°	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0.187 mm 0.374mm
45°	-0.010 mm	-0.010 mm	-0.001mm	0 mm	0 mm	
90 °	-0.015 mm	-0.010 mm	-0.001mm	0 mm	0 mm	
135°	-0.020 mm	-0.020 mm	-0.001mm	+0.005 mm	0 mm	
180°	+0.005 mm	-0.010 mm	-0.001mm	0 mm	0 mm	

De los datos obtenidos en la Tabla 4.7 se puede observar que ningún punto se encuentra sobre el rango permitido, por el eje puede ser reparado.

4.4. Ajuste y tolerancia de rodamientos

Para determinar si las cotas finales son adecuadas, se debe tener en cuenta el ajuste sugerido por el fabricante del rodamiento, por lo que con la ayuda de los manuales de FAG y Timken se obtuvo la tolerancia adecuada, con la que se obtendrá un mejor rendimiento y mayor vida útil por parte de los rodamientos. En la Tabla 4.8 se puede encontrar las tolerancias en ambos sistemas (métrico e inglés), cada rodamiento presenta una tolerancia específica, de acuerdo a la aplicación o a las cargas sometidas. La tolerancia se encuentra en la ficha técnica.

Tabla 4.8: Especificaciones y precisión de rodamientos. - Timken company, 2016

System	Specification	Bearing Type	Standard Bearing Class		Precision Bearing Class			
Metric	Timken	Tapered Roller Bearings	K	N	C	B	A	AA
	ISO/DIN	All Bearing Types	P0	P6	P5	P4	P2	-
	ABMA	Tapered Roller Bearings	K	N	C	B	A	-
Inch	Timken	Tapered Roller Bearings	4	2	3	0	00	000
	ABMA	Tapered Roller Bearings	4	2	3	0	00	-

En el Apéndice 11 encontramos una tabla que nos ayudará a identificar el tipo de carga al que está sometido cada rodamiento y poder determinar el ajuste adecuado. En el Apéndice 12 se obtiene el ajuste del eje de rodamiento UN2252-E-M1A, que según el fabricante es p6. Los rodamientos de rodillo con jaulas están diseñados para soportar cargas elevadas a grandes revoluciones, mientras que los rodamientos sin jaula están diseñados para trabajar con cargas elevadas y revoluciones medianas, como la de los motores y bombas. En el Apéndice 13 se obtiene la tolerancia del eje para el rodamiento de rodillos (máx.: 0.088 mm, min: 0.056 mm) como se observa en la Tabla 4.9.

En el Apéndice 14 se obtiene la tolerancia del anillo interior del rodamiento, en nuestro caso la ficha técnica indica precisión estándar clase P0, por lo que la tolerancia es -0.035 mm.

En el Apéndice 15 se obtiene la tolerancia del eje para el rodamiento de rodillos HH949549-902A2 (máx.: 0.0025 inch, min: 0.0015 inch) como se observa en la Tabla 4.9. En el Apéndice 16 se obtiene la tolerancia del anillo interior del rodamiento, en nuestro caso la ficha técnica indica precisión estándar clase 2, por lo que la tolerancia es de +0.0010 inch. El rodamiento presenta la distribución TDO, una distribución amplia y efectiva, lo que los hace ideal para aplicaciones donde el momento es un componente de carga significativo. La configuración TDO presenta dos anillos interiores individuales, se pueden usar en posiciones fijas o flotar en el orificio de la carcasa para compensar la expansión del eje.

Tabla 4.9: Ajustes y tolerancias para la reparación. - Elaboración propia

	Tolerancias y ajustes recomendados por el fabricante para el interior del rodamiento				
	1	2	3	4	5
	Timken			Fag	
Ajuste recomendado	-			p6	
Ø int. Rodamiento	9 inch (228.6 mm)			260 mm	
Ajuste máximo	0.0640 mm (0.0025 inch)			0.1230 mm	
Ajuste mínimo	0.0130 mm (0.0005 inch)			0.0560 mm	
Tolerancia del rodamiento	+0.0250 mm			-0.0350 mm	
Tolerancia del eje recomendado por el fabricante	+0.0640 mm +0.0380 mm			+0.0880 mm +0.0560 mm	

4.5. Preparación superficial

4.5.1. Definición

Para obtener una buena adherencia del material proyectado, se debe realizar una limpieza superficial, a fin de eliminar contaminantes y mantener la rugosidad de la superficie. La adecuada preparación del sustrato antes de la aplicación del revestimiento es la etapa más crítica que influencia la resistencia de unión y adhesión debido a que el anclaje es mecánico. Algunos fabricantes han desarrollado su propio método de preparación superficial. (Marulanda Arévalo, Trisancho Reyes, & Gonzáles B., 2014)

4.5.2. Métodos de preparación superficial

4.5.2.1. Arenado o granallado

Antes de realizar el rociado térmico, se debe preparar la superficie, según la norma NACE RM01 70: Visual Standard for Surfaces of new Steel Airblast. Cleaned with Sand Abrasive, se debe aplicar un chorro de arena sobre la superficie con el fin de lograr la rugosidad necesaria para obtener una adherencia adecuada entre el revestimiento y sustrato. (Rojas Sáenz, 2012)

Debemos tener en cuenta la norma de preparación de superficies y los diferentes grados que podemos encontrar en ella. La norma SPCC (Steel Structures Painting Council) es una norma de preparación superficial de comparación, en la que se usa discos o fotografías de probetas y se compara con la pieza de trabajo hasta encontrar un acabado similar.

En la Tabla 4.10 encontramos un cuadro comparativo donde encontramos los distintos grados de la norma SPCC y sus equivalentes con las distintas normas de preparación de superficies.

Tabla 4.10: Normas internacionales de preparación superficial. - CYM materiales S.A., 2015

Norma SIS - Sueca	Norma Americana	Norma SSPC	Norma Francesa	Norma Inglesa	Norma NACE
SA 3	Metal Blanco	SP 5	DS 3	1 st Quality	Nace 1
SA 2 ½	Semi Blanco	SP 10	DS 2.5	2 nd . Quality	Nace 2
SA 2	Comercial	SP6	DS 2	3 rd Quality	Nace 3
SA 1	Cepillado granallado ligero	SP7	DS 1		Nace 4

La norma cuenta con cuatro grados en los que se puede encontrar la pieza de trabajo:

- Grado A: Superficie con capa de laminación intacta, casi sin corrosión.
- Grado B: Superficie con capa de laminación con inicio de corrosión.
- Grado C: Superficie en el que la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión.
- Grado D: Superficie en el que la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y se ha formado cavidades visibles.

En la Tabla 4.11 encontramos los distintos grados de la norma con una breve descripción.

Tabla 4.11: Grados de norma SPCC. - Elaboración propia

Norma SPCC		Descripción	
SPCC-SP1	Limpieza con solventes	Thinner o diluyente	
SPCC-SP2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc.	
SPCC-SP3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas	Herramientas eléctricas o neumáticas.	Limpieza básica
SPCC-SP5	Limpieza con chorro abrasivo	Metal blanco	0% de restos de laminación
SPCC-SP6	Limpieza con chorro abrasivo	Comercial	La capa de laminación no debe superar el 33%
SPCC-SP7	Limpieza con chorro abrasivo	Ligero	La capa de laminación es superior al 33%
SPCC-SP8	Decapado químico	Soldinox (soldadura)	
SPCC-SP10	Limpieza con chorro abrasivo	Semi-blanco	Se admite hasta el 5% de contaminantes
SPCC-SP11	Limpieza manual con herramientas mecánicas	Limpieza metal limpio, rugosidad mínima 25 micrones	SPCC-SP 3
SPCC-SP12	Limpieza con agua a presión Waterjetting	SPCC-SP WJ 1,2,3 y 4	
SPCC-SP13	Limpieza de concreto		
SPCC-SP14	Granallado industrial		Se admite hasta el 10% de contaminantes
SPCC-SP15	Limpieza manual con herramientas mecánicas	Limpieza comercial, rugosidad mínima 25 micrones	SPCC-SP3
SPCC-SP16	Limpieza de metales no ferrosos	Galvanizado, acero inoxidable, cobre	

El aspecto de la superficie depende de muchos factores, podemos encontrar piezas mecanizadas o en bruto con presencia de aceite u óxido y por otro lado podemos tener piezas que presentan desgaste o fisuras por fatiga de acuerdo al trabajo que realizan. Por lo que contamos con varios métodos para poder tener una superficie limpia sin restos de residuos que influyen en el proceso de rociado térmico, estos residuos generan poros, lo que no permitirá una adherencia óptima entre el revestimiento y el sustrato.

El proceso de eliminación de residuos no es sencillo, se puede presentar una pieza con varios tipos de contaminantes que se pueden eliminar con un mismo proceso, se debe tener extremo cuidado con la pieza hasta el metalizado, por lo que debe ser protegido de la manipulación inadecuada. El método de limpieza abrasiva es muy eficiente, ya que proyecta partículas metálicas o arena sobre la superficie para remover restos de óxidos, grasa y parte de la capa desgastada que pudiera presentar la pieza.

La arena es un abrasivo común, se usa en procesos donde la superficie a desprender no es tan compleja. Usa arena fina o arena cernida, esto con el fin de evitar piedras que puedan dañar la compresora. El área que no se va a tratar se cubre con cintas resistentes a la abrasión, esta cinta cuenta con la tenacidad suficiente para resistir el impacto de las partículas proyectadas. La ventaja de usar estas cintas es que se puede retirar con facilidad después del proceso y deja la superficie limpia y lisa.

A diferencia del granallado, el arenado genera un polvo molesto y dañino, es muy frecuente que las personas expuestas a este proceso sin la debida protección sufran de fibrosis pulmonar a futuro. La ventaja de este proceso radica en el costo.

En este proceso se usa una compresora y una manguera por donde fluyen las partículas abrasivas como arena o granalla metálica. La granalla metálica es un abrasivo utilizado en tratamientos superficiales, que se forma a partir de la chatarra seleccionada fundida en hornos eléctricos y su tamaño y forma son controlados. En procesos automatizados la granalla es sometida a tratamientos térmicos que le permiten conseguir ciertas propiedades mecánicas. Tiene dos presentaciones, de forma redonda o angulares. La granalla angular se obtiene por molienda de la granalla redonda.



Figura 4.9: Proceso de arenado. - CYM materiales S.A., 2015



Figura 4.10: Muestra de los grados de preparación superficial. - CYM materiales S.A., 2015

4.5.2.2. Mecanizado

El mecanizado es un método realizado en un torno para eliminar contaminantes de la superficie, generar rugosidad y proporcionar una alta adherencia. Consiste en eliminar una delgada capa superficial para asegurarse de retirar material fatigado, si el componente ya fue reparado por rociado térmico es necesario retirar toda la capa del revestimiento anterior, esto se observará porque la capa anterior empezará a descascararse conforme se vaya retirando el material.

Después se debe precalentar el componente a 100°C, se debe cubrir el área no afectada con una cera especial resistente a la temperatura y formar una superficie rugosa con un aspecto similar al de una rosca con poca profundidad. Esta superficie generará la rugosidad necesaria para obtener una adherencia adecuada entre el sustrato y el revestimiento.

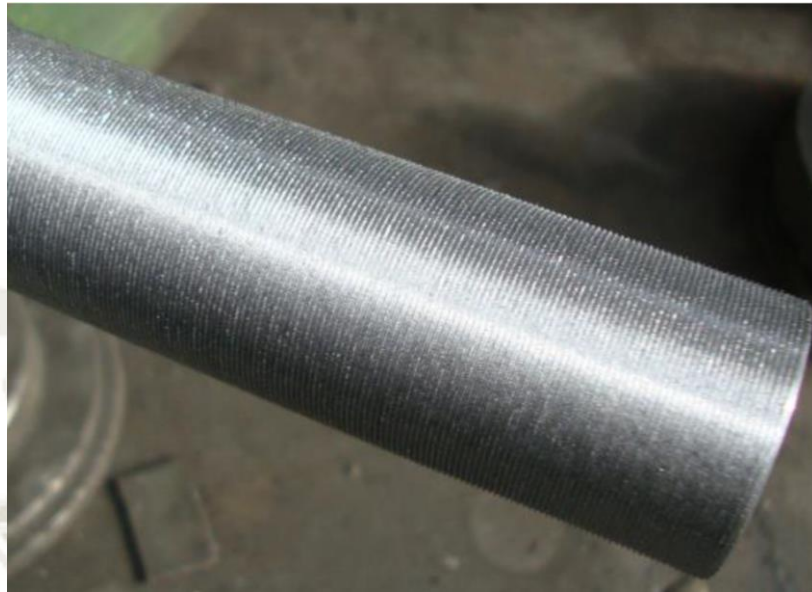


Figura 4.11: Preparación superficial. - Moreano Merchán, 2012

4.5.3. Procedimiento de preparación superficial

SAGER proporciona un método con 7 pasos a seguir, que es el que aplicaremos en nuestro caso de estudio, este método asegura la obtención de la rugosidad adecuada para generar una adherencia adecuada y sin exceso de poros.

En el paso 1 se debe limpiar el área que se va a revestir, la limpieza se realiza de forma manual con disolventes o herramientas manuales como cepillos o lija. Luego de limpiar el eje se precalienta a 100°C. En ocasiones el precalentamiento es necesario para disminuir la distorsión, evitar el choque térmico y prevenir la formación de grietas. El precalentamiento se debe realizar a la temperatura recomendada para el revestimiento y el metal base de la pieza (Marulanda A. & Trujillo S., 2007).

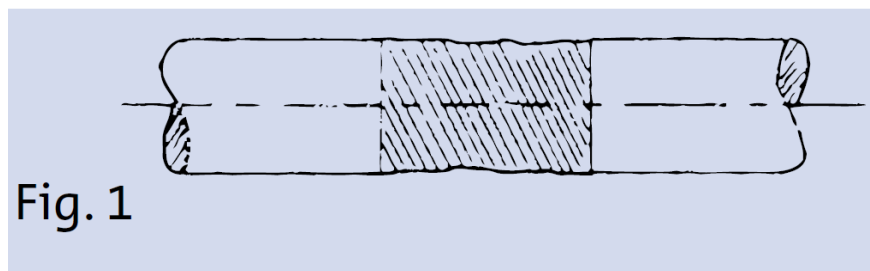


Fig. 1

Figura 4.12: Limpieza de la zona a revestir. - Sager S.A.

En el paso 2 con la ayuda del rototool I (SNMG 120408) se debe retirar 0.8mm de profundidad al radio del área desgastada y extender el mecanizado 5.0mm más a cada lado. Si se observa que la superficie dañada es más profunda, se debe mecanizar hasta eliminar todo el metal dañado. Si lo que se requiere es retirar el material dañado de un metalizado anterior, se debe retirar 0.8mm, en el proceso se observará que una capa se descascara, por lo que si después de retirar 0.8mm no notamos ese descascaramiento, debemos seguir torneando la pieza hasta retirar todo el revestimiento dañado.

Ningún revestimiento, por más sofisticado que sea, puede operar bien, si está mal aplicado, en efecto, la experiencia dice que el 90% de las fallas se debe a la mala preparación de la superficie, mientras que el 10% restante se debe a una mala selección del revestimiento, que es sometido a medios para el cual no fue diseñado. (Marulanda A. & Trujillo S., 2007)

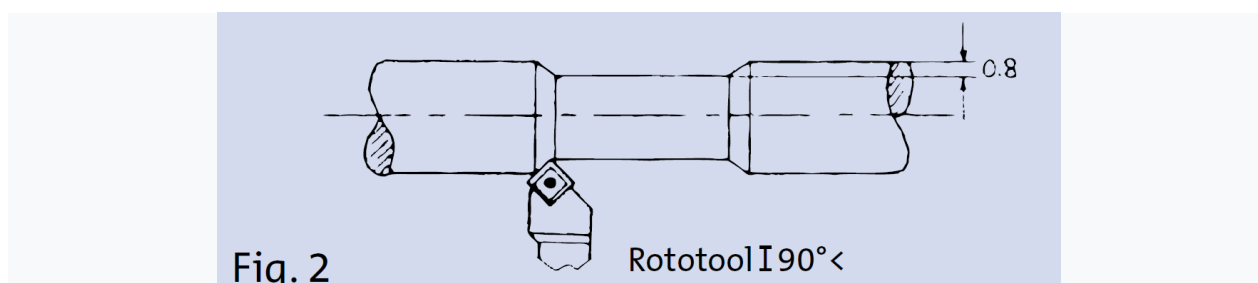


Fig. 2

Rototool I 90°

Figura 4.13: Retiro de capa dañada. - Sager S.A.

Cubra la superficie aledaña con la pasta antiadherente R104. La solución R104 es un blindaje protector que cubre las zonas expuestas que no se van a reparar del polvo producido por el metalizado. Cubra 50 mm a cada extremo con la solución como la Figura 4.14. Después de completar el proceso se debe lavar el compuesto para retirarlo.

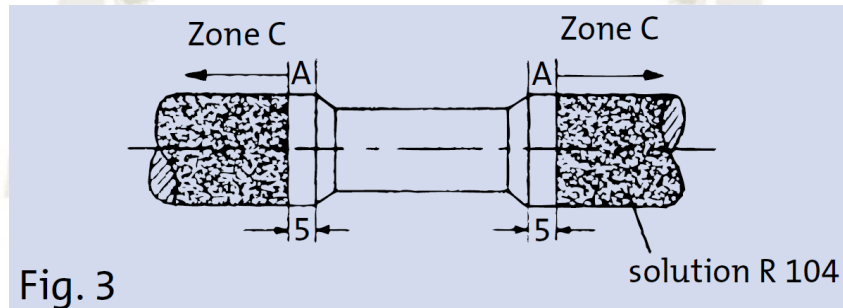


Figura 4.14: Desbaste inicial. - Sager S.A.

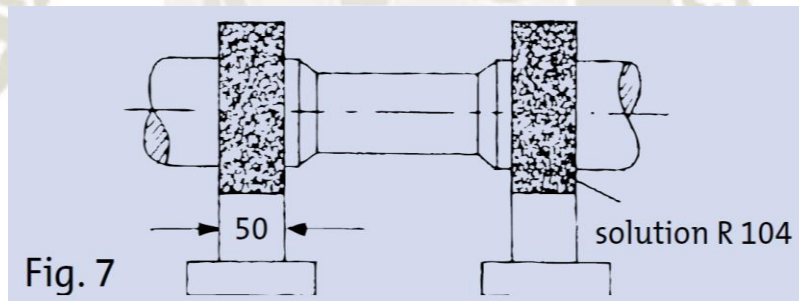


Figura 4.15: Área cubierta por la solución R104. - Sager S.A.

Después del mecanizado la adherencia de la superficie se puede incrementar al realizar un segundo mecanizado con un avance de 0.7mm y 0.35mm de profundidad, con lo que se obtendrá una rugosidad adecuada para la correcta adhesión del revestimiento.

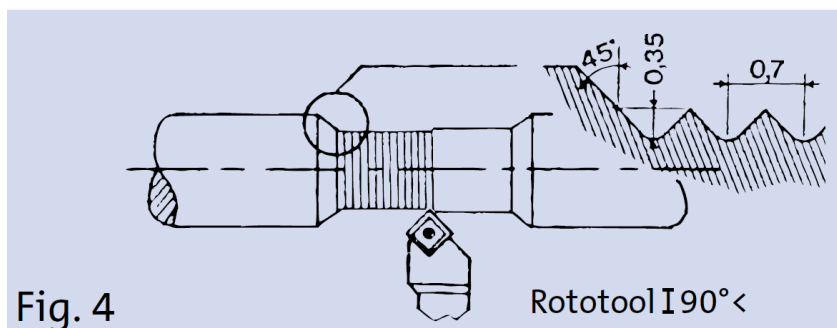


Figura 4.16: Preparación superficial de la zona dañada. - Sager S.A.

Programe la velocidad del torno a 42 RPM, este resultado depende del diámetro de la pieza que se va a metalizar, en nuestro caso tenemos un diámetro de 228 mm aproximadamente. Aplicamos la siguiente formula fórmula:

- 30000 mm/min= es una constante usada para cualquier diámetro.

$$RPM = \frac{30000 \text{ mm/min}}{\varnothing \text{ mm} * \pi}$$

$$RPM = \frac{30000 \text{ mm/min}}{228.6 \text{ mm} * \pi} = 42 \text{ RPM}$$

4.6. Control dimensional final

Después de esa las operaciones de preparación superficial, aplicar el Ultrabond 50000 sobre toda el área a reparar y 25 mm a cada lado para asegurar que toda el área sea cubierta. Aplicaremos una capa de Ultrabond con 0.2mm de espesor aproximadamente. Luego aplicaremos Metaceram 29012, se aplicaran 6 capas, 0.2 mm de espesor por capa aproximadamente, para obtener un espesor de 1.2 mm y un total de 1.4 mm. Según el procedimiento descrito por Sager S.A., el revestimiento puede llegar como máximo hasta 1 mm sobre la medida final del eje.

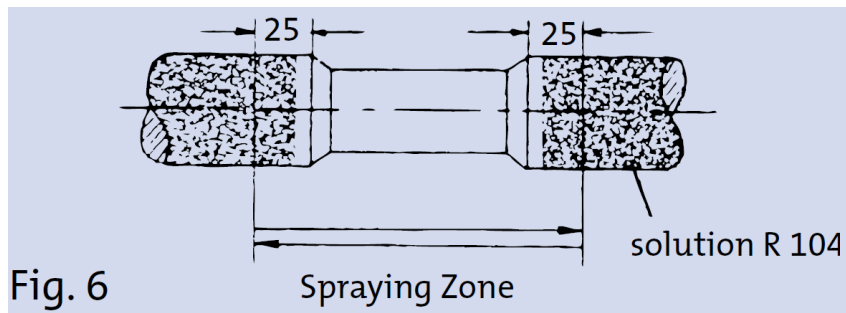


Fig. 6

Spraying Zone

Figura 4.17: Zona de aplicación de revestimiento. - Sager S.A.



Figura 4.18: Aplicación de Metaceram 29012. - Elaboración propia

Tome la temperatura del eje, debe estar debajo de los 150°C después de aplicar el revestimiento, en nuestro caso el eje estaba a 120°C. Luego de aplicar todas las capas necesarias espere a que el eje se enfríe hasta la temperatura ambiente. Limpie el revestimiento R104 para poder mecanizar el eje (cilindrado) y darle el ajuste necesario. En la Tabla 4.12 podemos observar si el revestimiento es suficiente como para poder dar el ajuste recomendado a ambos alojamientos.

Tabla 4.12: Demasía de revestimiento para mecanizado. - Elaboración propia.

	Espesor de revestimiento libre para mecanizado de eje				
	1	2	3	4	5
Ø ext. final eje	228.849 mm	228.843 mm	228.848 mm	260.259 mm	260.261 mm
Tolerancia mínima	228.638 mm	228.638 mm	228.638 mm	260.056 mm	260.056 mm
Tolerancia máxima	228.664 mm	228.664 mm	228.664 mm	260.088 mm	260.088 mm
Espesor libre para acabado	0.185 mm	0.179 mm	0.184 mm	0.171 mm	0.173 mm

Podemos observar que se tiene casi 0.18 mm de demasía en cada zona donde se aloja un rodamiento para poder mecanizar y que el diámetro final este dentro de la tolerancia. En la Tabla 4.12 se tomó medidas de con la ayuda de un micrómetro de exteriores en dos puntos transversales y tres puntos a lo largo de la zona desgastada, según en ancho del rodamiento como se observa en la Figura 4.19.



Figura 4.19: Puntos de control dimensional final. - Elaboración propia



Figura 4.20: Control dimensional final. - Elaboración propia

Tabla 4.13: Control dimensional final. - Elaboración propia.

Control dimensional final de eje					
	1	2	3	4	5
$\varnothing$ ext. real eje $\updownarrow$	228.654mm	228.661mm	228.652mm	260.078mm	260.072mm
$\varnothing$ ext. real eje $\longleftrightarrow$	228.648mm	228.658mm	228.650mm	260.078mm	260.074mm
Promedio	228.651mm	228.6595mm	228.651mm	260.078mm	260.073mm

En la Tabla 4.14 podemos observar el ajuste real con el que se trabajará y comprar si se encuentra dentro de los límites establecidos.

Tabla 4.14: Ajuste real eje - rodamiento. - Elaboración propia

Ajuste real de eje - rodamiento					
	1	2	3	4	5
Promedio $\varnothing$ int. rodamiento	228.605 mm	228.6065 mm	228.6025 mm	259.998mm	259.980mm
Promedio $\varnothing$ ext. eje	228.651mm	228.6595mm	228.651mm	260.078mm	260.073mm
Ajuste	0.046 mm	0.053 mm	0.0485 mm	0.080 mm	0.093 mm



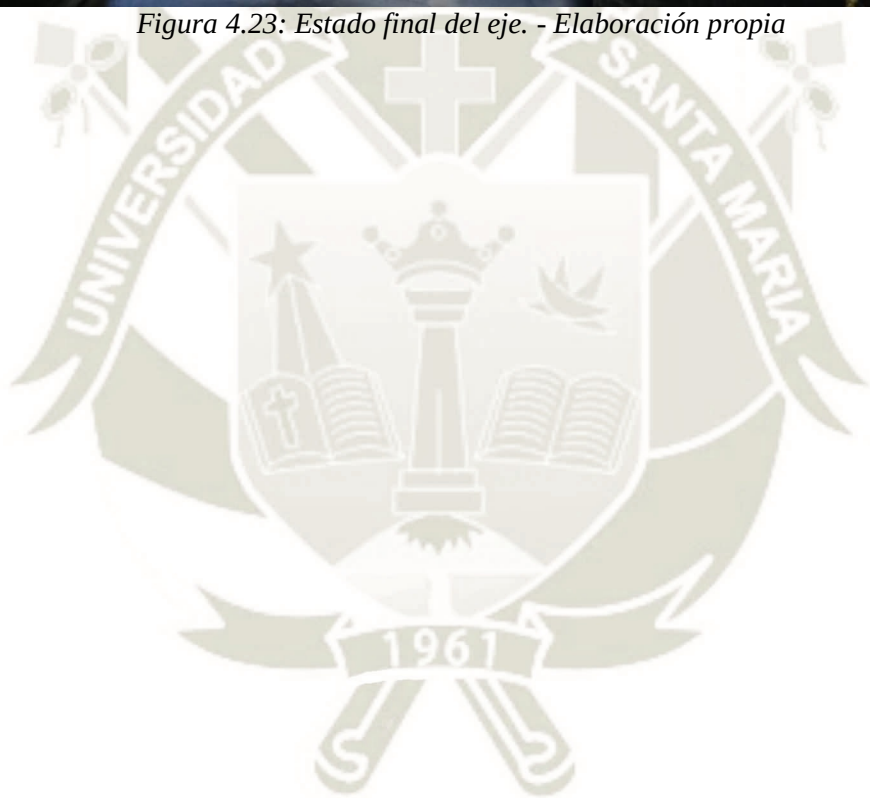
Figura 4.21: Acabado superficial para rodamiento NU2252-E-M1A. - Elaboración propia



Figura 4.22: Acabado superficial para rodamiento HH949549-902A2. - Elaboración propia



Figura 4.23: Estado final del eje. - Elaboración propia



CAPITULO V
COSTOS PARA EL PROCESO DE ROCIADO
TERMICO

CAPITULO V

5. COSTOS PARA EL PROCESO DE ROCIADO TERMICO

Los talleres o metalmecánicas cuentan con gran cantidad de equipos, herramientas y personal capaces de brindar servicios y productos que están relacionados a varios procesos de manufactura, los que implican un costo y tiempo determinado.

La mayoría de talleres o metalmecánicas genera cotizaciones en base al tiempo que la va a tomar realizar el servicio o fabricación, sin tener en cuenta costos administrativos y operativos, costos de mantenimiento de las diferentes maquinas utilizadas en el proceso o el material de trabajo. Solo basan su cotización en un factor fijo por cada kilogramo de acero fabricado o cada kilogramo de acero maquinado.

Los costos de fabricación se dividen en dos partes: costo de manufactura y costos administrativos. Los costos de manufactura son los costos de mano de obra, suministros de fábrica, mantenimiento y depreciación de equipos. En los costos administrativos tenemos costos indirectos como el salario de supervisores, transporte, material de oficinas, depreciación de equipos de oficina y el impuesto sobre la renta.

Los costos de manufactura se pueden acortar teniendo en cuenta si el material a utilizar es el más barato con las características deseadas. Debemos tener en cuenta las etapas y procesos por los que pasa la materia prima o pieza a reparar hasta ser entregada al cliente.

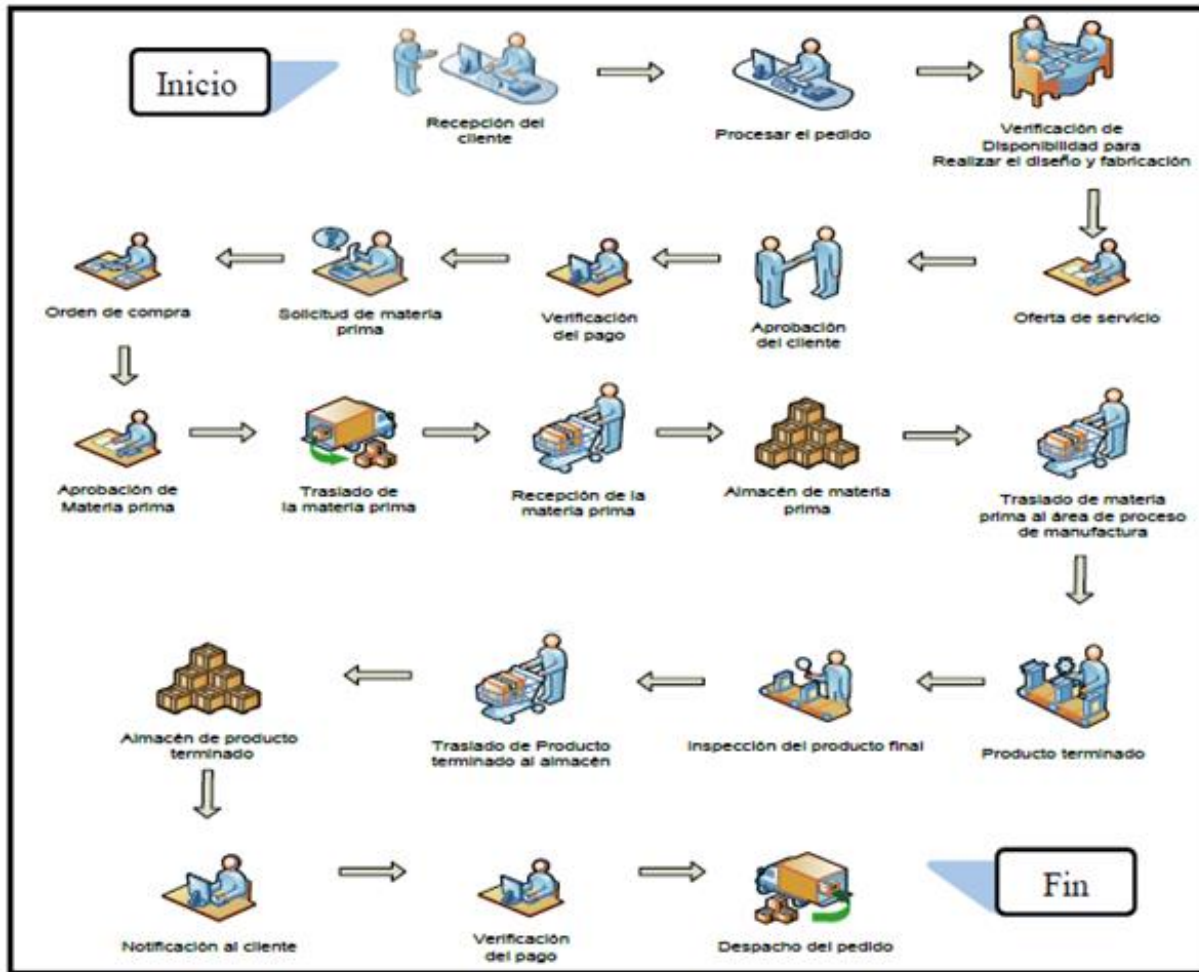


Figura 5.1: Procesos para la elaboración de los productos y servicios en el taller metalmecánico. - Díaz Núñez & Gamboa Barreto, 2014

Las personas encargadas de desarrollar cotizaciones sobre cualquier servicio deben tener en cuenta e identificar los componentes que adicionan costo a las actividades. Por lo tanto deben considerar cuales son los componentes principales que influyen en la fabricación o reparación de piezas en un taller.

Tabla 5.1: Componentes principales de costos en taller. - Díaz Núñez & Gamboa Barreto, 2014

Componentes principales de costos en el taller metalmecánico	Descripción
Mano de obra	Conceptual (Directa)
	Producción (Directa)
	Producción (Indirecta)
	Administrativo (Indirecta)
	Mantenimiento (Indirecta)
	Personal de servicio (Indirecta)
Mantenimiento de Maquinarias	Equipos de Producción (Tornos, Fresadoras, Taladradoras, Rectificadoras, Soldadoras, Cortadoras y Dobladoras, Prensas y Sierra Cinta)
Depreciación	Equipos de Producción (Tornos, Fresadoras, Taladradoras, Rectificadoras, Soldadoras, Cortadoras y Dobladoras, Prensas y Sierra Cinta)
	Equipos de Diseño industrial
Materiales de producción	Consumibles de Máquinas
Servicios	Electricidad
	Internet
	Teléfono
	Agua
Misceláneos	Artículos de oficina
	Mantenimiento General
	Insumos para enfermería

La Figura 5.2 nos muestra algunos datos técnicos del Metaceram 29012

TECHNICAL DATA:

Coating Properties:

Typical macro-hardness: Rockwell C Scale, 35
 Typical density: 7.0 g/cc
 Thickness limit: 0.100 inch
 Max. service temperature: 1,000°F (538°C)

Powder Properties:

Hall flow rate: 29 seconds
 Bulk density: 2.7 g/cc
 Powder coverage: 0.040 lbs/ft² @ 0.001"

Figura 5.2: Datos de Metaceram 29012. - Sager S.A., 2015

5.1. Cálculo de material necesario para NU2252-E-M1A

Para determinar el costo debemos tener en cuenta algunos datos:

- Espesor de revestimiento (E_r) = 1.4 mm
- Diámetro de eje ($\emptyset$) = 260.096 mm
- Ancho de rodamiento (w) = 130 mm

Área cilíndrica

$$A_c = \pi * \emptyset * w$$

$$A_c = \pi * 0.26 \text{ m} * 0.13 \text{ m}$$

$$A_c = 0.106 \text{ m}^2$$

Área a revestir

Debemos tener en cuenta que según la Figura 5.2, la capacidad de cobertura se trabaja a 0.001 inch lo que es igual a 0.0254 mm. También es recomendable trabajar con un factor de seguridad para el área calculada, trabajaremos con un factor de 15%.

$$A = A_c * (E_r / 0.0254) * f_s$$

$$A = 0.106 \text{ m}^2 * (1.4 / 0.0254) * 1.15$$

$$A = 6.69 \text{ m}^2$$

Cálculo de aleación requerida

La capacidad de cobertura es de 0.04 lb/ft², lo que es igual a 0.196 kg/m².

$$W = A * 0.196 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$W = 6.69 \text{ m}^2 * 0.196 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$W = 1.31 \text{ Kg} / 0.85 \text{ (eficiencia del revestimiento)}$$

$$W = 1.541 \text{ Kg}$$

Tiempo requerido

Para calcular el tiempo, según la Tabla 3.4, la tasa de deposición es de 1-8 Kg/hr, nosotros tomaremos 4Kg/hr.

- Velocidad de cobertura (V) = 4Kg/hr

$$t = \frac{W}{V}$$

$$t = \frac{1.541 \text{ Kg}}{4 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}$$

$$t = 0.385 \text{ hr}$$

Consumo de acetileno

Para el consumo de acetileno y oxígeno usaremos la Tabla 5.2. Para el acetileno tomaremos 60 ft³/hr que es igual a 1.7 m³/hr

Tabla 5.2: Datos de consumo para Metaceram. - Porras Mirón, 2007

MetaCeram Poxon Alloy	Approx. Alloy Consumption (Note 1)	Approx. Coating Coverage Speed (Note 2)	Deposit Efficiency %	Gas Consumption SCFH		Alloy Consumption lbs/hr
				Oxy	Acet	
29011	0.042	355.000	95.000	77.000	60.000	15.000
29012	0.040	400.000	95.000	77.000	60.000	16.000
5000	0.044	195.000	90.000	77.000	60.000	8.500
29051	0.037	540.000	90.000	64.000	39.000	20.000
29077	0.041	390.000	95.000	77.000	60.000	16.000
29079	0.042	425.000	95.000	64.000	39.000	20.000
29096	0.046	415.000	95.000	77.000	60.000	19.000
29123	0.071	115.000	80.000	77.000	60.000	8.000
29032	0.043	280.000	90.000	64.000	48.000	10.000
29210	0.015	360.000	95.000	60.000	38.000	5.000
CPW 1951	0.015	1150.000	95.000	77.000	60.000	15.000
CPW 1940	0.055	450.000	95.000	60.000	27.000	20.000
29240	0.060	515.000	90.000	60.000	27.000	20.000

NOTE:

1. Alloy Consumption figure represents the amount (lbs) of alloy required to produce one square feet of coating .001" thick
2. Coating Coverage Speed indicates the square feet of coating .001" thick can be deposited in one hour

$$\text{Acetileno} = t * 1.7 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Acetileno} = 0.385 \text{ hr} * 1.7 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Acetileno} = 0.654 m^3$$

Consumo de oxígeno

Para el consumo de oxígeno tomaremos 77 ft³/hr que es igual a 2.18 m³/hr

$$\text{Oxígeno} = t * 2.18 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Oxígeno} = 0.385 \text{ hr} * 2.18 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Oxígeno} = 0.84 m^3$$

5.2. Cálculo de material necesario para HH949549-902A2

Para determinar el costo debemos tener en cuenta algunos datos:

- Espesor de revestimiento (E_r) = 1.4 mm
- Diámetro de eje ($\emptyset$) = 228.6 mm
- Ancho de rodamiento (w) = 247.6 mm

Área cilíndrica

$$A_c = \pi * \emptyset * w$$

$$A_c = \pi * 0.247 \text{ m} * 0.228 \text{ m}$$

$$A_c = 0.177 \text{ m}^2$$

Área a revestir

Debemos tener en cuenta que según la Figura 5.2, la capacidad de cobertura se trabaja a 0.001 inch lo que es igual a 0.0254 mm. También es recomendable trabajar con un factor de seguridad para el área calculada, trabajaremos con un factor de 15%.

$$A = A_c * (E_r / 0.0254) * f_s$$

$$A = 0.177 \text{ m}^2 * (1.4 / 0.0254) * 1.15$$

$$A = 11.244 \text{ m}^2$$

Cálculo de aleación requerida

La capacidad de cobertura es de 0.04 lb/ft², lo que es igual a 0.196 kg/m².

$$W = A * 0.196 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$W = 11.244 * 0.196 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$W = 2.2 \text{ Kg} / 0.85 \text{ (eficiencia del revestimiento)}$$

$$W = 2.589 \text{ Kg}$$

Tiempo requerido

Para calcular el tiempo, según la Tabla 3.4, la tasa de deposición es de 1-8 Kg/hr, nosotros tomaremos 4Kg/hr.

- Velocidad de cobertura (V) = 4Kg/hr

$$t = \frac{W}{V}$$

$$t = \frac{2.589 \text{ Kg}}{4 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}$$

$$t = 0.647 \text{ hr}$$

Consumo de acetileno

Para el acetileno tomaremos 60 ft³/hr que es igual a 1.7 m³/hr.

$$\text{Acetileno} = t * 1.7 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\text{Acetileno} = 0.647 \text{ hr} * 1.7 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\text{Acetileno} = 1.1 \text{ m}^3$$

Consumo de oxígeno

Para el consumo de oxígeno tomaremos 77 ft³/hr que es igual a 2.18 m³/hr

$$\text{Oxígeno} = t * 2.18 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Oxígeno} = 0.647 \text{ hr} * 2.18 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Oxígeno} = 1.411 \text{ m}^3$$

5.3. Cálculo de costo para la reparación

5.3.1. Costo por mano de obra

Debemos tener en cuenta que nuestro cálculo de costo, solo toma en cuenta la reparación, sin tener en cuenta el traslado del eje.

El primer inductor de costo es la mano de obra directa, el recurso designado son las horas hombre empleadas por el personal que está vinculado directamente con la realización del trabajo. En muchos casos en este inductor se considera las horas hombre del personal de diseño (cadistas o el ingeniero de diseño), en nuestro caso no intervinieron, ya que es una reparación.

Consideramos 8 dólares la hora hombre del tornero, dentro de la tarifa se considera el jornal básico diario, leyes sociales y SCTR, gasto por equipo de protección personal y ropa de trabajo. En la Tabla 5.3 se puede observar el tiempo necesario para llevar a cabo cada una de las actividades para la reparación del eje, para luego poder estimar un costo.

Tabla 5.3: Costo de mano de obra directa - rociado térmico. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo (USD/h-h)	Valor total (USD)
Toma de medidas iniciales	h-h	0.25	8.00	2.00
Líquidos penetrantes	h-h	0.5	8.00	4.00
Deflexion	h-h	0.25	8.00	2.00
Precalentamiento	h-h	1.00	8.00	8.00
Preparacion	h-h	1.00	8.00	8.00
Metalizado	h-h	1.03	8.00	8.26
Acabado	h-h	1.00	8.00	8.00
Toma de medidas finales	h-h	0.25	8.00	2.00
		5.28		42.26

En la Tabla 5.4 se puede observar los costos de mano de obra indirecta. Se adicionó un 5% del subtotal para cubrir gastos de personal de servicio (limpieza, almacén, seguridad, etc)

Tabla 5.4: Costo de mano de obra indirecta - rociado térmico. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo (USD/h-h)	Valor total (USD)
Supervisor de producción	h-h	5.28	10.00	52.82
Supervisor de seguridad	h-h	5.28	10.00	52.82
Logística	h-h	5.28	10.00	52.82
Personal de mantenimiento	h-h	5.28	-	7.92
Personal de servicios	h-h	5.28	-	
				166.39

5.3.2. Costo por equipos y herramientas

Para determinar el costo por equipos y herramientas se tomó en cuenta los factores usado por la empresa para realizar las cotizaciones, el personal encargado de las cotizaciones indico que dentro del costo se considera el mantenimiento y depreciación de los equipos a utilizar.

También se observó que no se cuenta con un historial de mantenimiento preventivo, ni los costos asociados, por lo que se no cuenta con una relación de repuestos o lubricantes necesarios para llevar a cabo el mantenimiento.

Actualmente todas las maquinas del taller se encuentran operativas. Tornos, fresadoras, taladros y las demás maquinas del área de maestranza requieren de un mantenimiento preventivo para poder garantizar su productividad durante todo el año. En la Tabla 5.5 se puede encontrar los costos de equipos y herramientas respectivamente. El costo del equipo de rociado térmico es mayor, debido a que la depreciación para el torno se consideró dos de vida útil, mientras que para el equipo de metalizado se consideró un año.

Tabla 5.5: Costo por equipos - rociado térmico. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo por hora (USD/hr)	Horas de uso (hr)	Valor total (USD)
Torno	und	1.00	7.00	5.28	36.98
Compresora	und	1.00	7.00	1.00	7.00
Equipo de metalizado	und	1.00	13.00	1.00	13.00
Computadora	und	4.00	0.50	5.28	10.56
Elementos de medición	und	1.00	2.00	5.28	10.56
					78.10

5.3.3. Costo por materiales

Los inductores por materiales de producción son todos los materiales o herramientas que las maquinas necesitan para llevar a cabo la reparación, también se puede considerar dentro de este grupo los consumibles.

En el caso del acetileno nuestro cálculo fue en metros cúbicos, pero las empresas cotizan el acetileno en Kg, por lo que debemos hacer la conversión. Según las tablas de conversión de Indura 1 Kg de acetileno equivale a 0.9 metros cúbicos.

Tabla 5.6: Costo por materiales - rociado térmico. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo por unidad (USD/und)	Valor total (USD)
Oxígeno	m3	2.25	9.78	22.01
Acetileno	kg	1.77	45.28	80.22
Metaceram 29012	kg	4.13	135.22	558.39
Líquidos penetrantes	kit	1.00	24.08	24.08
Cinta para metalizado	und	1.00	6.00	6.00
Antorcha	und	1.00	3.00	3.00
Cinta resisntente a la abrasión	und	1.00	5.00	5.00
Trapo industrial	kg	1.00	1.82	1.82
				700.52

Tabla 5.7: Tabla de conversión de gases. Indura Perú S.A.

INDURA®					
TABLA DE CONVERSION DE GASES					
O₂ - OXIGENO			N₂ - NITROGENO		
kg	litro	m ³	kg	litro	m ³
1	0,88	0,74	1	1,24	0,84
1,14	1	0,84	0,81	1	0,68
1,35	1,19	1	1,19	1,47	1
-182,97° C			-195,80° C		
AR - ARGON			CO₂ - ANHIDRIDO CARBONICO		
kg	litro	m ³	kg	litro	m ³
1	0,72	0,59	1	0,98	0,53
1,39	1	0,82	1,02	1*	0,55
1,69	1,21	1	1,87	1,83	1
-185,86° C			* -78,5° C (Sublimación)		
HE - HELIO			H₂ - HIDROGENO		
kg	litro	m ³	kg	litro	m ³
1	8,00	5,92	1	14,09	11,72
0,13	1	0,74	0,07	1	0,83
0,17	1,35	1	0,09	1,20	1
-268,93° C			-252,77° C		
N₂O - OXIDO NITROSO			C₂H₂ - ACETILENO		
kg	litro	m ³	kg	litro	m ³
1	0,82	0,53	1	1,37	0,90
1,22	1	0,65	0,73	1*	0,66
1,87	1,53	1	1,11	1,53	1
-88,47° C			* -83,8° C (Sublimación)		

Litro: Volumen líquido medido a la temp. de ebullición y a la presión de 1 atm.
m³: Volumen de gas medido a 15°C y 1 atm.
Punto de ebullición: Valores establecidos para una presión de 1 atm.

5.3.4. Costo por consumo eléctrico

Para el caso de consumo de energía eléctrica se consideró un consumo de todas las máquinas eléctricas requeridas para realizar las actividades descritas y obtener un costo de acuerdo al consumo de energía eléctrica

Tabla 5.8: Costo por consumo eléctrico - rociado térmico. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Potencia (KW)	Horas de funcionamiento (hr)	Costo de kw-hora (usd/KW-hr)	Valor total (USD)
Torno	und	1.00	7.500	5.28	0.0775	3.07
Compresora	und	1.00	10.000	1.00	0.0775	0.78
Computadora	und	4.00	0.220	5.28	0.0775	0.36
						4.21

5.3.5. Costo total

Al sumar el total de cada inductor se obtiene un monto, que representa el subtotal del costo estimado que se cobraría por realizar la reparación, a este subtotal se le adicionará un 8% por gastos generales dentro de los que podemos encontrar agua, internet, artículos de limpieza, artículos de oficina, etc. También se adicionará un 10% de utilidad para la empresa.

Tabla 5.9: Cálculo de costo total - rociado térmico. - Elaboración propia

	Valor total	Unidad
Mano de obra directa	42.26	USD
Mano de obra indirecta	166.39	USD
Costo equipos y herramientas	78.10	USD
Costo de materiales	700.52	USD
Costo de energía eléctrica	4.21	USD
Costo directo	991.48	USD
Gastos generales (8%)	79.32	USD
Utilidad (10%)	99.15	USD
Costo total	1169.95	USD

5.4. Cálculo de costo para la fabricación de un nuevo eje

Para determinar el costo debemos hallar el peso de la barra solicitada para poder fabricar el eje. La forma del eje es:

Tabla 5.10: Cálculo de la masa actual del eje. - Elaboración propia

	Diámetro (mm)	Area (m2)	Longitud (m)	Volumen (m3)	Densidad del acero (kg/m3)	Peso (kg)
Zona 1	228.6	0.041	1.10	0.05	7850.00	354.23
Zona 2	320	0.080	0.60	0.05	7850.00	378.61
Zona 3	260	0.053	0.80	0.04	7850.00	333.25
						1066.09

Para llevar a cabo la fabricación del eje debemos tener en cuenta el diámetro mayor, en este caso tenemos 320 mm de diámetro, por lo que solicitaremos una barra con un diámetro mayor debido a que a veces las barras llegan con una ligera desviación (pandeo), la barra solicitada es de 330 mm de diámetro. La barra de 330 mm de diámetro con una longitud de 2.5 metros pesa 1745.66 kg aproximadamente.

5.4.1. Costo por mano de obra

Para obtener el costo de mano de obra, se considera 24 horas debido a que la fabricación es un proceso más complejo y con más pasos a seguir como, entre ellos tenemos el desbronado, volteo, centrado y acabado.

Tabla 5.11: Costo por mano de obra - fabricación. - Elaboración propia

Costo de mano de obra indirecta				
	Unidad	Cantidad	Costo (USD/h-h)	Valor total (USD)
Tornero	h-h	24	8.00	192.00
Costo de mano de obra directa				
Supervisor de producción	h-h	24.00	10.00	240.00
Supervisor de seguridad	h-h	24.00	10.00	240.00
Logística	h-h	24.00	10.00	240.00
Personal de mantenimiento	h-h	-	-	36.00
Personal de servicios	h-h	-	-	
				756.00

5.4.2. Costo por equipos y herramientas

Tabla 5.12: Costo por equipos - fabricación. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo por hora (USD/hr)	Horas de uso (hr)	Valor total (USD)
Torno convencional	und	1.00	9.00	24.00	216.00
Elementos de medición	und	1.00	2.00	24.00	48.00
Computadora	und	4.00	0.50	24.00	48.00
					312.00

5.4.3. Costo por materiales

Tabla 5.13: Costo por materiales - fabricación. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Costo por unidad (USD/und)	Valor total (USD)
acero (Ø340mm)	kg	1745.66	4.00	6982.64
Rueda flat	und	1.00	6.00	6.00
Liga para metal #120	und	1.00	0.56	0.56
Liga para metal #80	und	1.00	0.56	0.56
Trapo industrial	kg	1.00	1.82	1.82
				6991.58

5.4.4. Costo por consumo eléctrico

Tabla 5.14: Costo por consumo eléctrico - fabricación. - Elaboración propia

	Unidad	Cantidad	Potenica (KW)	Horas de funcionamiento (hr)	Costo de kw-hora (usd/KW-hr)	Valor total (USD)
Torno convencional	und	1.00	7.500	24.00	0.0775	13.95
Computadora	und	4.00	0.220	24.00	0.0775	1.64
						15.59

5.4.5. Costo total

Tabla 5.15: Cálculo de costo total - fabricación. - Elaboración propia

	Valor total	Unidad
Mano de obra directa	192.00	USD
Mano de obra indirecta	756.00	USD
Costo equipos y herramientas	312.00	USD
Costo de materiales	6991.58	USD
Costo d energía eléctrica	15.59	USD
Costo directo	8267.17	USD
Gastos generales (8%)	661.37	USD
Utilidad (10%)	826.72	USD
Costo total	9755.26	USD

Debemos considerar que el costo de la fabricación del eje se incrementa tanto, debido al acero solicitado. El kilogramo de acero DIN 34 Cr Ni Mo 6 (VCN) cuesta 4 dólares mientras que el kilogramo de acero SAE 1045 cuesta 1.8 dólares. También debemos tener en cuenta que el acero DIN 34 Cr Ni Mo 6 presenta una dureza de 300 HB, mientras que el acero SAE 1045 presenta una dureza de 193 HB, lo que provocaría una disminución en el costo.

El eje reparado entra en mantenimiento cada tres años, hace más de una año que se hizo la reparación en nuestro taller y aún no ha presentado falla, lo que reafirma que el proceso de rociado térmico presenta una gran ventaja económica sobre la opción de fabricar un nuevo eje, con el beneficio adicional de obtener mejores propiedades mecánicas superficiales como mayor dureza.



CONCLUSIONES

Se logró definir e identificar el concepto de rociado térmico y describir las características y funcionamiento de cada uno de los procesos de proyección térmica, en especial del proceso de proyección de polvo por combustión. Se llegó a la conclusión que el Metaceram 29012 es una de las aleaciones más adecuadas para llevar a cabo este tipo de trabajos dónde se requiere una aleación de alta dureza, bajo costo y fácil aplicación, usada para revestir alojamientos de rodamientos y ejes que están sometidos a desgaste por fricción y corrosión.

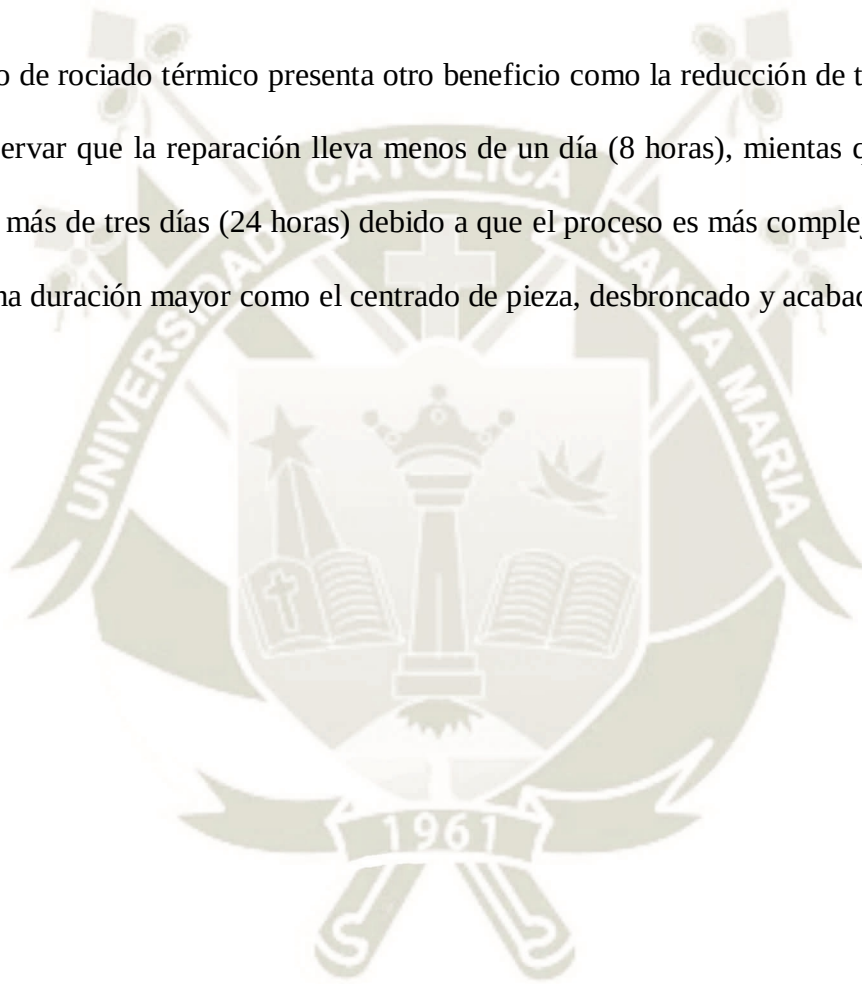
Se describió el procedimiento para llevar a cabo la reparación e identificar los pasos previos que se deben ejecutar antes de realizar la proyección del material, como es medir la deflexión del eje, asegurarse que la pieza no presente grietas mediante un ensayo de líquidos penetrantes y llevar a cabo una buena preparación superficial que es el punto clave para obtener una buena adherencia.

Se aplicó el procedimiento de preparación superficial recomendado por Sager S.A. para la obtención de una adherencia adecuada, el procedimiento recomendado por Sager S.A. es un método eficiente, de bajo costo y rápido para la obtención de una superficie rugosa, a diferencia del proceso de arenado que tomaría un mayor tiempo dependiendo del grado SP requerido.

Este estudio ha logrado demostrar que el proceso de rociado térmico tiene una gran ventaja económica frente a la fabricación de un eje nuevo; el rociado térmico tiene un costo de 1169.95 dólares y la fabricación tiene un costo de 9755.26 dólares, se obtiene un ahorro de 8585.31 dólares lo que representa un 86% aproximadamente.

Se logró evaluar los costos de la fabricación de un eje nuevo, se debe tener en cuenta que el costo de la fabricación del eje es tan elevado respecto de la reparación, debido al acero que tiene un precio aproximado de 4 dólares por kilogramo, si el material con el que se fabrica el eje fuese un SAE 1045, el costo total sería de 5223.52 dólares.

El proceso de rociado térmico presenta otro beneficio como la reducción de tiempo de trabajo, se puede observar que la reparación lleva menos de un día (8 horas), mientras que la fabricación podría llevar más de tres días (24 horas) debido a que el proceso es más complejo y contiene más etapas con una duración mayor como el centrado de pieza, desbrincado y acabado.



RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la presión de acetileno con la que se va a trabajar, si es mayor a 103 Kpa, es mejor trabajar con otros gas
- Es recomendable calentar el material base antes de la proyección, para poder incrementar la adhesión, también es necesario recordar que hay revestimientos que requieren calentar la pieza de trabajo hasta el rojo vivo después de la proyección térmica como el caso del Eutalloy RW que también puede ser proyectado por el soplete de proyección CastoDyn DS8000.
- Es recomendable purgar el compresor antes de realizar el rociado térmico, para evitar la formación de óxido y poros en el revestimiento. Los poros son producidos por dos motivos, el primero es la deficiente calidad de aire que cuenta con agua, producto de la condensación del aire en el interior del tanque y restos de aceite del tanque de lubricación, lo que provoca que las partículas tengan humedad y al entrar en contacto con altas temperaturas generen gases que provoquen poros. El segundo motivo es la baja temperatura a la que se proyecta las partículas o una distancia de proyección mayor a la recomendada, lo que provoca que el material proyectado este semi-funido, lo que también provoca una adhesión menor a la esperada.
- Se recomienda preparar la superficie a revestir, tal como se indica en el trabajo y tener cuidado con la limpieza de la pieza, ya que si cuenta con impurezas la adhesión del revestimiento será menor, pudiendo sufrir un descascaramiento prematuro.
- Tener en cuenta el límite de espesor del revestimiento recomendado por el fabricante, si se excede del límite es preferible usar otro revestimiento con propiedades que se asemejen a la del material base.

- Las piezas recuperadas por rociado térmico no deben ser sometidas a impacto.
- Si la pieza reparada trabaja a grandes presiones, es recordable sellar el revestimiento debido a que las grandes presiones ejercidas en los poros harán fallar el revestimiento, esto se realiza con la ayuda de ceras especiales que cerraran los poros del revestimiento.
- Para futuras reparaciones se recomienda automatizar el proceso, de esta forma es posible contralar los parámatelos más importantes como el avance y distancia, esto genera una superficie uniforme y menor consumo de polvo.



REFERENCIAS

- Aceros Bohler del Perú S.A. (2019). *Manual de aceros especiales*. Obtenido de Bohlerperu.com:
<https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/VCN.pdf>
- American Society of Testing Materials. (2016). *Prueba estándar para líquidos penetrantes*. Obtenido de Es.scribd.com: <https://es.scribd.com/document/314375043/ASTM-E-165-95-Metodo-de-Prueba-Estandar-Para-Liquido-Penetrante>
- Armas Ramos, P. L. (2019). *Tesis de pregrado: Proceso de metalizado por arco eléctrico para analizar influencia de mantenimiento de motores eléctricos en empresa Ipsycom Ingenieros SAC-Cajamarca*. Obtenido de Repositorio.ucv.edu.pe:
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35901>
- Barzola, S. M. (s.f.). *Diseño de ejes*. Obtenido de Es.calameo.com:
<https://es.calameo.com/read/003980313f575b5673e8f>
- Chicol Cabrera, C. E. (2004). *Tesis de pregrado: Metalización en frío como una actividad en la ingeniería de mantenimiento*. Obtenido de Biblioteca.usac.edu:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0411_M.pdf
- CYM materiales S.A. (2015). *Normas de preparación de superficies*. Obtenido de Utp.edu.co:
<https://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>
- Díaz Núñez, M. K., & Gamboa Barreto, J. A. (2014). *Tesis de pregrado: Diseño de un sistema de costos, basado en actividades para los productos y servicios en un taller metalmecánico perteneciente a un instituto de ingeniería para investigación y desarrollo, ubicado en los altos Sartenejas Estado Mirand*. Obtenido de Biblioteca2.ucab.edu.com:
http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7985_1.pdf
- Guevara Chávez, C. A., Acevedo Dávila, J. L., Hernandez Gutierrez, P., Ruiz Mondragon, J. J., & Zambrano Robledo, P. (2016). *Comportamiento Tribológico y Microestructural en Recubrimientos Aplicados por GTAW y HVOF (Proceso Térmico de Esparado) y Usado en Recuperación de Aceros Grado Herramienta AISI/SAE D2*. Obtenido de Scielo.br:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242016000200228&lng=es&tlng=es
- Indura Perú S.A. (s.f.). *Tabla de conversión de gases*. Obtenido de Indura.cl:
<http://www.indura.cl/Descargar/Tabla%20de%20Conversi%C3%B3n%20de%20Gases?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2Fca937305aed9407a8c405e0f84ca1910.pdf>
- Marulanda A., J. L., & Trujillo S., G. (2007). *Recuperación de piezas desgastadas con recubrimientos protectores*. Obtenido de Researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/26612382_Recuperacion_de_piezas_desgastadas_con_recubrimientos_protectores

- Marulanda A., J. L., Zapata Meneses, A., & Isaza Velásquez, E. (2007). *Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico*. Obtenido de Researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/26544288_Proteccion_contra_la_corrosion_por_medio_del_rociado_termico
- Marulanda Arévalo, J. L., Trisancho Reyes, J. L., & Gonzáles B., H. A. (2014). *La tecnología de recuperación y protección contra el desgaste está en el rociado térmico*. Obtenido de Redalyc.org: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250639009.pdf>
- Metal Spray Coating Corp. (2015). *Introducción al rociado térmico o metalizado*. Obtenido de Metal-spray-coating.com: http://metal-spray-coating.com/es/wp-content/uploads/2015/03/Thermal_Spray_V4-MSC-Esp.pdf
- Moreano Merchán, O. G. (2012). *Tesis de pregrado: Reparación de un eje de motor eléctrico mediante un proceso de metalización*. Obtenido de Dspace.espol.edu.ec:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31174/D-79619.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Peón, E., Domínguez, C., Pérez, H., Galván, J. C., Rodríguez Ortiz, J. A., Pavón, J. J., & Torres, Y. (2017). *Deposición sol-gel de hidroxapatita bioactiva sobre titanio poroso*. Obtenido de Scielo.sld.cu:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002017000100007
- Porras Mirón, H. R. (2007). *Tesis de pregrado: Termorociado en frío para mantenimiento correctivo y preventivo de piezas sometidas a desgastes*. Obtenido de Es.scribd.com:
<https://es.scribd.com/document/249765308/TERMOROCIADO-EN-FRIO-PARA-MANTENIMIENTO-CORRECTIVO-Y-PREVENTIVO-DE-PIEZAS-SOMETIDAS-A-DESGASTES>
- Rojas Sáenz, A. C. (2012). *Revisión al estado del arte del proceso de proyección térmica por arco eléctrico*. Obtenido de Repository.unilibre.edu.co: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/9806>
- Romero López, J. A. (2013). *Tesis de pregrado: Recubrimiento dual por proyección térmica por flama de polvos y alambre simultáneamente*. Obtenido de
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2289/Tesis.pdf?sequence=1>
- Sager S.A. (2009). *CastoDyn DS8000*. Obtenido de Issuu.com:
https://issuu.com/castolin_eutectic/docs/castodyn-sistema-equipos-recubrimie
- Sager S.A. (2014). *Catalogo de productos*. Obtenido de Issuu.com:
https://issuu.com/castolin_eutectic/docs/es-castolin-spain-2014
- Sager S.A. (2015). *Eutectic 29012*. Obtenido de Castolin.com:
<https://www.castolin.com/sites/default/files/Eutectic-29012.pdf>
- Sager S.A. (2016). *Características de Metaceram 29012*. Obtenido de Sager.com:
<http://www.sager.com.co/peru/productos/metalizacion/metaceram29012.html>
- Sager S.A. (2020). *Datos técnicos de CastoDyn 8000*. Obtenido de Environmental-expert.com:
<https://www.environmental-expert.com/products/castodyn-model-ds-8000-advanced-industrial-thermal-spray-coating-system-kits-302420>

Sager S.A. (s.f.). *Sistema de recubrimiento térmico industrial*. Obtenido de Castolin.com:

<https://www.castolin.com/file-download/download/public/13496>

Serrano Lledó, R. (s.f.). *Ensayos no destructivos: Líquidos penetrantes*. Obtenido de Raquelserrano.com:

http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.3_liq_penetrantes.pdf

Timken company. (2016). *Tapered roller bearing catalog*. Obtenido de Timken.com:

<https://www.timken.com/wp-content/uploads/2016/10/Timken-Tapered-Roller-Bearing-Catalog.pdf>

Villa, M., Dosta, S., Fernández, J., & Guilemany, J. M. (2012). *La proyección fría (CGS): Una alternativa a las tecnologías convencionales de deposición*. Obtenido de Academia.edu:

https://www.academia.edu/21696284/La_proyecci%C3%B3n_fr%C3%ADa_CGs_Una_alternativa_a_las_tecnolog%C3%ADas_convencionales_de_deposici%C3%B3n

Vulco Perú S.A. (2012). *Manual de operaciones y mantenimiento*. Obtenido de Academia.edu:

https://www.academia.edu/30732198/WARMAN_Centrifugal_Slurry_Pumps

Weir minerals Australia Ltd. (2009). *MC Pump range for mill circuit applications*. Obtenido de Global.weir.com:

https://www.global.weir/assets/files/product%20brochures/AU0087%20MC%20Mill%20Circuit%20BrochureFINAL_v2_Lores.pdf

Weir Minerals Services. (2018). *Warman centrifugal slurry pumps*. Obtenido de Academia.edu:

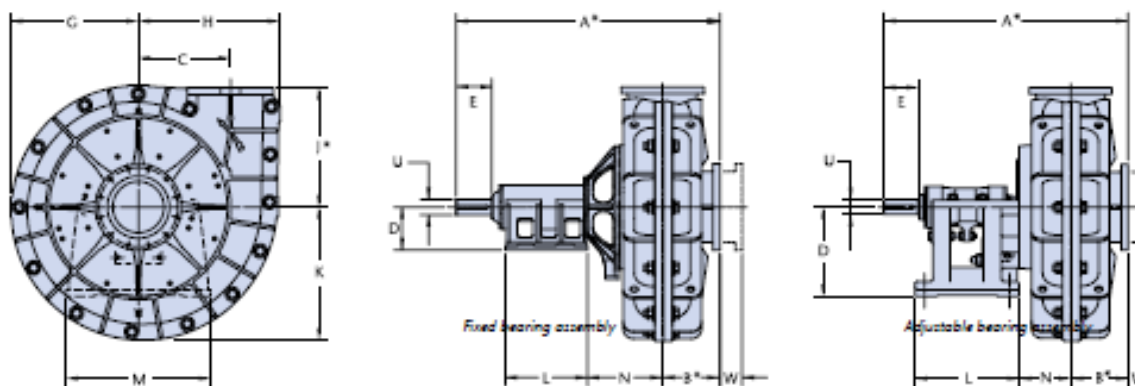
https://www.academia.edu/30732198/WARMAN_Centrifugal_Slurry_Pumps

YanéZ Montezuma, O. R. (2019). *Tesis de pregrado: Estudio y caracterización del proceso de metalización por HVOF de un eje de acero inoxidable de una bomba centrífuga*. Obtenido de bibdigital.epn.edu.ec:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20233>

APENDICE

Apéndice 1



Warman MC Pump Dimensions (millimeters)

Fixed bearing assembly

Pump	Size	Type	Frame	A*	B*	C	D	E	G	H	J*	K	L	M	N	U	key size	W
125	(6x5)	MCH	M80	1240	206	240	205	220	378	412	385	384	380	620	389	80	22x14	64
150	(8x6)	MCU	M80	1283	243	351	205	220	533	569	532	554	380	620	190	80	22x14	400
200	(10x8)	MCR/U	M100	1670	335	485	255	290	700	728	745	740	453	880	547	100	28x16	460
250	(12x10)	MCR/U	M100	1742	390	560	255	290	824	868	850	847	453	880	563	100	28x16	350
300	(14x12)	MCR/U	M120	2142	381	629	310	316	940	1020	879	980	699	1048	651	120	32x18	870
350	(16x14)	MCR/U	M120	2168	404	697	310	316	1030	1123	970	1077	699	1048	655	120	32x18	390
400	(18x16)	MCR/U	M150	2541	510	801	405	344	1148	1281	1156	1199	770	920	687	150	36x20	450
450	(20x18)	MCR/U	M150	2485	580	930	405	344	1293	1431	1207	1345	770	920	761	150	36x20	850
550	(26x22)	MCR/U	M180	2870	680	1025	450	349	1406	1550	1322	1479	824	1200	880	180	45x25	850
650	(30x26)	MCR/U	M200	3323	758	1200	505	455	1645	1853	1554	1755	918	1340	1055	200	45x25	1200
750	(36x30)	MCR/U	M240	3678	850	1500	600	415	1918	2258	1850	2062	1000	1600	1180	240	56x32	1650
850	(40x34)	MCR/U	M240	3780	900	1500	600	415	1990	2320	2050	2090	1000	1600	1200	240	56x32	1800

Adjustable bearing assembly

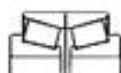
Pump	Size	Type	Frame	A*	B*	C	D	E	G	H	J*	K	L	M	N	U	key size	W
125	(6x5)	MCH	EEAM	1200	206	240	457	222	378	412	385	384	448	622	240	85	22x14	64
150	(8x6)	MCU	EEAM	1247	243	351	457	222	533	569	532	554	448	622	265	85	22x14	400
200	(10x8)	MCR/U	FF	1670	335	485	610	290	725	752	745	740	705	990	383	120	32x18	460
250	(12x10)	MCR/U	FF	1742	390	560	610	290	824	868	850	847	705	990	399	120	32x18	350
300	(14x12)	MCR/U	GCAM	2010	381	629	851	357	940	1020	879	980	876	1219	393	150	36x20	870
350	(16x14)	MCR/U	TU	2262	404	697	900	350	1030	1123	970	1077	1050	1460	502	150	36x20	390
400	(18x16)	MCR/U	TU	2412	510	801	900	350	1148	1281	1156	1199	1050	1460	520	150	36x20	450
450	(20x18)	MCR/U	TU	2468	580	930	900	350	1293	1431	1207	1345	1050	1460	520	150	36x20	850
550	(26x22)	MCR/U	U	3180	680	1025	900	455	1406	1550	1322	1479	1375	1440	610	240	56x32	850
650	(30x26)	MCR/U	U	3343	758	1200	900	455	1645	1853	1554	1755	1375	1440	709	240	56x32	1200

* Includes compression of rubber flange joint.

Consult outline dimension drawings for size and location of mounting holes. Dimensions are for reference only.

Note: Casing dimensions are symmetrical around vertical centreline should the left vertical pump orientation be used.

Apéndice 2



TIMKEN

HH949549-902A2

Descripción

TIMKEN HH949549-902A2

Assembly: Standard Precision; Components HH949549 (2) | HH949510 (2) | HH949510EB (1) | HH949549XA (1); 9" Bore; 19-1/4" Outside Diameter; 9-3/4" Assembly Width; 0.012" End Play; Double Row of Rollers

N° de pieza del fabricante

HH949549-902A2

N° de pieza de BDI

1357917



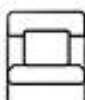
ESPECIFICACIONES

Categoría	Ensamblaje de rodamientos de rodillos cónicos		
Marca	TIMKEN	Nombre del fabricante	TIMKEN
Cantidad mínima de compra	No disponible	Peso / Kilogram	205.5
EAN	0053893822747	Product Group - BDI	B04336
Clase de precisión	Standard	Componente	Assembly
Número básico	HH949549	Número del ensamble	902A2
Componente de ensamble	HH949549 (2) HH949510 (2) HH949510EB (1) HH949549XA (1)	Juego	0.012
Número de filas cónicas	Double Row	Pulgadas - Métrico	Inch
Otras características	2 Single Cone 2 Single Cup Heavier Duty	Categoría - BDI	Tapered Roller Bearings Assembly
UNSPSC	31171516	Fracción arancelaria	8482.20.00.00
Nombre	Bearing	String de palabra clave	Tapered
URL del fabricante	http://www.timken.com	Número del artículo del fabricante	HH949549-902A2
Peso/LBS	452.636	Descripción larga	Assembly: Standard Precision; Components HH949549 (2) HH949510 (2) HH949510EB (1) HH949549XA (1); 9" Bore; 19-1/4" Outside Diameter; 9-3/4" Assembly Width; 0.012" End Play; Double Row of Rollers
Diámetro externo	19.25 pulgadas 488.95 milímetros	Diámetro externo de la brida	0 pulgadas 0 milímetros
Agujero	9 pulgadas 228.6 milímetros	Ancho del ensamble	9.75 pulgadas 247.65 milímetros

Apéndice 3



⊕ Hover to zoom



FAG BEARING

NU2252-E-M1A

Descripción

FAG BEARING NU2252-E-M1A

260MM Bore; Straight Bore Profile; 480MM Outside Diameter; 130MM Width; Brass Cage Material; RBEC 1 | ISO P0; Single Row; Inner Ring - Both Sides Separable; No Snap Ring; Relubricatable; C0-Medium Internal Clearance; Retainer

Nº de pieza del fabricante

NU2252-E-M1A

Nº de pieza de BDI

1164005



ESPECIFICACIONES

ALTERNATIVAS

Categoría	Rodamientos de rodillos cilíndricos		
Marca	FAG BEARING	Nombre del fabricante	SCHAEFFLER GROUP
Cantidad mínima de compra	No disponible	Peso / Kilogram	108.5
EAN	4012001627500	Product Group - BDI	B04144
Perfil del agujero	Straight	Material de la jaula	Brass
Clase de precisión	RBEC 1 ISO P0	Número de filas de rodillos	Single Row
Separable	Inner Ring - Both Sides	Elemento rodante	Cylindrical Roller Bearing
Perfil	Complete with Outer and Inner Ring	Anillo de retención	No
juego interno	C0-Medium	Retenedor	Yes
Relubricables	Yes	Pulgadas - Métrico	Metric
Otras características	High Capacity Plain Inner Ring 2 Rib Outer Ring Light Wide Series Cage on Outer Ring ID	Categoría - BDI	Cylindrical Roller Bearing
UNSPSC	31171547	Fracción arancelaria	8482.50.00.00
Nombre	Bearing	URL del fabricante	http://www.ina.com
Número del artículo del fabricante	NU2252E.M1A	Peso/LBS	239.198
Descripción larga	260MM Bore; Straight Bore Profile; 480MM Outside Diameter; 130MM Width; Brass Cage Material; RBEC 1 ISO P0; Single Row; Inner Ring - Both Sides Separable; No Snap Ring; Relubricatable; C0-Medium Internal Clearance; Retainer	Diámetro externo	18.898 pulgadas 480 milímetros
Agujero	10.236 pulgadas 260 milímetros	Ancho	5.118 pulgadas 130 milímetros

Apéndice 4

VCN



AISI : ~ 4340 H
DIN : 34 Cr Ni Mo 6
W N°: 1.6582

Tipo de aleación promedio : C 0,34 Cr 1,5 Ni 1,5 Mo 0,2 Si 0,30 Mn 0,50 %
Color de identificación : Verde
Estado de suministro : Bonificado 240-380 HB Típico. Ver tabla inf.
Largo estándar : 3,5 - 6 metros,

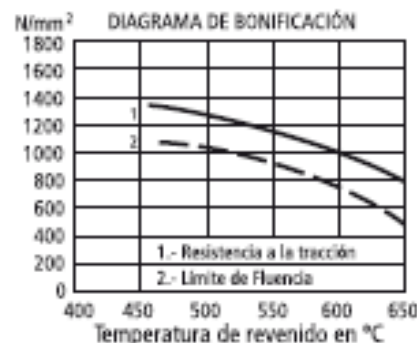
Acero especial de bonificación al cromo níquel molibdeno, altamente resistente a la tracción, a la torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Por su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación, sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones, sometidas a muy altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas. Cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes cardán, ejes para bombas, ejes para hélice de aviones, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadora, vástagos y pines, muñones; brazos de dirección, ciertos engranajes, discos de embrague, etc.

26

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1050 - 850 °C
Recocido: 650 - 700 °C
Enfriamiento lento en el horno
Temple: al aceite 830 - 860 °C
Dureza obtenible: 52 - 56 HRC
Revenido : 540 - 680 °C
Normalizado: 850 - 880 °C
Nitrurar: 580 °C



Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm²	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm²	Resistencia a la tracción N/mm²	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
800	248	16	16	980	1180 - 1380	9	40	41
		40	40	885	1080 - 1280	10	45	48
		40	100	785	980 - 1180	11	50	48
		100	160	685	880 - 1080	12	55	48
		160	250	590	780 - 930	13	55	48

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

02

Apéndice 5

Características		Tipo de Recubrimiento	Pulvo Rociado por Llama	HVOF Rociado	Rociado de Alambre por Arco Eléctrico	Rociado por Plasma
Temperatura del Gas	[°C] [°F]		3000 5400	2600 – 3000 4700 – 5400	4000 (Arc) 7200 (Arc)	12000 – 16000 21500 – 29000
Ratio de Rociado	[kg/h] [lb/h]		2 – 6 4.5 – 13	1 – 9 2 – 20	10 – 25 22 – 55	2 – 10 4.5 – 22
Velocidad de la Partícula	[m/s] [ft/s]		hasta 50 hasta 160	hasta 700 hasta 2300	aprox. 150 aprox. 500	hasta 450 hasta 1500
Resistencia de Adherencia	[MPa] [psi]	Aleaciones de Hierro	14 – 21 2000 – 3000	48 – 62 7000 – 9000	28 – 41 4000 – 6000	21 – 34
	[MPa] [psi]	Aleaciones no Ferrosas	7 – 34 2000 – 5000	48 – 62 7000 – 9000	14 – 48 4000 – 7000	14 – 48 4000 – 7000
	[MPa] [psi]	Aleaciones auto fundentes	83+ (Fundida) 12000+ (Fundida)	70 – 80 10000 – 11500	15 – 50 2200 – 7200	
	[MPa] [psi]	Cerámicas	14 – 34 4000 – 5000			21 – 41 3000 – 6000
	[MPa] [psi]	Carburos	34 – 48 5000 – 7000	83+ 12000+		55 – 69 8000 – 10000
Espesor de Recubrimiento	[mm] [in]	Aleaciones de Hierro	0.05 – 2.0 0.002 – 0.080	0.05 – 2.5 0.002 – 0.100	0.1 – 2.5 0.004 – 0.100	0.4 – 2.5 0.015 – 0.100
	[mm] [in]	Aleaciones no Ferrosas	0.05 – 5.0 0.002 – 0.200	0.05 – 2.5 0.002 – 0.100	0.1 – 5.0 0.004 – 0.200	0.05 – 5.0 0.002 – 0.200
	[mm] [in]	Aleaciones auto fundentes	0.15 – 2.5 0.006 – 0.100	0.05 – 2.5 0.002 – 0.100		
	[mm] [in]	Cerámicas	0.25 – 2.0 0.010 – 0.075			0.1 – 2.0 0.004 – 0.080
	[mm] [in]	Carburos	0.15 – 0.8 0.006 – 0.030	0.05 – 5.0 0.002 – 0.200		0.15 – 0.8 0.006 – 0.030
Dureza (HRC) (ver Tabla A.1 en apéndice)		Aleaciones de Hierro	35	45	40	40
		Aleaciones no Ferrosas	20	55	35	50
		Aleaciones auto fundentes	30-60	30-60		30-60
		Cerámicas	40-65			45-65
		Carburos	45-55	55-72		60-65
Porosidad (%)		Aleaciones de Hierro	3 – 10	< 2	3 – 10	2 – 5
		Aleaciones no Ferrosas	3 – 10	< 2	3 – 10	2 – 5
		Aleaciones auto fundentes	< 2 (fundida)	< 2		
		Cerámicas	5 – 15			1 – 2
		Carburos	5 – 15	< 1		2 – 3

Apéndice 6

RESUMEN LÍNEA COATING

Existen diferentes tipos de recubrimientos para proteger frente al desgaste, reparar y reconstruir piezas, cada cual con sus respectivas ventajas y restricciones. En la siguiente tabla se presenta un resumen general sobre las características de nuestros diferentes procesos de recubrimiento.

Familia de producto	Material de aporte	Material base	Aporte térmico	Máximo espesor (mm)	Área de aportación	Estructura del recubrimiento	Microporosidad del recubrimiento	Adherencia	Tasa de deposición	Rendimiento	Energía	Inversión en equipos
RotoTec	Polvos metálicos y polímeros	Todos los metales	Bajo	3 (10)*	Medio-grande	Lamelar	5 a 15%	Buena adherencia mecánica, microdifusión	Medio a alta	Medio a alto	Combustión de gases	Baja
ProXon	Polvos metálicos	Todos los metales	Bajo	2 (5)*	Medio-grande	Lamelar	5 a 15%	Buena adherencia mecánica, microdifusión	Medio	Medio a alto	Combustión de gases	Baja
Meta-Ceram	Polvos cerámicos	Todos los metales	Bajo	0,4 (1)*	Medio	Lamelar	5 a 15%	Buena adherencia mecánica, microdifusión	Baja	Medio	Combustión de gases	Baja
Eutalloy	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones (aluminio, bronce)*	Medio a alto	2 (10)*	Pequeña y precisa	Homogéneo	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Medio	Medio	Combustión de gases	Baja
Eutalloy SF	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	2 (6)*	Medio-grande	Homogéneo	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Alta	Alta	Combustión de gases	Baja
Eutalloy RW	Aleaciones autofundentes en polvo	Aceros, fundiciones	Alto	2 (6)*	Medio	Homogéneo	Despreciable	Muy buena, mediante difusión	Medio a alta	Medio a alto	Combustión de gases	Baja
EuTroLoy	Polvos o hilo metálico	Aceros y fundiciones (aluminio ó bronce)*	Medio a alto	2 (20)*	Grande	Homogéneo	Despreciable	Excelente, mediante fusión	Medio a alta	Alto	Electricidad y gas inerte	Medio
EuTronic Arc	Hilo metálico	Todos los metales	Bajo	1 (20)*	Grande	Lamelar	3 to 10%	Buena adherencia mecánica, microdifusión	Muy alta	Medio	Electricidad y aire comprimido	Medio

Familia de producto	Material de aporte	Material base	Aporte térmico	Máximo espesor (mm)	Área de aportación	Estructura del recubrimiento	Microporosidad del recubrimiento	Adherencia	Tasa de deposición	Rendimiento	Energía	Inversión en equipos
McCaTeC	Polímero en Pasta o fluido	Todos los metales y otros materiales	Ninguno	10 (20)*	Grande	Heterogéneo	Despreciable	Buena, química	Medio	Alto	Ninguna	Despreciable

 La mejor Segunda opción

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



Apéndice 7

ALEACIONES PROYECCIÓN EN FRÍO, PROCEDIMIENTO DS 8000

Designación	Aleación	Aplicación	Propiedades
RotoTec® 19800	Cu-Sn-Zn	Ideal para todas las aplicaciones en las que se busca un buen coeficiente de fricción, sea en seco o con lubricación. Camisas de pistones, poleas, espigas, etc.	~100 HV10 - Excelente mecanizado mediante cuchilla de corte. Baja sensibilidad a tensiones residuales.
RotoTec® 19999	Ni-Cr-Fe con Carburo de Tungsteno	Recargue de protección resistente a los desgastes por abrasión, oxidación y corrosión. Adecuada para obtener superficies rugosas. Placas de desgaste, álabes de rotores, etc.	~250 HV10 - 50% de contenido en carburo de tungsteno. Alta Resistencia a la abrasión, depósito de aspecto rugoso.
MetaCeram® 29011	Aleación 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 estopas, pistones hidráulicos, etc.	~250 HV10 Mecanizable con herramienta de corte. Buen coeficiente de fricción. Buena resistencia a la corrosión.
MetaCeram® 29012	Aleación Fe-Cr-Ni	Recubrimiento que permite resistir grandes presiones con fricción metal-metal, oxidación y corrosión. Husillos de máquinas herramienta, alojamiento de rodamientos, cigüeñales, prensa estopas, etc.	~420 HV10 - Obtención del mejor acabado superficial mediante rectificado
MetaCeram® 29013	Aleación Ni-Cr-Fe-Mo	Aleación de recargue de protección que permite resistir grandes presiones con fricción metal-metal, oxidación y corrosión. Husillos de máquinas herramienta, alojamientos de rodamientos, cigüeñales, etc.	~370 HV10 - Obtención del mejor acabado superficial mediante rectificado.
MetaCeram® 29029	Aleación Ni-Al-Mo	Capa de enganche para las familias de aleaciones RotoTec 19000 y MetaCeram 28000, para todos los metales excepto Cu y Mg puros.	~170 HV10 La reacción de fusión durante la proyección genera una fuerte adherencia con el sustrato.
MetaCeram® 29061	Aleación Cu-Al	Aleación para todas las aplicaciones en las que se busca un buen coeficiente de fricción, sea en seco o con lubricación. Camisas de pistones, poleas, espigas.	~120 HV10 - Excelente mecanizado mediante cuchilla de corte. Baja sensibilidad a tensiones residuales.
MetaCeram® 29096	Aleación Ni-Cr-Fe	Aleación para reconstrucción dimensional y protección que permite resistir presión, con fricción metal-metal, oxidación y corrosión. Husillos de máquinas herramienta, alojamientos de rodamientos, cigüeñales, etc.	~200 HV10 - Excelente mecanizado mediante cuchilla de corte
RotoTec® 29220	Al puro	Aleación para proporcionar conductividad eléctrica, recubrimiento anti-corrosión, recubrimiento anti-oxidación	Al 99%
RotoTec® 29230	Base Zn	Aleación para protección contra corrosión medioambiental, como equipos de puertos, reparación de daños en estructuras galvanizadas.	Zn >99% - Baja temperatura de fusión. Capas de sacrificio para protección catódica frente a la corrosión atmosférica.
RotoTec® 29240	Sn-Sb-Cu (Babbitt)	Aleación para realizar recargues anti fricción. Reparación de cojinetes. La mejor adherencia se obtiene mediante estañado preparatorio con CastoTín nº 1.	Baja temperatura de fusión. Excelente recargue anti fricción

ALEACIONES PROXON AUTO 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 estopas, ejes, etc.	~170 HV10 - Se utiliza sin capa de enganche. Recomendada cuando solamente es posible el mecanizado mediante cuchilla de corte.
ProXon® 21023	Fe-Ni-Al	Aleación de recargue de protección y reconstrucción que resiste a la fricción metal-metal. Pistones hidráulicos, alojamiento de prensa estopas, ejes, etc.	~200 HV10 - Se utiliza sin capa de enganche. Temp. máxima de servicio: 800 °C. Capacidad de aporte: hasta 3 mm al radio.
ProXon® 21031	Ni-Cr-Al-Fe-Mo	Aleación de recargue de protección y reconstrucción que resiste a la fricción metal-metal y grandes presiones. Pistones hidráulicos, alojamiento de prensa estopas, ejes, etc.	~280 HV10 - Se utiliza sin capa de enganche. Capacidad de aporte: hasta 3 mm al radio.
ProXon® 21032	Ni-Mo-Fe-Ti-si-W	Aleación base níquel auto adherible con excelente resistencia en ambientes cáusticos y reductores. Impulsores, ejes de bombas, rodillos de impresión, pistones hidráulicos...	30 HRC Se utiliza sin capa de enganche. Mecanizado mediante cuchilla de corte.
ProXon® 21071	Cu-Al	Aleación para todas las aplicaciones en las que se busca un buen coeficiente de fricción, sea en seco o con lubricación. Camisas de pistones, poleas, espigas, etc.	~120 HV10 - Se utiliza sin capa de enganche. Excelente mecanizado mediante herramienta de corte. Capacidad de aporte de hasta 4 mm al radio.

ALEACIONES METACERAM - CERÁMICAS-

Designación	Aleación	Aplicación	Propiedades
MetaCeram® 28010	Cr2O3	Necesita capa de enganche MetaCeram 29029. Alojamiento de prensa estopas, casquillos protectores de ejes, Pistones, ejes de bombas, resbaladeras de alimentación.	Microdureza ~2400 HV10 Temp. máxima de servicio 500 °C. Densidad del producto 5.2 kg/dm. Gran dureza, excelente resistencia a la corrosión, bajo coeficiente de fricción.
MetaCeram® 28020	Al2O3 TiO2(2.2%)	Necesita capa de enganche MetaCeram 20929. Alojamiento de prensa estopas, casquillos protectores de ejes, aislamiento eléctrico de piezas de máquinas, fundas de termopares, etc.	Microdureza ~1950 HV10 Temp. máxima de servicio 1000 °C. Densidad del producto 4.0 kg/dm. Alta dureza, excelente resistencia a la corrosión. Buen aislamiento eléctrico (según el espesor del aporte).
MetaCeram® 28030	Al2O3 TiO2(13%)	Necesita capa de enganche MetaCeram 20929. Casquillos de bombas, rodillos de arrastre, cuerpos de bombas, etc.	Microdureza ~1600 HV10 Temp. máxima de servicio 1000 °C. Densidad del producto 4.0 kg/dm. Buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades contra la fricción.
MetaCeram® 28095	Mo	Se utiliza sin capa de enganche. Guías mecánicas, pistones para bombas de alta presión.	Microdureza ~900 HV10g Temp. máxima de servicio 400 °C. Densidad del producto 10.2 kg/dm. Buena resistencia a la abrasión y excelente coeficiente de fricción. Aporte no magnético.

Apéndice 8



MetaCeram 29012®

Alta resistente al desgaste por fricción





CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Aleación metálica **MicroFlo** del tipo de acero inoxidable con alto contenido de cromo. Posee una excelente resistencia al desgaste por fricción, abrasión y compresión; para proceso de metalización en frío sin la deformación ni modificación de la estructura del metal base.

METAL BASE

Todos los metales excepto el cobre puro.

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

Consulte el procedimiento en la página 28.

CAPA DE LIGA

UltraBond 50000 (espesor 0.1 a 0.2 mm).

USOS

Pistones, partes de bombas, anillos de desgaste, camisas de cilindros, etc.

DATOS TECNICOS

Dureza	: 37Rc
Temp. máxima de servicio	: 540°C
Temp. de aplicación	: mínima 100° y máxima 250°C
Límite de espesor del depósito	: 1.5 mm

ACABADO

Con herramienta de carburo de tungsteno o por rectificado.

SISTEMAS DE APLICACION

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



LOS ESPECIALISTAS EN SOLDADURA

Apéndice 9



UltraBond 50000®

Capa de adherencia para todas las aleaciones
en frío RotoTec/MetaCeram



CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Aleación metálica **MicroFlo** con superiores características de adhesión para ser usada en el proceso **RotoTec** en frío, proporcionando superficies con textura apropiada para revestimientos con aleaciones finales **RotoTec** y **MetaCeram**.



METAL BASE

Aceros al carbono, aceros aleados, acero inoxidable, hierros fundidos, aluminio y sus aleaciones, latones y bronce, níquel y aleaciones de níquel, excepto el cobre puro.

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

Consulte el procedimiento en la página 28.

CAPA DE LIGA

UltraBond 50000 (espesor 0.1 a 0.2 mm).

USOS

Pistones, partes de bombas, anillos de desgaste, camisas de cilindros, bocinas, etc.

DATOS TECNICOS

Temp. máxima de servicio : 540°C

Temp. de aplicación : mínima 100° y máxima 250°C

SISTEMAS DE APLICACION

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



Apéndice 10

Castodyn - Modelo DS 8000 - Kits avanzados de sistemas de recubrimiento por pulverización térmica industrial



Del equipo de recubrimiento - Pulverización térmica por llama

Un sistema de recubrimiento por pulverización térmica industrial avanzado y fácil de usar. Sistema modular avanzado de pulverización térmica de oxiacetileno, diseñado para pulverizar una amplia gama de aleaciones y otros materiales para muchas aplicaciones diferentes. Se puede integrar en instalaciones automatizadas para aplicaciones de producción en masa. Antorcha de pulverización térmica para recubrir y reconstruir una gran variedad de componentes mecánicos. Para pulverización térmica 'en frío' de polvos de aleación RotoTec y ProXon sin deformación o cambio estructural de la pieza. Para la pulverización térmica 'en caliente' de polvos de aleación Eutalloy RW para depósitos densos y sin porosidad. La gama de aleaciones proporciona una excelente resistencia al desgaste de metal a metal, fricción, corrosión, abrasión a erosión.

> Accesorios

El cuello de extensión de pulverización aumenta las posibilidades de aplicación para perforaciones internas o en piezas con geometría complicada.

> Ventajas

- Altamente adaptable: el concepto modular permite la más amplia gama de aplicaciones.
- Práctico, ligero y robusto: adecuado para todos los usuarios
- Excelente seguridad del operador y facilidad de uso: control de parámetros de válvula única
- Para pulverización térmica 'fría' y 'caliente', incluidos polvos cerámicos y material plástico
- Se suministra como un kit con accesorios.
- Cuello de extensión opcional

> Datos técnicos

Velocidad de suministro: 1 - 8 kg / h
Flujo de oxígeno: 500 - 2000 NI / h
Flujo de acetileno: 400 - 1800 NI / h
Presión de oxígeno: 4,0 bar
Presión de acetileno: 0,7 bar
Presión de aire comprimido: 0 - 6 bar

Apéndice 11

Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos

▼ Diferencias entre carga circunferencial y carga puntual

Condiciones de giro	Ejemplo	Esquema	Caso de carga	Ajuste
El aro interior gira El aro exterior permanece inmóvil El sentido de la carga permanece invariable	Eje cargado con un peso	 Peso	Carga circunferencial para el aro interior y	Aro interior: ajuste fijo necesario
El aro interior permanece inmóvil El aro exterior gira El sentido de la carga gira con el aro exterior	Apoyo de un cubo de rueda con gran desequilibrio	 Desequilibrio	Carga puntual para el aro exterior	Aro exterior se permite ajuste holgado
Condiciones de giro	Ejemplo	Esquema	Caso de carga	Ajuste
El aro interior permanece inmóvil El aro exterior gira El sentido de la carga permanece invariable	Rueda delantera de un automóvil Rodillo (Apoyo de un cubo de rueda)	 Peso	Carga puntual para el aro interior y	Aro interior: se permite ajuste holgado
El aro interior gira El aro exterior permanece inmóvil El sentido de la carga gira con el aro interior	Centrifuga Criba vibratoria	 Desequilibrio	Carga circunferencial para el aro exterior	Aro exterior ajuste fijo necesario

Apéndice 12

Diseño de las partes adyacentes

Tolerancias de los ejes

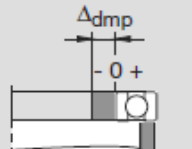
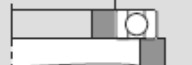
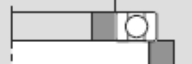
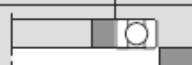
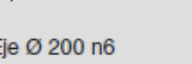
Rodamientos radiales con agujero cilíndrico

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Desplazabilidad axial Carga	Tolerancia
Carga puntual para el aro interior	Rodamientos de bolas y de rodillos	Todas las dimensiones	Rodamientos libres con aro interior desplazable	g6 (g5)
			Rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos, con aros interiores ajustados	h6 (j6)
Carga circunferencial para el aro interior o carga indeterminada	Rodamientos de bolas	hasta 40 mm	Carga normal	j6 (j5)
		hasta 100 mm	Carga pequeña	j6 (j5)
			Carga normal y elevada	k6 (k5)
		hasta 200 mm	Carga pequeña	k6 (k5)
			Carga normal y elevada	m6 (m5)
		más 200 mm	Carga normal	m6 (m5)
			Carga elevada, golpes	n6 (n5)
	Rodamientos de rodillos	hasta 60 mm	Carga pequeña	j6 (j5)
			Carga normal y elevada	k6 (k5)
		hasta 200 mm	Carga pequeña	k6 (k5)
			Carga normal	m6 (m5)
			Carga elevada	n6 (n5)
		hasta 500 mm	Carga normal	m6 (n6)
			Carga elevada, golpes	p6
		más de 500 mm	Carga normal	n6 (p6)
			Carga elevada	p6

Rodamientos axiales

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga axial	Rodamientos axiales de bolas	Todas las dimensiones		j6
	Rodamientos axiales de bolas de doble efecto	Todas las dimensiones		k6
	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h6 (j6)
	Coronas axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h8
Carga combinada	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos	Todas las dimensiones	Carga puntual para el aro ajustado al eje	j6
		hasta 200 mm	Carga circunferencial para el aro ajustado al eje	j6 (k6)
		más de 200 mm	Carga circunferencial para el aro ajustado al eje	k6 (m6)

Apéndice 13

Dimensiones en mm													
Medida nominal del eje	más de hasta	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 65						
Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)													
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ _{dmp}	0 -8	0 -8	0 -8	0 -10	0 -12	0 -15						
Esquema del ajuste Eje		Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
n5		+13 +8	21 17 8	+16 +10	24 19 10	+20 +12	28 23 12	+24 +15	34 28 15	+28 +17	40 32 17	+33 +20	48 39 20
n6		+16 +8	24 19 8	+19 +10	27 21 10	+23 +12	31 25 12	+28 +15	38 30 15	+33 +17	45 36 17	+39 +20	54 43 20
p6		+20 +12	28 23 12	+24 +15	32 26 15	+29 +18	37 31 18	+35 +22	45 37 22	+42 +26	54 45 26	+51 +32	66 55 32
p7		+24 +12	32 25 12	+30 +15	38 30 15	+36 +18	44 35 18	+43 +22	53 43 22	+51 +26	63 51 26	+62 +32	77 62 32
r6		+23 +15	31 25 15	+28 +19	36 30 19	+34 +23	42 35 23	+41 +28	51 44 28	+50 +34	62 53 34	+60 +41	75 64 41
r7		+27 +15	35 28 15	+34 +19	42 34 19	+41 +23	49 40 23	+49 +28	59 49 28	+59 +34	71 59 34	+71 +41	86 71 41

Ejemplo: Eje Ø 200 n6

Lado pasa	+60	90	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Lado no pasa	+31	70	Apriete u holgura probable
		31	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa

los números **impresos en negrita** indican apriete
los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura

Tolerancias del eje para manguitos de montaje y desmontaje

Tolerancias de eje en micras (0.001 μm)												
$h7/\frac{IT5}{2}$	0 -12	2.5	0 -15	3	0 -18	4	0 -21	4.5	0 -25	5.5	0 -30	6.5
$h8/\frac{IT5}{2}$	0 -18	2.5	0 -22	3	0 -27	4	0 -33	4.5	0 -39	5.5	0 -46	6.5
$h9/\frac{IT6}{2}$	0 -30	4	0 -36	4.5	0 -43	5.5	0 -52	6.5	0 -62	8	0 -74	9.5

Los números impresos en *cursiva* son valores de orientación para la tolerancia de t_1 (DIN ISO 1101)

65 80		80 100		100 120		120 140		140 160		160 180		180 200		200 225		225 250			
0 -15		0 -20		0 -20		0 -25		0 -25		0 -25		0 -30		0 -30		0 -30			
+33 +20	48 39 20	+38 +23	58 46 23	+38 +23	58 46 23	+45 +27	70 56 27	+45 +27	70 56 27	+45 +27	70 56 27	+51 +31	81 64 31	+51 +31	81 64 31	+51 +31	81 64 31		
+39 +20	54 43 20	+45 +23	65 51 23	+45 +23	65 51 23	+52 +27	77 60 27	+52 +27	77 60 27	+52 +27	77 60 27	+60 +31	90 70 31	+60 +31	90 70 31	+60 +31	90 70 31		
+51 +32	66 55 32	+59 +37	79 65 37	+59 +37	79 65 37	+68 +43	93 76 43	+68 +43	93 76 43	+68 +43	93 76 43	+79 +50	109 89 50	+79 +50	109 89 50	+79 +50	109 89 50		
+62 +32	77 62 32	+72 +37	92 73 37	+72 +37	92 73 37	+83 +43	108 87 43	+83 +43	108 87 43	+83 +43	108 87 43	+96 +50	126 101 50	+96 +50	126 101 50	+96 +50	126 101 50		
+62 +43	77 66 43	+73 +51	93 79 51	+76 +54	96 82 54	+88 +63	113 97 63	+90 +65	115 99 65	+93 +68	118 102 68	+106 +77	136 116 77	+109 +80	139 119 80	+113 +84	143 123 84		
+73 +43	88 73 43	+86 +51	106 87 51	+89 +54	109 90 54	+103 +63	128 107 63	+105 +65	130 109 65	+108 +68	133 112 68	+123 +77	153 128 77	+126 +80	156 131 80	+130 +84	160 135 84		
0 -30		6,5		0 -35		7,5		0 -35		7,5		0 -40		9		0 -40		9	
0 -46		6,5		0 -54		7,5		0 -54		7,5		0 -63		9		0 -63		9	
0 -74		9,5		0 -87		11		0 -87		11		0 -100		12,5		0 -100		12,5	
0 -46		6,5		0 -54		7,5		0 -63		9		0 -72		10		0 -72		10	
0 -74		9,5		0 -87		11		0 -100		12,5		0 -115		14,5		0 -115		14,5	

Dimensiones en mm													
Medida nominal del eje	más de hasta	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500						
Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)													
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ _{dmp}	0 -35	0 -35	0 -40	0 -40	0 -45	0 -45						
Esquema del ajuste Eje	Δ _{dmp} - 0 +	Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
n5		+57 +34	92 73 34	+57 +34	92 73 34	+62 +37	102 80 37	+62 +37	102 80 37	+67 +40	112 88 40	+67 +40	112 88 40
n6		+66 +34	101 79 34	+66 +34	101 79 34	+73 +37	113 88 37	+73 +37	113 88 37	+80 +40	125 97 40	+80 +40	125 97 40
p6		+88 +56	123 101 56	+88 +56	123 101 56	+98 +62	138 113 62	+98 +62	138 113 62	+108 +68	153 125 68	+108 +68	153 125 68
p7		+108 +56	143 114 56	+108 +56	143 114 56	+119 +62	159 127 62	+119 +62	159 127 62	+131 +68	176 139 68	+131 +68	176 139 68
r6		+126 +94	161 138 94	+130 +98	165 142 98	+144 +108	184 159 108	+150 +114	190 165 114	+166 +126	211 183 126	+172 +132	217 189 132
r7		+146 +94	181 152 94	+150 +98	185 156 98	+165 +108	205 173 108	+171 +114	211 179 114	+189 +126	234 198 126	+195 +132	240 204 132
Ejemplo: Eje Ø 560 p6													
Lado pasa		+122	172 140	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa									
Lado no pasa		+78	78	Apriete u holgura probable									
Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa													
los números impresos en negrita indican apriete													
los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura													

Tolerancias del eje para manguitos de montaje y desmontaje

Tolerancias de eje en micras (0.001 μm)													
h7/ <i>IT</i> ₅ / 2		0 -52	<i>11,5</i>	0 -52	<i>11,5</i>	0 -57	<i>12,5</i>	0 -57	<i>12,5</i>	0 -63	<i>13,5</i>	0 -63	<i>13,5</i>
h8/ <i>IT</i> ₅ / 2		0 -81	<i>11,5</i>	0 -81	<i>11,5</i>	0 -89	<i>12,5</i>	0 -89	<i>12,5</i>	0 -97	<i>13,5</i>	0 -97	<i>13,5</i>
h9/ <i>IT</i> ₆ / 2		0 -130	<i>16</i>	0 -130	<i>16</i>	0 -140	<i>18</i>	0 -140	<i>18</i>	0 -155	<i>20</i>	0 -155	<i>20</i>

Los números impresos en *cursiva* son valores de orientación para la tolerancia de c_t (DIN ISO 1101)..

Apéndice 14

Tolerancias de los rodamientos radiales (excepto rodamientos de rodillos cónicos)

Aro interior

Dimensiones en mm

Diámetro nominal de más del agujero hasta	2,5 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000	1000 1250	1250 1600	1600 2000
---	-----------	----------	----------	----------	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	--------------	--------------	--------------

Clase de tolerancia PN (Tolerancia normal)

Tolerancias en micras (0,001 mm)

Agujero cilíndrico		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Δ_{dmp}		-8	-8	-10	-12	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-75	-100	-125	-160
Variación V_{dp}	Serie de diámetros 7 · 8 · 9	10	10	13	15	19	25	31	38	44	50	56	63				
	0 · 1	8	8	10	12	19	25	31	38	44	50	56	63				
	2 · 3 · 4	6	6	8	9	11	15	19	23	26	30	34	38				
Variación V_{dmp}		6	6	8	9	11	15	19	23	26	30	34	38				
Agujero, conicidad 1:12		+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63	+70	+80	+90	+105	+125
Diferencia Δ_{dmp}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia $\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$		+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63	+70	+80	+90	+105	+125
Variación V_{dp}		10	10	13	15	19	25	31	38	44	50	56					
Agujero, conicidad 1:30					+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	+75	+100	+125	+160	+200
Diferencia Δ_{dmp}					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia $\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$					+35	+40	+50	+55	+60	+65	+75	+85	+100	+100	+115	+125	+150
Variación V_{dp}					19	25	31	38	44	50	56	63					
Diferencia de anchuras Δ_{Bs}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-120	-120	-120	-120	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-750	-1000	-1250	-1600
Variación de anchuras V_{Bs}		15	20	20	20	25	25	30	30	35	40	50	60	70	80	100	120
Salto radial K_{la}		10	10	13	15	20	25	30	40	50	60	65	70	80	90	100	120

Clase de tolerancias P6

Diferencia Δ_{dmp}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-7	-7	-8	-10	-12	-15	-18	-22	-25	-30	-35	-40	-50	-65	-80	-100
Variación V_{dp}	Serie de diámetros 7 · 8 · 9	9	9	10	13	15	19	23	28	31	38	44	50				
	0 · 1	7	7	8	10	15	19	23	28	31	38	44	50				
	2 · 3 · 4	5	5	6	8	9	11	14	17	19	23	26	30				
Variación V_{dmp}		5	5	6	8	9	11	14	17	19	23	26	30				
Diferencia de anchuras Δ_{Bs}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-120	-120	-120	-120	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-750	-1000	-1250	-1600
Variación de anchuras V_{Bs}		15	20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	70	80
Salto radial K_{la}		6	7	8	10	10	13	18	20	25	30	35	40	50	60	80	100

Tolerancias de los rodamientos radiales (excepto rodamientos de rodillos cónicos)

Aro interior

Dimensiones en mm

Diámetro nominal del agujero	más de hasta	2,5 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800
---------------------------------	-----------------	-----------	----------	----------	----------	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Clase de tolerancia P5

Tolerancias en micras (0,001 mm)

Diferencia	Δ_{dmp}	0 -5	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -10	0 -13	0 -15	0 -18	0 -23	0 -27	0 -33	0 -40
Variación V_{dp}	Serie de diámetros 7 · 8 · 9	5	5	6	8	9	10	13	15	18	23			
	0 · 1 · 2 · 3 · 4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	18			
Variación	V_{dmp}	3	3	3	4	5	5	7	8	9	12			
Diferencia de anchuras	Δ_{Bs}	0 -40	0 -80	0 -120	0 -120	0 -150	0 -200	0 -250	0 -300	0 -350	0 -400	0 -450	0 -500	0 -750
Variación de anchuras	V_{Bs}	5	5	5	5	6	7	8	10	13	15	17	20	30
Salto radial	K_{la}	4	4	4	5	5	6	8	10	13	15	17	20	25
Giro octogonal	S_d	7	7	8	8	8	9	10	11	13	15	17	20	30
Salto axial	S_{la}	7	7	8	8	8	9	10	13	15	20	23	25	30

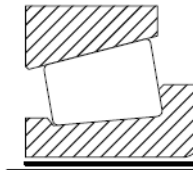
Los valores de salto axial S_{la} valen para los rodamientos de bolas (excepto los rodamientos oscilantes de bolas).

Clase de tolerancia P4

Diferencia	Δ_{dmp} Δ_{ds}	0 -4	0 -4	0 -5	0 -6	0 -7	0 -8	0 -10	0 -12	0 -15	0 -19	0 -23	0 -26	0 -34
Variación V_{dp}	Serie de diámetros 7 · 8 · 9	4	4	5	6	7	8	10	12					
	0 · 1 · 2 · 3 · 4	3	3	4	5	5	6	8	9					
Variación	V_{dmp}	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6					
Diferencia de anchuras	Δ_{Bs}	0 -40	0 -80	0 -120	0 -120	0 -150	0 -200	0 -250	0 -300	0 -350	0 -400	0 -450	0 -500	0 -750
Variación de anchuras	V_{Bs}	2,5	2,5	2,5	3	4	4	5	6	7	8	9	10	15
Salto radial	K_{la}	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	8	10	10	12	15
Giro octogonal	S_d	3	3	4	4	5	5	6	7	7	8	9	10	15
Salto axial	S_{la}	3	3	4	4	5	5	7	8	10	12	13	15	20

Apéndice 15

INNER RING – Industrial Equipment Classes 4 and 2 (Inch)



Deviation from nominal (minimum)
bearing bore and resultant fit.

T= Tight
L = Loose

TABLE 24. TAPERED ROLLER BEARINGS – INNER RING – Industrial Equipment Classes 4 and 2 (Inch)

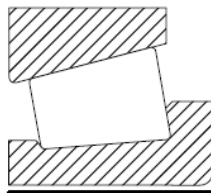
Inner Ring Bore		Tolerance ⁽¹⁾	Rotating Inner Ring		Rotating or Stationary Inner Ring		Stationary Inner Ring							
Range			Ground Seat		Unground or Ground Seat		Unground Seat		Ground Seat		Unground Seat		Hardened and Ground Seat	
			Constant Loads With Moderate Shock		Heavy Loads, or High Speed Or Shock		Moderate Loads, No Shock		Moderate Loads, No Shock		Sheaves, Wheels, Idlers		Wheel Spindles	
Over	Incl.		Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit	Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit	Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit	Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit	Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit	Inner Ring Seat Deviation	Resultant Fit
mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	mm in.	
0.000 0.0000	76.200 3.0000	0.000	+0.038 ⁽²⁾	0.038T	+0.064	0.064T	+0.013	0.013T	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.005L
		+0.013	+0.026	0.012T	+0.038	0.025T	0.000	0.013L	-0.013	0.026L	-0.013	0.026L	-0.018	0.031L
		0.0000	+0.0015	0.0015T	+0.0025	0.0025T	+0.0005T	0.0005T	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0002L
		+0.0005	+0.0010	0.0005T	+0.0015	0.0010T	0.0000	0.0005L	-0.0005	0.0010L	-0.0005	0.0010L	-0.0007	0.0012L
76.200 3.0000	304.800 12.0000	0.000	+0.064	0.064T			+0.025	0.025T	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.005L
		+0.025	+0.038	0.013T	+0.038	0.013T	0.000	0.025L	-0.025	0.051L	-0.025	0.051L	-0.031	0.056L
		0.0000	+0.0025	0.0025T	+0.0025	0.0025T	+0.0010	0.0010T	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0002L
		+0.0010	+0.0015	0.0005T			0.0000	0.0010L	-0.0010	0.0020L	-0.0010	0.0020L	-0.0012	0.0022L
304.800 12.0000	609.600 24.0000	0.000	+0.127	0.127T	Use Average Tight Inner Ring Fit of 0.0005 mm/mm (0.0005in./in.) of Inner Ring Bore ⁽³⁾		+0.051	0.051T	0.000	0.000	0.000	0.000		
		+0.051	+0.076	0.025T		0.000	0.051L	-0.051	0.102L	-0.051	0.102L			
		0.0000	+0.0050	0.0050T		+0.0020	0.0020T	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-	-	
		+0.0020	+0.0030	0.0010T			0.0000	0.0020L	-0.0020	0.0040L	-0.0020	0.0040L		
609.600 24.0000	914.400 36.0000	0.000	+0.191				+0.076	0.076T	0.000	0.000	0.000	0.000		
		+0.076	+0.114		0.000	0.076L	-0.076	0.152L	-0.076	0.152L				
		0.0000	+0.0075		+0.0030	0.0030T	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-	-		
		+0.0030	+0.0015T				0.0000	0.0030L	-0.0030	0.0060L	-0.0030	0.0060L		

⁽¹⁾Does not apply to TNASW and TNASWE type bearings.

⁽²⁾Example: If the minimum inner ring bore is 76.200 mm (3.0000 in.) the suggested shaft size = 76.238 mm (3.0015 in.) to 76.225 mm (3.0010 in.) for an inner ring fit of 0.038 mm (0.0015 in.) tight to 0.012 mm (0.0005 in.) tight.

⁽³⁾For inner ring bores between 76.200 mm (3.0000 in.) and 101.600 mm (4.0000 in.) use a minimum fit of 0.025 mm (0.0001 in.) tight.

Apéndice 16

TABLE 10. TAPERED ROLLER BEARING TOLERANCES – INNER RING BORE (Inch)


Bearing Types	Bore		Standard Bearing Class				Precision Bearing Class							
			4		2		3		0		00		000	
	Over	Incl.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.
TS TSF TSL ⁽¹⁾ TDI TDIT TDO TNA	0.000 0.0000	76.200 3.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.008 +0.0003	0.000 0.0000	+0.008 +0.0003	0.000 0.0000
	76.200 3.0000	304.800 12.0000	+0.025 +0.0010	0.000 0.0000	+0.025 +0.0010	0.000 0.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.013 +0.0005	0.000 0.0000	+0.008 +0.0003	0.000 0.0000	+0.008 +0.0003	0.000 0.0000
	304.800 12.0000	609.600 24.0000	– –	– –	+0.051 +0.0020	0.000 0.0000	+0.025 +0.0010	0.000 0.0000	– –	– –	– –	– –	– –	– –
	609.600 24.0000	914.400 36.0000	+0.076 +0.0030	0.000 0.0000	– –	– –	+0.038 +0.0015	0.000 0.0000	– –	– –	– –	– –	– –	– –
	914.400 36.0000	1219.200 48.0000	+0.102 +0.0040	0.000 0.0000	– –	– –	+0.051 +0.0020	0.000 0.0000	– –	– –	– –	– –	– –	– –
	1219.200 48.0000	– –	+0.127 +0.0050	0.000 0.0000	– –	– –	+0.076 +0.0030	0.000 0.0000	– –	– –	– –	– –	– –	– –

⁽¹⁾For TSL bearings these are the normal tolerances of inner ring bore. However, bore size can be slightly reduced at large end due to tight fit assembly of the seal on the rib. This should not have any effect on the performance of the bearing.

