

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería Automotriz

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECÁNICA

ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE CIGÜEÑALES DE  
MOTORES DIÉSEL.

AUTORES:

Luis Felipe Borja Murgueitio

Rubén Patricio Enríquez Yépez

Director: Ing. Juan Carlos Rubio

Quito, Mayo 2014

# CERTIFICACIÓN

Nosotros Luis Felipe Borja Murgueitio y Rubén Patricio Enríquez Yépez declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Luis Felipe Borja Murgueitio

C.I. 1103848659

Rubén Patricio Enríquez Yépez

C.I. 1718269182

Yo, Ing. Juan Carlos Rubio, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Juan Carlos Rubio

Director de Tesis

## **Dedicatoria.-**

Dedico esta tesis y la finalización exitosa de mis estudios universitarios a mis padres por ser mi guía, motivación y mi apoyo en todo momento, por sus enseñanzas y ejemplo de ser persistente en lograr lo que se plantea y no dejar de lado las cosas difíciles.

A mis profesores que con paciencia y humildad han compartido su conocimiento sin negarse y me han guiado en dificultades que se han presentado a lo largo de mi carrera.

Dedico también este trabajo a mis abuelos, sin su ayuda y cariño no habría logrado mi formación universitaria. Nunca se han negado en apoyarme en cualquier situación ya sea en lo académico o en la vida diaria.

*Luis Felipe Borja Murgueitio*

## **Dedicatoria.-**

Este logro y la culminación de mi carrera Universitaria dedico con todo mi amor y mi cariño para toda mi familia que siempre han estado y están presentes pese a cualquier circunstancia de la vida; de manera muy especial para mí Papá quien me ha demostrado a lo largo del camino cómo ser un profesional siempre recto y leal, a mi Mamá un gran ejemplo de constancia y sabiduría y mis hermanos que siempre son un gran apoyo para mí, todos son base importante para que pueda cumplir mis logros y sueños.

A mi esposa Erika por tu paciencia y comprensión quien sacrificó tiempo valioso de una etapa muy importante en nuestras vidas para que yo pueda terminar mi carrera Universitaria, siempre demostrándome todo su amor, cariño y bondad inspirándome en ser día a día mejor para ti y nuestra hermosa hija Dana Nicole quien es al motivación más grande de mi vida y por quien día a día velo sus sueños para que no le falte nada y siempre estemos juntos los tres.

Dedico también a todos los profesores de la Universidad Internacional que a lo largo de mi carrera en las diferentes materias me supieron brindar una gran amistad la cual es muy valiosa para mí, así como compartieron sus conocimientos sin negarse a responder cualquier inquietud que se presentó en las diferentes aulas.

*Rubén Patricio Enríquez Yépez.*

## **Agradecimiento conjunto.-**

Agradecemos de manera muy especial al Ing. Juan Carlos Rubio por su amistad y aceptación a dirigir esta investigación, por encaminarnos y guiarnos a resolver dudas y soportar nuestras inquietudes incluso fuera de la universidad.

De igual manera queremos agradecer al Ing. Christian Oña por su apertura e interés en el tema planteado para esta tesis, por su ayuda en la formación de vínculos con instituciones especializadas en los temas aquí tratados.

Queremos agradecer a los Ingenieros Eduardo Analuisa y Juan Carlos Araujo que sin temor y sin ningún tipo de barrera nos proporcionaron toda la información necesaria para el desarrollo de esta tesis.

*Luis Felipe Borja Murgueitio*

*Rubén Patricio Enríquez Yépez*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
<b>2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivo General.-.....	2
2.2. Objetivos Específicos.-.....	2
<b>3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.-.....	3
3.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.-.....	4
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>7</b>
<b>5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Motor de combustión interna.....</b>	<b>10</b>
<b>2. El Cigüeñal.....</b>	<b>13</b>
2.1. Construcción del cigüeñal.....	16
2.1.1. Condiciones aptas para el funcionamiento:.....	19
2.1.2. Condiciones no aptas para el funcionamiento:.....	20
2.2. Estructura de cigüeñal.....	20
2.2.1 Muñón principal o de bancada.-.....	21
2.2.2 Muñón de biela.-.....	22
2.2.3 Contrapesos.-.....	22
2.2.4 Conductos de aceite.-.....	22
2.2.5 Cojinetes de biela y bancada.-.....	23
2.3. Balance o Equilibrado del cigüeñal.....	24
2.3.1. Equilibrado dinámico del cigüeñal.....	24
2.3.2. Equilibrado estático del cigüeñal.....	24
2.4. Cuña hidrodinámica del cigüeñal.....	25
2.5. Propiedades y características del cigüeñal.....	26
<b>3. Fuerzas soportadas por el cigüeñal.....</b>	<b>26</b>
3.1. Fuerza de torsión.-.....	26
3.2. Fricción.-.....	27
3.3. Flexión:.....	28
3.4. Fuerza de Inercia:.....	28

3.5.	Fuerza centrífuga.-.....	29
<b>4.</b>	<b>Composición interna del cigüeñal.....</b>	<b>29</b>
4.1.	Acero bonificado 34 CrMo4.....	30
4.2.	Acero bonificado 42 CrMo4.....	30
4.3.	Acero nitrurado 34 CrAlMo5.....	30
4.4.	Hierro fundido con grafito esferoidal GGG-60, GGG-70 .....	31
<b>5.</b>	<b>Tratamiento exterior del cigüeñal.....</b>	<b>32</b>
5.1.	Tratamientos térmicos.....	32
5.2.	Tratamientos termoquímicos.....	33
<b>6.</b>	<b>Lubricación, enfriamiento y mantenimiento del cigüeñal. ....</b>	<b>34</b>
6.1.	Lubricación del cigüeñal.....	34
6.2.	Enfriamiento del cigüeñal.....	37
6.3.	Mantenimiento del cigüeñal. ....	38
<b>7.</b>	<b>Zonas de desgaste del cigüeñal. ....</b>	<b>38</b>
7.1.	Tipos de desgaste del cigüeñal.....	39
7.2.	Daños comunes en el cigüeñal. ....	41
7.2.1.	Rotura por fatiga del cigüeñal.....	41
7.2.2.	Rayado de muñones. ....	42
<b>8.</b>	<b>Comprobación del estado del cigüeñal.....</b>	<b>43</b>
8.1.	Pruebas no destructivas para la detección de discontinuidades.....	44
8.1.1.	Inspección por tintas penetrantes.-.....	44
8.1.1.1.	Aplicación de penetrante o limpiador.- .....	44
8.1.1.2.	Aplicación de tinte.- .....	44
8.1.2.	Inspección por partículas magnéticas. ....	45
8.1.3.	Inspección de “pandeamiento” o deformación por flexión.- .....	47
<b>9.</b>	<b>Cigüeñales aptos para el relleno mediante Arc Spray.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPITULO 2.....</b>		<b>51</b>
<b>2.</b>	<b>Metalización.....</b>	<b>51</b>
2.1.	Concepto Metalización.....	53
2.2.	Recubrimientos protectores. ....	53
2.2.1.	Inmersión en caliente. ....	54
2.2.2.	Electrodeposición. ....	54
2.2.3.	Conversión química.....	54
2.2.4.	Metalización. ....	54
<b>3.</b>	<b>Procesos y técnicas metalización. ....</b>	<b>54</b>
3.1.	Metalización por flama. ....	55

3.2.	Metalización por plasma. ....	55
3.3.	Metalización por Arc Spray. ....	56
3.4.	Parámetros para la metalización que influyen en deformaciones. ....	57
3.4.1.	Irregularidades en el proceso de metalización. ....	58
<b>4.</b>	<b>Ventajas y desventajas del Arc Spray. ....</b>	<b>62</b>
4.1.	Ventajas del Arc Spray. ....	62
4.2.	Desventajas del Arc Spray. ....	63
<b>5.</b>	<b>Partes del equipo de soldadura Arc Spray. ....</b>	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>Equipos de Protección Personal (EPP). ....</b>	<b>65</b>
<b>7.</b>	<b>Usos de metalización mediante Arc Spray. ....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>Materiales utilizados para la metalización. ....</b>	<b>67</b>
<b>9.</b>	<b>Relleno del cigüeñal mediante arc spray. ....</b>	<b>71</b>
9.1.	Láminas Almen. ....	72
	Figura 43. Láminas Almen. ....	73
9.2.	Esfuerzos de relleno. ....	74
9.2.1.	Esfuerzos residuales. ....	74
9.2.2.	Esfuerzos intrínsecos. ....	74
9.2.2.1.	Esfuerzo intrínseco de tensión. ....	74
9.2.2.2.	Esfuerzo intrínseco de compresión. ....	75
9.2.3.	Esfuerzos térmicos. ....	75
9.2.3.1.	Expansión térmica. ....	75
<b>10.</b>	<b>Proceso de rectificación del cigüeñal recuperado. ....</b>	<b>76</b>
<b>11.1.</b>	<b>Pruebas realizadas al cigüeñal metalizado. ....</b>	<b>77</b>
11.2.	Espectrometría de chispa. ....	78
11.3.	Ensayo de dureza Rockwell.-. ....	80
11.3.1.	Procedimientos para ensayos de dureza. ....	81
11.4.	Ensayo de Adherencia (Figura 52). ....	82
11.5.1	Dimensiones de probetas para ensayo de adherencia. ....	83
11.5.2	Equipo utilizado en laboratorio para ensayo de adherencia. ....	83
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>.....</b>	<b>86</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>.....</b>	<b>86</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>.....</b>	<b>88</b>
<b>Glosario</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>

<b>Bibliografía.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexos. ....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos motor 4 tiempos gasolina .....	10
Figura 2. Ciclo motor 4 tiempos diésel .....	11
Figura 3. Diferencia encendido gasolina y diésel .....	13
Figura 4. Cigüeñal .....	14
Figura 5. Conjunto pistones, bielas y cigüeñal .....	14
Figura 6. Tipos de block motor .....	15
Figura 7. Bloque de material para construcción de un cigüeñal .....	17
Figura 8. Cigüeñal construido .....	17
Figura 9. Cigüeñal cinco apoyos cuatro cilindros .....	21
Figura 10. Contrapeso cigüeñal .....	22
Figura 11. Conductos de aceite cigüeñal .....	23
Figura 12. Cojinetes biela y bancada. ....	23
Figura 13. Formación cuña hidrodinámica .....	25
Figura 14. Fuerza de torsión sobre un elemento .....	27
Figura 15. Fuerza de fricción sobre un elemento .....	27
Figura 16. Fuerza de flexión sobre un elemento .....	28
Figura 17. Conjunto de cigüeñal y volante de inercia .....	29
Figura 18. Capa de acero solución nitrógeno .....	30
Figura 19. Hierro fundido con grafito esferoidal .....	31
Figura 20. Conductos de lubricación del cigüeñal .....	34
Figura 21. Funcionamiento del sistema de lubricación .....	35
Figura 22. Orificios lubricación aceite en cojinetes .....	36
Figura 23. Zonas de desgaste muñón biela y bancada .....	39
Figura 24. Tipos de deformaciones en muñones .....	40
Figura 25. Fractura del cigüeñal .....	42
Figura 26. Rayado de muñones del cigüeña .....	42
Figura 27. Angulo de filete .....	43
Figura 28. Ensayo de inspección por partículas magnéticas .....	45
Figura 29. Detención de agrietaduras en el cigüeñal por corriente longitudinal ...	46
Figura 30. Detección de agrietaduras por bobina .....	46
Figura 31. Comprobación de medidas del cigüeñal .....	47
Figura 32. Prensa para enderezado de cigüeñales .....	49
Figura 33. Formación de arco eléctrico ARC SPRAY .....	51
Figura 34. Proceso de recubrimiento .....	52
Figura 35. Formación de splat .....	59
Figura 36. Cadena de óxido en metalización .....	60
Figura 37. Pistola ARC SPRAY .....	64
<b>Figura 38. Consola para metalización .....</b>	<b>64</b>
Figura 39. Equipos de protección para soldadura de ARC SPRAY .....	65
Figura 40. Reparación muñón de biela de un cigüeñal .....	66
Figura 41. Metalización para protección anticorrosiva .....	66

Figura 42. Relleno interior para aumentar resistencia al desgaste.....	67
Figura 43. Láminas Almen .....	73
Figura 44. Metalización de un muñón de biela .....	77
Figura 45. Muestra para espectrometría de chispa .....	78
Figura 46. Corte de muestra mediante cierra de pedestal .....	79
Figura 47. Muestra para ensayo de espectrometría de chispa.....	79
Figura 48. Corrección de la superficie de muestra de espectrometría .....	80
Figura 49. Durómetro Rockwell .....	81
Figura 50. Máquina para ensayo de adherencia .....	82
Figura 51. Elementos de sujeción para probetas .....	83
Figura 52. Probetas para metalizar .....	84
Figura 53. Probetas metalizadas.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tolerancia de desgaste en muñones.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2. Tolerancia de Biela.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3. Comparación y propiedades de los procesos de metalización.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4. Características del alambre 90MXC.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5. Propiedades físicas del alambre en recubrimiento.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 6. Cantidad de aplicación .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 7. Comparación de propiedades entre alambres marca Tafa para metalizado.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 8. Alambres marca Tafa.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 9. Alambres de metalización .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 10. Alambres tubulares para metalización por esparción térmica .....</i>	<i>101</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Resultado de análisis por Espectrometría de Chispa.....</i>	<i>103</i>
<i>Anexo 2. Informe técnico resultados de dureza .....</i>	<i>104</i>
<i>Anexo 3. Catálogo alambres Tafa Arc Spray .....</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 4. Especificación técnica alambre 90MXC .....</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 5. Especificación técnica alambre Tafa 60 T.....</i>	<i>111</i>
<i>Anexo 6. Especificación técnica alambre Tafa 75B.....</i>	<i>114</i>
<i>Anexo 7. Especificación técnica pistola Tafa Arc Jet para metalización .....</i>	<i>116</i>
<i>Anexo 8 Cotización cigüeñal maquinaria pesada.....</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 9 Características del aceite. ....</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 10 Propiedades específicas de aceites. ....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 11 Proforma metalización por codo.....</i>	<i>125</i>
<i>Anexo 12 Tabla de mantenimiento preventivo según fabricante.....</i>	<i>126</i>
<i>Anexo 13 Acero SAE 1020.....</i>	<i>127</i>

*Anexo 14. Diagrama de flujo proceso de metalización..... 129*

## **TEMA DE INVESTIGACIÓN.**

"ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE CIGÜEÑALES DE MOTORES DIÉSEL."

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La reparación de motores diésel es común en nuestro medio ya que el mantenimiento que se da a los vehículos no es el apropiado, el valor que implica al momento de reparar es elevado por el costo de los componentes, en especial el cigüeñal, que es uno de los elementos más caros al momento de comprar los componentes para realizar la reparación del motor.

El estudio para la recuperación de cigüeñales que se realizará a continuación, nos demostrará la factibilidad de realizar la recuperación o no del componente más costoso, obteniendo así un beneficio para todos aquellos que tienen la necesidad de reparar el motor de su vehículo, evitando entrar en gastos elevados teniendo la misma durabilidad y garantía de resistencia sobre el material de relleno así como el proceso que se aplicara al cigüeñal, conociendo que en la actualidad no existe estadísticas del porcentaje de cigüeñales recuperados ya que solo se procede con el cambio de este elemento.

## 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Es financiera y técnicamente factible la recuperación del cigüeñal mediante las técnicas y procedimientos disponibles en las rectificadoras en el presente mercado?

## 1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

1. Cuáles son las causas técnicas por las que se produce un desgaste normal o prematuro y daños severos al cigüeñal del motor.
2. Cuáles son las implicaciones para la recuperación del cigüeñal.
3. Cuál es el proceso más conveniente para la recuperación de cigüeñales.
4. Cuál es el método de relleno de material para cigüeñales más factible.
5. Que material es el más utilizado para el proceso de rectificación y relleno del cigüeñales.

## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 2.1. Objetivo General.-

Determinar si es técnicamente factible la recuperación de cigüeñales para motores diésel.

### 2.2. Objetivos Específicos.-

- 1) Analizar las principales causas que generan el desgaste normal o prematuro de un cigüeñal.
- 2) Investigar las implicaciones técnicas involucradas en la recuperación de cigüeñales.
- 3) Determinar cuál es el material que más se utiliza para la recuperación del cigüeñal.

- 4) Realizar el análisis metalográfico para conocer de qué materiales está conformado internamente el cigüeñal.

### **3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.-**

La presente investigación se justifica porque busca determinar y comprobar conceptos de rectificación y recuperación mediante metalización de cigüeñales que normalmente se realizan para máquinas pesadas y vehículos livianos cuyas partes sean difíciles de conseguir.

Buscando ser guía para personas que se ven en el problema de reparación de motores diésel, que les implique la compra de un cigüeñal nuevo, mostrando los resultados obtenidos y evitando gastos. En la práctica conocemos que la rectificación y metalizado se realiza en aquellos cigüeñales que son de maquinaria pesada, esto se debe a que una reconstrucción costaría \$2500.00 a \$5000.00 dólares notando que la metalización por codo para el cigüeñal del motor 3.0 TDI, que es menor en su diámetro con relación al cigüeñal de una maquina pesada, tiene un valor de \$ 105.00 dólares (Anexo 11), mientras que un cigüeñal de una maquina pesada nuevo tiene un valor aproximado de \$10000 (Anexo 8), razón por la cual si es factible la recuperación cuando se trata de maquinaria pesada. Los estudios o pruebas que deben realizarse al cigüeñal para conocer si es apto para el proceso de reconstrucción también serán descritos, mostrando los más utilizados en nuestro medio.

Se aportara con conceptos básicos sobre motores y su funcionamiento, sin implicar cálculos de diseño, fuerzas o resistencias.

### 3.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.-

Los motores a gasolina están diseñados para ser veloces y brindar el confort al conductor cuando este se desplaza de un punto a otro ya que no se ven sometidos a mayores cargas, mientras que los motores diésel son diseñados para trabajo en el que recorren grandes distancias y requieren mayor fuerza, motivo por el cual los fabricantes se ven en la necesidad de brindar un mantenimiento preventivo diferente al que se realiza a un motor a gasolina, esto para alargar la vida útil del motor evitando daños y reparaciones anticipadas.

Los motores diésel al soportar mayores cargas necesitan componentes de mejor calidad y en algunos casos de mayor tamaño, por lo que al momento de ser necesaria la reparación del motor se espera que los daños no comprometan al elemento móvil más importante que es el cigüeñal.

La investigación se enfocará en explicar cuál es el proceso de metalización idóneo y como se aplica para la recuperación del cigüeñal, mostrando el material de aporte adecuado que asegure la recuperación fiable, confiable y económica, teniendo beneficios de diseño similares al de un cigüeñal nuevo con rubros significativos en su costo.

# **ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE CIGÜEÑALES DE MOTORES DIÉSEL**

La presente investigación muestra el conocimiento de qué es un cigüeñal así como los procedimientos de rectificación y metalización que se aplicarán al cigüeñal del motor diésel.

El cigüeñal es el componente principal para el funcionamiento del motor debido a que soporta grandes cargas de fuerza, temperatura y tracción; motivo por el cual en su estructura presenta características mecánicas que favorecen para que su funcionamiento sea extraordinario en condiciones de trabajo.

Un incorrecto mantenimiento preventivo del vehículo provocan que el desgaste del cigüeñal, sea prematuro lo cual incurre en fallas de funcionamiento de los diferentes elementos del motor, llevando así a que sea necesaria la rectificación de los mecanismos que conforma el motor.

La rectificación es un proceso de corrección de la superficie, la cual presenta desgaste disperejo, deformaciones, agrietaduras, etc. Que se aprecian mediante instrumentos de medición, por ejemplo el reloj palpador, el cual registra la más mínima imperfección cuando se pasa la aguja palpadora sobre la superficie del cigüeñal.

La variación en la superficie se mostrara en el reloj palpador con el movimiento de la aguja. La superficie correcta no debe provocar ninguna variación en la medida que indica el instrumento.

La rectificación o el maquinado de cigüeñales, es posible mediante el uso de máquinas herramientas como son los tornos, fresadoras, etc. Estas máquinas herramientas se presentan de varias formas capaces de realizar diferentes trabajos mediante el giro continuo de la pieza a reparar, el cual provoca una abrasión o desprendimiento controlado del material en toda la superficie logrando así una superficie uniforme.

La recuperación del cigüeñal es posible mediante un proceso adicional, el cual es el metalizado de la superficie límite que ya no puede ser rectificada, cuando ya se ha rectificado el cigüeñal superado el valor máximo de 1mm de su diámetro original.

Este proceso consiste en situar el cigüeñal en una máquina herramienta para hacerlo girar, con el uso de acoples se coloca una piedra abrasiva para desgastar y preparar la superficie la cual se va a metalizar. Con esto logramos que al rociar a presión el material de relleno se obtenga una adhesión profunda sobre la superficie desbastada, evitando de esta forma el desprendimiento del material aportado, el resultado es la unión entre el material base y el material aportado.

La metalización por ARC SPRAY, consiste en la fundición de dos alambres metálicos debido a elevada temperatura generada por un arco eléctrico, este material fundido se atomiza por una fuente de aire comprimido que choca contra la superficie a ser metalizada. Al contacto con la superficie base, el material se solidifica y genera una capa densa de metal, que sirve como protección contra la corrosión, brindando así resistencia al desgaste y logrando una mejor conductibilidad eléctrica y térmica, que varía dependiendo del material aplicado.

#### **4. HIPÓTESIS.**

"Es técnicamente factible recuperar cigüeñales de motores diésel mediante metalización por ARC SPRAY sin comprometer su capacidad de trabajo".

#### **5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

El presente trabajo se basa en la observación de procesos ya establecidos de rectificación y metalización de cigüeñales de máquinas pesadas para aplicarlos a cigüeñales de motores diésel por lo que la metodología es "INVESTIGATIVA".

## **STUDY FOR RECOVERY THE CRANKSHAFT OF DIESEL ENGINES**

This investigation and research it's focused to the study of thermal spraying, particularly Arc Spray, and how it could be used in the process of crankshaft recuperation for diesel engines.

The research involves basic knowledge about how does the engine of a vehicle work and the basic difference between gasoline engines and diesel engines; also we will talk about the common damages we can find in a craksahft and it`s possible causes.

It is known that in some point the reparation of the engine will be needed, the most delicate part it's the crankshaft, which it's the center of movement inside the engine, it's a big robust and expensive component, it has to be proper balanced, hardened and aligned to ensure the smooth operation of the engine.

The crankshaft moves because of the combustion of fuel in the upper head of the pistons, this combustion is the force needed to make the crankshaft move. The main function of this shaft it's to convert the lineal movement coming from the pistons into rotary movement which will be transferred to other systems such as distribution, lubrication, transmission and others.

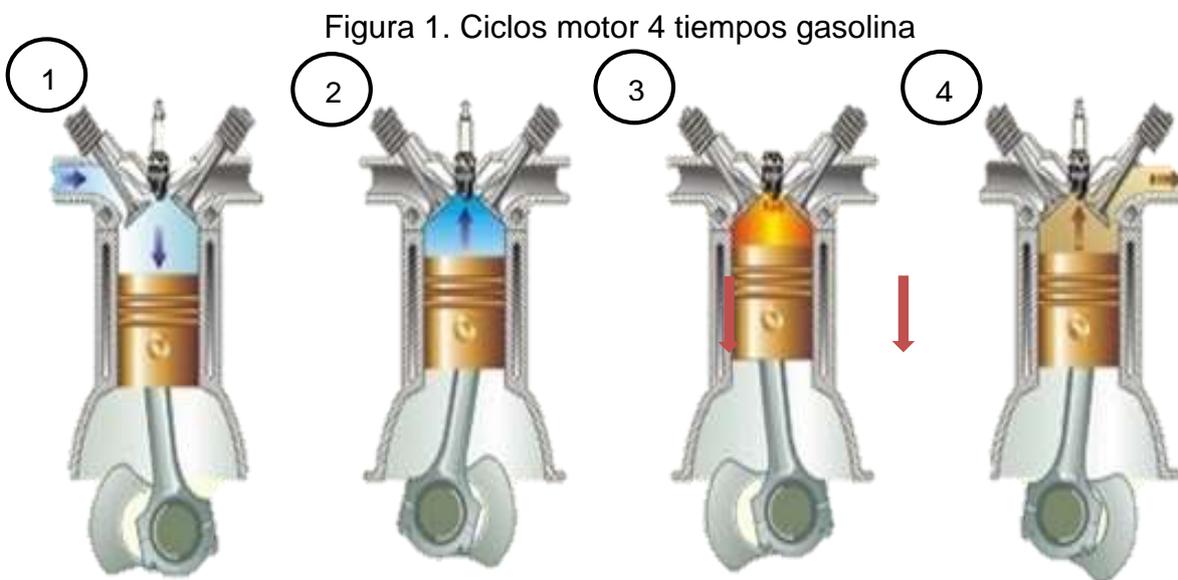
Because of the cost of a new crankshaft it is now an option the recovery or recuperation of this component which is a process that uses thermal spraying technology allowing to fill, complete and regain volume or size to the shaft's journals or crank pins without compromising it's functionality.

# CAPÍTULO 1

## 1. Motor de combustión interna.

El motor de combustión interna es una máquina capaz de transformar la energía calórica en mecánica, convirtiéndose en propulsor o fuente para el funcionamiento de otros componentes. Esto se logra mediante la interacción de varios mecanismos y sistemas que en algunos casos dependen unos de los otros y el uso de combustible que será el alimento para que el motor trabaje.

Los motores trabajan en cuatro ciclos que son: (1) admisión, (2) compresión, (3) combustión-expansión y (4) escape. La diferencia entre motores gasolina y diésel en su funcionamiento se da en los ciclos de admisión y combustión-expansión.

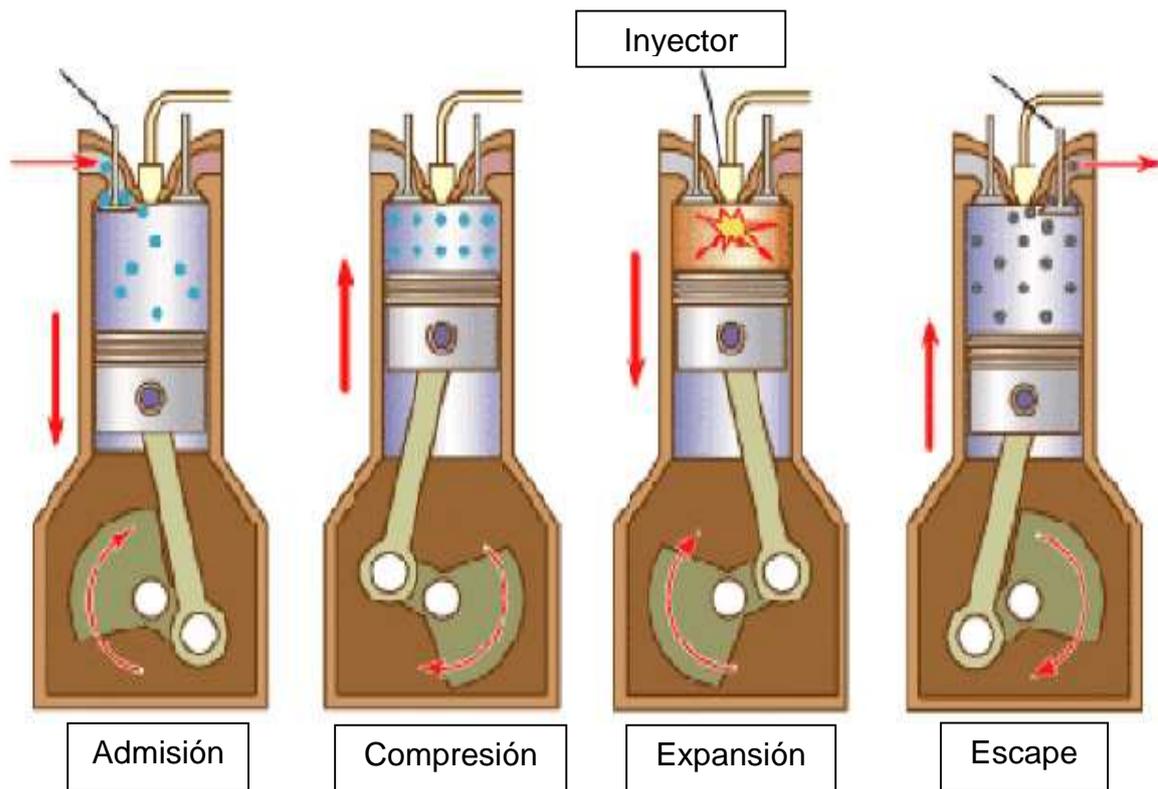


*Fawente (LCH REFACCIONARIAS, 2013)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Volumen constante (Figura 1): en el ciclo teórico de trabajo la combustión de los gases se produce mediante el encendido de la bujía en la cámara de combustión, existiendo incremento de volumen en el momento de inicio de la combustión.

Figura 2. Ciclo motor 4 tiempos diésel



Fuente (LLOYD VAN HORN AMSTRONG, 2013)

Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez

Presión constante (Figura 2): El momento del inicio de la combustión la presión no cambia (aire atrapado), hay un incremento de volumen por el ingreso del combustible provocando de esta manera el inicio de la combustión para la generación de trabajo térmico.

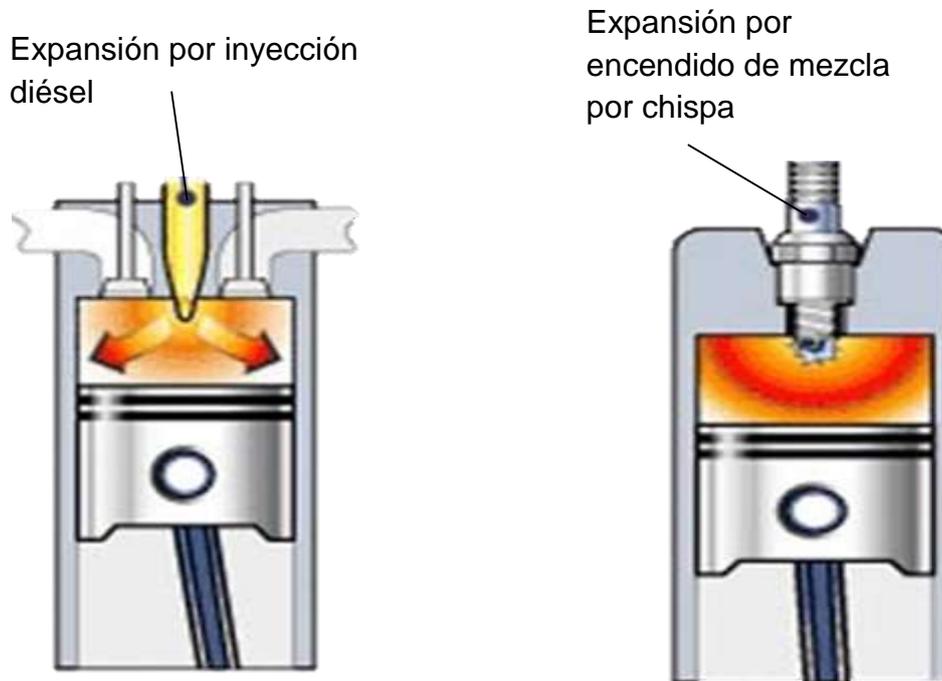
En los motores a gasolina el aire se mezcla con el combustible en los cilindros, mientras que en el motor a diésel el ingreso es únicamente de aire.

El tiempo de compresión funciona de igual manera para ambos tipos de motor, las válvulas de admisión y escape están cerradas y el pistón comprime, en gasolina la mezcla aire combustible y en diésel solamente aire. En este último sistema la compresión alcanza una temperatura elevada dentro del cilindro. El trabajo o tiempo de combustión en motores gasolina ocurre cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS), comprimiendo la mezcla aire combustible se produce una chispa o arco eléctrico en la bujía, que causa la inflamación de la mezcla en el interior del cilindro.

Para la combustión o trabajo en motores diésel no se utiliza una bujía para generar una chispa, es necesaria la inyección de combustible a alta presión, de tal manera que este se pulverice entrando al cilindro y al hacer contacto con el aire comprimido se produzca la inflamación o quema de gases logrando el mismo efecto que el motor a gasolina, transmitir el movimiento del pistón descendente hacia el cigüeñal generando el giro de este último.

A continuación se muestra la diferencia entre el tiempo de compresión y expansión de motores diésel y gasolina (Figura 3).

Figura 3. Diferencia encendido gasolina y diésel



*Fuente (FOTOS IMAGES, 2013)*

*Editado por: Felipe Borja y Rubén Enríquez*

## 2. El Cigüeñal

Es el elemento más importante en la constitución del motor, siendo el componente móvil más grande (Figura 4). Su función clave es la de transformar el movimiento lineal de los pistones en movimiento circular, cumpliendo con el principio del mecanismo biela-manivela, en el que la biela es un elemento capaz de soportar el impulso del pistón cuando es empujado hacia el punto muerto inferior (PMI), siendo la biela el componente de conexión entre pistón y cigüeñal (Figura 5).

Figura 4. Cigüeñal



*Fuente (JOSE EDUARDO CHAVEZ, 2013)*

Figura 5. Conjunto pistones, bielas y cigüeñal



*Fuente (SHUTERSTOCK, 2013)*

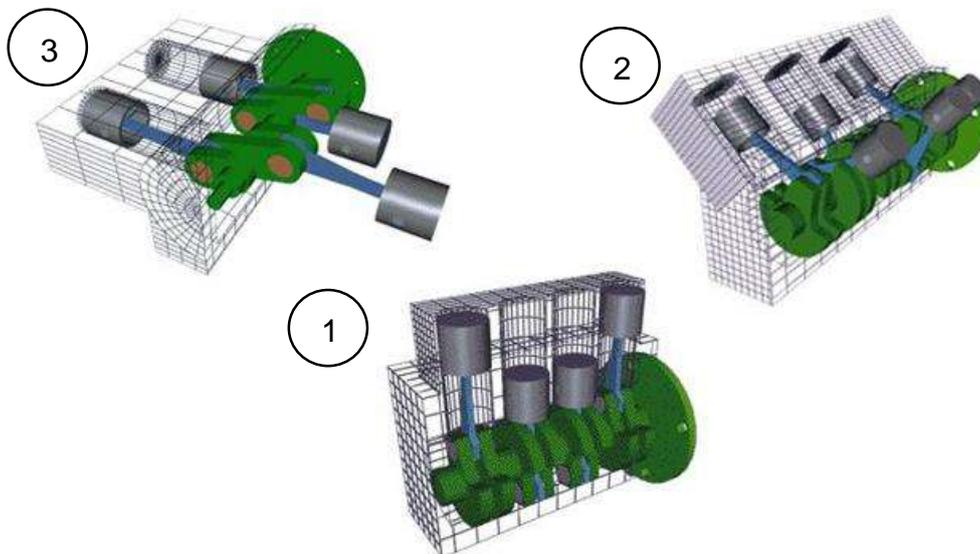
*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

El giro del cigüeñal se transfiere a otros elementos como: caja de velocidades, bomba de aceite, banda de distribución, bandas de accesorios, bomba de dirección, alternador, compresor del aire acondicionado, etc.

Se debe entender que el cigüeñal a pesar de ser un elemento con cierto grado de rigidez, se comporta como un elemento elástico y es entendido como tal. El esfuerzo impuesto por fuerzas dinámicas y gases pueden resultar en resonancias y llegar al punto en que el cigüeñal sufra deformaciones considerables o fracturas cuando el motor trabaja a velocidades críticas por largos periodos de tiempo. La rigidez de un cigüeñal se ve afectada por su longitud, que a su vez se relaciona con el número de cilindros y su disposición en el motor. Otro factor importante en la operación del cigüeñal es el ancho de los muñones de bancada, mientras más anchos menor vibración y fuerza puntual.

A continuación (Figura 6) se muestra la disposición de los cilindros en el motor, 1 motores en línea, 2 motores en V y 3 motores de cilindro opuesto o bóxer.

Figura 6. Tipos de block motor



*Fuente (FOTOS IMAGES, 2013)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

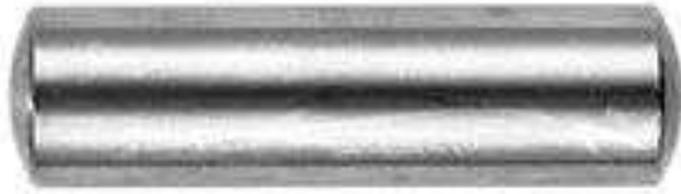
Un cigüeñal no puede ser completamente rígido, de ser así no será capaz de soportar las fuerzas que generan su movimiento y tampoco es posible el balance perfecto de la estructura de su cuerpo. Como ejemplo se puede mencionar lo siguiente, se tiene un cigüeñal con tres muñones de bancada principales para cuatro cilindros sin contrapesos , este puede estar en balance estático, sin embargo si este cigüeñal gira a alta velocidad, la fuerza centrífuga provocará flexión, esto debido a que los muñones actuaran como pesos fuera de eje.

El movimiento de flexión producirá mayor carga en el centro del cigüeñal, en el soporte central de bancada. Los contrapesos son fundamentales para reducir este efecto, no eliminándolo por completo pero permitiendo que la vibración y flexión sean tolerables y se disipen en su estructura.

## 2.1. Construcción del cigüeñal.

La construcción del cigüeñal empieza con un bloque acero (Figura 7), al que se procede a maquinar en un torno, debido al avance tecnológico la mayoría de tornos son CNC (Control Numérico Computarizado) en los cuales se ingresan las coordenadas y automáticamente comienza la construcción, en donde se empieza por llegar al diámetro deseado en los muñones de bancada, los cuales van a ser el centro de equilibrio para el resto de la construcción.

Figura 7. Bloque de material para construcción de un cigüeñal



*Fuente (IVAN BOHMAN, 2010)*

Posteriormente se trabaja lo que son los contrapesos, al igual que los muñones de biela se utiliza la fresadora, moviéndose esta alrededor del cigüeñal, dando la forma a los contrapesos, que serán maquinados después para dar el balance o distribución de peso al cigüeñal.

El último paso para la construcción del cigüeñal (Figura 8), es la formación de los conductos para la circulación de aceite que lubricara las superficies de contacto entre muñones y cojinetes. Este proceso se logra mediante la perforación por taladro, atravesando desde muñón de biela a bancada, pasando por parte del contrapeso.

Figura 8. Cigüeñal construido



*Fuente (JOSE EDUARDO CHAVEZ, 2013)*

El cigüeñal es el elemento principal del tren alternativo del motor de combustión, a él se debe el funcionamiento de otros mecanismos y sistemas del motor que van acoplados al mismo, como ya se mencionó anteriormente, es un componente robusto que reúne características específicas para soportar esfuerzos y transmitir el trabajo producto de la combustión, debido a esto es sin duda uno de los componentes más costosos del motor y es inevitable que sufra desgaste y deformación debido a su trabajo, por lo que al momento de reparar se espera que las correcciones o rectificaciones a los muñones de biela y bancada se encuentren dentro de un margen permisible de acuerdo al límite de tolerancia para poder ser rectificado (hasta 1mm) de su diámetro original.

Al funcionar el motor sus componentes internos entran en movimiento, produciendo fricción entre las superficies y la capa o película de aceite disminuye, pero nunca se elimina por completo, por lo que es necesario comprender que siempre existirá un desgaste considerado normal, en el caso del cigüeñal los muñones de biela y bancada deben desgastarse a medidas similares. No es un desgaste normal cuando al reparar el motor encontramos deformaciones y agrietaduras en diferentes lugares del cigüeñal o también cuando la medida de desgaste entre muñones tiene gran diferencia.

Los esfuerzos a los que se somete el cigüeñal cuando el motor entra en funcionamiento influyen en la forma de desgaste que se presenta, por consecuencia el correcto funcionamiento de otros sistemas tendrá relación en el desgaste, como ejemplo tenemos el sistema de inyección de combustible, la cantidad que se inyecta en los cilindros debe ser igual en todos los inyectores,

pero que pasa cuando uno de ellos inyecta una mayor cantidad, o no se da una pulverización completa. El resultado será una expansión de gases más fuerte que impulsara al pistón con mayor rapidez hacia el punto muerto inferior. Este incremento en velocidad de este pistón será soportado por el cigüeñal, el que resistirá un mayor esfuerzo y torsión en el muñón de biela y los dos soportes de bancada más cercanos causando desequilibrio en el giro uniforme del motor.

En nuestro medio los vehículos de transporte de carga liviana son las camionetas y camiones pequeños. Estos por ser vehículos de trabajo, casi no reciben un mantenimiento preventivo oportuno y adecuado según el fabricante (Anexo 12), y se realiza la operación básica que es el cambio de aceite, pero con filtros alternos y aceite económico que no cumple con especificaciones para el cuidado del motor detalladas por el fabricante (Anexo 9).

Las condiciones de trabajo exigentes que enfrentan estos vehículos en comparación con motores de similares características pero que no se someten a esfuerzos semejantes, reducen el tiempo de vida útil del motor haciendo que sea necesaria una reparación.

#### 2.1.1. Condiciones aptas para el funcionamiento:

Estas condiciones de trabajo son las siguientes.

- Cambios de aceite y filtro motor con intervalos de 5000 km entre cada uno.
- Cambios de filtro de aire y combustible cada 10000km.
- Temperatura de trabajo del motor, funcionamiento correcto del termostato, tapa de radiador y condición del refrigerante.

- Calidad del combustible que se utiliza.
- Especificación requerida por el fabricante en cuanto al aceite.
- Condiciones geográficas.

#### 2.1.2. Condiciones no aptas para el funcionamiento:

- Mala calidad de aceite utilizado para el motor.
- Ausencia del termostato, mal funcionamiento del sistema de enfriamiento del motor.
- Suciedad en el combustible.
- Contaminación en el aceite (bajo contenido TB)
- Filtros sucios o en mal estado.
- Sistema de inyección de combustible defectuoso. (produce desbalanceo al funcionar)

Esto implica que los propietarios de este tipo de vehículos incurran en gastos de reparaciones elevados, en la mayoría de los casos en lo que al cigüeñal se refiere se tenga que realizar la compra de uno nuevo por el desgaste excesivo que este tiene, lo que hace que la reparación del motor aumente su costo significativamente, es por ello que la recuperación del cigüeñal se basa en realizar un tratamiento en las zonas de desgaste, recuperando su diámetro estándar y dando la misma resistencia procurando que la única diferencia sea la inversión en la reparación del motor

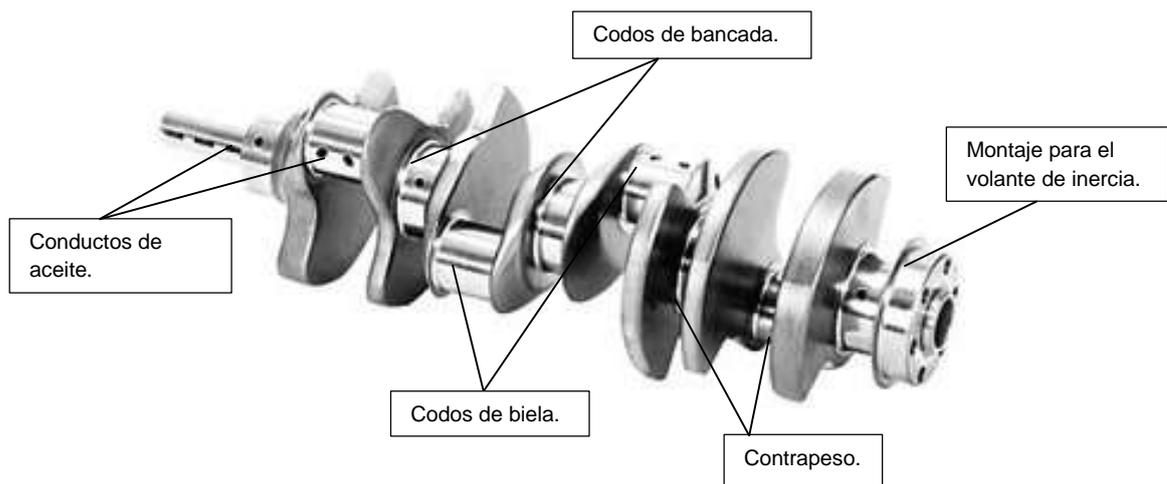
#### 2.2. Estructura de cigüeñal.

El cigüeñal es un árbol con codos que se conocen como muñones o codos de apoyo los cuales están alineados con el eje de giro del cigüeñal. Tenemos dos

tipos de muñones que son de biela y bancada que se verá detalladamente más adelante.

Se identificara los diferentes tipos de cigüeñales según la cantidad de muñones de bancada que tengan presentes, esto también con relación a la cantidad de cilindros; hay diferentes tipos de cigüeñales que tienen tres, cinco o más apoyos. Para nuestro caso el cigüeñal va a ser de cinco apoyos cuatro cilindros (Figura 9).

Figura 9. Cigüeñal cinco apoyos cuatro cilindros



*Fuente (JOSE EDUARDO CHAVEZ, 2013)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enriquez*

### 2.2.1 Muñón principal o de bancada.-

Es un eje entre cortado en segmentos equidistantes, que soportaran el movimiento de giro del cigüeñal. Son el eje del cigüeñal al girar, sus extremos transmiten el movimiento a otros sistemas del motor y dan impulso a la transmisión. (Figura 9)

### 2.2.2 Muñón de biela.-

Comprenden un eje entre cortado en segmentos equidistantes, que se une a los muñones de bancada en una forma excéntrica; es decir no mantiene una misma línea de eje con la bancada, recibe el impulso del movimiento del pistón. (Figura 9)

### 2.2.3 Contrapesos.-

Es la unión de muñones de biela y bancada, sirve para mantener el “momento” de giro del cigüeñal y equilibrar las vibraciones evitando el fenómeno de flexión. (Figura 10)

Figura 10. Contrapeso cigüeñal



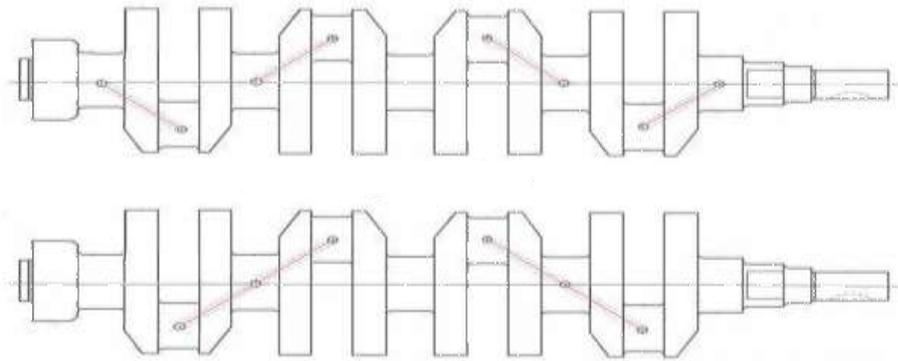
*Fuente (FOTOS IMAGES, 2013)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

### 2.2.4 Conductos de aceite.-

Son perforaciones internas (Figura 11), que mantienen su diámetro a lo largo del cuerpo del cigüeñal y sirve para la lubricación entre cojinetes de biela y bancada.

Figura 11. Conductos de aceite cigüeñal



*Fuente* (FOTOS IMAGES, 2013)

### 2.2.5 Cojinetes de biela y bancada.-

Son láminas de aleación de metal blando, que se interponen entre el muñón de biela o bancada respectivamente (Figura 12), entre las cuales es posible una mínima separación únicamente para formar una película de aceite que impide el contacto directo entre los metales evitando el desgaste.

Figura 12. Cojinetes biela y bancada.



*Fuente* (TU MOTOR)

La calidad del mecanizado de las superficies de cojinetes y muñones es de alta calidad, procurando una superficie lisa que facilite el deslizamiento de aceite.

Es necesario considerar que los materiales de construcción del cojinete y cigüeñal son diferentes, una de las partes es más blanda o de menor dureza que su opuesto, con eso se logra un menor desgaste o en cierta manera se controla.

El material de superficie dura deja impregnado parte de sí mismo en las superficies del material blando. El desgaste se controla debido a que mientras el material duro pierde proporción el blando la adquiere y se compensa la pérdida.

### 2.3. Balance o Equilibrado del cigüeñal.

Es necesario la distribución de peso a lo largo de la estructura del cigüeñal para evitar vibraciones en el motor por ellos los contrapesos, a continuación tenemos las siguientes tipos de equilibrados:

#### 2.3.1. Equilibrado dinámico del cigüeñal.

El equilibrado dinámico se refiere a la distribución de peso en el cuerpo del cigüeñal, de tal forma que al girar no se produzcan oscilaciones que resulten en esfuerzos sobredimensionados de elasticidad y deformaciones.

#### 2.3.2. Equilibrado estático del cigüeñal.

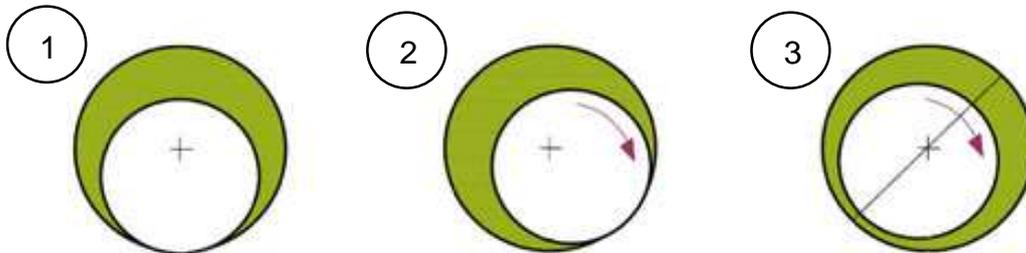
El equilibrado estático se da cuando el peso total del cigüeñal está distribuido a lo largo de su estructura, en la práctica se da cuando apoyado el cigüeñal en soportes este no tiende a moverse.

#### 2.4. Cuña hidrodinámica del cigüeñal.

Este efecto se da en los cojinetes de biela y bancada debido al movimiento del eje dentro de dichos cojinetes. Este movimiento o giro en el interior permite que el aceite ingrese entre las superficies, y como el eje gira sobre la película de aceite, lo empuja y forma un desnivel o cuña, que eleva al eje impidiendo el contacto directo con la superficie del cojinete. A mayor velocidad de giro mayor es el empuje de aceite y la cuña es más elevada (Figura 13).

Es necesario que los cojinetes puedan evacuar el aceite permitiendo la circulación del mismo hacia otras partes del motor, es posible debido a las ranuras existentes en la superficie del cojinete que a sus extremos son más pronunciadas, logrando que la cuña descienda y el aceite salga del espacio entre las superficies.

Figura 13. Formación cuña hidrodinámica



Fuente (JIMBO, 2012)

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

“1 Lubricación hidrostática: se da en el arranque cuando el eje tiene velocidades de giro bajas.

2 Lubricación límite: se da cuando la película lubricante es demasiado delgada y no puede mantener la separación de las piezas móviles produciendo rozamientos.

3 Lubricación hidrodinámica: el giro del eje a alta velocidad “arrastra” al aceite formando una película alrededor del eje sin necesidad de presión externa.”

(jimdo.com, 2004)

## 2.5. Propiedades y características del cigüeñal.

“El cigüeñal dentro de sus propiedades debe asegurar las siguientes:

- ❖ Resistencia mecánica a la rotura durante la vida del motor.
- ❖ Resistencia al uso o desgaste (fatiga de sus muñones).
- ❖ Trabajar silenciosamente, evitando las vibraciones de los cojinetes de sujeción.
- ❖ Arrastrar correctamente todos los elementos auxiliares.
- ❖ Transmisión regular y uniforme de la potencia a través del volante de inercia.” (Flórez, Motores alternativos de combustión interna, 2005)

## 3. Fuerzas soportadas por el cigüeñal.

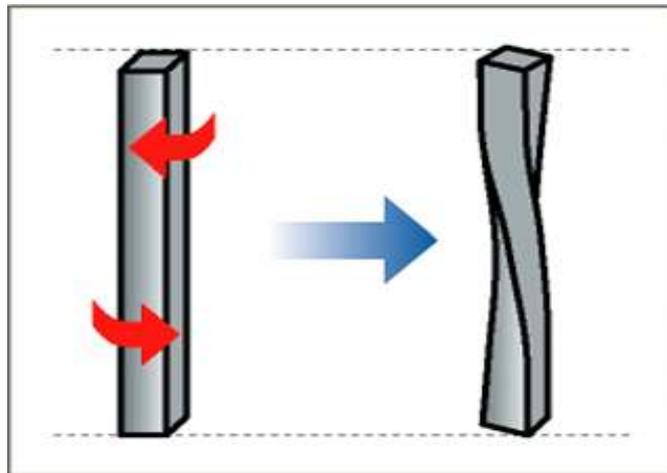
El cigüeñal debe soportar esfuerzos mecánicos como torsión, fricción y flexión, así como, el de soportar fuerzas centrífugas y de inercia generados por él movimiento de pistones durante el ciclo de trabajo.

### 3.1. Fuerza de torsión.-

Es la fuerza ejercida sobre el cigüeñal la cual trata de girarlo en un sentido mientras que otra trata de frenarlo.

En el cigüeñal se puede evidenciar esta característica (Figura 14) mientras se da impulso a uno de los muñones de biela en el tiempo de expansión de gases generando movimiento, velocidad y fuerza, y otro muñón esta en tiempo de compresión, que es necesario el tiempo anterior para comprimir los gases; es decir, en expansión se obtiene movimiento mientras que en otro punto del cigüeñal uno de los pistones está comprimiendo aire y necesita fuerza generada por otro para lograrlo. Este último pistón estará frenando el movimiento de expansión. El cigüeñal debe ser capaz de soportar la velocidad generada por un pistón en uno de sus muñones y la resistencia al movimiento de este en otro muñón.

Figura 14. Fuerza de torsión sobre un elemento



*Fuente (Colombia)*

### 3.2. Fricción.-

Es el contacto o roce entre superficies (Figura 15). En el cigüeñal este efecto se observa cuando no existe una buena lubricación y las superficies en movimiento rozan entre sí (muñones y cojinetes). El resultado de la fricción entre los elementos produce desgaste en las superficies.

Figura 15. Fuerza de fricción sobre un elemento

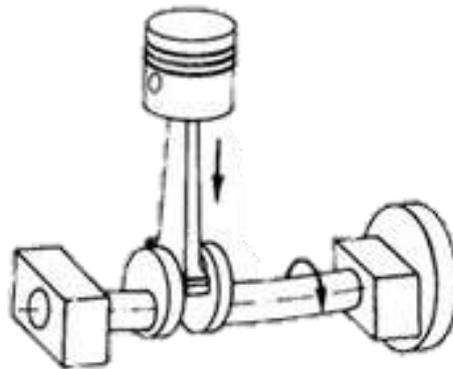


*Fuente (Colombia)*

### 3.3. Flexión:

Es provocada por el movimiento excéntrico del giro del cigüeñal; son vibraciones debido al giro sobre los soportes. Estas vibraciones se controlan aumentando el número de soportes del cigüeñal, balanceando el peso y dándole un mayor diámetro. Las vibraciones excesivas y no controladas dan como resultado la deformación del cigüeñal (Figura 16), provocando una mayor concentración de peso en un punto del cigüeñal.

Figura 16. Fuerza de flexión sobre un elemento



*Fuente (AFICIONADOS A LA MECANICA, 2014)*

*0992571311*

### 3.4. Fuerza de Inercia:

Tendencia de un cuerpo para mantenerse en movimiento o reposo. El cigüeñal, trata de mantener el sentido de movimiento que le transmiten los pistones, se evidencia instantes después que apagamos el motor, el movimiento no se detiene inmediatamente. La fuerza de inercia en el motor, la conservación de movimiento de giro del cigüeñal se logra mediante la colocación de masas, como se mencionó anteriormente, estas ayudan a equilibrar el peso del cigüeñal permitiendo un giro sin mayores vibraciones, pero también ayudan a mantener el

movimiento. Otro elemento fundamental para la conservación del movimiento del cigüeñal es el volante de inercia que se encuentra sujeto a un extremo.

Figura 17. Conjunto de cigüeñal y volante de inercia



*Fuente (WORD PRESS, 2012)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

### 3.5. Fuerza centrífuga.-

Significa que huye del centro, por lo tanto es una fuerza ficticia que aparece en el movimiento de un cuerpo en un sistema en rotación. Esta fuerza es la que ayuda a mantener el giro del cigüeñal dado a las masas ubicadas en volante de inercia y contrapesos que tratan de salir de su centro conservando el giro.

## 4. Composición interna del cigüeñal.

La composición interior del cigüeñal varía de acuerdo al uso que se le vaya a dar al motor; es decir si se necesita que el motor gire a revoluciones altas pero sacrifique fuerza, la composición interna deberá ser resistente a esfuerzos de carga y fatiga. A continuación tenemos las composiciones más comunes utilizadas en cigüeñales que las revisaremos brevemente.

#### 4.1. Acero bonificado 34 CrMo4

Este tipo de acero se caracteriza por ser de elevada tenacidad para maquinaria por ser rico en cromo y molibdeno.

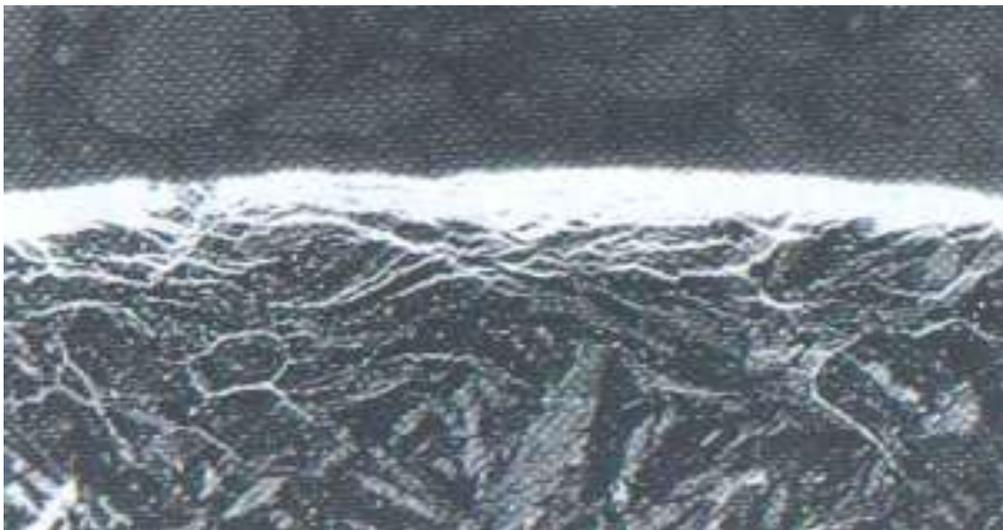
#### 4.2. Acero bonificado 42 CrMo4

De igual manera que el acero anterior, este se caracteriza por su elevada tenacidad en piezas de secciones medias y temple superficial, también permite un mecanizado más fácil.

#### 4.3. Acero nitrurado 34 CrAlMo5

Se obtiene por el uso del nitrógeno que mediante procesos termoquímicos se añaden a la superficie del cigüeñal formando una capa solida de dureza que protege el interior (Figura 18). En el proceso se forman nitruros los que son en realidad los que mejoran la dureza en la superficie.

Figura 18. Capa de acero solución nitrógeno

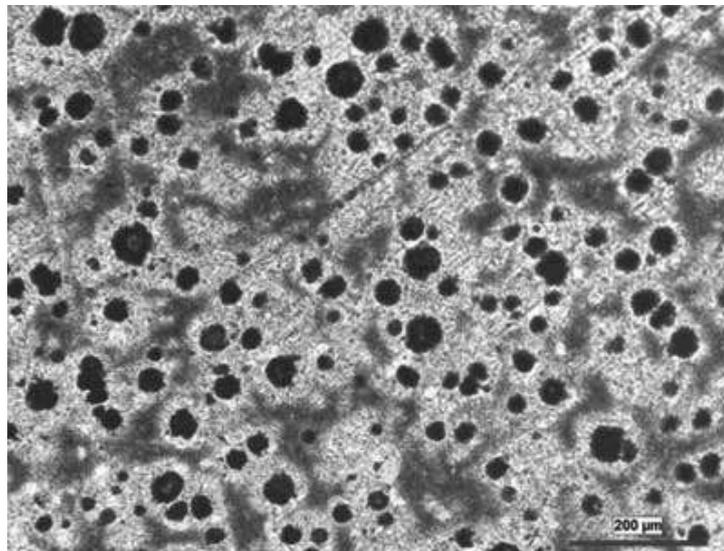


*Fuente (IVAN BOHMAN, 2010)*

#### 4.4. Hierro fundido con grafito esferoidal GGG-60, GGG-70

Este tipo de hierro posee una modificación en la micro estructura del metal que se logra agregando magnesio en el hierro fundido con proporciones bajas de fósforo y azufre (Figura 19). Normalmente en el hierro gris el carbono se deposita en formas de láminas pero en este tipo de hierro el carbono se deposita en forma de esfera.

Figura 19. Hierro fundido con grafito esferoidal



*Fuente (IVAN BOHMAN, 2010)*

El tratamiento térmico para lograr la flexibilidad y resistencia del cigüeñal a rotura por esfuerzos y cargas de trabajo se da al momento de la formación del bloque de material que será posteriormente maquinado en el torno. La aportación de materiales a la base metálica se da cuando ésta se encuentra en un estado casi líquido, de esta manera no se alteran los componentes por efecto de temperatura.

## **5. Tratamiento exterior del cigüeñal.**

La superficie de cigüeñales puede variar dependiendo del fabricante en relación a su dureza superficial, la misma que dependerá del uso u empleo del componente, pero en su interior el material es el mismo. La resistencia o dureza superficial se obtiene mediante procesos térmicos y químicos o también por procesos termoquímicos en los que la superficie del cigüeñal puede alcanzar durezas que van de 48 RC a 95 RC.

A continuación presentamos una breve descripción de procesos o tratamientos de endurecimiento:

### **5.1. Tratamientos térmicos.**

Consisten en el cambiar bruscamente la temperatura del material, alterando sus propiedades físicas para obtener la dureza superficial deseada por el fabricante.

Temple: se aumenta la temperatura del metal, superando su punto crítico y rápidamente se lo enfría.

Revenido: este proceso se aplica a metales que ya han sido templados, en el proceso se consigue mejorar la tenacidad del metal eliminando tensiones creadas por el temple.

Recocido: consiste en enfriar el material lentamente después de haber elevado su temperatura permitiendo la formación de un elemento fácil de

maquinar debido a que la dureza disminuye, esto libera la tensión estructural del hierro.

Normalizado: distribuye el carbono de manera uniforme eliminando las tensiones internas generalmente es aplicado antes del temple y revenido.

## 5.2. Tratamientos termoquímicos.

Además de ser tratamientos en los que las propiedades físicas se alteran es posible alterar las propiedades químicas de los metales. Este tipo de tratamiento se realiza en atmósferas controladas o espacios especializados.

Cementación: en este proceso se aumenta la cantidad de carbono en la superficie. Es necesario realizar procesos de temple y revenido para mejorar la resistencia al desgaste y tenacidad.

Nitruración: se añade partículas de nitrógeno al metal mediante el incremento de temperatura en su estructura. Mientras se mantiene caliente una corriente de gas nitrógeno bordea la zona a nitrurar disminuyendo la temperatura del material y logrando la impregnación de nitruros en la superficie.

Mediante los tratamientos mencionados anteriormente es posible lograr que la superficie de muñones no se debilite o sufra deformaciones debido a los esfuerzos de trabajo a los que se someterá al cigüeñal una vez trabajando en el motor.

Se deberá recordar que la superficie de muñones no debe ser del mismo tipo que la superficie de los cojinetes, esto debido a que una de las dos debe ceder material a la otra, evitando el maquinado de las piezas cuando el motor empieza a funcionar.

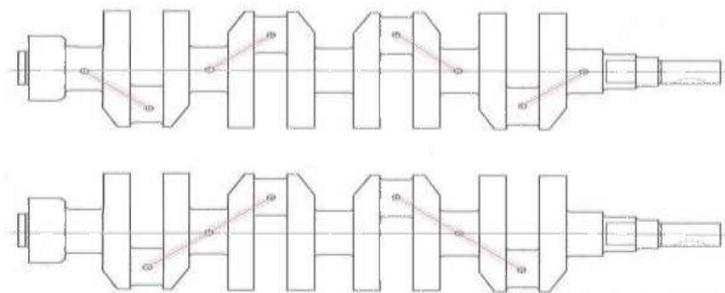
## 6. Lubricación, enfriamiento y mantenimiento del cigüeñal.

### 6.1. Lubricación del cigüeñal.

La lubricación es fundamental para el funcionamiento del motor en general, principalmente para reducir el desgaste y roce entre las superficies metálicas en movimiento. La capa de aceite lubricante logra separar las superficies a un nivel molecular y es “absorbida” por la superficie metálica, logrando adherirse. De acuerdo a lo mencionado anteriormente la lubricación llega a los cojinetes mediante los conductos de aceite internos que posee el cigüeñal (Figura 20).

La propiedad de adherencia del aceite a las superficies con las que tiene contacto se la conoce como untuosidad, que dependerá directamente de la viscosidad o “cuerpo” del aceite. (Anexo 10)

Figura 20. Conductos de lubricación del cigüeñal



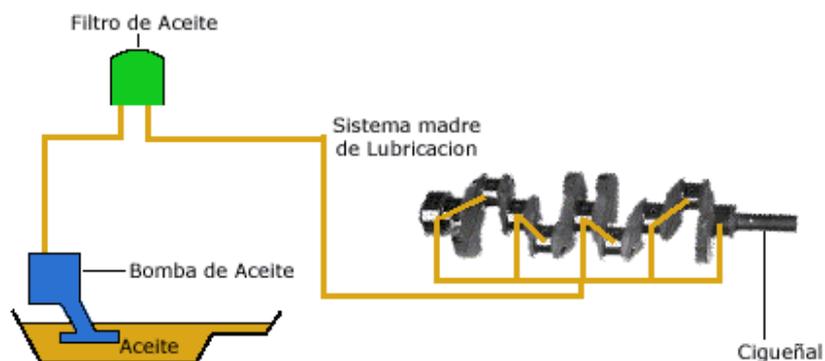
*Fuente (FOTOS IMAGES, 2013)*

La lubricación es un proceso que empieza cuando se pone en marcha el motor, la bomba de aceite succiona el aceite del cárter el cual pasa por el filtro, elemento encargado de retener la mayor cantidad de impurezas para conducirlo al sistema de lubricación madre, el cual está compuesto de varios conductos internos en el block del motor, estos conductos llevan el aceite a los cojinetes de bancada (Figura 21).

Se conoce que al interponerse una capa de aceite entre las superficies de cojinetes y muñones evitando el contacto de una contra la otra, estamos hablando de lubricación fluida, mientras que al tener una película de aceite que no logre un espesor adecuado, y el contacto entre las superficies se dé en forma intermitente, estamos hablando de lubricación límite.

Se nota que los conductos internos del cigüeñal son de gran importancia puesto que mantienen el aceite a presión, logrando la formación de la capa lubricante anteriormente mencionado.

Figura 21. Funcionamiento del sistema de lubricación



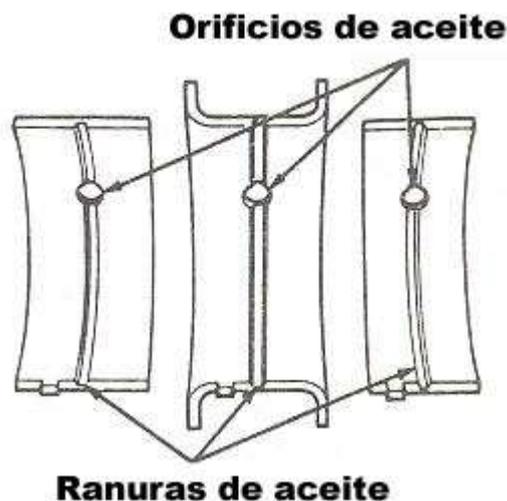
*Fuente (AUTOMOTRIZ NET, 2012)*

Debido a que el motor diésel trabaja a mayor temperatura debido a la presión que se genera en el cilindro (45 bar 600°C) y genera mayor fuerza en su trabajo, el aceite que se emplea necesita cumplir con características diferentes a las de un motor a gasolina.

El aceite para motores diésel tiene mayor cantidad de aditivos de limpieza, anti-espumantes, corrosivos, minerales lubricantes y sobre todo su capacidad de adherirse a las superficies por más tiempo resulta ser una ventaja.

La superficie de contacto del cigüeñal donde asienta los cojinetes de biela y bancada son los únicos puntos en los que el cigüeñal sufre desgaste y para disminuir este efecto los orificios y ranuras con los cuales están fabricados los cojinetes sirven para la lubricación (figura 22).

Figura 22. Orificios lubricación aceite en cojinetes



*Fuente (DIESEL, 2008)*

La bomba de aceite debe ser capaz de generar un caudal suficiente para llenar holguras o espacios entre las superficies metálicas, así como debe absorber y disipar con su avance la temperatura que es generada por el movimiento de las piezas.

La película del aceite tiene que satisfacer tres exigencias al funcionar entre dos superficies de contacto:

- Separar las superficies.
- Ser un obstáculo al paso de gases a alta presión.
- Soportar las altas temperaturas presentes en la superficie.

## 6.2. Enfriamiento del cigüeñal.

La refrigeración o control de temperatura del aceite en motores depende del sistema de refrigeración del motor y el correcto funcionamiento de sus componentes (bomba de agua, termostato, válvula de la tapa de radiador, radiador estanqueidad interior del sistema, entre otros). El control de temperatura o enfriamiento se da cuando el refrigerante supera la temperatura generalmente de 90 grados, provocando que el termostato permita el paso del refrigerante desde el motor hacia el radiador y nuevamente retorne al motor. Manteniendo la temperatura estable mediante la circulación de refrigerante se logra descargar o intercambiar el exceso de calor en el motor.

Debido a la transferencia de calor que se da por la radiación se ve afectada la temperatura del aceite con lo que este a su vez se mantiene en una temperatura estable.

### 6.3. Mantenimiento del cigüeñal.

Debido a que el cigüeñal está colocado en la parte baja del motor entre el block y el cárter no es un elemento que se tiene contacto visual, motivo por el cual el mantenimiento que se da al cigüeñal entre los más importantes se mencionan los siguientes:

- ✓ Uso de filtros de aceite adecuados, de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- ✓ Uso de aceite específico para motores diésel.
- ✓ Cambio de aceite en intervalos indicados.
- ✓ Evitar conducir en revoluciones elevadas por tiempos largos.
- ✓ Medir periódicamente que el nivel de aceite sea el correcto.
- ✓ Comprobar que no haya fugas de aceite.
- ✓ Cuando el vehículo esta frio evitar sobre revolucionar el motor.
- ✓ Evitar el uso de aditivos

## 7. Zonas de desgaste del cigüeñal.

Las zonas de desgaste del cigüeñal son principalmente las superficies de los muñones (Figura 23), el desgaste en la mayoría de casos es debido a la falta de lubricación en el sistema, que permite el contacto directo y excesivo entre las superficies.

Figura 23. Zonas de desgaste muñón biela y bancada



*Fuente (DIESEL, 2008)*

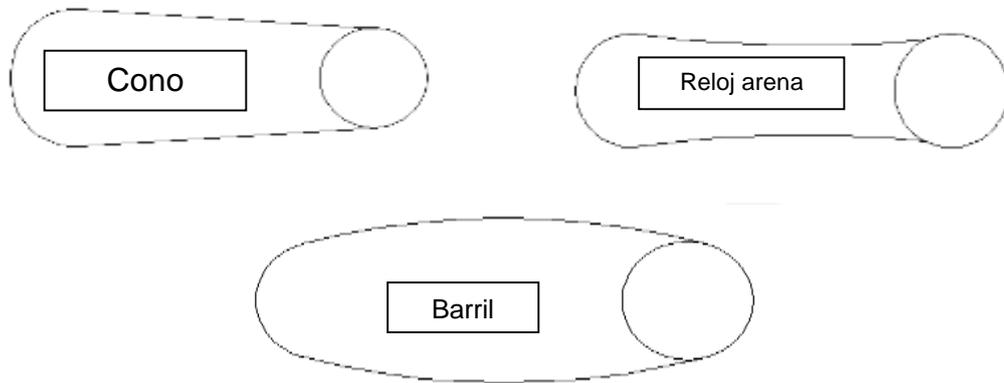
Se considera normal el desgaste de cojinetes y muñones cuando es ocasionado por el tiempo de uso, considerando un kilometraje de 200000 km como base para evidenciar fallas en el funcionamiento del motor que lleven a desarmar y cambiar sus componentes internos.

Este kilometraje se considera para vehículos livianos a los que se de mantenimiento preventivo adecuado y no se sometan a mayores esfuerzos como son transporte de cargas pesadas a largas distancias en superficies ascendentes.

#### 7.1. Tipos de desgaste del cigüeñal.

El desgaste del cigüeñal, como se mencionó anteriormente se da en los muñones de biela y bancada, a continuación los tipos de deformación en los muñones (Figura 24).

Figura 24. Tipos de deformaciones en muñones



*Fuente Felipe Borja y Rubén Enríquez*

En la Tabla 1 y 2 se presenta las tolerancias de desgaste para muñones de bancada y biela respectivamente las cuales sirven de referencia al momento de tomar las medidas de desgaste de los diferentes muñones.

Tabla 1. Tolerancia de desgaste en muñones

TOLERANCIA DE BANCADAS	
DIÁMETRO DEL EJE	TOLERANCIA
MÁS DE 38mm (1.5")	0.013mm (0.005")
38-250mm (1.5"-10.0")	0.025mm (0.001")
250mm (10.0") y superior	0.050mm (0.002")

*Fuente (JOHN G. EDWARDS, 1998)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Tabla 2. Tolerancia de Biela

TOLERANCIA CODO DE BIELA DEFORMACIÓN CÓNICA, BARRIL, RELOJ ARENA		
ANCHO DEL CODO	TOLERANCIA NORMAL	TOLERANCIA PESADA
MÁS DE 25mm (1.0")	0.005mm (0.0002")	0.003mm (0.0001")
25-50mm (1.0"-2.0")	0.010mm (0.0004")	0.005mm (0.0002")
250mm (10.0") y superior	0.013mm (0.0005")	0.007mm (0.0003")

*Fuente* (JOHN G. EDWARDS, 1998)

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

## 7.2. Daños comunes en el cigüeñal.

El cigüeñal es la parte principal que da funcionamiento a los diferentes componentes de motor, así como uno de los elementos más pesados, sin embargo debido a la composición de materiales, las técnicas de construcción modernas y los cambios en las propiedades de los lubricantes, aseguran un amplio margen de seguridad y la fiabilidad al momento de su funcionamiento.

Es posible que se produzcan algunas averías en el cigüeñal entre las más importantes se puede mencionar la rotura por fatiga del cigüeñal y el rayado de los muñones.

### 7.2.1. Rotura por fatiga del cigüeñal.

Es producida "Por las oscilaciones anormales causadas por el bajo número de revoluciones, también por el equilibrado incorrecto del cigüeñal. Especialmente,

los juegos excesivos en los cojinetes de bancada causan vibraciones de flexión que pueden producir la rotura.” (Figura 25) (Innovación diésel, 2008)

Figura 25. Fractura del cigüeñal



*Fuente (BF GERMANY)*

#### 7.2.2. Rayado de muñones.

El rayado de los muñones se da dependiendo de la “lubricación y del filtrado del aceite (Figura 26); esta circunstancia puede producirse por las causas más diversas: por ejemplo, acelerando el motor en frío cuando el aceite no está aún en circulación, tomando las curvas con el nivel de aceite por debajo del mínimo, viajando a plena carga con bajo número de revoluciones, o bien, cuando el lubricante o la instalación de lubricación no funcionan correctamente.” (Innovación diésel, 2008)

Figura 26. Rayado de muñones del cigüeña



*Fuente (DIESEL, 2008)*

Para una buena lubricación en los casos mencionados la presión del aceite generalmente es de 1.75 a 2 bares.

## 8. Comprobación del estado del cigüeñal

Antes de proceder con la de recuperación del cigüeñal es necesario comprobar que el cigüeñal se encuentre en condiciones aptas para el proceso de metalización. Algunos fabricantes muestran en sus manuales de reparación las áreas donde las agrietaduras o deformaciones superficiales deberán ser mínimas puesto que comprometen la integridad del elemento. Generalmente cigüeñales en los que las agrietaduras se comprueben ser profundas situándose en el ángulo de filete (Figura 27) o ductos de aceite deberán ser desechados.

Figura 27. Angulo de filete



*Fuente (MOTORES DIESEL DEUTZ PERU, 2008)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

## 8.1. Pruebas no destructivas para la detección de discontinuidades.

A continuación se indicará las pruebas necesarias para determinar si el cigüeñal es apto para el proceso de recuperación, estas pruebas son las más comunes y prácticas en nuestro medio.

### 8.1.1. Inspección por tintas penetrantes.-

Es un ensayo no destructivo en el que será posible evidenciar agrietaduras o discontinuidades en la superficie del cigüeñal mediante la utilización de líquidos en la siguiente forma.

#### 8.1.1.1. Aplicación de penetrante o limpiador.-

Este con la finalidad de liberar de impurezas o residuos a la superficie, los excesos deberán retirarse a mano con un paño. Antes de continuar con el siguiente paso es necesario esperar el secado del penetrante.

#### 8.1.1.2. Aplicación de tinte.-

Por lo general estos tintes vienen en presentación de aerosoles, el color puede variar, el tinte se aplicará en la superficie a revisar y se retirará los excesos de igual forma con paño. De existir una agrietadura, quedará marcada con el tinte y será posible detectarla.

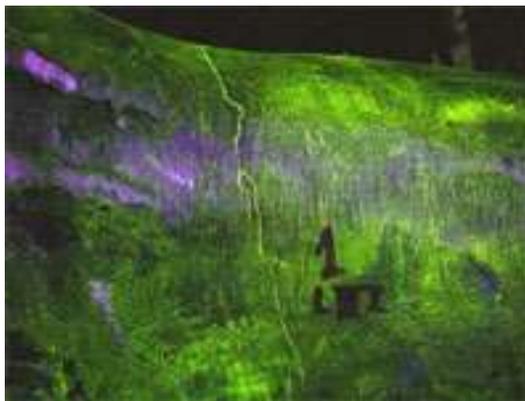
Es posible que algunos fabricantes de tintes para detección de agrietaduras recomienden el uso de su línea de productos, generalmente son tres líquidos en

los que se indica el orden de aplicación, a más de los anteriores ofrecen un líquido revelador, que resalta la discontinuidad en la superficie.

#### 8.1.2. Inspección por partículas magnéticas.

Es un ensayo o prueba no destructiva en la que es posible la detección de agrietaduras superficiales hasta de 0.3mm debajo de la superficie (figura 28). Esta prueba se la realiza magnetizando el cigüeñal mediante el paso de corriente eléctrica a través de su estructura o mediante el paso de electro imanes. Una vez magnetizado el cigüeñal se rocía polvo de limadura de hierro en la superficie, que se concentrará en agrietaduras. Es posible que algunas agrietaduras se eliminen mediante la rectificación, retirando material la superficie.

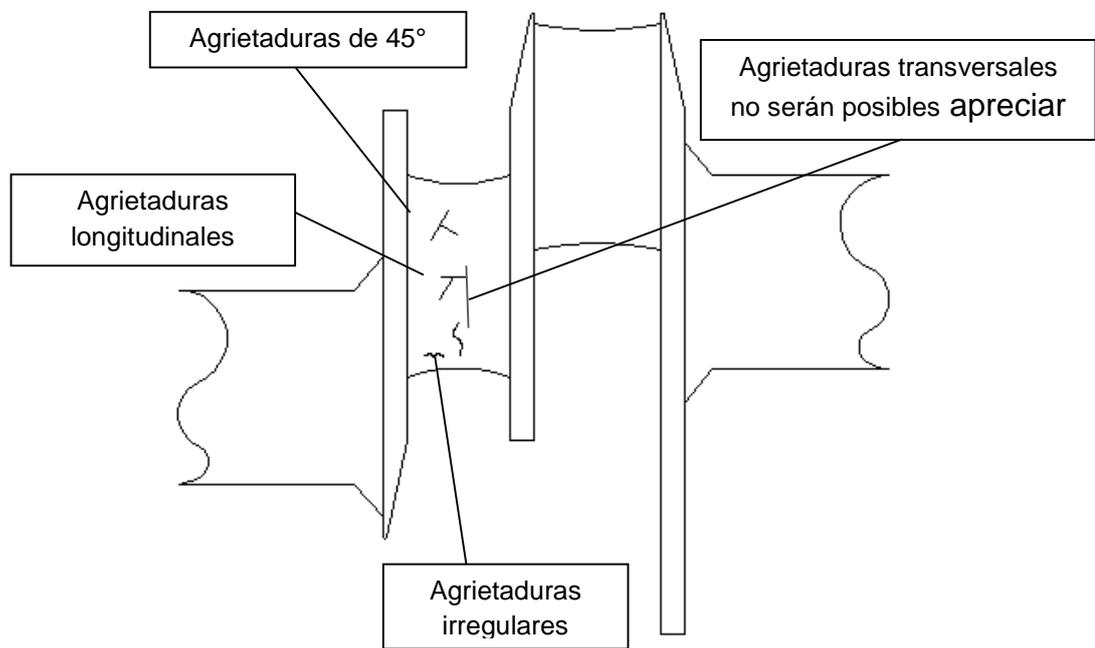
Figura 28. Ensayo de inspección por partículas magnéticas



*Fuente (ISOTEC, 2010)*

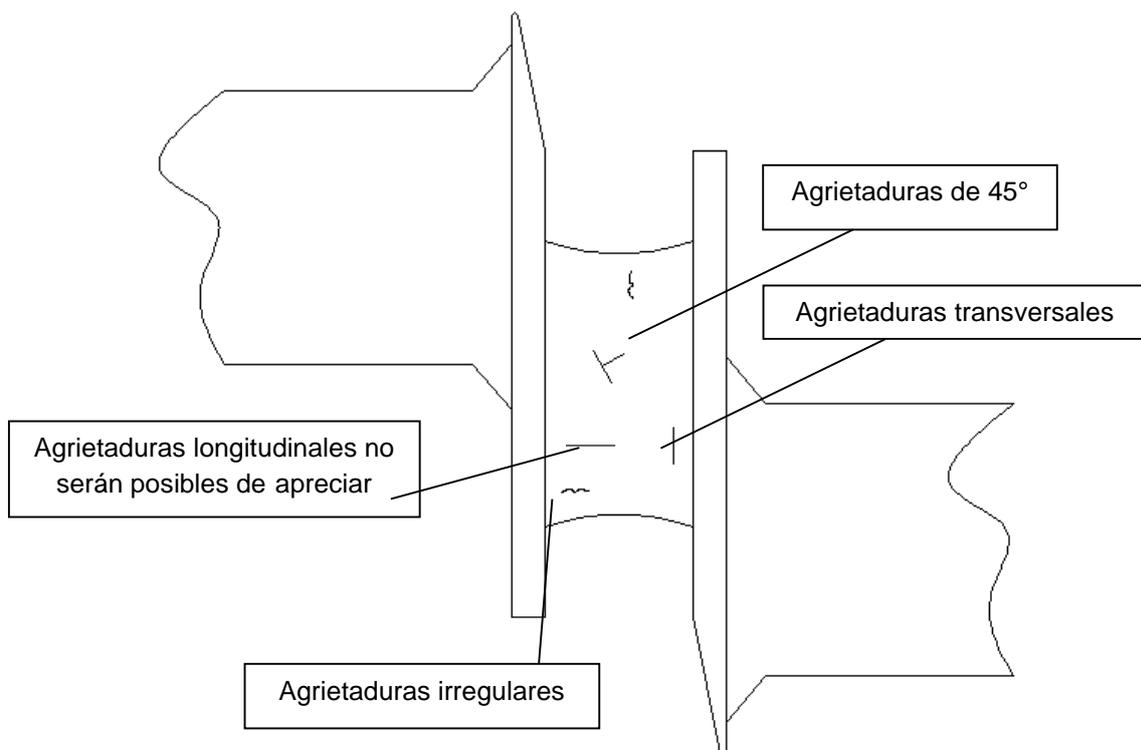
Existen varios tipos de agrietaduras que se detectan según la forma en la que se magnetiza al cigüeñal (Figura 29 y 30).

Figura 29. Detención de agrietaduras en el cigüeñal por corriente longitudinal



*Fuente Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Figura 30. Detección de agrietaduras por bobina



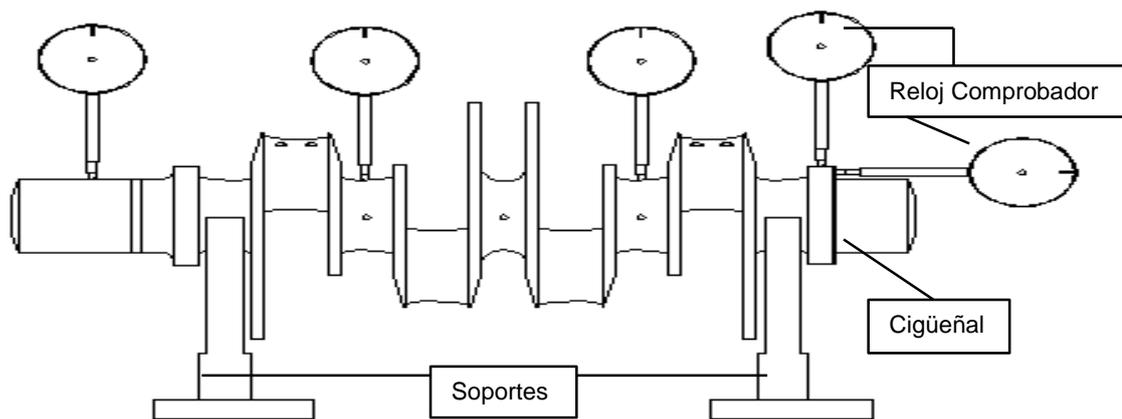
*Fuente Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Según las Figuras anteriores se deduce que la aplicación de corriente longitudinal sirve para detectar agrietaduras paralelas al eje central del cigüeñal mientras que la aplicación de corriente por bobina sirve para detectar agrietaduras en circunferencia (Gregory's Scientific , 1991).

### 8.1.3. Inspección de “pandeamiento” o deformación por flexión.-

Para comprobar que el cigüeñal se encuentra completamente recto es necesario montarlo en soportes y hacerlo girar (Figura 31).

Figura 31. Comprobación de medidas del cigüeñal



*Fuente Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Será necesario colocar un reloj comprobador, según se muestra en la figura anterior, para tomar medidas de las variaciones en la superficie del cigüeñal al momento del giro.

Los cigüeñales pueden flexionarse o pandearse desde 0.13mm hasta 0.15mm bajo condiciones normales de trabajo, esto nota cuando se coloca el cigüeñal en soportes que permitan su giro.

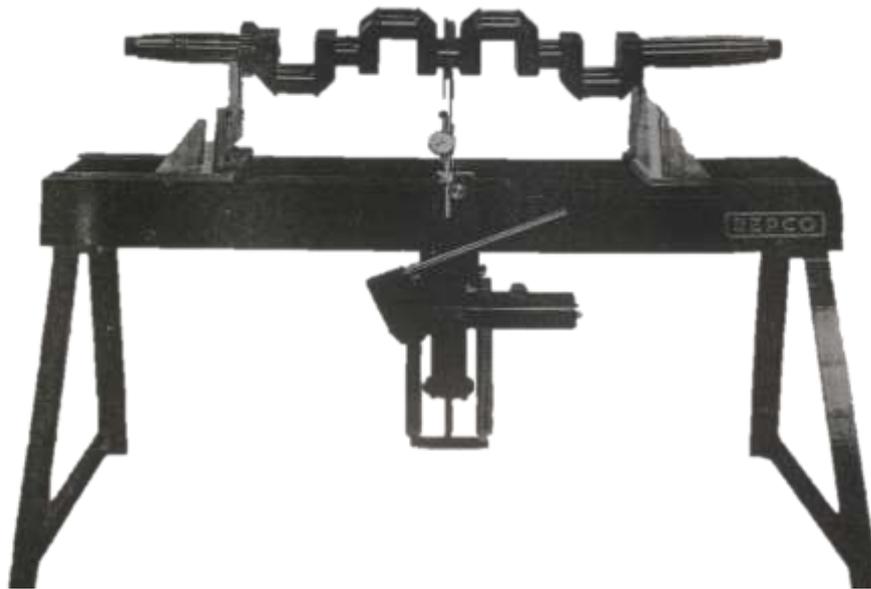
“Algunos cigüeñales trabajan permitiendo un leve movimiento de flexión, especialmente cigüeñales que son parte de motores grandes, como ejemplo se menciona el motor diésel de seis cilindros, el cual tolera una desviación de 0.4mm. En ocasiones es posible corregir la desviación del cigüeñal rectificando los muñones de bancada, reduciendo la medida”. (Gregory's Scientific , 1991)

Dado el caso en que rectificar bancadas no permita que la desviación se corrija, será necesario enderezar el cigüeñal. Este proceso requiere de autorización del cliente para quien se realiza el trabajo puesto que es muy posible que el cigüeñal se fracture en la corrección. Enderezar el cigüeñal es complejo, se requiere de una enderezadora de cigüeñales, esta empuja mediante un pistón hidráulico en un punto de la desviación.

En ocasiones es necesario calentar levemente el cigüeñal para lograr una mejor elasticidad al proceso ya que de hacerse en frío el riesgo de fractura es mayor. La temperatura a la que se calienta el cigüeñal debe ser mínima, que no comprometa la calidad y propiedades mecánicas de los elementos que lo forman.

Esto es un trabajo artesanal, no existe una fórmula que indique la fuerza será necesaria de aplicación al cigüeñal según su grado de desviación o la ubicación de la misma. La corrección se realiza empíricamente, probando hasta que se corrija (Figura 32). Es por esto que no se garantiza un trabajo de enderezada de cigüeñal. Existen en nuestro medio, talleres de rectificación de motores que realizan este tipo de trabajos, pero ninguno ofrece o plantea un método estandarizado para hacerlo.

Figura 32. Prensa para enderezado de cigüeñales



*Fuente (Gregory's Scientific , 1991)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

## **9. Cigüeñales aptos para el relleno mediante Arc Spray**

Son aptos para procesos de relleno los cigüeñales que no presenten desviaciones significativas, tratar de enderezar un cigüeñal es un proceso riesgoso que no garantiza una alineación idónea de su estructura e incrementa el riesgo de fractura en el proceso de enderezado.

Agrietaduras descubiertas mediante el ensayo de detección por partículas magnéticas profundas que no se eliminen con un pre maquinado superficial, también se descartara puesto que no es posible remover material hasta el punto de comprometer la estructura interior del cigüeñal. Se mencionará que los pasos detallados anteriormente para la metalización del cigüeñal son (Anexo 14):

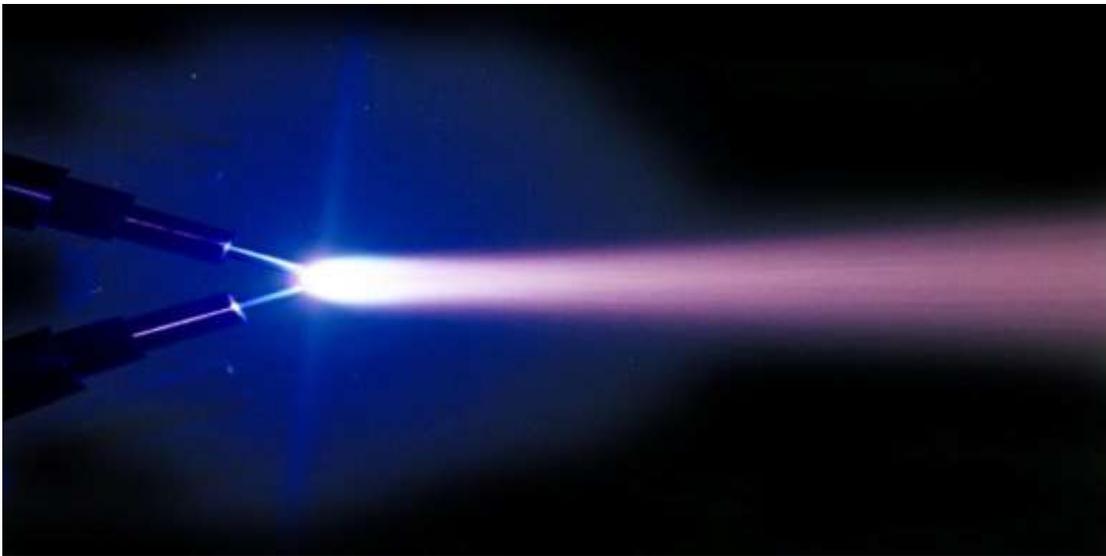
- Limpieza.
- Pruebas de agrietamiento.
- Pruebas de desviación.
- Maquinar o remover material hasta máximo 1.5mm de la medida estándar, manteniendo el radio de filete.

## CAPITULO 2

### 2. Metalización.

La metalización apareció a principios del siglo XX, se utilizó para proteger contra la corrosión aplicando Zinc (Figura 33), pero no tuvo mayor desarrollo o aplicaciones, pues no era una técnica muy conocida o fiable.

Figura 33. Formación de arco eléctrico ARC SPRAY



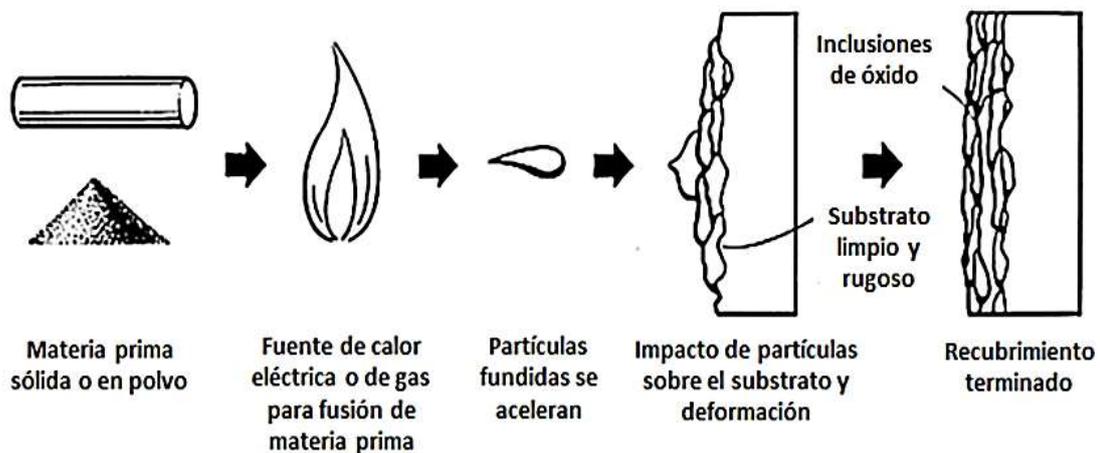
*Fuente (GULF ENERGY LLC, 2013)*

Podemos señalar que “a partir de los años 60 empezó a desarrollarse dando un nuevo enfoque a la naturaleza de reparación que tenía el proceso en años pasados y evoluciono para integrarse en procesos de producción especialmente en partes de aviones y en industria de textiles, como resultado se logró el desarrollo de equipos, procesos y productos para metalización” (ASM INTERNATIONAL, 2004).

El metalizado es un proceso mediante el cual es posible añadir partículas metálicas a una superficie desgastada para conseguir el relleno o revestimiento de la misma (Figura 34). Estas partículas metálicas se depositan en un estado

fundido o semi-fundido. El área donde se aplica el recubrimiento se conoce como depósito metalizado.

Figura 34. Proceso de recubrimiento



*Fuente (ASM INTERNATIONAL, 2004)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

El material de revestimiento se presenta comercialmente en polvo o alambre según el método que se vaya a aplicar. El material de aporte o revestimiento en cualquier de sus presentaciones es calentado y llevado a fusión o a estado plástico que permita su mejor adhesión. Es necesaria la formación de gases, arco eléctrico, arco plasma o detonación de una mezcla que a más de calentar el material de aporte cumple con la función de transportarlo o conducirlo hacia la superficie desgastada.

Antes de la aplicación del metalizado es necesario preparar el material base al que daremos aporte, después de un pre-rectificado en que se remueve la superficie endurecida y posteriormente se aplica granallado utilizando oxido de

aluminio o hierro blanco. Este proceso consigue que la superficie a rellenar sea mejor para la impregnación de partículas.

El granallado consiste en la aplicación a presión del óxido de aluminio mediante una pistola que expulsa el material contra la superficie (blasting 60-125 m/s) permitiendo un desgaste superficial que remueve impurezas y disminuye el riesgo de oxidación en la superficie mejorando la unión entre la base y el metalizado.

La unión que se obtiene entre el metalizado y la superficie base puede ser mecánica, química o la combinación de estas.

#### 2.1. Concepto Metalización.

“La metalización es un proceso mediante el cual se añade material metálico a una superficie desgastada que necesite recuperar su volumen. El metalizado consigue otorgar la dureza necesaria en la superficie para ser maquinada o corregida posteriormente” (ASM INTERNATIONAL, 2004).

#### 2.2. Recubrimientos protectores.

“El recubrimiento permite aislar y proteger un material base que ha sido debilitado por condiciones de trabajo. Los recubrimientos pueden metálicos (cromo, níquel, zinc, etc.) y no metálicos (pinturas, barnices, lacas, resinas, etc.)” (ASM INTERNATIONAL, 2004)

Existen varias formas de aplicación de recubrimientos protectores, entre las más comunes destacan:

#### 2.2.1. Inmersión en caliente.

En este proceso la base a ser cubierta es sumergida en el material de recubrimiento fundido. Mediante este proceso es posible obtener galvanizados, recubrimientos con estaño, aluminio-zinc entre otros.

#### 2.2.2. Electrodeposición.

Es un proceso en el que partículas metálicas se adhieren al material base por diferencia en cargas de corriente. En este proceso se obtiene recubrimientos de cromo, níquel, níquel-aluminio, níquel-zinc, entre otros.

#### 2.2.3. Conversión química.

Al igual que los procesos anteriores, se logra obtener recubrimiento debido a reacciones químicas o electroquímicas que se producen entre el material base y el de aporte.

#### 2.2.4. Metalización.

En este proceso de recubrimiento se deposita a velocidad partículas metálicas fundidas sobre la superficie base y se obtiene la recuperación en volumen y una capa protectora.

### **3. Procesos y técnicas metalización.**

Los procesos de metalización varían según el tipo de superficie que necesita ser recubierta y el trabajo que esta desempeñará al trabajar, para lo cual se debe tomar en cuenta varios parámetros que son:

- Material para la metalización.
- Rendimiento del recubrimiento.
- Costo del proceso.
- Tamaño de la pieza trabajar.

### 3.1. Metalización por flama.

En este proceso se utiliza gases de combustión para generar calor y fundir el material de aporte con el material base. Generalmente se utiliza acetileno con oxígeno y se presentan las siguientes variantes:

- Metalización por combustión a alta velocidad (High Velocity Oxy Fuel).
- Metalización por flama con polvo.
- Metalización por flama con alambre.
- Metalización por flama con pistola.

El material de aporte se funde por la temperatura de la flama de Oxy corte, al accionar el dispensador o gatillo se permite que el material entre al flujo o paso de gas, el cual lo expulsa consigo a alta velocidad y temperatura.

### 3.2. Metalización por plasma.

Es un proceso versátil en el que la energía que se obtiene para la ionización del gas muy elevada, de tal forma que es posible la fundición de cualquier material de aporte contra la superficie a rellenarse. Los usos de este tipo de recubrimiento son mayormente utilizados en industria pesada y son automatizados.

### 3.3. Metalización por Arc Spray.

Es un proceso de rociado en el que a diferencia de los anteriores se utiliza corriente eléctrica para fundir el material de aporte, el gas encargado de transportar las partículas es aire a presión, el mismo que se encarga de refrigerar la pistola de deposición.

Consiste en la fundición de dos alambres metálicos cada uno con diferente carga, ambos alambres se encuentran separados y avanzan hasta encontrarse en una boquilla. Al estar cargados eléctricamente uno positivo y otro negativo, se formara un arco eléctrico, este material es impulsado a la superficie mediante el uso de aire comprimido generado por un compresor con una presión de 60 a 90 PSI, quedando impregnado en el material a ser rellenado, obteniendo como resultado una superficie resistente.

Es posible controlar el avance de los alambres y la formación del arco eléctrico mediante el gatillo de la pistola de rociado. Al accionar el gatillo se energizan los cables, generando el arco eléctrico y se permite la salida o avance de más material hacia la boquilla.

Es necesario tomar en cuenta que el Arc Spray es un proceso similar al de pintar mediante pistola de pulverización, difiere en que la presión y velocidad de salida del material desde la pistola es significativamente mayor.

En la Tabla 3 se indica las propiedades de los procesos de metalización haciendo siendo posible resaltar la metalización por Arc Spray como el proceso

más adecuado para la recuperación de cigüeñales puesto que no implica transmisión de temperaturas elevadas que afecten la estructura del cigüeñal y aun así permitiendo buena adherencia a la superficie.

Tabla 3. Comparación y propiedades de los procesos de metalización

TIPO DE METALIZACIÓN	VELOCIDAD DE PARTÍCULA (m/s)	ADHERENCIA MPa	% CONTENIDO DE ÓXIDO	% POROSIDAD	VELOCIDAD DE APLICACIÓN (kg/h)	ESPESOR DE METALIZACIÓN (mm)
LLAMA	40	< 8	10 – 15	10 – 15	1 – 10	0.2 – 10
ARC SPRAY	100	10 – 30	10 – 20	5 – 10	6 – 60	0.2 – 10
PLASMA	200-300	20 – 70	1 – 3	5 – 10	1 – 5	0.2

*Fuente (ASM INTERNATIONAL, 2004)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

### 3.4. Parámetros para la metalización que influyen en deformaciones.

El proceso de metalización es aparentemente simple, pero en la práctica se tiene en cuenta ciertos parámetros que influyen en la calidad del recubrimiento. La calidad de la atomización esta principalmente influida por la estabilidad de corriente, voltaje de arco, velocidad de salida del aire, amperaje, distancia entre la pistola de metalización y base a rellenar, calidad del alambre(segmentos completos).

El proceso de metalización por arco eléctrico o Arc Spray utiliza la salida del aire a velocidad para la adhesión de partículas metálicas en una superficie, como se menciona anteriormente, pero el aire también es utilizado para la refrigeración de la boquilla. Las partículas metálicas se enfrían con gran velocidad al ser expulsadas con aire a presión, es por esto que la distancia y ángulo de aplicación son los factores más influyentes en la aplicación de metalización por arco eléctrico.

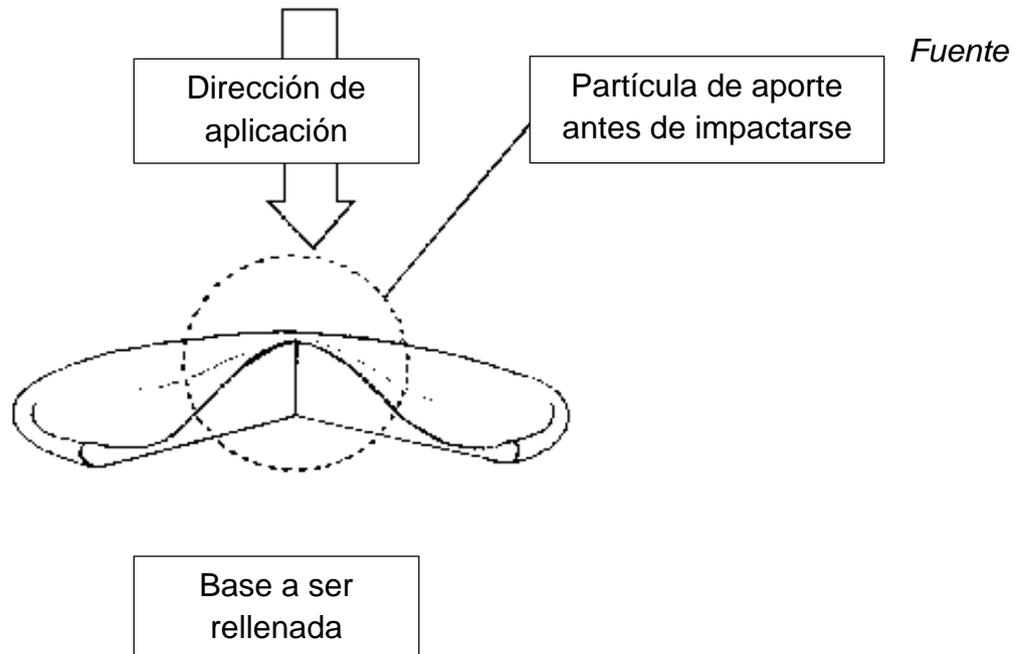
#### 3.4.1. Irregularidades en el proceso de metalización.

La mala aplicación o el descuido en detalles como los que se mencionó serán más notorios al momento de pulir la superficie, se podrá evidenciar agrietaduras, granos entre otras imperfecciones aun después de que se haya maquinado y deberá empezar nuevamente el proceso.

Dentro de las irregularidades existen los siguientes términos y conceptos que deben comprenderse y analizarse para saber a qué se deben las variaciones en la superficie de metalización.

3.4.1.1 Splat: se denomina a así a una partícula de material que ha sido impactada contra una superficie (figura 35). Las partículas se unen unas a otras debido a la temperatura y velocidad a la que impactan. Generalmente las partículas tienen una forma redonda antes de impactarse a la base y al hacerlo se esparcen en la superficie, llenando los espacios entre partículas anteriores.

Figura 35. Formación de splat



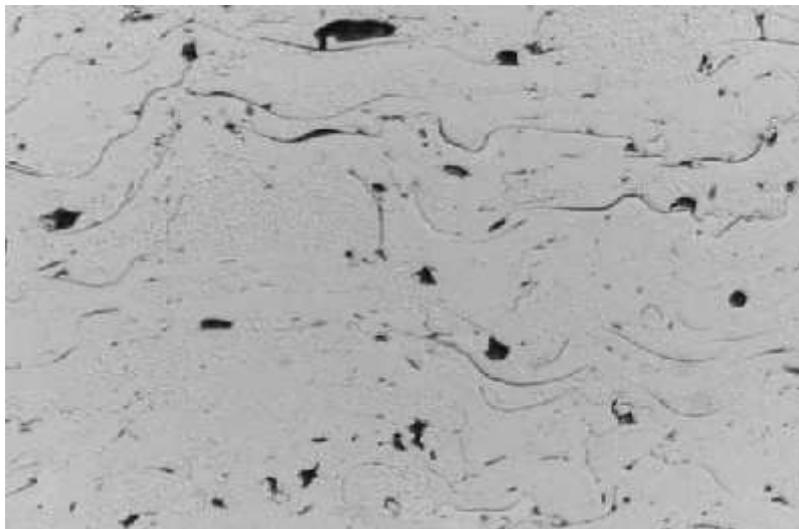
(GORDON ENGLAND)

3.4.1.2. Cadena de óxido: son imperfecciones que se pueden apreciar como puntos negros de forma alargada en la soldadura, se muestran de forma paralela a la base donde se impactaron partículas de relleno (Figura 36). Estas cadenas se producen por la interacción de las partículas y la atmosfera, también por la temperatura de la base cuando son rociadas. La interacción de las partículas calientes con el aire del entorno es la principal causa de la formación de cadenas de óxido. La aplicación permanente y la elevada temperatura incrementan el espesor de la cadena de óxido entre las capas de partículas rociadas.

La formación de óxido o los puntos de óxido son de mayor dureza que la soldadura, pero son más propensos a fracturarse, es por esto que se evitara de la siguiente forma según la fuente (ASM INTERNATIONAL, 2004):

- ❖ Minimizar la reacción con el ambiente por el uso de gases inertes o realizando el proceso en cabinas.
- ❖ Reduciendo la temperatura de las partículas mediante la disminución de la flama que las calienta.
- ❖ Reduciendo la distancia entre la base y la fuente de roció de las partículas o incrementando la velocidad del aire o gas que las transporta.

Figura 36. Cadena de óxido en metalización



*Fuente* (ASM INTERNATIONAL, 2004)

3.4.1.3 Porosidad: es causada por la mala unión de partículas depositadas en la base, esto permite daños por corrosión y trisado de las piezas. La formación de poros se relaciona con un alto número de partículas a mayor

temperatura atrapadas en el revestimiento de la soldadura, estas como se menciona antes, provocan el agrietamiento, des laminación o desprendimiento, esto permite que elementos oxidantes ingresen al recubrimiento y ataquen al material base.

El agrietamiento o trizado es causa del desprendimiento de material de relleno, que a su vez actuara como elemento abrasivo y desgasta o raya el resto de la superficie.

Las porosidades pueden confundirse con cadenas de óxido, se diferencian en que el poro tiende a ser redondo y sus causas son:

- Concentración de material líquido en enfriamiento.
- Partículas fundidas o semi fundidas atrapadas en espacios vacíos.
- Mala cohesión que da espacios entre partículas.
- Falla de penetración de partículas nuevas en espacios anteriores por enfriamiento rápido (ASM INTERNATIONAL, 2004).

3.4.1.4 Adhesión: la adhesión o unión del material de relleno al material base debido, a más de la fuerza con la que impactan las partículas sobre la base, por las irregularidades en la superficie. Las partículas metálicas “enganchan” en las irregularidades del elemento a ser relleno, formando así una capa áspera e irregular, es por esto que después de la metalización es necesario corregir la superficie rellena.

#### **4. Ventajas y desventajas del Arc Spray.**

La metalización por arc spray es un proceso que se mantiene en desarrollo, tanto por materiales utilizados, equipos, técnicas de aplicación y presentan las siguientes ventajas y desventajas:

##### **4.1. Ventajas del Arc Spray.**

La principal ventaja al utilizar el Arc Spray para el recubrimiento de superficies, es la gran variedad de materiales disponibles para la fabricación de recubrimientos, ya que también se pueden ocupar materiales no metálicos.

Al ser un proceso en el cual el elemento a ser metalizado no está directamente sometido a temperaturas elevadas, es decir el arco eléctrico que se forma por la fundición de los materiales utilizados de aporte en el Arc Spray forman un recubrimiento superficial, no llega a involucrar cambios en las propiedades físicas o cambios térmicos en la pieza metalizada.

El tamaño y espesor de las partículas utilizadas en el proceso de relleno también son una característica y ventaja del Arc Spray. Al no ser todas de un mismo tamaño, es posible que partículas pequeñas se depositen en grietas entre partículas grandes y debido al impacto que sufren al chocar unas con otras al llegar a la superficie el splat que forman se adapta o adquiere la silueta de la superficie inferior.

Evita la formación de porosidades por material depositado en capas inferiores que no ha llegado a enfriarse al igual que cadenas de óxido.

La metalización por Arc Spray es un proceso rápido de aplicación e inmediatamente es posible maquinar la superficie metalizada para lograr un buen acabado final.

Otra ventaja que se tiene al utilizar el metalizado por Arc Spray, es la capacidad de retirar y volver a metalizar los componentes gastados o dañados sin cambiar las dimensiones de la pieza original.

#### 4.2. Desventajas del Arc Spray.

La gran desventaja al metalizar con el uso del Arc Spray, es la poca visión que tiene el operario con el uso de la pistola que afecta en la cantidad de material pulverizado; ya que solo se metaliza lo que el rociado de la pistola le permite visualizar al operador, siendo casi imposible el metalizado en superficies pequeñas donde el material pulverizado o la pistola no entra.

No es posible regirse a un tabla de aporte de material, en las que generalmente nos indica el tiempo de rocío, amperaje, distancia a la base, etc.,

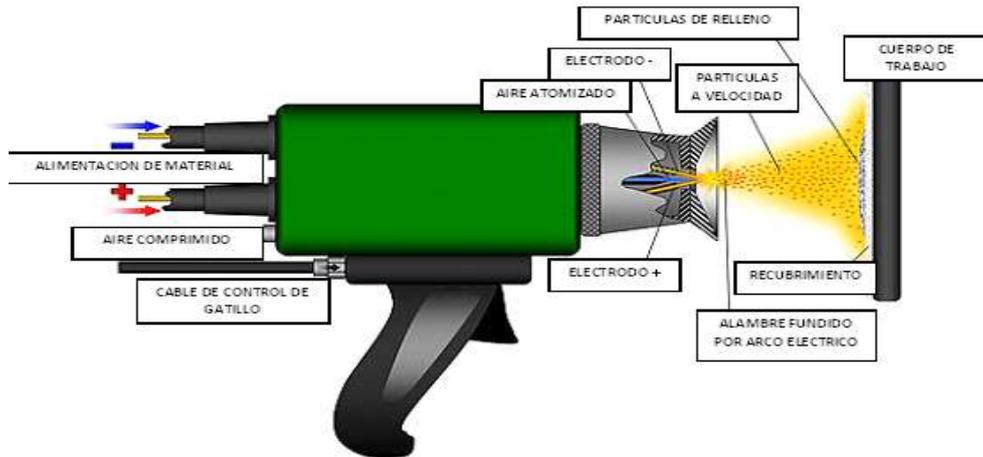
Existen factores en el ambiente como son la humedad del aire, temperatura, que influyen directamente en la adhesión del material a la base.

Para lograr que la metalización no tenga irregularidades en el recubrimiento terminado es necesario se realice en cabinas especializadas y de forma automatizada, esto incrementa el valor del proceso por lo que se podría considerar como una desventaja.

## 5. Partes del equipo de soldadura Arc Spray

La Figura 37 identifica las partes de la pistola de metalización por Arc Spray de la que su funcionamiento se describe anteriormente.

Figura 37. Pistola ARC SPRAY



Fuente (EPC COATINGS, 2013)

La Figura 38 identifica las partes de la consola de metalización por Arc Spray, mediante esta se permite la calibración del equipo.

Figura 38. Consola para metalización



Fuente (CASTOLIN EUTETIC, 2014)

## 6. Equipos de Protección Personal (EPP)

Es necesario que el operario tenga los debidos EPP (Figura 39) para prevenir lesiones, aunque no se dispone de una norma que indique o rijas a las personas que realizan metalización a utilizar indumentaria especializada es recomendable el uso de lo siguiente:

- ✓ Casco.
- ✓ Máscara de soldadura.
- ✓ Mascarilla de respiración.
- ✓ Guantes de cuero.
- ✓ Overol de cuero.
- ✓ Capucha de cuero.
- ✓ Gafas de vidrio oscuro.
- ✓ Tapones para oídos.

Figura 39. Equipos de protección para soldadura de ARC SPRAY



*Fuente (MSS, 2014)*

## 7. Usos de metalización mediante Arc Spray.

Es posible utilizar el Arc Spray para recuperar superficies desgastadas y brindar protección a piezas móviles, recuperando la superficie de contacto impidiendo el deterioro de acuerdo a las condiciones del ambiente donde se encuentran. Las figuras que se muestran a continuación son ejemplos de aplicaciones de metalización mediante Arc Spray.

Figura 40. Reparación muñón de biela de un cigüeñal



*Fuente* (JOSE EDUARDO CHAVEZ, 2013)

Figura 41. Metalización para protección anticorrosiva



*Fuente* (JOSE EDUARDO CHAVEZ, 2013)

Figura 42. Relleno interior para aumentar resistencia al desgaste



*Fuente (ASM INTERNATIONAL, 2004)*

## **8. Materiales utilizados para la metalización**

Existe una gran variedad de material que es posible aplicar en el proceso de metalización que pueden ser metales puros, ferrosos y no ferrosos, aleaciones, compuestos y cerámicos.

En el caso de la metalización del cigüeñal de acuerdo a la marca Tafa que en nuestro caso se utiliza es el alambre 90MXC, el mismo que es resistente a la abrasión, corrosión y una temperatura de 870°C (Anexo4).

Las tablas 4 a 6 presentan características del alambre utilizado  
Características del alambre 90MXC:

Tabla 4. Características del alambre 90MXC

COMPOSICIÓN:	
Elementos	Porcentaje%
Cobre	1.9
Silicón	1.1
Cromo	21.0
Níquel	8.0
Manganesio	1.25
Boro	2.25
Molibdeno	3.2
Hierro	61.3

*Fuente (PRAXAIR, 2004)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Tabla 5. Propiedades físicas del alambre en recubrimiento

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALAMBRE EN RECUBRIMIENTO	
Diámetro del alambre	1/16" (1.6mm)
Eficiencia del deposito	70%
Punto del fusión	2200°F (1204°C) Aprox.
Fuerza de adherencia	5100PSI
Macro dureza	45 Rc
Densidad de recubrimiento	6.7g/cm <sup>3</sup>

*Fuente (PRAXAIR, 2004)*

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Tabla 6. Cantidad de aplicación

CANTIDAD DE APLICACIÓN	
Taza de rocío	7lbs/h x 100 amp. (3.18kg/100amp)
Cobertura (Consumo de alambre)	1.0 onz/pie <sup>2</sup> /0.001” (1.2kg/m <sup>2</sup> /100micron)
Distancia a la base	3” (7.6cm)

Fuente (PRAXAIR, 2004)

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

En las tablas 7 y 8 se comparan los tipos de alambre de la marca TAFE los cuales son comúnmente utilizados para la metalización de cigüeñales resaltando el alambre 90MXC que reúne mejores elementos de constitución y propiedades en comparación a los otros.

Tabla 7. Comparación de propiedades entre alambres marca TAFE para metalizado

		ALAMBRES MARCA TAFE			
		90MXC	60T	75B	30T
ELEMENTOS	COBRE	1.90%	2.40%		
	SILICÓN	1.10%	0.08%		0.35%
	CROMO	21%	13%		
	NÍQUEL	8%	1%	95%	
	MANGANECIO	1.25%	1%		1.25%
	BORO	2.25%			
	MOLIBDENO	3.20%			
	<b>HIERRO</b>	<b>61.30%</b>	<b>82.12%</b>		<b>98.12%</b>
	CARBÓN		0.30%		0.18%
	FOSFORO		0.05%		0.05%
	SULFURO		0.05%		0.05%
	ALUMINIO			5%	

Fuente (PRAXAIR, 2004)

*Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez*

Tabla 8. Alambres marca Tafa

		ALAMBRES MARCA Tafa			
		90MXC	60T	75B	30T
PROPIEDADES FÍSICAS	Diámetro del alambre	1/16" (1.6mm)	1/16" (1.6mm)	1/16" (1.6mm)	1/16" (1.6mm)
	Eficiencia del depósito	70%	78%	70%	81 - 83%
	Punto de fusión	2200°F (1204°C) Aprox.	2600°F (1427°C) Aprox.	2600°F (1450°C) Aprox.	2192°F (1200°C) Aprox.
	Fuerza de adherencia	5100PSI	4730PSI	9100PSI LIZO, 9750PSI RUGOSO	5700PSI
	Macro dureza	45 Rc	40 - 43 Rc	55 - 80 Rb	97 - 100 Rb
	Densidad de recubrimiento	6.7g/cm3	6.74 g/cm3	7.8 g/cm3	6.78 g/cm3

Fuente (PRAXAIR, 2004)

Editado por Felipe Borja y Rubén Enríquez

## **9. Relleno del cigüeñal mediante arc spray**

El relleno del cigüeñal se lo realiza mediante Arc Spray debido a que es un método que no compromete la estructura y características mecánicas por efecto de temperatura, como sería en caso de utilizar otro tipo de metalización antes mencionada.

La impregnación del material de aporte sobre el material base se dan por la velocidad a la que son expulsados desde la pistola, y se debe trabajar un muñón a la vez, moviendo el Arc Spray del material de aporte a la misma velocidad a lo largo del codo, conservando una separación similar entre la boquilla de la pistola y la superficie a rellenarse en cada recorrido.

Se debe considerar que el granallado vendría a ser una pre rectificación y no debe ser demasiado profunda, es decir; no debe llegar a la estructura interna del cigüeñal, debe ser máximo de 0.3mm. Después de realizar este proceso será necesario volver a comprobar que no existan agrietaduras, de ser superficiales deben haberse corregido en esta rectificación.

La aplicación en el cigüeñal se realiza sujetándolo por los extremos sobre pedestales que permiten el giro, el lugar donde se realiza la recuperación debe ser adecuado para propiciar el correcto trabajo; es decir, se necesita una infraestructura especializada.

No es posible realizar metalización por Arc Spray en espacios cerrados que no dispongan disipadores de aire, se debe trabajar en un ambiente controlado en

el que el aire sea limpio sin mayores impurezas que afecten en el proceso de metalización Arc Spray.

Un taller en el que se aplique metalización a componentes y piezas que necesiten recuperar su volumen debe contar con infraestructura adecuada, será idóneo que la metalización de partes delicadas se aplique en cabinas cerradas o laboratorios con extractores de aire y que permitan aprovechar el material de aporte al máximo controlando la calidad del aire (temperatura, impurezas, humedad) para que los recubrimientos sean óptimos. El costo de equipos especializados no permite que talleres y rectificadoras locales los adquieran o que sea posible aplicar y normar un estándar de equipos necesarios para procesos de metalización.

Localmente se realiza en talleres amplios en espacios abiertos principalmente debido al ruido que produce el aire al salir a presión por la boquilla de la pistola y al humo que se produce durante la aplicación del material el cual irrita los ojos y vías respiratorias.

### **9.1. Láminas Almen**

Las láminas Almen (Figura 43) de acero AISI SAE 1020 (Anexo 13) son utilizadas para conocer si el recubrimiento que se aplicara sobre la superficie del cigüeñal son los adecuados, debido a que la maquina se calibra de acuerdo al alambre utilizado y las especificaciones dadas por el fabricante (Anexos 4 a 6), pero pueden haber variaciones por factores externos como por ejemplo le clima.

Figura 43. Láminas Almen



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

La metalización es aplicada sobre la lámina Almen la cual tiene una dimensión de 66mm de longitud, 19mm de ancho y 0.8mm de espesor según la norma AMS-S-13165, en la cual se comprobara si hay esfuerzos de tensión o compresión, estos esfuerzo se detallaran más adelante.

Al aplicar el metalizado sobre la lámina Almen esta va a sufrir una deformación, teniendo en cuenta el lado al que se aplica el metalizado si la lámina se deforma hacia el lado que se aplicó el metalizado se realiza un esfuerzo de tensión lo que podría provocar el desprendimiento del recubrimiento, de lo contrario si la lámina se deforma hacia el lado que no se aplica el metalizado esto es un esfuerzo de compresión que es lo que buscamos obtener para conocer que está bien calibrada la máquina para la aplicación.

## 9.2. Esfuerzos de relleno.

Los esfuerzos que soportan el material de metalizado y la base sometida al procedimiento son residuales debido a que permanecen en la estructura después de haber terminado el proceso de metalización. Sin existir una norma vigente de metalización en elementos rotacionales.

### 9.2.1. Esfuerzos residuales.

Esfuerzos en el interior de un material que se generan por la aplicación y retiro de una carga y se deben a varios factores o influencias: mecánica, térmica, termo mecánica, termo química. En el caso de recubrimientos el esfuerzo se origina por el cambio de temperatura de las partículas rociadas que cambian de estado líquido a temperatura alta que disminuye cambiando a un estado sólido, variando también el volumen esperado del metalizado.

### 9.2.2. Esfuerzos intrínsecos

Se originan por efecto de la micro estructura entre el material rociado y la base debido a expansión del rociado sobre la superficie y la diferencia en el enfriamiento entre ambas. Los esfuerzos intrínsecos presentes en el metalizado son:

#### 9.2.2.1. Esfuerzo intrínseco de tensión

Se dan cuando uno o varios átomos se ubican en espacios de red demasiado grandes en comparación con su tamaño lo que provoca que átomos cercanos se “cierren” o se acerquen entre sí para tratar de reducir el espacio de red. Esto al ser una cadena se refleja en toda la superficie del metalizado como

una curvatura en dirección opuesta al material base, como si el metalizado tratara de desprenderse.

#### 9.2.2.2. Esfuerzo intrínseco de compresión

Se da cuando átomos se colocan en espacios de red que son pequeños en comparación con su tamaño, este esfuerzo es lo opuesto al anteriormente descrito. Los átomos grandes empujan a los pequeños haciendo que estos queden demasiado unidos o “comprimidos”.

De haber excesivos esfuerzos residuales en el recubrimiento es posible que la capa de metalización aplicada se desprenda en secciones “desastillamiento” provocando rayado y desgaste en otras zonas del metalizado.

#### 9.2.3. Esfuerzos térmicos

Se generan por la diferencia de temperatura entre el material base y el material rociado. Para entender de mejor manera los esfuerzos térmicos soportados debemos conocer los siguientes conceptos:

##### 9.2.3.1. Expansión térmica

El aumento de temperatura incrementa la separación de los átomos del material provocando que el material crezca o se expanda en una dirección.

- Templado: es el enfriamiento rápido de una partícula caliente que ha sido rociada sobre una superficie base. Este cambio de temperatura brusco causa el efecto de templado.

- Enfriamiento: este esfuerzo se debe a la distribución no uniforme de temperatura en las diferentes zonas del recubrimiento durante el proceso de metalización y al término del mismo.

Los esfuerzos térmicos tienen gran influencia en los efectos o esfuerzos intrínsecos y dependerán de factores del proceso de metalización como son: amperaje, voltaje, tiempo de rocío, temperatura, presión de trabajo. El control de estos esfuerzos dará como resultado la buena cohesión y adhesión del material de relleno sobre la base permitiendo un mejor maquinado de la superficie y evitando deformaciones o fallas de la misma al momento de trabajo.

#### **10. Proceso de rectificación del cigüeñal recuperado.**

La rectificación del cigüeñal recuperado es uno de los procesos más importantes ya que con esto conseguimos una superficie lisa y nivelada sobre la que podrán montarse cojinetes de biela o de bancada según sea el caso, permitiendo la lubricación adecuada una vez que se coloquen todos los componentes y se instalen en el motor.

Para esto se coloca el cigüeñal en un torno rectificador de cigüeñales tomando como referencia el eje principal con cual se realiza la rectificación de los muñones de bancada, para los muñones de biela se tiene que desfasar el eje central tomando como referencia los codos del eje de biela. Debemos considerar el muñón de menor medida e igualar los demás a este.

En el proceso la velocidad de giro del torno no es diferente cuando trabajamos en un codo recuperado a un codo original.

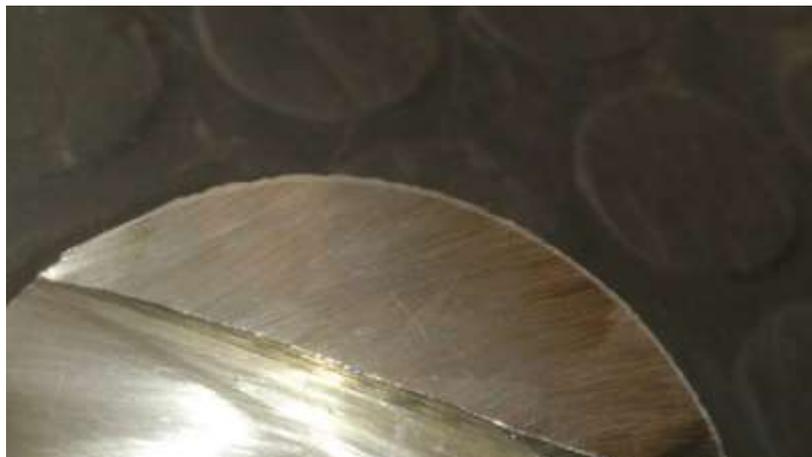
Es necesario repetir los pasos de comprobación del estado del cigüeñal mencionados anteriormente después de haber corregido la superficie de muñones del cigüeñal recuperado.

## 11. Pruebas

### 11.1. Pruebas realizadas al cigüeñal metalizado.

El objetivo principal de esta investigación es demostrar que la recuperación del cigüeñal es un proceso que dará como resultado un cigüeñal funcional, que no tendrá variaciones que afecten su estructura y propiedades al momento de funcionar. La Figura 44 se identifica la superficie metalizada de un muñón de biela

Figura 44. Metalización de un muñón de biela



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Fue necesaria la compra de dos cigüeñales diésel de preferencia motores

2.5, logrando obtener cigüeñales de Luv Dmax. Se realizó el proceso de metalización de dos codos, uno de bancada y otro de biela, mediante Arc Spray y posterior a esto se corrigió las superficies.

Los ensayos requeridos para demostrar las propiedades del material sometido a metalización y las del material original se realizaron en laboratorios de la Universidad Politécnica Nacional, la obtención de muestras y probetas se realizó en el taller especializado en metalización en la empresa IMETCA.

#### 11.2. Espectrometría de chispa.

Este es un ensayo que requirió de una probeta o muestra plana del cigüeñal (Figura 45) para conocer sus componentes internos, durante este ensayo la muestra es destruida. El ensayo consiste en pasar un arco eléctrico o chispa a través de la muestra lo que provoca que los átomos se agiten y emitan ondas de luz que son percibidas por el espectroscopio. Las ondas de luz tienen un patrón que corresponde a cada elemento, con esto se identifica la composición y cantidad de cada uno.

Figura 45. Muestra para espectrometría de chispa



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Para obtener la muestra del cigüeñal para este ensayo fue necesario cortar la bancada de unión al volante de inercia (Figura 46) mediante un proceso que no altere la superficie por generación de calor y se procedió al corte con cierra de pedestal.

Figura 46. Corte de muestra mediante cierra de pedestal



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Figura 47. Muestra para ensayo de espectrometría de chispa



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Un requisito indicado por en Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Universidad Politécnica Nacional es que la probeta para espectrometría por chispa (Figura 47) debe ser plana y de superficie casi lisa, por lo que después de cortar la bancada como se describió anteriormente fue necesario la corrección de la superficie mediante un torno (Figura 48).

Figura 48. Corrección de la superficie de muestra de espectrometría



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

### 11.3. Ensayo de dureza Rockwell.-

Es un ensayo en que permite conocer la dureza superficial de un elemento, consiste en utilizar un indentador que es presionado contra la superficie, la fuerza aplicada se muestra en un reloj o pantalla de medición (Figura 49).

Mediante este ensayo fue posible conocer la dureza superficial de un muñón de biela metalizado y otro que no lo era. Para obtener la muestra fue necesario el corte de los muñones del cigüeñal.

Figura 49. Durómetro Rockwell



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Los ensayos de dureza se realizan en máquinas especializadas que son los durómetros, los que utilizan la fuerza hidráulica para aplicar la carga sobre la superficie. En ambos ensayos de dureza realizados se tomaron nueve medidas, eliminando la más alta y la más baja para dejar siete restantes y realizar un promedio.

#### 11.3.1. Procedimientos para ensayos de dureza.

- Colocar la probeta o muestra en el soporte del durómetro (mesa o microtón).
- Asegurar la muestra, inmovilizarla sobre la mesa.
- Centrar la mesa bajo el indentador y acercarlo de forma vertical.

- Hacer contacto entre muestra e indentador sin aplicar carga y encerrar el medidor.
- Aplicar la carga, el durómetro utilizado ejerce 10 segundos de carga.
- Retirar la carga del indentador sobre la probeta.
- Tomar la medida del reloj o display de carga.
- Cambiar la posición o área de la probeta donde se asentará el indentador y repetir el proceso.

Los ensayos de dureza son similares en cuanto al procedimiento que se aplica para obtener datos, se diferencian en la fuerza aplicada y el tipo de indentador.

#### 11.4. Ensayo de Adherencia (Figura 52)

Este ensayo nos sirve para determinar la adherencia o unión del material de relleno sobre la base. Para este ensayo se utilizan dos probetas cilíndricas y silicón. Una de las probetas es metalizada en su extremo sin rosca y se aplica una capa de silicón uniéndola con la otra probeta no metalizada.

Figura 50. Máquina para ensayo de adherencia



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

### 11.5.1 Dimensiones de probetas para ensayo de adherencia

Las probetas para este ensayo (Figura 54-55) fueron maquinadas bajo la norma ASTM C633-01, lo que asegura parámetros reales en la obtención de datos, son probetas cilíndricas con rosca métrica interior M16x1.5 de 19mm. El acero que se utiliza en este ensayo es acero SAE- 1018.

### 11.5.2 Equipo utilizado en laboratorio para ensayo de adherencia

El ensayo de adherencia se realiza en una máquina universal de ensayos mecánicos la que es capaz de sujetar por los extremos a las probetas mencionadas anteriormente mediante mordazas y elementos de sujeción (Figura 53), una de las mordazas hala la probeta mientras la otra la sostiene generando un esfuerzo de tracción. El punto de separación de las probetas, al no ser estas un solo cuerpo, será donde están unidas por el recubrimiento base más no en la silicona.

Figura 51. Elementos de sujeción para probetas



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Se debe recordar que este ensayo se enfoca en conocer la adhesión del recubrimiento sobre el metal base o pieza a rellenarse. El silicón utilizado es resistente a presiones y fuerzas, el más resistente en el mercado soporta hasta 6000psi, fuerza que en condiciones normales de trabajo los muñones del cigüeñal no llegan a soportar, por lo tanto la función del silicón en este ensayo es sujetar el extremo metalizado, haciendo de “ventosa” mientras la maquina universal de ensayos hala el otro extremo hasta separar el material de recubrimiento base de la superficie sin rosca de la probeta opuesta.

Es necesario detener el ensayo justo al momento en que se evidencia la separación del recubrimiento y tomar nota de la fuerza utilizada para esto.

Este ensayo no se pudo realizar en nuestra investigación debido a que en nuestro país y las diferentes Universidades que realizan está prueba actualmente no disponen de la silicón para poder unir las probetas, de acuerdo a lo indicado ya que es un ensayo que no se efectúa muy seguido y la silicón es costosa no se la dispone en stock.

Figura 52. Probetas para metalizar



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

Figura 53. Probetas metalizadas



*Fuente: Felipe Borja, Rubén Enríquez.*

## CAPÍTULO 3

### Conclusiones

1. En la hipótesis planteada en este trabajo de investigación, conocer si es factible la recuperación de cigüeñales podemos decir:

Los resultados de la investigación y la información recolectada indican que sí es técnicamente posible recuperar un cigüeñal, logrando una vida útil de entre el 87% al 92% en comparación con la vida útil de un cigüeñal no recuperado. Estos factores dependen de la dureza de la superficie de un cigüeñal no recuperado y la de otro que es recuperado, dándonos un porcentaje promedio de 10% de dureza comparándolo con un cigüeñal nuevo. Estos datos técnicos nos pueden asegurar una buena vida útil del cigüeñal recuperado.

Esta investigación no toma en consideración los costos que implica una recuperación, si no tratamos de demostrar que en las rectificadores en nuestro medio no extienden una garantía por el trabajo realizado y al solicitar una explicación no hay un argumento valedero que sustente el trabajo técnicamente.

2. De acuerdo a las diversas formas de metalización que se han mencionado en esta investigación se eligió el método Arc Spray para el relleno de cigüeñales de motores diésel debido a que no alteran las propiedades mecánicas o químicas del mismo al no generar temperatura elevada, el método es rápido y es posible maquinar el recubrimiento sin esperar mucho tiempo ya que este se enfría rápidamente.

3. El alambre que ofrece la mejor propiedad de dureza, adhesión y mejor maquinado final para la metalización de cigüeñales diésel es el 90MXC cuyas especificaciones técnicas se muestran en el anexo 4.
  
4. La metalización por Arc Spray depende del tipo de material base a rellenarse y de su función, con esto queremos decir que no es posible metalizar cualquier cuerpo que presente desgaste, no se puede metalizar superficies que se someten a golpe en su funcionamiento normal puesto que el metalizado se desprenderá paulatinamente, tampoco se puede metalizar elementos que se someten a ciclos térmicos que superen el punto de fusión del material aplicado, o elementos que sufran cargas puntuales o sirvan como pista para el movimiento de otros. En el caso del cigüeñal recordemos que se interpone una capa de aceite entre muñones y cojinetes de biela y bancada que impide el contacto directo de las superficies.

## Recomendaciones

1. Se recomienda una vez terminada la metalización de uno o varios muñones del cigüeñal y después de haber maquinado para dar el acabado final, realizar nuevamente las pruebas para detección de fallas que se mencionan anteriormente.
2. El enderezado del cigüeñal es un proceso que no ofrece garantías por lo que se recomienda evitarlo.
3. Para la metalización es necesario calibrar el equipo según las especificaciones correspondientes al tipo de alambre que se haya seleccionado para el proceso, no se recomienda aplicar un recubrimiento diferente una vez que un tipo de alambre se ha rociado.
4. Los tratamientos térmicos para mejorar la dureza de los muñones metalizados pueden ocasionar el desprendimiento del material o debilitar la adherencia debido a que la metalización es un rocío de partículas mas no una soldadura, la unión que el proceso consigue es mecánica y sería necesaria una unión química para lograr la homogeneidad de los elementos que forman al cigüeñal y que soporte un proceso de endurecimiento superficial.

## **Glosario.**

*Angulo de filete:* en el cigüeñal se ubica en la unión del muñón de biela o bancada con el segmento del contra peso.

*Mecanizado:* comprende un conjunto de procesos que tienen como fin la elaboración o formación de piezas es decir; se forman debido a la eliminación de material.

*Angulo recto:* ángulo de 90° formado por la unión de dos segmentos. En el cigüeñal debemos evitar el ángulo recto en la unión de muñones y segmento de contrapeso.

*Adhesión:* es la unión de elementos a nivel molecular sin importar que sean iguales o no, esto a nivel de superficies.

*Cohesión:* es la unión de moléculas y partículas dentro de un mismo cuerpo.

*Carga puntual:* también llamada carga concentrada se define como la fuerza concentrada en un punto o área pequeña la que se aplica en forma agresiva.

*Aleación metálica:* es la combinación de elementos metálicos.

*Muñón:* es una prolongación unida a un cuerpo central de forma perpendicular, en el cigüeñal también se conocen como codos.

*Fractura:* es la discontinuidad de una estructura, separación de un segmento debido a grietas que lo atraviesan y dividen.

*Elasticidad:* es la propiedad de las estructuras o cuerpos a soportar deformaciones físicas y poder volver a su estado original sin sufrir daños.

*Punto de deformación:* es el punto en que un cuerpo supera su límite elástico y no puede volver a su forma original consiguiendo una deformación en su estructura.

*Punto de fractura:* es el punto en que la estructura de un cuerpo supera el punto de deformación y se rompe. La fractura es la separación de la estructura en segmentos.

*Corrosión:* la corrosión es el deterioro de materiales debido al entorno que les rodea y a la presencia de agua y humedad. En cuerpos metálicos se evidencia como óxido.

*Presión* en nuestro caso nos referimos a la fuerza ejercida por un gas o líquido sobre una superficie.

*Volumen* es la cantidad de materia o elemento en un espacio.

*Recubrimiento:* es la capa de material que ha sido depositado sobre otro.

*Pruebas destructivas:* son pruebas a las que se somete una probeta en las que se provocara daños a su estructura para la recolección de información.

*Pruebas no destructivas:* son pruebas que se puede practicar a una estructura o cuerpo sin que este sufra algún tipo de daño.

## Bibliografía.

- AFICIONADOS A LA MECÁNICA. (2014). *AFICIONADOSALAMECANICA*. Recuperado el 05 de 02 de 2014, de AFICIONADOSALAMECANICA: <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>
- ASM INTERNATIONAL. (2004). En *HANDBOOK OF THERMAL SPRAY TECHNOLOGY* (págs. 138-143). UNITED STATES OF AMERICA: ASM.
- ASM INTERNATIONAL. (2004). *INTRODUCTION TO THERMAL SPRAY PROCESSING*. United States Of America: ASM.
- AUTOMOTRIZ NET. (15 de 09 de 2012). *AUTOMOTRIZ NET*. Recuperado el 20 de 06 de 2013, de AUTOMOTRIZ NET: <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/>
- BF GERMANY. (s.f.). *BGGERMANY*. Recuperado el 04 de 04 de 2013, de BFGERMANY: <http://www.bf-germany.de/en/downloads/catalogues/>
- CASTOLIN EUTETIC. (2014). *CASTOLIN EUTETIC*. Recuperado el 06 de 05 de 2014, de CASTOLIN EUTETIC: <http://castolin.com/>
- DIÉSEL, I. (17 de JULIO de 2008). *Blogger.com*. Recuperado el 28 de OCTUBRE de 2013, de <http://senaydiesel.blogspot.com/2008/07/cigeal.html>
- EPC COATINGS. (2013). *EPC COATINGS*. Recuperado el 03 de 04 de 2014, de EPC COATINGS: <http://www.ep-coatings.co.uk/>
- Esquius, J. M. (1984). Alimentación de Cojinetes. En *Motor Diesel Sistemas Complementarios e Instalacion* (págs. 77-84). Barcelona: Ediciones CEAC, S.A.984.
- Flórez, J. A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: TECFOTO.
- FOTOS IMAGES. (2013). *FOTOS IMAGES ORG*. Recuperado el 04 de 02 de 2014, de FOTOS IMAGES ORG: <http://www.fotosimagenes.org/motor-diesel>
- GORDON ENGLAND. (s.f.). *GORDON ENGLAND THERMAL SPRAY COATINGS*. Recuperado el 03 de 05 de 2014, de GORDON ENGLAND THERMAL SPRAY COATINGS: [www.gordonengland.co.uk](http://www.gordonengland.co.uk)
- Gregory's Scientific . (1991). *ACL Engine Manual: Modern Engine Reconditioning Practice*. En *ACL Engine Manual: Modern Engine Reconditioning Practice* (págs. 41-42). Australia: Haynes Manuals Incorporated.

- GULF ENERGY LLC. (2013). *GULF ENERGY*. Recuperado el 17 de 03 de 2014, de GULF ENERGY: [http://www.gulfenergy-int.com/?page\\_id=1858](http://www.gulfenergy-int.com/?page_id=1858)
- ISOTEC. (2010). *ISOTEC*. Recuperado el 12 de 08 de 2013, de ISOTEC: [www.isotec.com.co](http://www.isotec.com.co)
- IVAN BOHMAN. (2010). En I. BOHMAN, *CATALOGO DE ACEROS* (pág. 33). QUITO: IBCA.
- Jesus Félez, M. Luisa Mtz. Muneta . (2013). *OPEN COURSE WARE UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID*. Recuperado el 12 de 03 de 2013, de OPEN COURSE WARE UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID: <http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/dibujo-industrial-ii>
- JIMBO. (2012). *JIMBO.COM*. Recuperado el 12 de 10 de 2013, de JIMBO.COM: <http://u.jimdo.com/www30/o/sff0ab870f09c88aa/img/i88b65fed09adc279/1371402174/std/tipos-de-lubricaci%C3%B3n.jpg>
- JOHN G. EDWARDS. (1998). En *SUNNEN'S COMPLETE CYLINDER HEAD AND ENGINE REBUILDING HANDBOOK* (págs. 4-6). ST. LOUIS MISSOURI: Sunnen Products Company.
- José Antonio E. García Álvarez. (01 de 04 de 2012). *ASÍ FUNCIONA*. Recuperado el 04 de 06 de 2013, de ASÍ FUNCIONA: [http://www.asifunciona.com/mecanica/af\\_motor\\_gasolina/af\\_motor\\_gasolina\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/af_motor_gasolina_3.htm)
- JOSÉ EDUARDO CHÁVEZ. (2013). *JOSÉ EDUARDO CHÁVEZ*. Recuperado el 10 de 08 de 2013, de JOSÉ EDUARDO CHÁVEZ: <http://www.joseeduardochavez.com.ar/images/g1.jpg>
- LCH REFACCIONARIAS. (25 de 01 de 2013). *LCH REFACCIONARIAS*. Recuperado el 05 de 01 de 2014, de LCH REFACCIONARIAS: <http://grupolch.com/tips/?p=365>
- LLOYD VAN HORN AMSTRONG. (20 de 03 de 2013). *ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA*. Recuperado el 22 de 05 de 2013, de ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/162716/diesel-engine>
- MSS. (2014). *MSS METAL SPRAY SUPPLIERS*. Recuperado el 03 de 05 de 2014, de MSS METAL SPRAY SUPPLIERS: <http://www.metal-spray.co.nz/>
- PRAXAIR. (12 de 12 de 2004). *Praxair surface technologies* . Recuperado el 28 de 12 de 2013, de [www.praxairsurfacetechologies.com/thermalspray](http://www.praxairsurfacetechologies.com/thermalspray)

SHUTERSTOCK. (2013). *SHUTERSTOCK*. Recuperado el 12 de 04 de 2013, de SHUTERSTOCK: <http://www.shutterstock.com/s/piston-rod/search.html>

TECNOLOGÍA ESO. (s.f.). *TECNOLOGÍA ESO*. Obtenido de TECNOLOGÍA ESO: <http://www.aulatecnologia.com/ESO/SEGUNDO/teoria/estructuras/ESTRUCTURAS.htm>

TU MOTOR. (s.f.). *TUMOTOR.MX*. Recuperado el 03 de 11 de 2013, de TUMOTOR.MX: <http://tumotor.mx/2010/03/claro-de-lubricacion-cojinetes/>

WORD PRESS. (27 de 11 de 2012). *WORDPRESS*. Recuperado el 15 de 09 de 2013, de WORDPRESS: <http://marcrae.wordpress.com/>

## Anexos.

### Alambres para la metalización según marca Tafa.

#### ALAMBRES CONSUMIBLES PARA METALIZACIÓN POR ESPARCIÓN TÉRMICA (ARC SPRAY)

Praxair Tafa América del Sur provee toda la línea de alambres consumibles para metalización por aspersión térmica.

Nuestros alambres son exclusivos para la aplicación en equipos Flama-Spray y Arc Spray, poseen todos los requisitos de composición química y aprobaciones necesarias para producir los revestimientos de calidad incomparable.

Tabla 9. Alambres de metalización

ALAMBRE	MATERIAL	DIÁMETRO	TAZA DE COBERTURA ( m <sup>2</sup> /100um )	TAZA DE APLICACIÓN ( h/100 <sup>a</sup> )	APLICACIONES
AL-1800	Níquel Aluminio Molibdeno	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capa Base</li><li>• Resistencia a la oxidación, choque e abrasión.</li></ul>
ALCRO	Hierro-Cromo Aluminio	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bueno para crecer la capa.</li><li>• Excelente resistencia al desgaste.</li></ul>
01 <sup>a</sup>	Aluminio 12% Silicio	1.6mm	0.3 kg	2.8 kg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recuperación dimensional</li><li>• Calificación</li></ul>

					Aeronáutica
01P	Aluminio 1100	2.3mm 1/8"	0.3 kg	2.8 kg	• Protección contra corrosión.
01S	Aluminio 6% Silicio	1.6mm	0.3 kg	2.8 kg	• Recuperación dimensional • Calificación Aeronáutica
01T	Aluminio	1.6mm 1/8"	0.3 kg	2.8 kg	• Protección contra corrosión. • Conductibilidad eléctrica. • Calificación Aeronáutica
02 <sup>a</sup>	Zinc- Aluminio	1.6mm 2.0mm 2.3mm 1/8"	1.0 kg	9.5 kg	• Protección contra corrosión.
02T	Zinc-Estaño	2.0mm	1.1 kg	20.4 kg	• Capacitores: revestimiento soldable
02W	Estaño-Puro	2.0mm	1.1 kg	22.7 kg	• Contactos eléctricos • Protección EMI/RFI
02Z	Zinc 99.9%	1.6mm 2.0mm 2.3mm 1/8"	1.1 kg	9.5 kg	• Protección contra corrosión • Conductividad eléctrica • Protección EMI/RFI
05T	Cobre	1.6mm 1/8"	1.1 kg	5.0 kg	• Conductividad eléctrica • Recuperación de piezas de cobre • Revestimientos decorativos
06C	Níquel Cromo	1.6mm	1.0 kg	5.0 kg	• Resistente a la oxidación

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
06T	Níquel	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión a altas temperaturas</li> </ul>
10T	Bronce Aluminio	1.6mm 1/8"	1.1 kg	4.1 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa base</li> <li>• Cavitación</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
11T	Aluminio Bronce Níquel	1.6mm	1.1 kg	4.1 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cavitación</li> <li>• Recuperación de componentes deslizantes</li> </ul>
12T	Latón	1.6mm	1.1 kg	4.1 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotores de bombas</li> <li>• Piezas fundidas en bronce</li> </ul>
13T	Molibdeno	1.6mm 1/8"	1.3 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la excoiación y raspaduras.</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
14T	Titanio	1.6mm	0.5 kg	1.4 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantes médicos</li> </ul>
16T	Bronce Silicio	1.6mm	1.1 kg	4.1 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparación cosméticos</li> <li>• Revestimientos decorativos</li> <li>• Calificación Automotriz</li> </ul>
30S	Plata Cobre Zinc	1.6mm	1.2 kg	5.4 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sellos estacionarios en motores aeronáuticos</li> <li>• Buenas características de desgaste de goma</li> </ul>
30T	Acero bajo	1.6mm	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación</li> </ul>

	Carbono				dimensional de piezas desgastadas
38T	Acero alto Carbono	1.6mm	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia al desgaste y erosión</li> <li>• Ventiladores de diámetros internos</li> </ul>
39T	Acero alto Carbono (1.0 C)	1.6mm	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia al desgaste</li> <li>• Más duro que 38T</li> </ul>
45CT®	Níquel Cromo Titanio	1.6mm	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra sulfatación en altas temperaturas</li> <li>• Revestimientos en calderas</li> </ul>
55T	Acero inox 18/5	1.6mm 1/8"	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo carbono</li> <li>• Baja concentración</li> <li>• Buena maquinabilidad</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
58T	Cobre Níquel Índio	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a la fricción.</li> <li>• Revestimientos densos, baja porosidad óxidos</li> <li>• Calificación. Aeronáutica</li> </ul>
60T	Acero inox 420	1.6mm 2.3mm 1/8"	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja concentración permite revestimientos espesos</li> <li>• Resistencia al desgaste</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
61T	Acero inox	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levemente más</li> </ul>

	430				mecanizable y mejor que 60T, resistente a la corrosión.
70T	Níquel Cobre	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión en ambiente marítimo</li> <li>• Cilindros Figuras</li> </ul>
71T	Níquel-Cromo-Molibdeno	1.6mm	1.0 kg	5.0 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhibe la corrosión cáustica</li> </ul>
75B®	BonArc® Níquel 5% Aluminio	1.6mm	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa de Base</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> <li>• Resistente a la corrosión y oxidación en altas temperaturas</li> </ul>
77T	Liga C-276 Níquel Cromo Molibdeno	1.6mm	1.1 kg	5.0 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a la corrosión por ácidos e gases calientes</li> </ul>
78T	Liga 718 Níquel Cromo Molibdeno	1.6mm	1.1 kg	5.0kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación dimensional de motores aeronáuticos</li> <li>• Resistente a la corrosión por ácidos e gases calientes</li> </ul>
79B	Níquel 20% Aluminio	1.6mm 1/8"	1.1 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la abrasión y oxidación a altas temperaturas</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
80T	Acero inox 18/8	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación dimensional</li> <li>• Cilindros Figuras</li> </ul>
85T	Acero inox 316	1.6mm	1.0 kg	4.5 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión</li> <li>• Recuperación dimensional</li> </ul>
88T	Acero inox 300 Ultra mecanizable	1.6mm	1.0 kg	4.3 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión</li> <li>• Recuperación dimensional</li> <li>• Cilindros Figuras</li> </ul>
204M	Tipo krikisita	1.6mm 2.0mm	1.0 kg	4.3 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación de moldes</li> </ul>

## ALAMBRES TUBULARES CONSUMIBLES PARA METALIZACIÓN POR ESPARCIÓN TÉRMICA (ARC SPRAY)

Praxair Tafa es la empresa líder en el desenvolvimiento y fabricación de alambres tubulares. La avanzada ingeniería de materiales permite el desenvolvimiento de composiciones que no son posibles en alambres sólidos, a través de material en polvo envuelto por una capa metálica.

Los revestimientos con los alambres tubulares vienen siendo utilizados en sustitución a revestimiento por Plasma-Spray en diversas aplicaciones en la industria de reparación de motores aeronáuticos y en aplicaciones que envuelven la resistencia al desgaste en la industria de manutención.

Tabla 10. Alambres tubulares para metalización por esparción térmica

ALAMBRE	MATERIAL	DIÁMETRO	TAZA DE COBERTURA ( m <sup>2</sup> /100um )	TAZA DE APLICACIÓN ( h/100 <sup>a</sup> )	APLICACIONES
35 MXC	Liga base Ferro Alto Carbono	1.6mm	1.0 kg	3.9 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimientos de tracción y anti-resbalón</li> </ul>
37 MXC	Ferro Cromo Carbono	1.6mm	1.2 kg	3.6 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta dureza</li> <li>• Excelente resistencia al desgaste</li> </ul>
73 MXC	Níquel Cromo Aluminio	1.6mm	1.0 kg	3.9 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la oxidación y corrosión</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
74 MXC	Níquel Aluminio Molibdeno	1.6mm	1.0 kg	3.9 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dureza media para desgaste de área de rodamiento</li> <li>• Resistencia a la erosión partículas</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
76 MXC	Níquel Cromo Aluminio Itria	1.6mm	1.0 kg	3.2 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base para cerámicos</li> <li>• Resistencia a la oxidación y calor</li> <li>• Calificación Aeronáutica</li> </ul>
90 MXC	Níquel Cromo Boro	1.6mm	1.2 kg	3.2 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra desgaste y corrosión</li> </ul>
95 MXC	Hierro Cromo Boro	1.6mm	1.2 kg	3.6 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra desgaste y corrosión</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubos de Calderas</li> </ul>
96 MXC	Hierro Níquel Cromo	1.6mm	1.2 kg	3.4 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra corrosión a altas temperaturas</li> <li>• Resistencia a la abrasión</li> </ul>
97 MXC	Níquel Cromo Carburo de Tungsteno Hierro	1.6mm	1.2 kg	3.0 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la abrasión y desgaste</li> </ul>
98 MXC	Níquel Cromo Hierro	1.6mm	1.2 kg	3.6 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra desgaste y corrosión</li> </ul>
106 MXC	Cobalto Níquel Cromo Tungsteno	1.6mm	1.1 kg	3.0 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la abrasión y agrietamiento a altas temperaturas</li> </ul>
444 MXC	Níquel Cromo Aluminio Molibdeno	1.6mm	1.0 kg	3.9 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia al desgaste y corrosión</li> <li>• Recuperación dimensional de áreas de rodamiento</li> </ul>

Anexo 1.Resultado de análisis por Espectrometría de Chispa



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Luis Felipe Borja Murguicio  
 No. Referencia : ST - 6567 (RM-7737)  
 Fecha : 26 - 03 - 2014  
 Muestras recibidas : Una muestra de cigüeñal de DMAX

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	Cigüeñal DMAX (%)
Carbono (C)	0,627
Silicio (Si)	0,278
Manganeso (Mn)	0,764
Cromo (Cr)	0,117
Molibdeno (Mo)	0,011
Níquel (Ni)	0,024
Fósforo (P)	0,007
Azufre (S)	0,051
Cobre (Cu)	0,010
Aluminio (Al)	0,059
Plomo (Pb)	0,001
Titanio (Ti)	0,004
Vanadio (V)	0,001
Hierro (Fe)	97,96

*Ernesto de la Torre*  
 Ing. Ernesto de la Torre  
 Jefe de Departamento



*Evelyn Criollo T.*  
 Ing. Evelyn Criollo T.  
 Jefe de Laboratorio

## Anexo 2. Informe técnico resultados de dureza



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



### INFORME TÉCNICO

LAEV – MAR.42

Quito, 27 de marzo de 2014

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Luis Borja

ORDEN DE TRABAJO Nº 0001750

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de cigüeñal para el desarrollo del proyecto de tesis: "ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE CIGÜEÑALES DE MOTORES DIESEL DE 2500CC A 3000CC". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

#### RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Dos (2) probetas de hierro fundido extraídas de un cigüeñal Chevrolet D-max para barrido de dureza.

#### 2. ENSAYO DE DUREZA

Muestra	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	
M1	82,5	79,5	78,0	80,0	79,5	79,9
M2	94,5	94,0	95,5	89,5	94,0	93,5

  
Victor Hugo Guerrero, Ph.D.  
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

# Anexo 3. Catálogo alambres Tafa Arc Spray

## Metal and alloy wires wires

Wire Name	Material	Diameter	Coverage (1700°C) (17700 µm)	Spray Rate (M100 A)	Approved Specs	Application Data
<b>A1-1800</b>	Nickel-Aluminum Magnesium	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 2.3 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bond Coat</li> <li>• Oxidation Resistance</li> <li>• Abrasive Resistance</li> </ul>
<b>A1800</b>	Iron-Chrome-Aluminum	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 1.9 kg	13 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Good for Outcrop</li> <li>• Excellent Wear Resistance</li> </ul>
<b>01A</b>	Aluminum 8% Silicon	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 0.9 kg	8 lbs 2.8 kg	MIL-W-87120 PWA 9805 DIN 17175 Rev. D Ge B977362-01 DIN 17175	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Directional Protection</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>01P</b>	Aluminum 11% Si	1.78 (1.6 mm) 1.62 (1.5 mm)	0.8 oz 0.9 kg	8 lbs 2.8 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> </ul>
<b>01S</b>	Aluminum 8% Silicon	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 0.9 kg	8 lbs 2.8 kg	MIL-W-87120 P5046 Type III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junction Box Protection</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>01T</b>	Aluminum	1.78 (1.6 mm) 1.62 (1.5 mm)	0.8 oz 0.9 kg	8 lbs 2.8 kg	MIL-W-87120 PWA 300- LMS3412 T7000 Type III SP 98044 Rev. 02 (Alternate to 70-4043)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> <li>• Excellent Conductivity</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>02A</b>	Zinc-Aluminum	2 mm (1.62 (1.5 mm) 1.62 (1.5 mm) 1.62 (1.5 mm))	0.8 oz 1.0 kg	21 lbs 9.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> </ul>
<b>02T</b>	Zinc-Tin	2 mm	0.9 oz 1.1 kg	25 lbs 20.4 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lap joints - Solderable</li> <li>• Coating</li> </ul>
<b>02W</b>	Pure Tin	2 mm	0.8 oz 1.1 kg	20 lbs 20.7 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldering Tangles</li> <li>• Electrical Contacts</li> <li>• Die-Castability</li> </ul>
<b>02Z</b>	Zinc	1.78 (1.6 mm) 2 mm 1.62 (1.5 mm) 1.62 (1.5 mm)	0.8 oz 1.1 kg	21 lbs 9.5 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• LMS3412</li> <li>• Excellent Conductivity</li> </ul>
<b>04T</b>	Graphite	1.78 (1.6 mm) 2 mm (1.62 (1.5 mm) 1.62 (1.5 mm))	0.8 oz 1.1 kg	20 lbs 20.7 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feeding - Automatically</li> <li>• Coatings</li> </ul>
<b>05T</b>	Copper	1.78 (1.6 mm) 1.62 (1.5 mm)	0.8 oz 1.1 kg	11 lbs 5.0 kg	MIL-W-87120 UCD Spec. M-171900-1 (Incl.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Conductivity</li> <li>• Copper Phenolics, etc.</li> <li>• Die-Castability</li> </ul>
<b>06C</b>	Nickel-Chrome	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	13 lbs 5.2 kg	PWA 15-75 MS3750-017 LMS3412	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidation Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>08T</b>	Nickel	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	13 lbs 4.0 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidation Resistance at High Temperatures</li> </ul>
<b>10T</b>	Aluminum Bronze	1.78 (1.6 mm) 1.62 (1.5 mm)	0.8 oz 1.1 kg	9 lbs 4.1 kg	GE B977101 (20-40-42)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bond Coat</li> <li>• Sealants</li> <li>• Coatings</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>11T</b>	Aluminum Bronze Nickel	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	9 lbs 4.1 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidation</li> <li>• Resistance of Sliding Components</li> <li>• Corrosion Protection</li> </ul>
<b>12T</b>	Brass	1.78 (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	9 lbs 4.1 kg	MIL-W-87120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use Where Both Strength &amp; Ductility</li> <li>• Aircraft Approved</li> <li>• Corrosion Resistance</li> </ul>
<b>13T</b>	Weldability	1.78 (1.6 mm) 1.62 (1.5 mm)	1.1 oz 1.3 kg	12 lbs 4.5 kg	PWA 059-3 (PWA 271-13 Rev. C) MS3750-019 T7000 Type I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Sliding Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
<b>14T</b>	Platinum	1.78 (1.6 mm)	0.4 oz 0.5 kg	8 lbs 3.6 kg	ASTM B31-Grade 1 ASTM E17-Grade 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Properties</li> </ul>

# Metal and alloy wires

## wires

Wire Name	Material	Diameter	Coverage (WV, 301) (0-30.33 um)	Spray Rate (0-100 A)	Approved Specs	Application Data
16T	Aluminum Bronze	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	8 lbs 4.1 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosmetic Repairs</li> <li>• Decorative Coatings</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
305	Brass Copper Zinc	1/16" (1.6 mm)	1.0 oz 1.2 kg	18 lbs 5.4 kg	SPR0044 (chemistry only) GC Manual 770 40 44 FAA R0E400-600	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Good Heavy Seal in Aircraft Engines</li> <li>• Good Heat Wear Characteristics</li> </ul>
30T	Low Carbon Steel	1/16" (1.6 mm)	1.0 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensional Restoration of Machinery and Work Parts</li> </ul>
38T	High Carbon Steel (0.80 C)	1/16" (1.6 mm)	1.0 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardening</li> <li>• Wear and Erosion Resistance</li> <li>• HD Parts</li> </ul>
39T	High Carbon Steel (1.0 C)	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Wear Resistance</li> <li>• Harder than 38T</li> </ul>
40CT	Nickel Chrome Titanium	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Against High Temperature Oxidation</li> </ul>
56T	18% Stainless (0.042 mm)	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C PPSMA Type V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low Carbon</li> <li>• Low Shrinkage</li> <li>• Good Malleability</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
58T	Copper Nickel Indium	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	GC B50TF-2 CL A (70-49-05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatigue Resistance</li> <li>• Jense, Low Oxide Cleanings</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
60T	42% Stainless Steel	1/16" (1.6 mm) 11 gauge (2.814") 1/8" (3.2 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C OVP-1645D PPSMA Type V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reclamation</li> <li>• Low Shrinkage Allows Thick Multiple</li> <li>• Good Wear Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
61T	40% Stainless Steel	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slightly More Malleable and Better Corrosion Resistance than 60T</li> </ul>
70T	Nickel Copper	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marine Corrosion Protection</li> <li>• P/N Holes</li> </ul>
71T	Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resists Corrosive Gases</li> <li>• Paper Mill Digesters</li> </ul>
75B*	Resin-Bonded Nickel 8% Aluminum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	FVA 39057 (FVA 271-37 Rev D) GC Manual 770 49 38 (Also used in 70-49-10) OMAI#3225 DMRS-011 PP040 Type XV EP Goodrich Lit 1620	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bond Coat</li> <li>• Aircraft Approved</li> <li>• Oxidation Abrasion Resistance at High Temperatures</li> </ul>
77T	Alloy 5 87% type Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidic and Hot Gas Corrosion Resistance</li> </ul>
78T	Alloy 716 type Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	11 lbs 5.0 kg	GC Manual A 7046-48 FAA R002-027	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft Engine Dimensional Restoration</li> <li>• Acidic and Hot Gas Corrosion Resistance</li> </ul>
79B	NiAl 20% Aluminum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.1 kg	8 lbs 4.5 kg	GWATAS-20A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Temperature Oxidation and Abrasion Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
80T	18% Stainless Steel	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> <li>• Dimensional Restoration</li> <li>• P/N Holes</li> </ul>
85T	316 Stainless Steel	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	MIL-W-8712B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> <li>• Dimensional Restoration</li> </ul>
88T	300 Series Stainless	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	15 lbs 6.8 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Protection</li> <li>• Dimensional Restoration</li> <li>• P/N Holes</li> </ul>
204M	Alkyl type	1/16" (1.6 mm) 2 mm	0.8 oz 1.0 kg	22 lbs 10 kg	Proprietary Alloy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Used to Create Metal Face Coating</li> </ul>

# Cored wires

Wire Name	Material	Diameter	Coverage (@2000ft) (@700µm)	Spray Rate (@100A)	Approved Specs	Application Data
35 MXC	Processed High Carbon Alloy	1/16" (1.6mm)	3.8 oz 1.0 kg	3.5 lbs 3.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Friction and Anti-Skid Coatings</li> <li>• Wear Resistance</li> </ul>
37 MXC	Hard Chrome-Coated	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	3 lbs 3.4 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Hardness</li> <li>• Excellent Wear Resistance</li> </ul>
73 MXC	Steel-Chrome-Aluminum	1/16" (1.6mm)	0.8 oz 1.0 kg	4.5 lbs 3.8 kg	PWA 350/7 (AWA 371-7 Rev D) MSSR 950/711 SP Vers at 4 73-43-82 (Alternate to 7349 21)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Corrosion Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
74 MXC	Steel-Aluminum-Molybdenum	1/16" (1.6mm)	0.6 oz 1.0 kg	3.5 lbs 3.0 kg	MSSR 950/506 SP 860F 85 -52's	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medium Hardness for Run-Up/Wear Applications</li> <li>• Particle Erosion Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
76 MXC	Steel-Chrome-Aluminum-Zirconium	1/16" (1.6mm)	0.8 oz 1.0 kg	7 lbs 2.2 kg	SP 860F 235	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Best Coating to Corrosion</li> <li>• Oxidation and Heat Resistance</li> <li>• Aircraft Approved</li> </ul>
90 MXC	Steel-Chrome-Iron	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	7 lbs 3.2 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion and Wear Protection</li> </ul>
96 MXC	Iron-Chrome-Nickel	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	8 lbs 3.6 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion and Wear Protection</li> <li>• IC Engines</li> <li>• Boiler Tubes</li> </ul>
98 MXC	Iron-Nickel-Chrome	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	7.5 lbs 3.4 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Temperature Corrosion Protection</li> <li>• Abrasion Resistance</li> </ul>
97 MXC	Nickel-Chrome-Tungsten Carbide-Iron	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	8 lbs 3.6 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrasion and Wear Resistance</li> </ul>
98 MXC	Nickel-Chrome-Iron	1/16" (1.6mm)	1.0 oz 1.2 kg	8 lbs 3.6 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion and Wear Protection</li> </ul>
106 MXC	Cobalt-Nickel-Chrome-Tungsten	1/16" (1.6mm)	0.8 oz 1.0 kg	6.5 lbs 3.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrasion and Erosion Resistance in High Temperature Environments</li> </ul>
444 MXC	Nickel-Chrome-Aluminum-Molybdenum	1/16" (1.6mm)	0.6 oz 1.0 kg	6.5 lbs 3.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wear and Corrosion Resistance</li> <li>• Dimensional Hardness at Reeling &amp; Use</li> </ul>

## Cored wire advantages

Praxair and TWA is the thermal spray leader in the development and manufacture of cored wires. Advanced materials engineering allows compositions that cannot be drawn as solid wires to be produced by enclosing powders in a metallic sheath.

Application of cored wire technology has resulted in arc spray coatings replacing plasma coatings for many aircraft engine repairs and industrial wear applications.



## Anexo 4. Especificación técnica alambre 90MXC

### Technical Data

# Bulletin



Praxair Surface Technologies  
1555 Main Street  
Indianapolis, IN 46221



Praxair Surface Technologies  
TAFE Incorporated  
116 Pembroke Road  
Concord, NH 03301

File: 1.9.1.2-90MXC  
Issue: P11205  
Supersedes: N10810

## Praxair and TAFE 90MXC® UltraHard® Wire

### Material Review:

Made exclusively for arc spraying. This material produces a hard, abrasive and corrosion resistant coating. This wire has the unique property of increasing hardness after prolonged use. A service environment of up to 1600°F is possible. Conventional grinding and lapping techniques provide high chrome like finishes.

**CAUTION:** All Praxair and TAFE wires have been optimized for arc spraying. Use of alternate wires usually cause problems such as excessive tip wear, spitting and feeding problems. We only recommend Praxair and TAFE certified wires.

### Application Review:

Praxair and TAFE 90XC wire is used primarily as a hard corrosion resistant interface. When applied 0.010 inches thick, the material exhibits impressive elasticity for a coating this hard. Typical applications use coating thicknesses up to 0.060 inch.

After application, the coating can be ground using aluminum oxide and subsequently polished to under a 10 RMS surface finish. This, coupled with good bond strength, high deposit efficiency, low coefficient of friction, high deposition rates, and ease of application, allows 90MXC coatings to compete with processes that require plating or plasma technologies.

Praxair and TAFE 90MXC coating application procedures are the same as other Praxair and TAFE hardfacing wires, and can be applied using the same process parameters.

MXC® is a registered trademark of TAFE Incorporated, Concord, NH  
UltraHard is a registered trademark of TAFE Incorporated, Concord, NH

<b>Composition:</b>	
<b>ELEMENTS</b>	<b>WEIGHT %<sup>1</sup></b>
Copper	1.9
Silicon	1.1
Chromium	21.0 min.
Nickel	8.0 min.
Manganese	1.25
Boron	2.25
Molybdenum	3.2 min.
Iron	Balance
<b>Coating Physical Properties:</b>	
Wire Size	1/16" (1.6 mm)
Deposit Efficiency	70 Percent*
Melting Point	2200°F (1204°C) (approx.)
Bond Strength	5100 psi @ 15 mils thick
Coating Texture	Variable**
Macro hardness	Approx. 45 R <sub>c</sub>
Coating Density	6.7 gm/cc***
Finish - ground	Excellent
<b>Spraying:</b>	
Spray Rate	7 lbs/hr/100 amps (3.18 kg/hr/100 amps)
Coverage (wire consumption)	1.0 oz/ft <sup>2</sup> /0.001" (1.2 kg/m <sup>2</sup> /100 microns)
Spray Pattern****(approximate 3-5" standoff)	Cross Nozzle/Positioner - 3" (7.6 cm)
Length of wire per lb	102 ft. (1/16")

<sup>1</sup> Compositions are nominal unless otherwise specified

\* Depends on air pressure, standoff, nozzle cap and target size.

\*\* 5" standoff, 60 psi - 8830, depends on air pressure - fine with high psi, average with medium psi, and rough with low psi.

\*\*\* Depends on atomizing air pressure.

\*\*\*\* Higher air pressures, smaller wire (1/16), and lower amperage with red nozzle cap gives smallest diameter pattern.

## Spraying Procedure

	Coating Type			
	Normal 8830/8835	Arc Jet 8830/8835	Arc Jet 9000	9000
Atomizing Air Pressure:Primary Secondary	50 <sup>c</sup> ---	50 <sup>c</sup> 40 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> 60 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> —
Nozzle Cap	Blue	*	Green	Green
Nozzle/Positioner (Cross=C; Slot=S)	Short C	**	Long C	Long C
Arc Load Volts <sup>a</sup>	30-32	30-32	31-33	31-33
Amps <sup>b</sup>	100-200	100-200	100-200	100-200
Standoff Inches	3-5	3-5	3-5	3-5
Coating Thickness/Pass-mils	5	5	5	5
Coating Texture-microinches aa	200-350	150-250	150-250	200-350

Using excessive voltage reduces quality of coating. Voltage should be adjusted to give minimum noise and smooth arc operation. Excessive voltage causes larger particles and poor spray pattern. Too low a voltage will cause popping.

Be sure not to overheat substrate even if this means stopping to allow cooling, use air jet cooling if greater speed is required. Note that on some applications where preheating is tolerable, preheating work to 300°F can improve bond and deposit efficiency.

Note: Standard air caps and positioners can be used in 8830 or 9000 systems.

- \* P/N 450729 8830 Arc Jet Air Cap
- \*\* P/N 620074 Arc Jet Modified Short Cross (8830 & 9000)

## Anexo 5. Especificación técnica alambre Tafa 60 T

### Technical Data

# Bulletin



Praxair Surface Technologies  
1555 Main Street  
Indianapolis, IN 46224



Praxair Surface Technologies  
TAFE Incorporated  
146 Pembroke Road  
Concord, NH 03301

File: 1.9.1.2-60T  
Issue: 010624  
Supersedes: K10320

## Praxair and TAFE Arc Spray 13% Chrome Steel Wire - 60T

### Material Review:

Made exclusively for arc spraying. Characteristics of the coating are its excellent wearing quality and fair resistance to corrosion. It is excellent all-purpose steel for basic machine element work.

Arc Spray 60T Chrome Steel wire can be sprayed with any Praxair and TAFE Arc Spray gun.

Arc Spray 60T Chrome Steel wire meets Department of Defense Specification MIL-W-6712C, Table I, Stainless Steel, Chrome and Rolls Royce's MSRR 9507/103 Specification.

CAUTION: All Praxair and TAFE wires have been optimized for arc spraying. Use of alternate wires usually cause problems such as excessive tip wear, spitting and feeding problems. We only recommend Praxair and TAFE Certified wires.

### Application Review:

This is by far the most widely used reclamation spray wire because of its wear resistance and low shrink. Recommended when a hard coating requiring some corrosion resistance is desired. The high chrome content provides fair high temperature oxidation resistance and provides a fair amount of corrosion protection.

In addition, the chrome steel serves as an electrical resistance coating. Successful shop applications have been resurfaced journal sections, cylinder liners, pistons, crankshaft bearings, hydraulic rams, and numerous other machine elements.

Some electrical power stations use only this steel for repair work.

<b>Composition:</b>	
Carbon	0.3
Phosphorus	Trace
Sulphur	Trace
Manganese	1.0
Nickel	1.0
Chromium	12/14
Silicon	0.08
Iron	Balance
<b>Coating Physical Properties</b>	
Wire Size	1/16" (1.6 mm)
Deposit Efficiency	78 Percent*
Melting Point	2600°F (1427°C) (approx.)
Bond Strength	4730 psi (32.6 MPa)
Coating Texture (as sprayed)	Variable** (see next page)
Finish Texture (ground)	6-15 Microinches aa **
Hardness	R <sub>15n</sub> 80-82 (R <sub>c</sub> 40-43) Converted
Coating Density	6.74 gm/cc**
Coating Weight	0.035 lbs/ft <sup>2</sup> /mil
Shrink	0.0018 in/in (cm/cm)
Coefficient of Thermal Expansion	6.6 x 10 <sup>-7</sup> in/in °F (1000°F)
<b>Spraying (inert chamber with argon):</b>	
Spray Rate	10 lbs/hr/100 amps (4.5 kg/hr/100 amps)
Coverage (wire consumption)	0.8 oz/ft <sup>2</sup> /0.001" (0.98 kg/m <sup>2</sup> /100 microns)
Spray Pattern****(approximate 8" standoff)	Cross Nozzle/Positioner - 1" (2.5 cm) vertical height x 1-3/4" (4.4 cm) width Slot Nozzle/Positioner - 2" (5 cm) vertical height x 1" (2.5 cm) width
Length of wire per lb	96 ft. (1/16")

\* Depends on air pressure, standoff, nozzle cap and target size.

\*\* 6" standoff, 40 psi - 8830, depends on air pressure - fine with high psi, average with medium psi, and rough with low psi.

\*\*\* For higher hardness increase air pressure to 60 psi or higher do this only in final passes where wear will occur.

\*\*\*\* Higher air pressures, smaller wire (1/16), and lower amperage with red nozzle cap gives smallest diameter pattern.

## Spraying Procedure:

	Coating Type			
	Normal 8830/8835	Arc Jet 8830/8835	Arc Jet 9000	9000
Atomizing Air Pressure:Primary Secondary	50 <sup>c</sup> ---	50 <sup>c</sup> 40 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> 60 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> ---
Nozzle Cap	Blue	*	Green	Green
Nozzle/Positioner	Short Cross	**	Long Cross	Long Cross
Arc Load Volts <sup>a</sup>	29-30	29-30	30-32	30-32
Amps <sup>b</sup>	50-300	50-300	50-300	50-300
Standoff Inches	5-7	3-5	3-5	5-7
Coating Thickness/Pass-mils	5	5	5	5
Coating Texture-microinches aa	200-350	150-250	150-250	200-350

Using excessive voltage reduces quality of coating. Voltage should be adjusted to give minimum noise and smooth arc operation. Excessive voltage causes larger particles and poor spray pattern. Too low a voltage will cause popping.

Be sure not to overheat substrate even if this means stopping to allow cooling, use air jet cooling if greater speed is required. Note that on some applications where preheating is tolerable, preheating work to 300°F can improve bond and deposit efficiency.

NOTE: Standard air caps and positioners can be used in 8830, 8835 or 9000 systems.

\* P/N 450729 8830 Arc Jet Air cap

\*\* P/N 620074 Arc Jet Modified Short Cross (8830 & 8835)

## Anexo 6. Especificación técnica alambre Tafa 75B

### Technical Data

# Bulletin



Praxair Surface Technologies  
1555 Main Street  
Indianapolis, IN 46224



Praxair Surface Technologies  
TAFE Incorporated  
146 Pembroke Road  
Concord, NH 03301

File: 1.9.1.2-75B  
Issue: L11111  
Supercedes: K10328

## Praxair and TAFE Arc Spray BondArc® Wire75B®

### Material Review:

BondArc 75B wire, a unique nickel-aluminum alloy for use in arc spray systems, is available from Praxair and TAFE on an exclusive license under U.S. Patent No. 4,027,367 and corresponding foreign patents. Tradenamed BondArc, the pre-alloyed wire produces superior bond coats that are dense and resistant to high temperature oxidation, thermal shock and abrasion. The material is equally suitable as a one-coat system; for example, a finish of 5 microinch is attainable. BondArc wire is manufactured exclusively for wire arc spraying. The unusual self-bonding ability of the alloy is attributed to the exceptionally high temperatures the nickel-aluminum reaches and which on impact with the base material, diffuses to form a metallurgical bond. Measured bond strengths have been determined to be 55 percent higher than those formed by exothermic reactions of nickel and aluminum mixtures – the previous materials available to demonstrate such self-bonding characteristics. One of the major problems in achieving high quality, well-bonded coatings in any thermal spray process is the costly, extensive preparation of the substrate. BondArc alloy eliminates the problem. The coating, through extensive testing, has also been found to be superior to exothermic materials in sharp edge and impact loading.

BondArc wire is self-bonding to a broad range of smooth metal surfaces including annealed or hardened carbon steels, annealed or hardened alloy steels, stainless steels, aluminum, nickel, cast iron, titanium and tantalum. It is not self-bonding to copper-based alloys or tungsten. BondArc wire does not exhibit the same self-bonding characteristics when sprayed with a conventional combustion flame or when rendered into powders and applied by plasma spray apparatus. BondArc 75B wire can be sprayed with any Praxair and TAFE arc spray gun.

BondArc 75B meets the following specifications PWA-36937 (PWA 271-37 Rev D), GE Manual operation number 70-49-38 as an alternate to 70-49-10, Avco M3951B, Rolls Royce OMAT #3/229, SNECMA DMR33-011, Garrett FP5045 and BF Goodrich Service Letter 1623.

**CAUTION:** All Praxair and TAFE wires have been optimized for arc spraying. Use of alternate wires usually cause problems such as excessive tip wear, spitting and feeding problems. We only recommend Praxair and TAFE certified wires.

### Application Review:

Arc spray coatings from 0.004 to 0.006 inch (0.01 to 0.015 mm) can be readily applied in one pass. Thicker coatings up to 0.250 inch (6.3 mm) have been applied by continuous spraying. Thus, in some cases, BondArc can be used as a one-coat system. BondArc coatings can be machined to a rough finish with tungsten carbide tools or ground to smooth finish with aluminum oxide or silicon carbide wheels. BondArc wire can be sprayed directly on a smooth, chemically clean surface without conventional blasting, turning or roughening, thereby, eliminating the need for expensive preparation equipment and the associated labor and quality control. However, where possible, the surface should be prepared by rough cutting (thread), rough grinding, grit blasting (24 mesh steel shot or aluminum oxide at 80 psig pressure blast) or using a clean coarse emery cloth since this increases bond strength by an additional 600 psi. In any case, note that the surface to be sprayed must be clean, freshly exposed metal. Since BondArc coatings look like stainless steel, it is cosmetically acceptable to many end users as a finish coat.

Typical properties of the Praxair and TAFE nickel-aluminum arc spray coating when sprayed on a clean but unroughened (unprepared) steel surface include: bond strength - 9100 psi; with a typical coating hardness of 55-80 R<sub>b</sub>.

<b>Composition: (Typical)</b>	
<b>Nickel</b>	95 percent
<b>Al</b>	5 percent
<b>Coating Physical Properties</b>	
<b>Wire Size</b>	1/16 in (1.6 mm)
<b>Deposit Efficiency</b>	70 Percent
<b>Melting Point</b>	2642°F (1450°C)
<b>Bond Strength Tensile<sup>a</sup></b>	9,100 psi clean surface (62.8 MPa) 9,750 psi blasted surface (67.2 MPa)
<b>Coating Texture (as sprayed)</b>	Variable <sup>b</sup> (see next page)
<b>Hardness</b>	55-80 R <sub>b</sub>
<b>Coating Density</b>	7.8 gm/cc <sup>c</sup>
<b>Coating Weight</b>	0.038 lbs/ft <sup>2</sup> /mil
<b>Magnetic Properties</b>	Non-magnetic, slight magnetic susceptibility
<b>Abrasion Resistance</b>	Good
<b>Impact, Sharp Edge and Bend Resistance</b>	Excellent
<b>Coefficient of Thermal Expansion</b>	7x10 <sup>-6</sup> in/in°F (1000°F)
<b>Electrical Resistivity</b>	200 micro ohm cm (appropriate)
<b>Heat Resistance</b>	Good <sup>d</sup>
<b>Spraying:</b>	
<b>Spray Rate</b>	10 lbs/hr/100 amps (4.5 kg/hr/100 amps)
<b>Coverage (wire consumption)</b>	0.9 oz/ft <sup>2</sup> /0.001 in (1.10 kg/m <sup>2</sup> /100 microns)
<b>Spray Pattern<sup>e</sup> (approximate 8 in standoff)</b>	Cross Nozzle/Positioner - 1 in (2.5 cm) vertical height x 1 3/4 in (4.4 cm) width Slot Nozzle/Positioner - 2 in (5 cm) vertical height x 1 in (2.5 cm) width
<b>Length of wire per lb</b>	84 ft. (1/16 in)

- <sup>a</sup> Values are for steel substrates according to ASTM C633-69. For bond strengths on other substrate materials, see Figures 1, 2 and 3 on Page 2 and also Bulletin 1.9.1.2-75B.1.
- <sup>b</sup> 6 inch standoff, 40 psi - 8830, depends on nozzle cap, air pressure - fine with high psi, average with medium psi, and rough with low psi.
- <sup>c</sup> Density depends on air pressure - 80 percent "Bond Coat" setting, 90 percent subsequent buildup.
- <sup>d</sup> No evident nickel alloy/substrate scaling with 0.020 inch coating after:  
Five days @ 1000°F  
Three days @ 1800°F  
15 minutes @ 2200°F
- <sup>e</sup> Higher air pressures, smaller wire (1/16), and lower amperage with red nozzle cap gives smallest diameter pattern.

## Anexo 7. Especificación técnica pistola Tafa Arc Jet para metalización

### Technical Data

# Bulletin



Praxair Surface Technologies  
1555 Main Street  
Indianapolis, IN 46224



Praxair Surface Technologies  
TAFE Incorporated  
146 Pembroke Road  
Concord, NH 03301

File: 1.1.8.4  
Issue: L10513  
Supersedes: F10817

## Praxair and TAFE ArcJet™ System Model 851

### Summary:

This bulletin provides a detailed description of the Praxair and TAFE ArcJet System Model 851 including components, specifications, performance data, operational advantages and utility requirements.

### Introduction:

The Praxair and TAFE ArcJet System Model 851 is a new concept in arc wire spraying whereby both the particle velocity and concentration of the spray stream have been dramatically increased. The high velocity, tightly focused spray produces superior coatings, higher deposit efficiency, and substantial savings in labor and materials.

The ArcJet coatings are similar to plasma sprayed coatings. However, with the new system, these plasma-like coatings can be produced in much less time and at a fraction of the cost.

The system is available in 200 or 350 ampere power ratings (equivalent to a 20-35 lbs/hr spray rate with stainless steel) and either electric or pneumatic wire drive. All are available as hand-held or machine mounted units.



ArcJet Spray Gun

## Spraying Procedure:

	Coating Type			
	Normal 8830/8835	Arc Jet 8830/8835	Arc Jet 9000	9000
Atomizing Air Pressure:Primary Secondary	50 <sup>c</sup> ---	50 <sup>c</sup> 40 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> 60 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup> ---
Nozzle Cap	Green	*	Green	Green
Nozzle/Positioner (Cross=C; Slot=S)	Long C	**	Long C	Long C
Arc Load Volts <sup>a</sup>	30	30	30	30
Amps <sup>b</sup>	100-300	100-300	100-300	100-300
Standoff Inches	5-7	3-6	3-6	5-7
Coating Thickness/Pass-mils	5	5	5	5
Coating Texture-microinches aa	200-350	150-250	150-250	200-350

Using excessive voltage reduces quality of coating. Voltage should be adjusted to give minimum noise and smooth arc operation. Excessive voltage causes larger particles and poor spray pattern. Too low a voltage will cause popping.

Be sure not to overheat substrate even if this means stopping to allow cooling, use air jet cooling if greater speed is required. Note that on some applications where preheating is tolerable, preheating work to 300°F can improve bond and deposit efficiency.

NOTE: Standard air caps and positioners can be used in 8830 or 9000 systems.

\* P/N 450729

8830 Arc Jet Air Cap

\*\* P/N 620074

Arc Jet Modified Short Cross (8830 & 9000)

## Advantages of ArcJet:

### Over Conventional Arc Spray Systems

- Higher deposit efficiency
- Denser Coatings
- Focused spray pattern
- Superior bond strengths
- Smoother as-sprayed coatings
- Superior machinability
- More uniform coatings
- Less overspray
- Higher particle velocities

### Over Plasma

- Increased Deposit Efficiency
- Higher spray rates
- Less substrate heating
- Lower operating cost
- Lower capital cost
- Easier to operate
- No powder handling problem
- Elimination of "Do-over" costs

### Higher Particle Velocity:

The new ArcJet System has much higher particle velocity than standard arc spray systems. High speed photographs of the actual spray of both the ArcJet and standard arc spray systems were used to measure particle velocity. They show that velocities are increased by 49 percent.

### Concentrated Spray Pattern:

Too, the higher velocity particles are shown to be concentrated in a narrow spray pattern yielding denser, and higher quality coatings. See Figures 3 and 4.

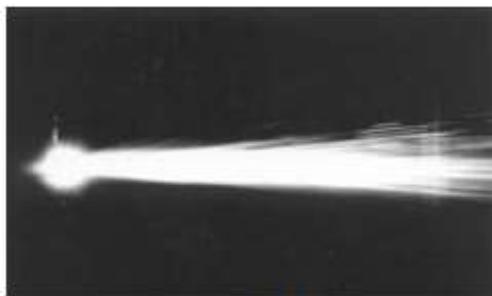


Figure 3  
ArcJet Confined Spray Pattern

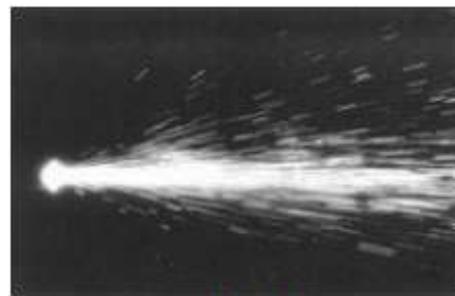


Figure 4  
Conventional Arc Spray Diffused Spray Pattern

### Improved Metallurgy:

Photomicrographs (Figures 5 and 6) of typical coatings show the ArcJet to be clearly superior to those produced by standard arc spray systems. Figure 5 depicts Praxair and TFA's BondArc 75B wire sprayed with the ArcJet System. Figure 6 is the same wire sprayed with standard arc spray. The ArcJet System produces a coating with less porosity, more evenly dispersed oxide and the coating is generally cleaner. The oxide particles are uniformly dispersed and approximately one-tenth the size (on average) of the standard coating. As with many arc sprayed coatings, quality is comparable or superior to that produced by a plasma spray.

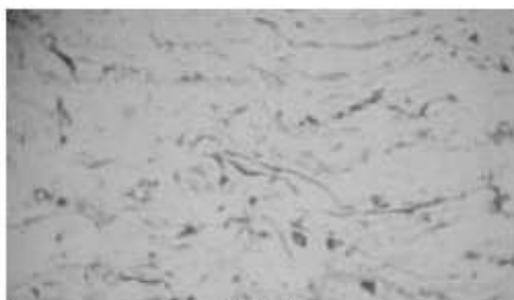


Figure 5  
ArcJet Coating

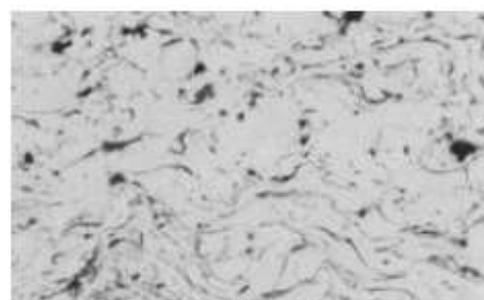


Figure 6  
Standard Coating

### Case Study:

At a typical aircraft engine repair facility the ArcJet was used to spray jet engines flanges with Praxair and TFA BondArc 75B material. Measurements show an increase in deposit efficiency and target efficiencies which resulted in approximately a 50 percent material savings to produce the required 0.060 inch coating thickness.

<b>Typical Operating Parameters/Properties:</b>		
Condition:	<b>ArcJet System</b>	<b>Std 8830</b>
Material:	75B	75B
Air Pressure:	80 psi	80 psi
Nozzle/Positioner:	P/N 820074	Short Cross
Nozzle Cap:	P/N 820100	Blue
Volts:	30	30
Amps:	150	150
Spray Rate:	1 lbs/hr	15 lbs/hr
Deposit Efficiency*:	70 percent	58 percent
Typical Spray Pattern: (at 5 inches)	3/4" diameter	1 1/2" diameter
Hardness:	80 R <sub>B</sub>	60 R <sub>B</sub>
Bend Resistance: (10 mils @ 180 degrees)	Excellent	Excellent

See Bulletin 1.9.1.2-75B for additional data

### Typical Applications

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corrosion Resistance</b><br/>Atmospheric<br/>Chemical</li> <li>• <b>Aircraft Engine Repair</b></li> <li>• <b>Auto Body Repair</b></li> <li>• <b>Electrical Conductivity and Resistivity</b><br/>Current conduction<br/>Bonding to unusual substrates<br/>Capacitors, varistors</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Moldmaking</b><br/>Up to 1/10th the time and cost</li> <li>• <b>Oxidation and Heat Resistance</b></li> <li>• <b>Restoration</b><br/>Ferrous and non-ferrous</li> <li>• <b>Wear Resistance</b><br/>Abrasive<br/>Erosion</li> </ul> |
|---|---|



Copyright 2000 Praxair Technology, Inc. All rights reserved

[www.praxairthermalspray.com](http://www.praxairthermalspray.com)

[psti-info@praxair.com](mailto:psti-info@praxair.com)

Telephone: 1-317-240-2650

Fax: 1-317-240-2596

Praxair, the *Flowing Airstream* design and *Making our planet more productive* are trademarks or registered trademarks of Praxair Technology, Inc. in the United States and/or other countries.

Other trademarks used herein are trademarks or registered trademarks of their respective owners.

Printed in the United States of America 05-2000



[www.tafa.com](http://www.tafa.com)

[psti-info@praxair.com](mailto:psti-info@praxair.com)

Telephone: 603-224-9585

Fax: 603-225-4342

TAFE is constantly improving its products, therefore specifications are subject to change without notice

TAFE Incorporated is a Praxair Surface Technologies company.

## Anexo 8 Cotización cigüeñal maquinaria pesada.



Quito, 25 de Junio de 2014

### COTIZACIÓN DE REPUESTOS

CLIENTE: SR. FELIPE BORJA  
MAQUINA: TRACTOR AGRICOLA LAMBORGHINI  
MODELO: CROSS 95 (95 HP)

ITM	CANT	NUMERO	DESCRIPCION	V. UNIT	V.TOTAL	
3	1	0.086.1210.3/40	CIGÜEÑAL CROSS 95	8686,36	8686,36	
					<b>SUB TOTAL</b>	8686,36
					<b>12% IVA</b>	1042,36
					<b>TOTAL</b>	9728,72

SON: NUEVE MIL SETECIENTOS VEINTE Y OCHO DÓLARES CON 72/100  
VALIDEZ DE LA COTIZACION 8 DÍAS

NOTA: REPUESTOS PARA IMPORTACION, ENTREGA 30 DÍAS LABORABLES PREVIO PAGO TOTAL.

ATENTAMENTE:  
  
UNIDECO S.A.  
ING. ROLANDO MACÍAS.



#### UNIDECO S.A.

Panamericana Norte Km 5.5 junto al Parque de los Recuerdos Quito - Ecuador Telf: (+593-2) 2476-830 Fax: (+593-2) 2471-315  
Sucursal Cañar: Av 24 de Mayo y Carrera Cuenca Telf: 072 237-088 Móvil: 098 255-109  
Sucursal San Gabriel: Panamericana Norte vía a Tulcán junto al Colegio Eloy Alfaro Telf: 062 292-290  
www.unideco.com e-mail:unideco@unideco.com

Quito, 25 de Junio de 2014

**COTIZACIÓN DE REPUESTOS**

CLIENTE: SR. FELIPE BORJA  
MAQUINA: TRACTOR AGRICOLA LAMBORGHINI  
MODELO: RUNNER 450 (45 HP)

ITM	CANT	NUMERO	DESCRIPCION	V. UNIT	V.TOTAL
1	1	0.010.2672.0	CIGÜEÑAL RUNNER 450	7023,46	7023,46
				<b>SUB TOTAL</b>	7023,46
				<b>12% IVA</b>	842,82
				<b>TOTAL</b>	7866,28

**SON:** SIETE MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y SEIS DÓLARES CON 28/100  
**VALIDEZ DE LA COTIZACION 8 DÍAS**

**NOTA:** REPUESTOS PARA IMPORTACION, ENTREGA 30 DÍAS LABORABLES PREVIO PAGO TOTAL.

ATENTAMENTE;  
UNIDECO S.A.  
*Rolando Macias*  
ING. ROLANDO MACIAS.



**UNIDECO S.A.**

Panamericana Norte Km 5,5 junto al Parque de los Recuerdos Quito - Ecuador. Telf: (+593-2) 2478-830 Fax: (+593-2) 2471-315  
Sucursal Cañar: Av 24 de Mayo y Carrera Cuenca Telf: 072 237-888 Móvil: 098 255-109  
Sucursal San Gabriel: Panamericana Norte vía a Tulcán junto al Colegio Eloy Alfaro Telf: 062 292-290  
www.unideco.com e-mail:unideco@unideco.com

## Anexo 9 Características del aceite.



# Información del Producto

UN PRODUCTO DE ASHLAND CONSUMER MARKETS, UNA DIVISIÓN COMERCIAL DE ASHLAND INC.



Lubricantes - Aceite de motor - Aceites de motor para trabajos severos

Versión: 111/03

## Premium Blue™ Extra SAE 15W-40

*Aceite de motor diesel de primera calidad para trabajos severos diseñado para proporcionar un alto rendimiento lubricante a los actuales motores diesel Cummins equipados con tratamiento de emisiones.*

Premium Blue Extra es un aceite de motor homologado por Cummins y ofrece un excelente rendimiento en flotas para trabajos severos, aplicaciones marinas e industriales.

### Homologaciones/Niveles de rendimiento

<b>SAE 15W-40</b>
API: CF-4, CG-4, CH-4, CI-4, CJ-4
ACEA: E7-04, E9-08 edición 2
Cummins CES 20081
Deutz DQC-III-10 LA
MAN 3575
MB -228.31
MTU 2.1
Renault RLD-3
Mack EO-O Premium Plus
Volvo VDS-3, VDS-4
Caterpillar ECF-3

### Aplicaciones

Indicado para su uso en sistemas de recirculación de gases de escape (EGR), reducción catalítica selectiva (SCR), filtro de partículas diesel (DPF) y otras tecnologías modernas para motores diesel.

Al usar en combinación con diesel con bajo contenido en azufre, este producto ofrece una fórmula óptima, equilibrada y de larga duración que ayuda a maximizar la durabilidad del motor, así como la limpieza del postratamiento de gases de escape.

Puede usarse en camiones y autobuses con motores diesel del modelo Euro 1, 2, 3, 4, 5.

### Características y ventajas

#### Control de emisiones

Aceite de motor de baja emisión que cumple los requisitos de las últimas normas de emisión, incluida Euro V relativo a carreteras, fase IIIB relativo a todoterreno y la legislación Tier IV.

#### Control de hollín y depósitos

Control excepcional del espesamiento del aceite relacionado con el hollín y la formación de depósitos a altas temperaturas.

#### Intervalos de cambio más largos

Mantiene la viscosidad del aceite, previene el desgaste del motor relacionado con el hollín y aumenta la seguridad del motor, permitiendo intervalos de cambio más largos.

#### Protección antidesgaste

Protección antidesgaste del tren de válvulas y menos obstrucciones del filtro con altos niveles de hollín, aumentando la vida útil del motor.

#### Rendimiento TBN superior

El aceite de motor Premium Blue Extra fue sometido a repetidas pruebas utilizando el ensayo ROBO, reconocido por el sector. Demostró repetitivamente una excelente retención de TBN comparado con otras fórmulas del mercado.

#### Homologado por Cummins

Desarrollado especialmente, autorizado y homologado por Cummins respecto a CES 20081.



# Información del Producto

UN PRODUCTO DE ASHLAND CONSUMER MARKETS, UNA DIVISIÓN COMERCIAL DE ASHLAND INC.



## Salud y seguridad

No es probable que este producto presente algún riesgo para la salud o seguridad, siempre que se use correctamente en la aplicación pertinente. Previa petición, hay disponible una ficha de Información y seguridad de materiales (MSDS) a través de su punto de venta local o a través de Internet @ <http://msds.ashland.com>

## Protaja el medio ambiente

Lleve el aceite usado a un punto de recogida autorizado. No lo vierta en el alcantarillado, suelo o agua.

## Propiedades típicas

Las propiedades típicas del producto dependen de la producción actual. Aunque la producción futura se haga de conformidad con las especificaciones de Valvoline™, puede que se produzcan variaciones en dichas propiedades.

## People Who Know Use Valvoline™

Atendiendo a más de 100 países de todo el mundo, Valvoline es un destacado productor, distribuidor y comercializador de servicios y productos de calidad para la automoción e industria. Los productos incluyen lubricantes para la automoción incluyendo MaxLife™, el primer aceite de motor formulado específicamente para vehículos de alto kilometraje; líquidos para la transmisión; aceites para engranajes; lubricantes hidráulicos; productos químicos para la automoción; productos especializados; grasas y productos para el sistema de refrigeración.

Para más información sobre los productos, programas y servicios de Valvoline, visite [www.valvolineeurope.com](http://www.valvolineeurope.com)

## Autor:

AdG

Sustituye a - 11 1/02

Valvoline Premium Blue Extra motor oil	
Grado de viscosidad SAE	15W-40
Viscosidad, mm <sup>2</sup> /s @ 100 °C. ASTM D-445	14.9
Viscosidad, mm <sup>2</sup> /s @ 40 °C. ASTM D-445	117
Índice de viscosidad ASTM D-2270	138
Viscosidad, mPa.s -20°C. ASTM D-5293	<7000
TBN, mg KOH/g ASTM D-2896	10
Punto de fluidez, °C ASTM D-5950	-36
Gravedad específica @ 15,6°C. ASTM D-4052	0.879
Punto de inflamación, COC, °C. ASTM D-92	230

Esta información rige únicamente para productos fabricados en: Europa

Todas las declaraciones, información y datos presentados en el presente documento se consideran exactos y fiables, pero no deben interpretarse como una garantía, expresa o implícita de su comercialización o idoneidad para un fin concreto, ni como ninguna afirmación, expresa o implícita por la que Ashland Inc. y sus sucursales asuman responsabilidad legal. \*Marca comercial propiedad de terceros \*\* Marca registrada de Ashland o sus sucursales, registrada en varios países © 2013, Ashland

## Anexo 10 Propiedades específicas de aceites.

** = descatalogado/ya no aparece en el catalogo	Punto de Congelación °C	Punto de Inflamación °C	Viscosidad 100° mm <sup>2</sup> /s(cSt)	Viscosidad 40° mm <sup>2</sup> /s(cSt)	HTHS	Densidad 15° kg/m <sup>3</sup>	Noack %	TBN	Indice de viscosidad	Cenizas sulfatadas % peso
AGIP	-33	225	13,2	76		0,85		9,8	163	1,1
ALPINE	-48	220	14	89		0,86		8	162	1,15
AMALIE	-40	225	14,1	89	3,7				163	
AMSOIL	-42	230	13,7	79,7			8,7	8	177	
ARAL	-39	230	13,82	84,36						
BP	-51	226	14,4	95,3		0,85			156	
CASTROL GTD TOPUP	-51	226	14,4	95,3		0,85				
CASTROL 505.01	-42	196	14,4	95,3		0,87			170	
CASTROL TXT 50501	-39	252	14,2	85,3		0,85		7,4	169	0,75
CASTROL EDGE TD	-39	252	14,2	85,3		0,85		7,4	169	0,75
CEPSA STAR **	-38		14,02	88,57		0,85		9,7		
CEPSA STAR	-36		13,8	88,5		0,86		7,6		
CEPSA PLATINUM	-40		14,2	89,1		0,86				
ELF **	-45	198	14	88,7		0,88		12		1,2
ELF	-48	198	14,1	95,2		0,86		9,6	152	
ESSO	-51	239	14,1	92,8		0,86		9,7		1,2
EUROLUB	-40	230	14,35	89,4		0,86		9,8	169	1,2
FUCHS TITAN (UK-EU)	-42	220	14	89		0,86			170	
FUCHS TITAN	-60	220	14	89		0,86			161	
GULF **	-57	227	14,2	93,4				10	156	1,18
GULF	-48	198	14,1	95,2					152	
HAVOLINE	-56	218	14,3	90	3,95	0,86	10,6	9,9	165	1,1
IGOL	-33	200		87						
KRAFFT	-30	210	12,5-16,2	80-110				10	140-160	
LIQUI MOLY TOP TEC 4100	-39	215	14	85	3,5			7,6	170	0,8
LIQUI MOLY HIGHT TECH (B3)	-39	215	14	85	3,5			7,6	170	0,8
LIQUI MOLY TOP UP OIL (B4)	-39	230	14	85	3,5	0,85		7,6	170	0,8
MEGUIN MEGOL LOW EMISS.	-39	215	14	85	3,5			7,6	170	0,8
MOTUL(1)	-36	228	15,4	99,2		0,86		9,5	165	
MOTUL(2)	-36	215	13,9	84,9		0,85		7,4	167	
MOBIL 1	-51	239	14,1	92,8		0,86		9,7		1,2
RAVENOL VPD	-42	220	14	85,2	3,5	0,86		9,7	152	1,2
REPSOL/B3 **	-36	200	14	90		0,86		10	150	1,2
REPSOL/B4	-45	215	14,5	88		0,85	12	7,5	160	
SELENIA **	-36	200	14,7			0,86		10	165	
SHELL	-51	226	13,8	89,1		0,86			156	
TEBOIL	-48	230	14	87				8,4	168	1,32
TOTAL	-39	230	14,1	89		0,86			163	
VALVOLINE	-42	210	14	90			10,7	9,8	162	1,2
XADO	-39	225	14	88				9,7	163	1,2

Anexo 11 Proforma metalización por codo.

PROFORMA METALIZACION CIGUEÑAL D-MAX

Recibido x

Rectificadora de Motores Continental <info@rmcontinental.com>  
para mí

16:00 (hace 5 horas)

Estimado Sr. Rubén Enriquez,

En base a su requerimiento, adjunto envío la proforma con los costos de metalización de cigüeñal de vehículo CHEVROLET D-MAX. Paralelamente informo que los rubros marcados en amarillo variarían según la cantidad de codos afectados (valor unitario).

Saludos cordiales,

Diego Caisaluisa.

Asesor de Servicios.



Tel. 2864695 -2860668



**PROFORMA N° 06**

<b>Cliente</b>	SR. RUBEN ENRIQUEZ	<b>Marca</b>	CHEVROLET D-MAX
<b>Dirección</b>		<b>Motor</b>	3000
<b>Teléfono</b>	/ 0987945728	<b>Año</b>	
<b>Fecha</b>	30/06/2014	<b>Diesel</b>	X
<b>N° Hoja T.</b>	6	<b>Factura</b>	

N°	Detalle	Cant.	V.U.	Costo
	METALIZAR CODO DE CIGÜEÑAL	1	85.00	85.00
	RECTIFICAR CODO METALIZADO	1	20.00	20.00
			M.O	105.00
			Repuestos	0.00
			<b>SUBTOTAL</b>	105.00
			12%IVA M.O.	21.00
			12% IVA REP.	0.00
			<b>TOTAL</b>	126.00
			DESCUENTO	
			<b>TOTAL</b>	126.00

DIEGO CAISALUISA / ASESOR TÉCNICO

LA ACTUAL PROFORMA NO VINCULA DAÑOS OCULTOS

DIRECCIÓN: Av. General Rumiñahui 1236 y 1era Trasversal

Anexo 12 Tabla de mantenimiento preventivo según fabricante.

## D-MAX 3.0 4X2

DESCRIPCIÓN	Km x1000																				
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
ALINEAR RUEDAS				*		*		*		*		*		*		*		*		*	
BALANCEAR Y ROTAR RUEDAS				*		*		*		*		*		*		*		*		*	
CAMBIAR FILTRO COMBUSTIBLE			*		*		*		*		*		*		*		*		*		*
CAMBIAR LÍQUIDO FRENOS						*				*				*				*			
CAMBIAR ACEITE CAJA MANUAL					*				*				*				*				*
CAMBIAR ACEITE DIFERENCIAL POSTERIOR					*				*				*				*				*
CAMBIAR ACEITE Y FILTRO MOTOR		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CAMBIAR BANDA DE ACCESORIOS																		*			
CAMBIAR FILTRO AIRE			*		*		*		*		*		*		*		*		*		*
CAMBIAR LÍQUIDO DIRECCIÓN HIDRÁULICA								*						*						*	
CAMBIAR REFRIGERANTE														*							
CAMBIAR TERMOSTATO														*							
LIMPIAR CUERPO ACCELERACIÓN IAC / MAF (usar limpiador)						*						*						*			
LIMPIAR Y LUBRICAR MECANISMOS PUERTAS Y VENTANAS			*		*		*		*		*		*		*		*		*		*
LIMPIAR, REVISAR Y REGULAR FRENOS			*		*		*		*		*		*		*		*		*		*
LIMPIEZA DE TANQUE DE COMBUSTIBLE													*								
LUBRICAR CUBOS DE RUEDA LIBRE, PUNTAS DE EJE Y CARDAN							*						*						*		
REAJUSTAR SUSPENSIÓN		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	

**ACERO GRADO MAQUINARIA**



**AISI 1020**

**Soluciones sólidas y duraderas...**

## ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200)

1. **Descripción:** acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

2. **Normas involucradas:** ASTM A108

3. **Propiedades mecánicas:** Dureza 111 HB  
Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)  
Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)  
Elongación 25%  
Reducción de área 50%  
Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)  
Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

4. **Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

5. **Propiedades químicas:** 0.18 – 0.23 % C  
0.30 – 0.60 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

6. **Usos:** se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

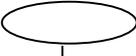
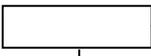
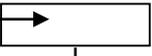
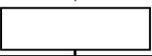
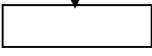
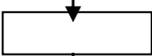
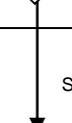
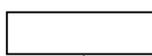
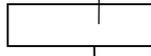
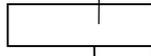
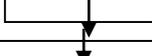
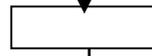
7. **Tratamientos térmicos:** se puede cementar para aumentarle la resistencia al desgaste y su dureza mientras que el núcleo se mantiene tenaz. Se puede recoocer a 870 °C y su dureza puede alcanzar los 111 HB, mientras que con normalizado alcanza los 131 HB.

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se esperan cuando el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

**ACERO MAQUINARIA - AISI 1020**

### Anexo 14. Diagrama de flujo proceso de metalización

Actividades	Entrada	Flujo grama	Salida	Referencia Pag.
Inicio				
Recibir cigüeñal				
Limpiar cigüeñal				
Aplicar blasting				
Comprobar medidas				40-41
Identificar deformaciones				44-47
Eliminar deformaciones por pre maquinado				5
¿Se eliminaron las deformaciones?				
Descartar cigüeñal		SI 		
Realizar pruebas de desviación				48
¿Exceden el límite de desviación?				
Devolver cigüeñal al cliente		SI 		39-42
Preparar superficie para metalizar		NO 		54
Metalizar				71
Corregir superficie metalizada hasta la medida deseada				DEACUERDO A MEDIDA DE FABRICACNTE
Igualar muñones				
Balancear				24
Fin				