



## Carátula

**“Análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque de motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock”**

Caiza Chiguano, Pedro Luis y Chicaiza Pila, William Aldair

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Salazar Corrales, Marcelo Fabian

05 de julio de 2022

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



Reconstruccion en frio Metalock\_Caiza-Chicaiza.pdf

Scanned on: 14:17 June 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	360
Words with Minor Changes	88
Paraphrased Words	361
Omitted Words	2191

Firma del autor:



Ing. Saúl Corrales, Marcelo Fabian  
C. C.0601719728

## Certificación



### DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque de motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock" fue realizado por los señores **Caiza Chiguano, Pedro Luis** y **Chicaiza Pila, William Aldair**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 05 de julio de 2022

  
Ing. Salazar Corrales, Marcelo Fabian

C.C.: 0501719728

## Responsabilidad de autoría



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Caiza Chiguano, Pedro Luis** con cédula de ciudadanía N° 1725921801 y **Chicaiza Pila, William Aldair, Aldair** con cédula de ciudadanía N° 0550039929, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque de motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 05 de julio de 2022

Caiza Chiguano, Pedro Luis

C.C.: 1725921801

Chicaiza Pila, William Aldair

C.C.: 0550039929

## Autorización de publicación



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### Autorización de Publicación

Nosotros **Caiza Chiguano, Pedro Luis** con cédula de ciudadanía N° 1725921801 y **Chicaiza Pila, William Aldair** con cédula de ciudadanía N° 0550039929, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque de motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 05 de julio de 2022

Caiza Chiguano, Pedro Luis

C.C.: 1725921801

Chicaiza Pila, William Aldair

C.C.: 0550039929

### **Dedicatoria**

El presente proyecto de investigación primero le dedico a Dios y a la Virgen de Baños, por cuidarme y guiarme en mis estudios académicos para culminar una etapa en la trayectoria de mi vida.

A mis padres Luis Caiza y Laura Chiguano, por su esfuerzo y dedicación en formar una persona con principios y valores, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento para cumplir una meta más en mi vida.

Para concluir a mis hermanas, Jenny, Paulina, Fernanda, que han estado presentes dándome apoyo en el transcurso de mi carrera estudiantil.

**Pedro Caiza**

### **Dedicatoria**

El presente proyecto de investigación lo dedico a Dios por cuidarme todos los días de mi vida y permitir que no decaiga en mi promesa que algún día hice a mis padres, todas mis bendiciones y logros los debo a ti Dios gracias por todo.

En segundo lugar, quiero dedicar este logro a mi madre por haberme dado la vida, cuidado y educado correctamente para convertirme en la persona que soy hoy en día, además la que me enseñó que las promesas se cumplen.

A mi padre por ese eje del hogar y nunca dejar que nos haga falta un pan sobre la mesa, por ser mi padre, amigo y maestro de la vida.

A mi hermana Katy por saberme escuchar y ser parte de mi crecimiento como persona y profesional,

A mi hermano Marlon por las risas que me ha sacado en los momentos de enojo y estrés. y finalmente a mis tíos, por brindarme ese apoyo incondicional que me ayudado mucho a cumplir esta meta.

**William Aldair**

### **Agradecimiento**

Primeramente, agradezco a Dios y a la Virgen de Baños por estar cuidando y guiarme en mis estudios académicos en todo momento para culminar una trayectoria en mi vida universitaria.

A mis padres por ser los principales pilares en mi vida para lograr cumplir una meta, por estar siempre pendiente de mis estudios académicos, por sus consejos brindados para llegar a esta instancia de mi vida profesional, ya que son mi fortaleza y mi debilidad al mismo tiempo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, a los docentes que impartieron cátedra para la mi formación profesional, es un orgullo de ser parte de esta prestigiosa Institución.

Finalmente quiero agradecer a mi tutor de tesis Ing. Fabian Salazar, por compartir sus conocimientos en el desarrollo de la tesis y su gran aporte como docente en la universidad.

**Pedro Caiza**



## **Agradecimiento**

Al finalizar esta etapa de mi vida estudiantil quiero agradecer a Dios por brindarme la salud, la vida y la oportunidad de cumplir con una meta que me he propuesto hace mucho tiempo, por cuidarme y darme la fuerza para no rendirme en el proceso, además te agradezco por darme una maravillosa familia que supo guiarme en este largo camino.

De igual manera quiero agradecer a mis padres Juan Chicaiza y Sara Pila por todo el amor, compromiso y apoyo que me han brindado en el transcurso de toda mi vida, educándome para convertirme en la persona que soy hoy en día y el profesional que seré mañana.

Además, quiero agradecer a la universidad de las fuerzas armadas ESPE por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gloriosa institución y a sus docentes por nutrirme de sus conocimientos y experiencias para formarme como profesional.

A mi amigo y maestro Jorge flores por acogerme en su taller y transmitirme sus conocimientos, angelotas y técnicas en arte de la reconstrucción en frío Metalock (suelda al frío), aportando con información valiosa para la realización de esta investigación.

A mi tutor de tesis el Ingeniero Fabian Salazar por ser una excelente persona y un gran profesional en área de la docencia que supo orientarnos correctamente en el desarrollo y proceso de esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que estuvieron en todo el proceso de mi vida universitaria regalándome momentos de locuras, alegría y risas que llevare en mi memoria por el resto de mi vida, gracias chicos.

**William Chicaiza**

## Índice de contenido

Carátula .....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido .....	10
Índice de figuras .....	15
Resumen.....	19
Abstract .....	20
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación .....	21
Antecedentes .....	21
Planteamiento del problema.....	23
Descripción resumida del proyecto .....	25
Justificación e importancia .....	26
Objetivos del proyecto.....	27
<i>Objetivo general</i> .....	27
<i>Objetivos específicos</i> .....	27
Metas.....	28
Hipótesis.....	28

Variables de instigación .....	28
<i>Variable Independiente</i> .....	28
<i>Variables Dependientes</i> .....	30
Metodología del desarrollo del proyecto .....	30
Método bibliográfico .....	31
Método exploratorio.....	31
Método descriptivo .....	31
Método experimental .....	31
Método por criterio de expertos.....	31
Capítulo II: Metodología y procesos de reconstrucción en frío.....	33
El principio de la reconstrucción en frío Metalock .....	33
Clasificación de métodos de la reconstrucción en frío Metalock.....	34
Componentes para la reparación de fisuras .....	35
<i>Pernos Metalock</i> .....	35
<i>Llave Metalock</i> .....	39
<i>Matriz de perforación</i> .....	44
Características del material - Hierro fundido gris.....	45
<i>Propiedades y aplicaciones del hierro fundido</i> .....	45
Proceso de reparación en frío Metalock (MIA) .....	46
Ventajas del proceso Metalock .....	50
Desventajas de proceso Metalock .....	51
Pruebas de ensayos de materiales .....	51

<i>Ensayos no destructivos</i> .....	52
<i>Inspección visual</i> .....	52
<i>Detección de fisuras por el método de hermeticidad</i> .....	53
<i>Líquidos penetrantes de fisuras</i> .....	54
Antecedentes de una fisura de un bloque motor.....	57
<i>Sobrecalentamiento del motor</i> .....	57
<i>Mala fundición de origen</i> .....	58
<i>Método de reconstrucción inapropiado</i> .....	58
<i>Cambio brusco de revoluciones</i> .....	59
Método de criterio de expertos .....	60
Confiabilidad .....	60
<i>Herramientas de confiabilidad</i> .....	61
Control de calidad PHVA .....	64
Capítulo III: Método de reconstrucción en frío y pruebas de hermeticidad.....	65
Reparación de fisuras de hierro fundido.....	65
Requerimientos para la reconstrucción en frío Metalock .....	67
Bloque motor de hierro fundido (Área de ensayo) .....	67
Insumos, equipos y herramientas.....	68
<i>Pernos a utilizar</i> .....	68
<i>Llave Metalock</i> .....	70
<i>Matriz de perforación</i> .....	72
Diseño de Reconstrucción en frío Metalock .....	72

<i>Fase I: Detección de la fisura</i> .....	73
<i>Fase II: Proceso de reconstrucción en frío Metalock</i> .....	77
Diagramas diseñados del proceso de reconstrucción en frío Metalock .....	86
Comprobación de la hermeticidad.....	90
Aplicación de las herramientas de confiabilidad.....	92
<i>Cálculo de la confiabilidad</i> .....	93
<i>Curva de confiabilidad</i> .....	96
Control de calidad PHVA .....	96
<i>Planeación</i> .....	96
<i>Hacer</i> .....	97
<i>La verificación (control)</i> .....	99
<b>Capítulo IV: Análisis de resultados de la reconstrucción en frío Metalock</b> .....	101
Insumos Metalock .....	101
Proceso de reconstrucción en frío metalock. ....	102
Pruebas de hermeticidad aplicado a la reparación del bloque motor .....	103
Confiabilidad de la reconstrucción en frío Metalock.....	104
Control de calidad PHVA .....	106
<b>Capítulo V: Marco administrativo</b> .....	107
Recursos Humanos .....	107
Recursos Tecnológicos.....	107
Recursos Materiales .....	108
Presupuesto .....	108

<b>Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>110</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>110</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>112</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>114</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>116</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Cuadro de planteamiento de problema.....</i>	<i>24</i>
<b>Figura 2</b>	<i>Cuadro de métodos de investigación.....</i>	<i>30</i>
<b>Figura 3</b>	<i>Logotipo de la Asociación Internacional Metalock (MIA).....</i>	<i>34</i>
<b>Figura 4</b>	<i>Clasificación de los métodos de reconstrucción en frío .....</i>	<i>35</i>
<b>Figura 5</b>	<i>Pernos de bloqueo serie C.....</i>	<i>36</i>
<b>Figura 6</b>	<i>Pernos de bloqueo serie L.....</i>	<i>37</i>
<b>Figura 7</b>	<i>Tipos de estilo de cabeza disponibles en tornillos y pernos.....</i>	<i>39</i>
<b>Figura 8</b>	<i>Llave metalock LnS.....</i>	<i>39</i>
<b>Figura 9</b>	<i>Largo de las llaves Metalock .....</i>	<i>42</i>
<b>Figura 10</b>	<i>Dimensiones de la llave metalock .....</i>	<i>43</i>
<b>Figura 11</b>	<i>Matriz de perforación.....</i>	<i>44</i>
<b>Figura 12</b>	<i>Uso de la matriz de perforación (B).....</i>	<i>47</i>
<b>Figura 13</b>	<i>Uso del cincel eliminando sobrantes .....</i>	<i>47</i>
<b>Figura 14</b>	<i>Calce de llaves metalock.....</i>	<i>48</i>
<b>Figura 15</b>	<i>Perforación y formación de roscado interno (C) .....</i>	<i>48</i>
<b>Figura 16</b>	<i>Fijación de pernos metalock (B).....</i>	<i>49</i>
<b>Figura 17</b>	<i>Corte de perno sobrante (B).....</i>	<i>49</i>
<b>Figura 18</b>	<i>Compactación de costura metálica (B).....</i>	<i>50</i>
<b>Figura 19</b>	<i>Tratamiento de rectificación de la costura metálica (B).....</i>	<i>50</i>
<b>Figura 20</b>	<i>Cuadro de ensayos no destructivos.....</i>	<i>52</i>
<b>Figura 21</b>	<i>Inspección visual.....</i>	<i>53</i>
<b>Figura 22</b>	<i>Prueba hidrostática de hermeticidad .....</i>	<i>54</i>
<b>Figura 23</b>	<i>Kit de líquidos penetrantes.....</i>	<i>55</i>
<b>Figura 24</b>	<i>Proceso de tintas penetrantes.....</i>	<i>56</i>
<b>Figura 25</b>	<i>Fisura por recalentamiento del motor .....</i>	<i>57</i>

<b>Figura 26</b>	<i>Fisura por mala fundición de Origen.....</i>	<i>58</i>
<b>Figura 27</b>	<i>Fisura por mala reconstrucción (A).....</i>	<i>59</i>
<b>Figura 28</b>	<i>Fisura por exceso de revoluciones (A) .....</i>	<i>59</i>
<b>Figura 29</b>	<i>Curva de función de confiabilidad.....</i>	<i>62</i>
<b>Figura 30</b>	<i>Ciclo Deming PHVA .....</i>	<i>65</i>
<b>Figura 31</b>	<i>Aplicación de los métodos de reconstrucción en frío Metalock .....</i>	<i>66</i>
<b>Figura 32</b>	<i>Costura metálica metalock .....</i>	<i>67</i>
<b>Figura 33</b>	<i>Bloque motor de hierro fundido Mazda NA a reparar.....</i>	<i>68</i>
<b>Figura 34</b>	<i>Medición de espesor de un bloque motor de hierro fundido .....</i>	<i>69</i>
<b>Figura 35</b>	<i>Tornillo 5/32" Allen cabeza cilíndrica seleccionado.....</i>	<i>69</i>
<b>Figura 36</b>	<i>Llaves metalock de medida 3/16" .....</i>	<i>70</i>
<b>Figura 37</b>	<i>Trayectoria de la fisura (A) del bloque motor de hierro fundido.....</i>	<i>71</i>
<b>Figura 38</b>	<i>Llaves metalock 3/16" de 3 y 5 puntos seleccionado.....</i>	<i>71</i>
<b>Figura 39</b>	<i>Matrices de perforación seleccionado .....</i>	<i>72</i>
<b>Figura 40</b>	<i>Limpieza de pre-detección del bloque motor de hierro fundido.....</i>	<i>73</i>
<b>Figura 41</b>	<i>Prueba hidrostática del bloque motor de hierro fundido a reparar .....</i>	<i>74</i>
<b>Figura 42</b>	<i>Aplicación de CLEANER parte 1 .....</i>	<i>75</i>
<b>Figura 43</b>	<i>Aplicación DYE PENETRANT parte 2 .....</i>	<i>75</i>
<b>Figura 44</b>	<i>Aplicación de DEVELOPER parte 3 .....</i>	<i>76</i>
<b>Figura 45</b>	<i>Trayectoria de la fisura (A) del bloque motor de hierro fundido.....</i>	<i>76</i>
<b>Figura 46</b>	<i>Señalación de la trayectoria de fisura del bloque motor.....</i>	<i>77</i>
<b>Figura 47</b>	<i>Distancia entre llaves metalock distribuido en el bloque motor .....</i>	<i>78</i>
<b>Figura 48</b>	<i>Cantidad de llaves metalock de 5 y 3 puntos.....</i>	<i>78</i>
<b>Figura 49</b>	<i>Perforación de orificios para las llaves metalock .....</i>	<i>79</i>
<b>Figura 50</b>	<i>Medición de profundidad de perforación de llaves metalock.....</i>	<i>79</i>
<b>Figura 51</b>	<i>Eliminación de material sobrante entre orificios del bloque motor .....</i>	<i>80</i>



<b>Figura 52</b>	<i>Colocación del calce de las llaves metalock en el bloque motor</i> .....	80
<b>Figura 53</b>	<i>Colocación del calce de las llaves metalock en las ranuras del bloque motor</i> .....	81
<b>Figura 54</b>	<i>Perforación de la trayectoria de la fisura del bloque motor</i> .....	81
<b>Figura 55</b>	<i>Roscado interno en el orificio del bloque motor</i> .....	82
<b>Figura 56</b>	<i>Colocación de pegamento “Permatex” en los orificios de roscado</i> .....	82
<b>Figura 57</b>	<i>Colocación y ajuste del perno del bloque motor</i> .....	83
<b>Figura 58</b>	<i>Corte del perno sobrante del bloque motor</i> .....	83
<b>Figura 59</b>	<i>Costura metálica Metalock del bloque motor de hierro fundido</i> .....	84
<b>Figura 60</b>	<i>Fijación de las llaves metalock del bloque motor de hierro fundido</i> .....	84
<b>Figura 61</b>	<i>Compactación de la costura metálica metalock del bloque motor</i> .....	85
<b>Figura 62</b>	<i>Tratamiento de rectificación de costura metálica del bloque motor</i> .....	85
<b>Figura 63</b>	<i>Diagrama de fases de reparación de fisuras de un bloque motor</i> .....	86
<b>Figura 64</b>	<i>Diagrama de selección de insumos, herramientas y equipos</i> .....	87
<b>Figura 65</b>	<i>Diagrama de proceso de detección de fisuras</i> .....	88
<b>Figura 66</b>	<i>Diagrama de proceso de reconstrucción en frio Metalock</i> .....	89
<b>Figura 67</b>	<i>Diagrama de proceso de control de calidad</i> .....	90
<b>Figura 68</b>	<i>Grafica de la región lineal</i> .....	94
<b>Figura 69</b>	<i>Curva de confiabilidad de la reparación de fisura por la reconstrucción en frio</i> .....	96
<b>Figura 70</b>	<i>Aplicación de tratamiento de sellado en el bloque motor Mazda NA reparado</i> .....	97
<b>Figura 71</b>	<i>Limpieza del bloque motor Mazda serie NA</i> .....	98
<b>Figura 72</b>	<i>Pintado y lijado del bloque motor de hierro fundido</i> .....	99
<b>Figura 73</b>	<i>Bloque motor de hierro fundido listo para su entrega al cliente</i> .....	99

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Variable Independiente</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> <i>Variable dependiente</i> .....	30
<b>Tabla 3</b> <i>Metodología de investigación</i> .....	32
<b>Tabla 4</b> <i>Tamaño del perno seleccionado</i> .....	38
<b>Tabla 5</b> <i>Tamaño de llave metalock</i> .....	40
<b>Tabla 6</b> <i>Apertura de llaves metalock</i> .....	40
<b>Tabla 7</b> <i>Distancia de espaciado de llaves metalock</i> .....	41
<b>Tabla 8</b> <i>Largo de las llaves metalock</i> .....	42
<b>Tabla 9</b> <i>Tamaño de matrices de perforación</i> .....	44
<b>Tabla 10</b> <i>Propiedades y aplicaciones del hierro fundido en elementos automotrices</i> .....	46
<b>Tabla 11</b> <i>Tiempos recomendados para el kit de líquidos de fisuras</i> .....	56
<b>Tabla 12</b> <i>Parámetros de forma de Beta</i> .....	61
<b>Tabla 13</b> <i>Pruebas de hermeticidad en el bloque motor de hierro fundido</i> .....	91
<b>Tabla 14</b> <i>Técnicos encuestados</i> .....	92
<b>Tabla 15</b> <i>Retorno de trabajo por fugas de líquidos refrigerante</i> .....	93
<b>Tabla 16</b> <i>Datos obtenidos por muestra</i> .....	93
<b>Tabla 17</b> <i>Tabla de región lineal</i> .....	94
<b>Tabla 18</b> <i>Análisis de prueba de hermeticidad</i> .....	103
<b>Tabla 19</b> <i>Recursos humanos</i> .....	107
<b>Tabla 20</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	107
<b>Tabla 21</b> <i>Recursos materiales</i> .....	108
<b>Tabla 22</b> <i>Presupuesto</i> .....	108

## Resumen

El presente proyecto de titulación se encaminó al análisis de la hermeticidad en la reparación de una fisura del bloque motor de hierro fundido, para determinar la confiabilidad que garantice la reconstrucción en frío mediante el método de sellado metalock al restaurar o reparar una fisura, a través de esta técnica alternativa y novedosa en el ámbito industrial y automotriz. El método de reconstrucción en frío Metalock posee una gran variedad de aplicaciones para la reparación de elementos de máquinas fisuradas, rajadas o debilitadas. Su proceso consiste en la perforación de agujeros en toda la trayectoria de la fisura, para insertar pernos “metalock” perpendicularmente a la superficie de la fisura, elaborando ranuras para el calce de las llaves metalock en forma transversal a la fisura realizando una especie de candados, separados por una distancia especificada formando una costura metálica. Finalmente, remachándolas para adherirse fijamente al metal de la pieza protegiendo la superficie original. Estos insumos de reparación en frío son fabricados de aleaciones especiales de hierro-níquel. El método de reconstrucción en frío contribuye a su pronta reincorporación de la maquinaria a las operaciones de trabajo, ahorrando tiempo de desmontaje y disminuyendo pérdidas de producción. Las ventajas de este material es la ductibilidad en estado recocido, resistencia a la tracción, endurecimiento por deformación, coeficiente de expansión térmica, además posee similares características al hierro fundido. También, absorbe y amortigua los esfuerzos que está sometido la pieza conjunta.

*Palabras clave:* hermeticidad, fisura del bloque motor, reconstrucción en frío metalock

### **Abstract**

The present degree project was directed to the analysis of the tightness in the repair of a crack in the cast iron engine block, to determine the reliability that guarantees the cold reconstruction by means of the metallock sealing method when restoring or repairing a crack, through this technical and innovative alternative in the industrial and automotive fields. Metallock's cold rebuild method has a wide variety of applications for the repair of cracked, cracked or weakened machine elements. Its process consists of drilling holes along the entire path of the crack, to insert "Metallock" pins perpendicular to the surface of the crack, making slots for the fit of the metallock keys transversely to the crack, making a kind of padlock, separated by a specified distance forming a metallic seam. Finally, riveting them so that they adhere firmly to the metal of the piece, protecting the original surface. These cold repair supplies are made from special alloys of iron and nickel. The cold rebuild method contributes to the prompt reintegration of machinery into work operations, saving disassembly time and reducing production losses. The advantages of this material are ductility in the annealed state, tensile strength, strain hardening, coefficient of thermal expansion, and it has characteristics similar to cast iron. In addition, it absorbs and cushions the stresses to which the joining piece is subjected.

*Key word:* airtightness, engine block crack, metallock cold reconstruction

## Capítulo I

### Marco metodológico de la investigación

#### Antecedentes

Según la MIA (Metalock International Association) dice que el método Metalock sirve para la reparación de maquinarias de hierro fundido, acero fundido y aluminio, que han sido expuestos a fracturas o agrietamientos. La reparación consiste en insertar capas de llaves y pernos metalock formadas por aleaciones especiales de níquel - cromo resistentes a la corrosión.

El 14 de enero de 1966 la revista internacional de Metalock da a conocer la reparación en frío de un motor a Diésel donde su bloque de cilindros se encontraba agrietado por causa de congelación a cargo de N. Tinwell, director general de Metalock de Gran Bretaña, donde recalca que un bloque de cilindros de hierro fundido fisurado por factores de trabajo puede ser reparado por un bajo costo y siendo más eficiente que la suelda en caliente.

Según (N. Tinwell, 1966) su principal problema en la soldadura caliente al utilizar en un bloque motor es la distorsión en áreas de concentración de tensión, además puede provocar una desalineación de la pieza fundida, mientras que una reparación en frío evita estas complicaciones. Afirmando que “Una vez reparado el bloque de cilindros del motor diésel por reconstrucción al frío Metalock ha funcionado posteriormente durante 133.000 millas sin problemas desde la reparación” y una característica particular del proceso de reconstrucción en frío, es calzar una nueva sección de material sin someter la pieza a largos periodos de calor.

Según (Morales, 2018) determina un proceso de soldadura en frío o cold welding el mismo que puede ser utilizado para la reconstrucción de elementos, piezas, estructuras y componentes en el ámbito industrial y automotriz que sean de hierro fundido gris. Aplicando tornillos de acero inoxidable AISI 304 con diámetro 5/32” y costura mecánica a tope

determinando una resistencia a la ruptura de 20.7 Ksi, una fuerza de rotura de 6288.84 N, una elongación del 4.23% y una reducción de área del 4.05%.

Según (Eurs, 2013) analiza el reacondicionamiento de puntas metálicas, por el método de costuras metálicas aplicado a materiales de hierro fundido por su dificultad para soldar donde su objetivo principal es el estudio de un bloque de motor Wärtsilä W32 que ha presentado problemas después de haberse realizado la reparación por costuras metálicas. Realizando ensayos de tracción a los materiales y los cordones de unión demostrando que una quinta parte de la fuerza permanece después de la reparación. Además, se determina que la deformación en las juntas es menor porque entre mayor distancia tenga los ojos de las chavetas (candados) presenta un beneficio sobre la distribución de la deformación en el hierro fundido, donde los campos de deformación parecen ser más severos en el diagrama de deformación superior donde están más juntas.

Según (Autio & Odneg\gaard, 2011) analizan las chavetas en juntas de hierro fundido mediante el uso de simuladores FE en correlación de la técnica de imágenes digitales, donde determinan que piezas de hierro fundido de un bloque motor pueden agrietarse después de un periodo de trabajo y como consecuencia el reemplazo de piezas puede ser muy costoso y difícil, por otro lado los métodos de soldadura que utilizan el calentamiento presentan inconvenientes de introducir tensiones residuales y cambio en la composición del material.

La reparación se basa en la inserción de llaves metalock diseñadas, individualmente la fabricación de tornillos con aleaciones de Hierro-Níquel en la fisura haciendo uso de una plantilla de taladro. Obteniendo como resultado de la investigación las propiedades físicas de las llaves metalock se pudo concluir que la aleación de Hierro-Níquel presentan un bajo coeficiente de expansión térmica entre una temperatura de (30- 250) °C, es decir que no se expandirán de la misma manera que el hierro fundido gris. Además, las chavetas metalock presentan una distribución de dureza distribuida a lo largo de su longitud.

Las simulaciones indican que el tratamiento de martilleo en la instalación de las chavetas metalock, da lugar a tensiones residuales principalmente en la parte superior de cada ojo de la chaveta en el material de hierro fundido. Por tal razón el número de cabezas de cada chaveta es un parámetro importante en el método metalock, donde la carga se lleva principalmente en la primera cabeza de cada chaveta distribuyéndose en las demás.

### **Planteamiento del problema**

La problemática actual frente a la reparación de fisuras de un bloque motor de hierro fundido es su restauración lo que parece algo difícil de lograr. Por lo cual se brinda una nueva alternativa de reconstrucción en frío, presentando grandes ventajas positivas tanto en la parte técnica (manufactura) como en la sociedad. Uno de los aspectos es el desarrollo económico del país al dar nuevas fuentes de trabajo, ahora referente a los propietarios de los automotores brindarles una solución de reparación más económica y garantizada, además que protegemos el medio ambiente por dar otra oportunidad de operación a autopartes de hierro fundido, disminuyendo los contaminantes en estado sólidos (chatarra) generados a causa de autopartes automotrices.

En la parte técnica es difícil restaurar una pieza de hierro fundido debido a su fragilidad, esto depende de sus propiedades físicas principalmente de la soldabilidad se debe a factores como ausencia de plasticidad, impurezas, formación de cementita que posee el hierro fundido al estar expuesto a grasa, aceite u otros derivados del petróleo. Al aplicar una suelda que utiliza el calor como método de fusión produce el sobrecalentamiento del material volviéndolo más frágil y obteniendo menor resistencia a los esfuerzos al momento de cumplirse los ciclos de trabajo del motor, ocasionado un tiempo de vida útil muy corto después de haber realizado la restauración.

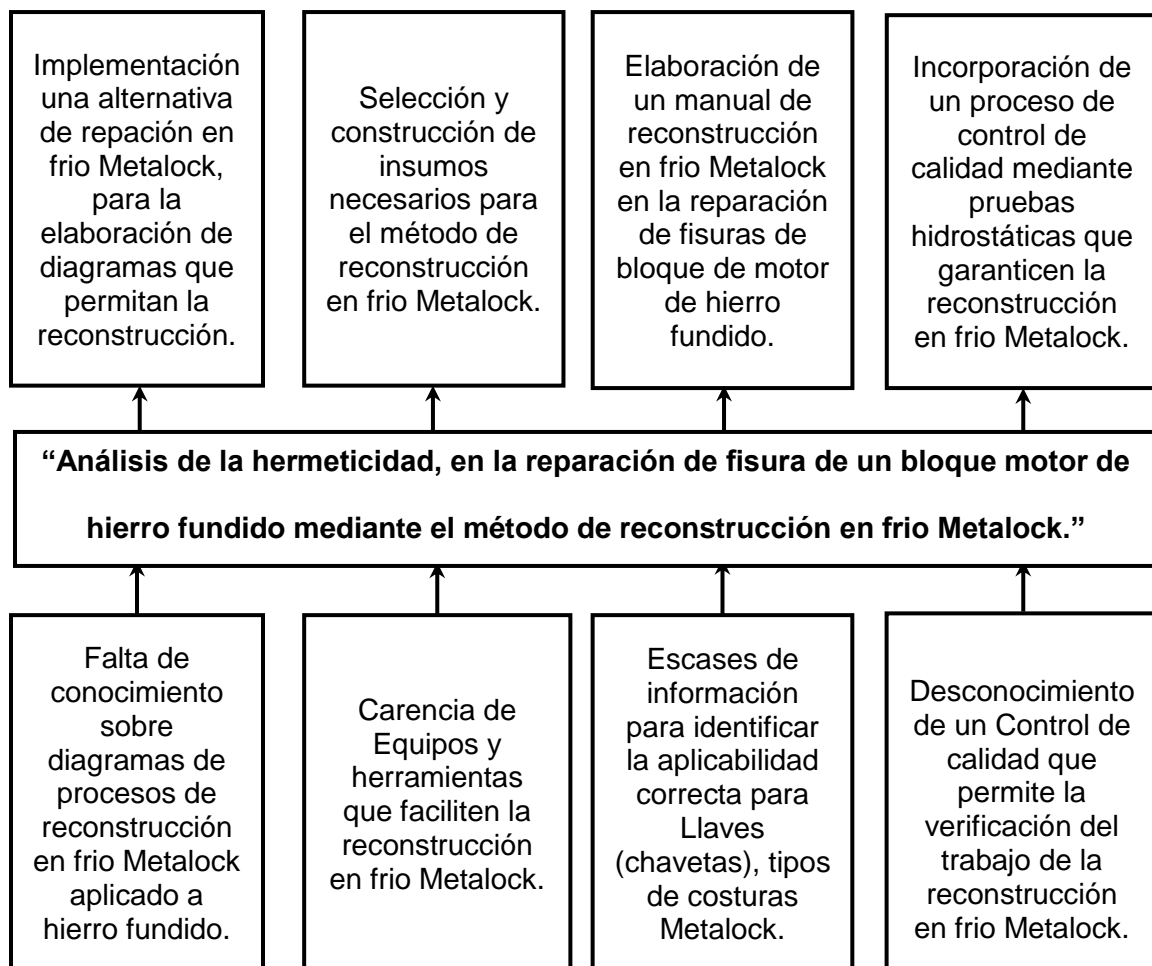
Otro aspecto importante es la escasez de herramientas que permitan realizar la reconstrucción en frío, lo que es notorio debido a su bajo índice de talleres o empresas especializadas en esta rama de restauración dentro del país. Lo que ocasiona la

desmotivación a las personas que intentan ingresar a este ámbito laboral o realizar temas de investigación. Además, de existir un desconocimiento sobre un proceso para la ejecución de este trabajo ya que no existe ninguna normativa técnica vigente en el Ecuador relacionada a una reparación en frío Metalock.

Al ser un método de reconstrucción no conocido, no existe información sobre un análisis de resultados que dé a conocer el porcentaje de confiabilidad que garantice la reparación en frío y su viabilidad en el ámbito laboral, de igual manera se desconoce las pruebas que se deben realizar una vez terminado el proceso de reconstrucción en frío para hierro fundido aplicado en bloques de motor, como se observa en la figura 1.

### Figura 1

*Cuadro de planteamiento de problema*





La incorporación de talleres especializados en reconstrucción en frío dentro del país ayudaría en varios aspectos como al ambiente, economía, emprendimiento y mayores fuentes de trabajo porque al incorporar un nuevo proceso de reconstrucción damos paso a una nueva oportunidad de funcionalidad a blocks de motores que pueden ser desechadas a causa de fisuras producto de la ardua labor que cumplen los automotores es por eso que debemos investigar nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia en procesos de manufactura.

### **Descripción resumida del proyecto**

La presente investigación del “Análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock” se consideró los siguientes aspectos:

- Se indagó información técnica, científica, confiable y relevante que fundamente el proceso de reconstrucción en frío Metalock aplicado a un bloque motor en hierro fundido.
- Se inspeccionó catálogos, revistas científicas y manuales de reparación de fisura en frío con la técnica Metalock para la elaboración un protocolo de aplicabilidad de reconstrucción.
- Se experimentó diferentes técnicas de reparación de fisuras de un bloque motor de hierro fundido por el método de reconstrucción en frío Metalock en el campo experimental.
- Se adquirió insumos y herramientas necesarias para la reparación de fisuras mediante la reconstrucción en frío por el método de Metalock.
- Se seleccionó un bloque motor de hierro fundido para la reparación de fisura mediante la técnica de reconstrucción en frío Metalock.

- Se sometió dicho bloque motor de hierro fundido reparado a pruebas de hermeticidad a diferentes temperaturas el fluido.
- Se aplicó encuestas a expertos en el área de la reconstrucción en frío Metalock.
- Se calculó la confiabilidad para garantizar la reparación de la fisura de un bloque motor de hierro fundido mediante la técnica Metalock.
- Se implementó un control de calidad para garantizar y brindar una mejor confiabilidad en la reparación mediante el método de la reconstrucción en frío Metalock.

### **Justificación e importancia**

El propósito del análisis de la reparación de fisura de un bloque motor de hierro fundido mediante el proceso de reconstrucción a frío Metalock, tiene la finalidad de restaurar y determinar el porcentaje de confiabilidad que garantice al aplicar la reconstrucción en frío, además de ser una técnica novedosa e innovadora se elaboró un protocolo técnico para la reparación en frío Metalock, ya que consta una gran variedad de aplicaciones para la reparación de máquinas de gran tamaño, no solo por su costo elevado por recambio, sino que el trabajo puede ser realizado en lugar de operación ahorrando tiempo de desmontaje lo cual ayuda a incorporarse rápidamente a las operaciones para la cual fue diseñada disminuyendo las pérdidas por producción.

También, la reconstrucción en frío Metalock mantiene las superficies originales, pero con grandes propiedades físicas como:

- Amortigua y absorbe los esfuerzos de compresión y tracción.
- Distribuye la carga lejos del punto de fatiga.
- Reduce los valores de tensión internos al mínimo, siendo o no las causas de la fractura.
- Proporciona un coeficiente de expansión térmica lineal y bajo del metal reparado.

- Al ser reparada completamente frío es decir a temperatura de transformación de fase del metal no requiere la aplicación de calor por lo cual no se introducirá nuevas tensiones.

Manteniendo así las propiedades del material, además de brindar una segunda oportunidad a las piezas de hierro fundido que aportan al cuidado del medio ambiente al reducir la producción de desechos sólidos a causa de las autopartes Automotrices. Este proyecto puede incorporar un nuevo método de reconstrucción al mercado ecuatoriano que muchas personas desconocen y producir la iniciativa para nuevas investigaciones.

Así mismo, se dará a conocer los insumos y herramientas necesarias para la reparación en frío como son chavetas (seguros), pernos y matriz de taladrado metalock que permitirá crear un proceso de manufactura relacionado al tema porque este tipo de refracciones ofrecen una mayor vida útil los que otros tipos de suelda convencionales.

Se incorporará un control de calidad para comprobar la reparación y garantizar un trabajo de calidad.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo general***

Analizar la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque de motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock

### ***Objetivos específicos***

- Investigar información técnica y teórica relevante que aporten un alto grado de contenido científico a la investigación.
- Elaborar un diagrama de proceso que permite realizar una reparación en frío en un lapso corto de tiempo y con gran eficiencia.
- Proponer un método de trabajo que ayude a optimizar recursos, mejorar la calidad y reducir pérdidas económicas.

- Realizar pruebas de hermeticidad a diferentes grados de temperatura y presiones de líquido refrigerante para la observación de la hermeticidad.
- Determinar la confiabilidad de la reconstrucción en frío Metalock, aplicando el método de Weibull para garantizar la reparación.

### **Metas**

- Se analizará la bibliografía recolectada para el desarrollo de la investigación, ordenándose por prioridades.
- Se realizará visitas de campo para conocer el procedimiento e insumos necesarios para la reconstrucción en frío Metalock.
- Se seleccionará los insumos metalock como son chavetas, pernos y matriz de perforación que permita aplicar el método de reconstrucción en frío.
- Se elabora un informe técnico detallado con los resultados obtenidos en la investigación.
- Se implantará un área de control de calidad para garantizar la confiabilidad del proceso Metalock aplicado en un bloque motor de hierro fundido.

### **Hipótesis**

¿El método de reconstrucción en frío Metalock garantizará más del 70% de confiabilidad a condiciones de temperatura de operación de un bloque de motor de hierro fundido?

### **Variables de instigación**

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

### ***Variable Independiente***

Método de reconstrucción en frío Metalock

Tabla 1

Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Método de reconstrucción en frío Metalock	Pernos	Resistencia tensión	MPa	Investigación	Bibliografía técnica específica.
		Resistencia compresión	MPa		
		Modulo elástico	GPa	Ensayos	Pruebas hidrostáticas y líquidos penetrantes
		Dureza	HB		
	Llaves o cerraduras	Dimensiones	mm	Investigación	Bibliografía técnica específica.
		Resistencia tensión	MPa		
		Resistencia compresión	MPa	Ensayos	Pruebas hidrostáticas y líquidos penetrantes
		Composición estructural	%		
	Matriz de perforación	Dimensiones	mm	Investigación	Bibliografía técnica específica.
		Composición estructural	%		
	Hierro fundido	Composición estructural	%	Investigación Cálculos Ensayos	Bibliografía técnica específica.
		Dimensiones	mm		
		Resistencia tensión	MPa		Ecuaciones
		Resistencia compresión	MPa		Pruebas hidrostáticas y líquidos penetrantes
	Pegamentos Adhesivos	Composición Química	%	Ensayos	Pruebas hidrostáticas y líquidos penetrantes
		Cantidad	gr		

### **Variables Dependientes.**

Confiabilidad de la hermeticidad de piezas en hierro fundido a ser reparada.

**Tabla 2**

*Variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Confiabilidad en la hermeticidad de piezas en hierro fundido	Cálculo de confiabilidad	Economía	\$	Cálculos	Ecuaciones
		Ambiental	ppm	Desarrollo tecnológico	Cuadros comparativos
		Tecnológica	I+D		
	Recursos humanos	I+D	Tablas estadísticas	Visitas técnicas	
	Control de calidad	Efectividad hidrostática	%	Pruebas hidrostáticas	Banco de pruebas hidrostática

### **Metodología del desarrollo del proyecto**

El presente trabajo de investigación se aplicó las siguientes metodologías de investigación como se observa en la figura 2.

**Figura 2**

*Cuadro de métodos de investigación*



*Nota.* En la figura 2, se presenta los métodos de investigación que se aplicara a la investigación.

**Método bibliográfico**

Mediante el método bibliográfico se pretende realizar una amplia investigación bibliográfica por medio de libros, tesis, artículos, investigaciones previas, etc., que conlleve a la reparación de fisuras de bloques de motor de hierro fundido en reconstrucción en frío Metalock, para determinar un proceso más adecuado.

**Método exploratorio**

El método exploratorio consiste en indagar un procedimiento adecuado con el fin de optimizar el tiempo de reparación de fisura mediante el proceso Metalock para una mejor eficiencia.

**Método descriptivo**

Este método se basará en tomar datos y registrar, mediante el análisis del comportamiento de la costura mecánica mediante la reconstrucción en frío Metalock de una fisura de un bloque de motor de hierro fundido.

**Método experimental**

Este método contribuirá a la ejecución del proceso de reconstrucción en frío Metalock utilizando herramientas y equipos necesarios para la reparación de fisura de bloques de motor de hierro fundido.

**Método por criterio de expertos**

Este método permitirá realizar encuestas a técnicos especializados en el arte de la reconstrucción en frío Metalock, con la finalidad de obtener información que aporte con la investigación.

Tabla 3

*Metodología de investigación*

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Bibliográfico	Mediante el método bibliográfico se pretende realizar una amplia investigación bibliográfica, que conlleve a la reparación de fisuras de bloques de motor de hierro fundido en la reconstrucción en frío Metalock, para determinar un proceso más adecuado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bases digitales</li> <li>• Textos/libros</li> <li>• Artículos relacionados</li> <li>• Tesis</li> </ul>
Exploratorio	El método exploratorio consiste en indagar un procedimiento adecuado con el fin de optimizar el tiempo de reparación de fisura mediante el proceso Metalock para una mejor eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso Metalock</li> <li>• Reconstrucción en frío</li> <li>• Bloque de motor de hierro fundido</li> </ul>
Descriptivo	Este método se basará en tomar datos y registrar, mediante el análisis del comportamiento de la costura mecánica mediante la reconstrucción en frío Metalock de una fisura de un bloque de motor de hierro fundido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de materiales.</li> <li>• Proceso Metalock.</li> <li>• Reconstrucción en frío.</li> <li>• Costura mecánica.</li> <li>• Bloque de motor de hierro fundido.</li> </ul>
Experimental	Este método contribuirá a la ejecución del proceso de reconstrucción en frío Metalock utilizando herramientas y equipos necesarios para la reparación de fisura de bloques de motor de hierro fundido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso Metalock</li> <li>• Reconstrucción en frío</li> <li>• Matrices de perforaciones y chavetas</li> </ul>
Consulta de expertos	Este método permitirá realizar encuestas a técnicos especializados en el arte de la reconstrucción en frío Metalock, con la finalidad de obtener información que aporte con la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma de datos.</li> <li>• Confiabilidad.</li> <li>• Costos de operación.</li> <li>• Evaluar parámetros.</li> </ul>



## Capítulo II

### Metodología y procesos de reconstrucción en frío

#### El principio de la reconstrucción en frío Metalock

El proceso de reconstrucción en frío aplicando en hierro fundido con tornillos especialmente diseñados tiene su origen en Texas, Estados Unidos en sus campos petrolíferos en el año 1930. Al estar en auge por nuevos hallazgos de petróleo la empresa utilizó un gran número de equipos mecánicos, por tal razón la demanda de servicio y reparación de equipos creció enfocándose en un método de reconstrucción que cumpla dos requisitos, la primera consistía en no usar una llama de calor y la segunda que garantice una seguridad contra incendios. Es así que nace el proceso de reconstrucción en frío Metalock creado por tres personas LB Scott, Fred Lewis y Earl Reynolds aplicando un proceso en donde las grietas u otras fallas se las reparaba mediante perforaciones de orificios a lo largo de las grietas conocidas como dentaduras engrandas a mano, conocidas hoy en la actualidad como cerraduras y llaves.

En 1937, LB Scott obtiene las patentes tanto de la técnica como de los materiales utilizados, por lo que crea una franquicia con el nombre de Metalock Corporation. Culminando y pasando a ser gratuitas en 1953, además en este año se crea la MIA (Asociación Internacional Metalock), como se muestra en la figura 3.

Finalmente, en los años 1980 y 1990 se desarrolla un método basado en los mismos principios de llaves y puntadas que consiste en utilizar tornillos diseñados conocidos como pasadores de bloqueo o costura, este método utiliza cerraduras martilladas en la zona de los orificios. Los pasadores de bloqueo constan de roscas y cabezas de tornillos diseñados para una fuerza de tracción cuando se los ajusta en lugar correspondiente.

**Figura 3**

*Logotipo de la Asociación Internacional Metalock (MIA)*



*Nota.* En la figura 3, muestra el primer logotipo de la Asociación Internacional de Metalock que se encuentra conformado por varios países del mundo. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

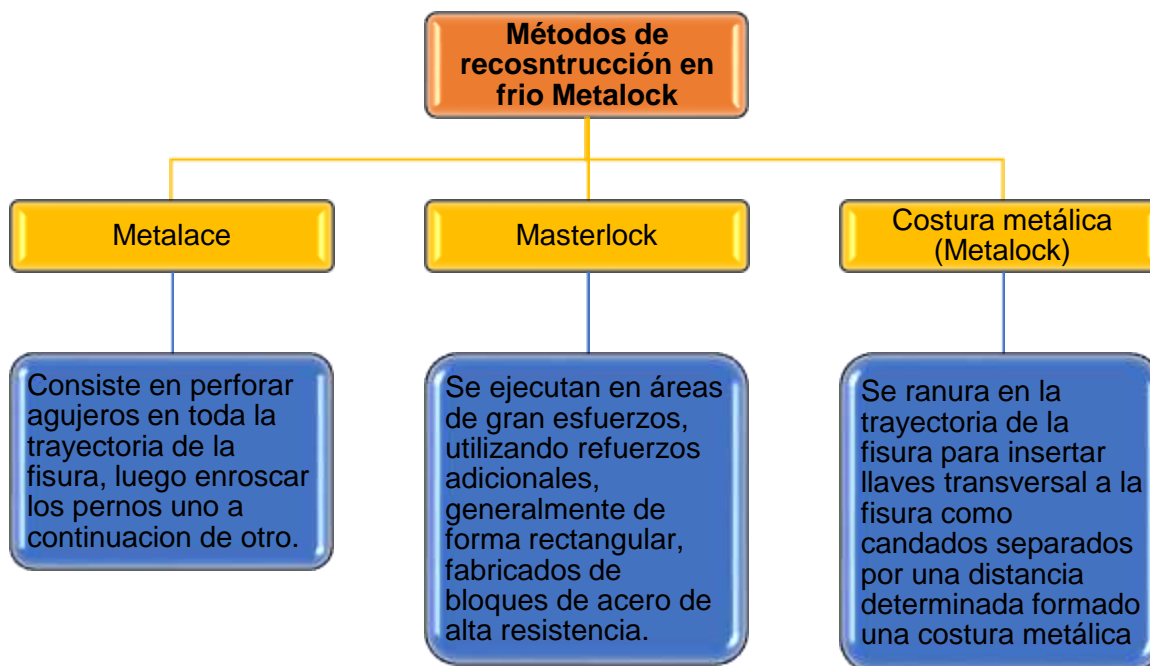
En la actualidad la empresa MIA constituyen un método simple pero efectivo de reparación de grietas en metales de fundición, sin necesidad de soldaduras repartidos por todo el mundo aproximadamente con 70 miembros.

**Clasificación de métodos de la reconstrucción en frío Metalock**

El método de reconstrucción en frío Metalock posee de una gran variedad de aplicaciones para la reparación de maquinarias fisuradas, rajadas o debilitadas en el área industrial y automotriz en materiales como hierro fundido, acero fundido y aluminio, a causa de una mala conducción o recalentamiento del motor de combustión interna a continuación, se puede visualizar en la figura 4 la clasificación de los métodos de reconstrucción en frío Metalock.

**Figura 4**

*Clasificación de los métodos de reconstrucción en frío*



*Nota.* En la figura 4, muestra la clasificación de los métodos de reconstrucción en frío Metalock.

Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

### **Componentes para la reparación de fisuras**

Los insumos para la reconstrucción en frío Metalock para la reparación de elementos de máquinas fisuradas, rajadas o debilitadas, se requiere insumos como: matriz de perforación, pernos metalock con aleación de hierro- níquel y llaves metalock. A continuación, se describe cada uno de ellos.

#### ***Pernos Metalock.***

Los pernos metalock también conocidos como pernos pasadores de bloqueo que poseen rosca y cabeza, son diseñados para permitir una fuerza de tracción cuando se lo ajusta en su lugar específico. La colocación de los pernos metalock en forma de solape conforman una costura metálica. La función que cumplen es rellenar el calce de la fisura mediante tornillos

asegurando la propagación de la fisura. Existen dos tipos de pernos los de costura de la serie C y costura de la serie L.

**Pernos de bloqueo serie C.** Conocidos con el nombre de Castmaster, su material de fabricación sonde aleaciones especiales, por lo tanto, son adecuado para reparar la mayoría de los metales (Eurs, 2013).

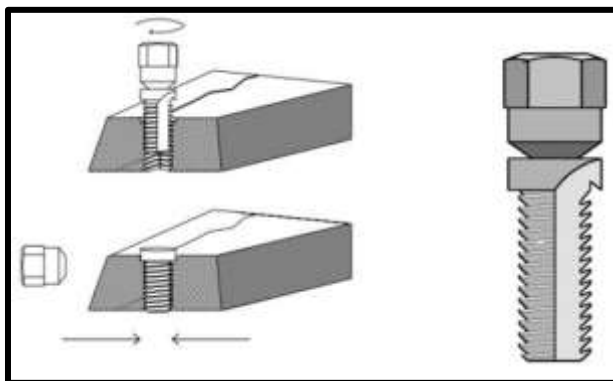
El perno se lo obtiene por fabricación CNC y presenta una funcionalidad práctica, al apretar un tornillo Castmaster en una grieta donde se ha realizado un orificio roscado y avellanado, la cabeza del tornillo se rompe y deja solo una pequeña parte del tornillo visible por encima de la grieta.

La cabeza del tornillo se rompe en un momento determinado de la fuerza, creando una fuerza de tracción hacia el centro de la fisura, debido a la forma de roscas y la superficie de contacto de la parte restante de la cabeza del tornillo (Eurs, 2013).

Los pasadores Castmaster se los instala de una manera superpuesta hasta haber eliminado toda la grieta y sea reemplazado por pasadores de costuras interconectados, como se muestra en la figura 5.

### Figura 5

*Pernos de bloqueo serie C*



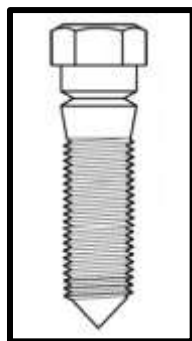
*Nota.* En la figura 5, indica el diseño del perno de bloqueo serie C llamado Castmaster, presenta una aplicación sencilla y efectiva para rellenar fisuras de hierro fundido. Tomado de (Eurs, 2013).

**Pernos de bloqueo serie L.** Los pernos tipo L son utilizados para casos de reparación se necesite extender un lugar de tirar, cuando las series L se colocan el orificio perforado y se aprietan en su lugar ejercen una fuerza de extensión en la grieta. Al igual que con los pasadores C, la ranura de freno hace que la cabeza del tornillo se rompa siempre con el mismo par de apriete (Eurs, 2013).

Además, los pernos L es posible instar los pasadores de costura en un sistema de superposición, es decir que se pueden utilizar si el ángulo de instalación supera los 20 grados, como se muestra en la figura 6.

### Figura 6

*Pernos de bloqueo serie L*



*Nota.* En la figura 6, indica la forma y diseño del pasador serie L, donde su característica principal es su instalación en superficies mayores de 20 grados. Tomado de (Eurs, 2013).

**Otro tipo de pernos, tornillos.** Los pernos, tornillos poseen una diversidad de formas, dimensiones y roscas cumpliendo con las normas ISO ayudando a clasificar los tamaños de tornillos roscados en unidad de medidas métrica (milímetro), además existe la norma ANSI que proporciona unidades comunes en Estados Unidos (pulgadas).

Para la reconstrucción en frío Metalock se puede aplicar pernos con características similares a los pernos metalock que garanticen su reparación en la reconstrucción de un bloque motor de hierro fundido, por la viabilidad que existe en el mercado, para la formación de la

costura metálica en toda la trayectoria de la fisura. Tomando en cuenta el material de fabricación para el comportamiento de las cargas de funcionalidad mediante la curva de esfuerzo – deformación.

El tamaño del perno seleccionado para la reconstrucción en frío metalock se determinó acorde al espesor de las paredes o cámaras internas de refrigeración del bloque motor de hierro fundido, puesto que es difícil determinar el espesor donde no superan los 10mm de espesor como se indica en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Tamaño del perno seleccionado*

Denominación	Tamaño del perno		Espesor de paredes de refrigeración		Tamaño de broca de perforación	
	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.
4	6.35	¼	8	1/4	5.50	13/64
3	4.76	3/16	6	3/16	4.00	5/32
2	3.97	5/32	5	5/32	3.30	1/8
1	3.18	1/8	4	5/32	2.70	3/32

*Nota.* En la tabla 4 se representa el tamaño y profundidad de perforación dependiendo del espesor de las paredes del bloque motor de hierro fundido. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

Los tornillos poseen un gran variedad y configuración a relación con los pernos como se observa en la figura 7, esto depende de la funcionalidad que se diseñado. La mayoría de sujetadores se fabrican en frío, algunos son maquinados pero su costo es elevado por el proceso de maquinado al fabricar la rosca.

## Figura 7

*Tipos de estilo de cabeza disponibles en tornillos y pernos*



*Nota.* En la figura 7, representa la variedad de configuraciones de cabezas de pernos y tornillos dependiendo de su funcionalidad. Tomado de *Fundamentos de manufactura moderna* (p.766), por M.P. Groover, 2014, McGraw-Hill Interamericana.

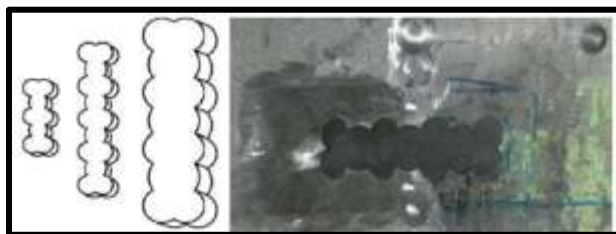
## Llave Metalock.

Las llaves metalock, candados o cerraduras como se puede observar en la figura 8, emplea una resistencia y estabilización a través de la grieta y para prevenir cualquier expansión de la grieta, ya que garantizan la reconstrucción para su recuperación de su resistencia original a la tracción, el procedimiento de calce es de forma transversal a la superficie de la fisura formando un conjunto hembra y macho.

Para aplicar la llave metalock se toma en cuenta la profundidad del 80% del material a reparar, las llaves metalock no unirán la grieta, pero evitan que se expanda cuando se aplica presión y fuerza al sitio reparado.

## Figura 8

*Llave metalock LnS*



*Nota.* En la figura 8, indica la forma, tamaño y diseño de la llave metalock LnS, Tomado de (Eurs, 2013).

Para seleccionar el tamaño de la llave metalock se debe tener en cuenta el espesor de las paredes o cámaras de refrigeración del bloque motor, como se indica en la tabla 5 detallando su denominación, tamaño, profundidad y fuerza que soporta la llave.

**Tabla 5**

*Tamaño de llave metalock*

Denominación	Tamaño de la llave metalock		Profundidad de llave		Fuerza de llave		Espesor de paredes de refrigeración	
	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	Kg.	Ton.	mm.	Pulg.
5	8	5/16	6.5	1/4	2900	2.85	8	1/4
			5.5	3/16	2500	2.46	6	1/4
4	6.75	1/4	6.5	1/4	2400	2.36	8	1/4
			4.76	5/32	1800	1.77	6	3/16
3	5	3/16	4.8	5/32	1440	1.42	6	3/16
2	4	1/8	4	1/8	950	0.93	5	5/32
1	3.2	3/32	3.2	3/32	600	0.59	4	5/32

*Nota.* En la tabla 5 se representa el diámetro y profundidad de perforación dependiendo del espesor de las paredes del bloque motor de hierro fundido. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

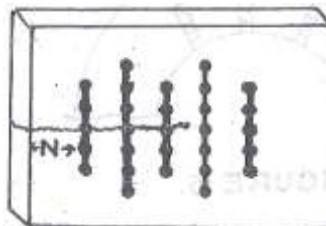
Las aperturas de las llaves metalock depende de la disposición de la trayectoria de la fisura en la superficie del bloque motor de hierro fundido para su colocación. A continuación, se muestra las más utilizadas en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Apertura de llaves metalock*

### Aperturas de llaves metalock

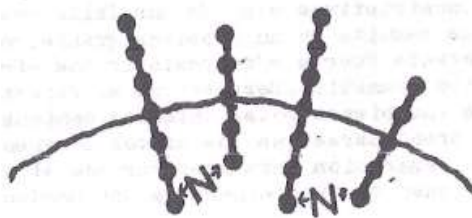
En fisuras de trayectoria recta el espaciado queda hacia el borde, desde el punto central.



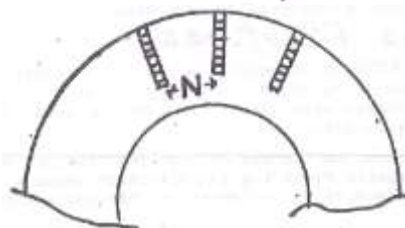


### Aperturas de llaves metalock

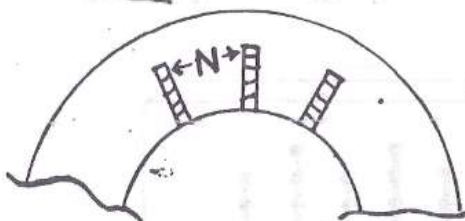
Cuando exista fisura curvada las medidas serán tomadas del punto más cerca al final de las aperturas



En superficies convexas las aperturas serán espaciadas para dar las dimensiones propias al fondo de la apertura.



En superficies cóncavas las aperturas serán espaciadas para las dimensiones propias a la base de apertura.



*Nota.* En la tabla 6 se muestra la apertura de las llaves Metalock según la disposición de la fisura. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

La distancia de espaciado mínimo que debe tener las llaves metalock en la trayectoria de la fisura se visualiza en la tabla 7, una regla general es la colocación de una llave metalock fuera de la trayectoria en los dos sentidos (inicio y final), permitiendo garantizar que no exista la prolongación de la fisura. La eficiencia de la reconstrucción en frío Metalock depende de la colocación de los insumos de reparación correctamente.

**Tabla 7**

*Distancia de espaciado de llaves metalock*

Resistencia	Distancia de espaciado de llaves Metalock									
	Llave 5		Llave 4		Llave 3		Llave 2		Llave 1	
	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.
15 kg/mm <sup>2</sup>	30	3/16	25	1	20	3/4	15	5/8	12	1/2
20 kg/mm <sup>2</sup>	23	15/16	20	7/8	15	5/8	11	7/16	10	3/8
30 kg/mm <sup>2</sup>	15	5/8	13	1/2	10	3/8	8	5/16	6	3/16
40 kg/mm <sup>2</sup>	12	1/2	10	3/8	8	5/16	6	3/16	-	-
50 kg/mm <sup>2</sup>	10	3/8	8	5/16	6	3/16	-	-	-	-
55 kg/mm <sup>2</sup>	19	3/4	15	5/8	13	1/2	9	3/8	-	-

*Nota.* En la tabla 7 se representa la distancia de espaciado que debe tener las llaves Metalock en la trayectoria de la fisura Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

El largo de las llaves Metalock se emplea dependiendo de la fisura como se indica en la figura 9, para lo cual se emplea la tabla 8 para seleccionar el largo de las llaves metalock.

### Tabla 8

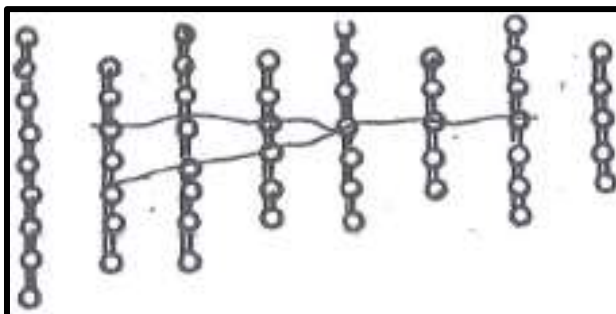
*Largo de las llaves metalock*

Descripción	Largo de llaves metalock
Trayectoria recta común, sujeto a grandes fuerzas de tracciones	3 y 5 puntos
Metales débiles por porosidad	7 y 9 puntos
Trayectoria recta común, con 2 fracturas en el punto central de la rajaduras	5 y 7 puntos

*Nota.* En la tabla 8 se representa el largo para las llaves metalock dependiendo de la descripción para su utilización. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

### Figura 9

*Largo de las llaves Metalock*



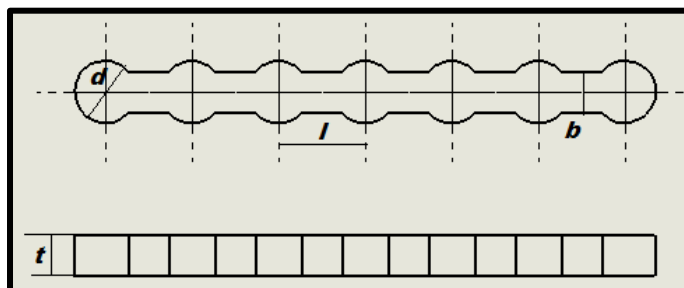
*Nota.* En la figura 9, representa el largo de la llave Metalock que se utiliza para la reconstrucción en frío Metalock. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

Las llaves metalock son diseñadas y fabricadas en función a las dimensiones de la fisura, esto se encuentra en función de la naturaleza, profundidad de la fisura, tamaño de los componentes y las tensiones involucradas.

Para el diseño y fabricación de las llaves metalock se sugiere tener en cuenta las dimensiones principales de las llaves metalock son el ancho del cuello (b), el espaciado (l), la brida (d) y el espesor (t) como se indica la figura 10.

### Figura 10

*Dimensiones de la llave metalock*



*Nota.* En la figura 10, representa las dimensiones de la llave metalock y como se encuentra distribuida sus medidas. Tomado de “*Manufacture on marine equipment special repair material-Metalock*” (p.3), por Z. Shen & Y. Wang & W. Song & L. Ji & L. Cai, 2019, IOP Publishing Ltd.

Según (Shen et al., 2020) el ancho del cuello es un parámetro básico, y su valor varía entre los 3 a 6 mm. Después de determinar el valor el valor de (b), las tres dimensiones restantes pueden determinarse empíricamente.

Por lo general:

$$\frac{d}{b} = 1.4 \sim 1.6 \quad (1)$$

$$\frac{l}{b} = 2 \sim 2.2 \quad (2)$$

$$\frac{t}{b} = 0.9 \sim 1.1 \quad (3)$$

El número de bridas de enlace de una llave Metalock común es cinco, siete, nueve, once y trece.

### **Matriz de perforación**

Son patrones de orificios que facilitan la perfección uno seguido de otro, su uso es perpendicular a la grieta o fisura a reparar como se indica en la figura 11. El material de la matriz de perforación es de acero K460, es un material adecuado para herramientas de corte (matrices y punzones).

### **Figura 11**

*Matriz de perforación*



*Nota.* En la figura 11, indica la forma y diseño de una matriz de perforación que posee dos ejes fijos que permitirán dar un apoyo a la matriz.

Para la selección de las matrices de perforación para la utilización, se determina a través de la selección del tamaño de la llave metalock y la broca de perforación del tamaño del perno a utilizar como se observa en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Tamaño de matrices de perforación*

Denominación	Tamaño matrices de perforación	
	mm.	Pulg.
5	8	5/16
4	6.75	1/4
3	5	13/64
2	4	1/8
1	3.2	3/32

*Nota.* En la tabla 9 se representa el tamaño de matrices más utilizadas para la guía de orificios para la perforación. Tomado de *la Revista de Metalock, 2019.*

### **Características del material - Hierro fundido gris**

También conocido como fundición gris es utilizada para la fabricación de elementos muy grandes gracias a su fluidez. En su composición el carbono se encuentra en forma de escamas o láminas de grafito, dando su color y propiedades.

La perlita y la discontinuidad estructural producida por hojuelas de grafito explica las propiedades que caracterizan al hierro fundido:

- Altos valores de resistencia a los esfuerzos de compresión.
- Baja resistencia al esfuerzo de tensión.
- Ductilidad muy baja lo cual lo hace quebradizo.
- Buenas maquinabilidad
- Excelente capacidad de amortiguamiento.

Es necesario recordar que las propiedades y la estructura depende de la composición química y las características de solidificación y enfriamiento de la pieza (Mamani Alanoca, 2018, p. 12).

### ***Propiedades y aplicaciones del hierro fundido***

El hierro fundido gris es utilizado en el ámbito automotriz en aplicaciones como bloques de motor, alojamientos de motores eléctricos, tubos y superficie de desgaste para máquina. Existen 3 formas de aleaciones estas son: El ferrítico, El perlítico y El martensítico cada uno con sus aplicaciones como se indica en la tabla 10.

Tabla 10

*Propiedades y aplicaciones del hierro fundido en elementos automotrices*

Hierro fundido	Tipo	Resistencia máxima tensión MPa	Resistencia fluencia (MPa)	Elongación en 50m (%)	Aplicaciones típicas
Gris	Ferrítico	170	140	0.4	Monobloques para motores, maquinas herramienta superficies de desgaste.
	Perlítico	275	240	0.4	
Dúctil (Nodular)	Martensítico	550	550	0	Cigüeñales, partes sujetas a fuertes tensiones
	Ferrítico	415	275	18	
	Perlítico	550	380	6	
Maleable	Ferrítico	365	240	18	Herrajes, accesorios de tubería, servicio de ingeniería. Equipo ferroviario, acoplamiento
	Perlítico	450	310	10	
Blanco	Martensítico Revenida	700	550	2	Equipo ferroviario, engranes, bielas Partes Resistencia al desgaste rodillos para laminado.
	Perlítico	275	275	0	

*Nota.* En la tabla 10 se indica el tipo de hierro fundido, con sus aplicaciones y su resistencia a tensión, fluencia y elongación. Tomado de (Mikell, 1997, p. 334)

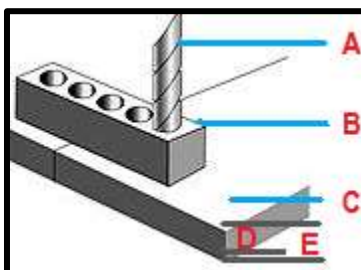
### Proceso de reparación en frío Metalock (MIA)

En esta investigación se trata del método Metalock enfocado a la reparación de las estructuras de hierro fundido en maquinarias. Dejando para otros estudios el comportamiento y procesos en acero fundido y aluminio, que hayan sufrido fisuras en el transcurso de su funcionamiento. A continuación, se describe el proceso según la MIA.

- Colocar la matriz de perforación (B) a través de la fisura transversal a la superficie (C), se perfora con el patrón de orificios con una broca (A) con el espacio e intervalos necesarios para colocar las llaves metalock en forma de candados hacia la fisura como se observa en la figura 12. Teniendo en cuenta que la profundidad de los orificios no supere el 80% (D) del material a reparar (E).

### Figura 12

*Uso de la matriz de perforación (B)*

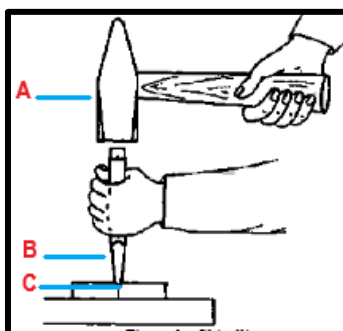


*Nota.* En la figura 12 se observa la perforación de orificios con una broca (B) haciendo uso de la matriz (A), de forma transversal a la fisura (C). Tomado de (*Procedimiento Metalock | TECSUMAGA, 2022*)

- Retirar la plantilla de perforación, las secciones sobrantes de material (C) entre orificios se eliminan utilizando un cincel neumático o mecánico (B) como se indica en la figura 13.

### Figura 13

*Uso del cincel eliminando sobrantes*

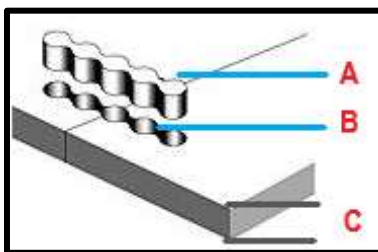


*Nota.* En la figura 13 se observa la forma correcta de retirar el material de las secciones sobrantes. Tomado de (*Procedimiento Metalock | TECSUMAGA, 2022*)

- Introducir el calce de las llaves metalock (A) como se presenta en la figura 14, hasta el tope de la perforación (B). El material utilizado para las llaves es de aleaciones especiales de níquel – cromo, permite soportar cargas de cizallamiento y suficientemente dúctil para proporcionar elasticidad necesaria en la reparación de la grieta. El número de llaves a introducir en la ranura depende del espesor (C) del bloque motor de hierro fundido.

### Figura 14

*Calce de llaves metalock*

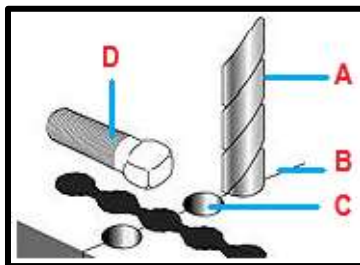


*Nota.* La figura 14 se puede observar el calce a ser introducido en el cuerpo fisurado. Tomado de (*Procedimiento Metalock | TECSUMAGA, 2022*).

- Perforar toda la trayectoria de la fisura (B) con una broca (A) de forma perpendicular y formación del roscado interno (C) para la fijación de los pernos metalock (D) como se indica la figura 15, con la finalidad de evitar fugas de líquidos, gases y detener el crecimiento de la fisura.

### Figura 15

*Perforación y formación de roscado interno (C)*



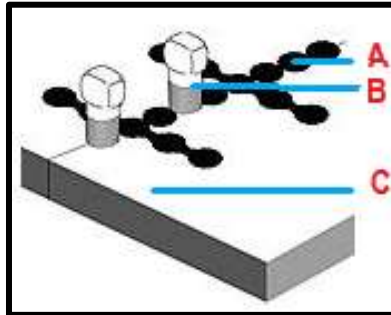
*Nota.* En la figura 15 se observa la forma de crear los orificios y roscas internas para pernos metalock. Tomado de (*Procedimiento Metalock | TECSUMAGA, 2022*).



- Fijar los pernos metalock (B) como se indica en la figura 16 en forma de solape una a continuación de otra (A), creando una costura metálica y hermética a presión, obteniendo una rigidez en el área a reparar (C).

### Figura 16

*Fijación de pernos metalock (B)*



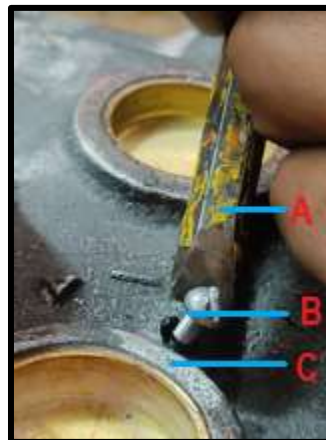
*Nota.* En la figura 16 se observa la fijación de los pernos metalock a lo largo de la fisura.

Tomado de (*Procedimiento Metalock | TECSUMAGA, 2022*).

- Cortar la parte sobrante del perno metalock (B) con un cincel (A) de la superficie del bloque motor de hierro fundido, como se observa en la figura 17.

### Figura 17

*Corte de perno sobrante (B)*

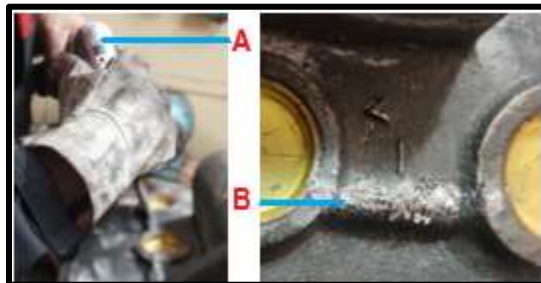


*Nota.* En la figura 17 se observa el corte del perno sobrante (B) del bloque motor de hierro fundido con un cincel (A).

- Después de la formación de la costura metálica (B) se compacta remachando con una pistola de impacto (A) para adherirse fijamente al metal de la pieza protegiendo la superficie original como se observa en la figura 18.

### Figura 18

*Compactación de costura metálica (B)*



*Nota.* En la figura 18 se observa la compactación a lo largo de la fisura (B).

- Finalmente se desarrolla un tratamiento de rectificación de acabado (B) para verificar la hermeticidad de la fisura reparada asegurando el rendimiento y presiones de esfuerzo como se indica en la figura 19.

### Figura 19

*Tratamiento de rectificación de la costura metálica (B)*



*Nota.* En la figura 19, se observa el tratamiento de rectificación a lo largo de trayectoria de la reparación por el método de reconstrucción en frío Metalock de la fisura.

### Ventajas del proceso Metalock

- Según la Asociación Internación Metalock afirma que, posee una capacidad de absorber y amortiguar los esfuerzos a compresión, además de brindar una excelente ductibilidad,

eliminación de tensiones internas y reduce la dureza en las zonas reparadas de culatas, bloques de motor y cilindros o cualquier pieza sometida a presión y temperatura.

- Según la MIA dice que el proceso Metalock distribuye las cargas de tensión evitando su concentración en el lugar de fatiga, manteniendo en estado de descanso la presión interna donde se encuentra la fisura, además que mantiene alineada la superficie original al no estar expuesta a la aplicación de calor para su reparación evitando distorsión en la pieza.
- Una ventaja muy importante es que la reparación se puede realizar en el sitio de operación lo cual produce un ahorro de tiempo y gastos económicos al no invertir en mano de obra para desmontar la pieza a reparar.
- Brinda una segunda oportunidad de operación a las piezas de hierro fundido la cual es muy difícil de hacerlo.
- Contribuye a la mitigación de la contaminación ambiental por causa de partes automotrices desechadas.

#### **Desventajas de proceso Metalock**

- El proceso de reconstrucción en frío, no es aplicable para todos los materiales.
- Existen delimitaciones geométricas que no se puede reconstruir.
- Información limitada sobre el proceso de reconstrucción en frío Metalock.
- Escasos talleres y técnicos especializados en ámbito de la reconstrucción en frío Metalock.

#### **Pruebas de ensayos de materiales**

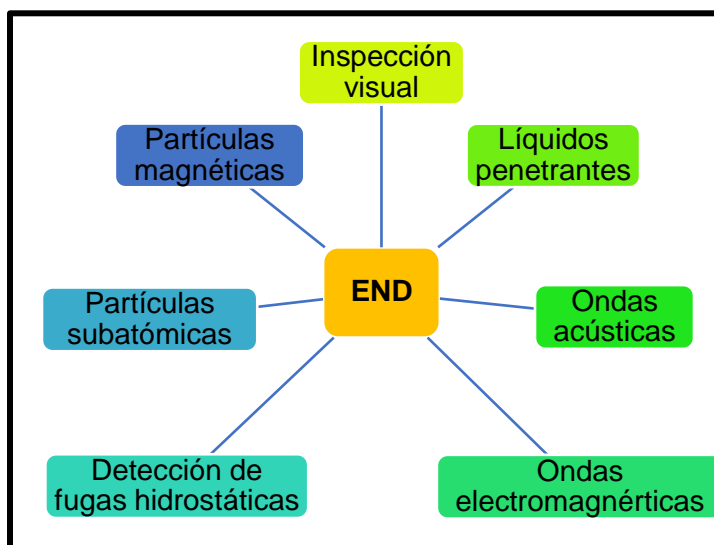
En la presente investigación se encuentra desarrollada por ensayos no destructivos que permiten comprobar la hermeticidad del área reconstruida y garantizar el método de reconstrucción en frío Metalock.

### **Ensayos no destructivos.**

Existen diferentes END a continuación, como se indica en la figura 20 se enumeran las más utilizadas.

#### **Figura 20**

*Cuadro de ensayos no destructivos*



*Nota.* La figura 20, representa los END más utilizados. Tomado de (Procedimiento Metallock / TECSUMAGA, 2022)

Para el análisis de la hermeticidad en la reparación de fisura de un bloque motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metallock, se utilizó inspección visual, líquidos penetrantes y detección de fugas hidrostáticas.

#### **Inspección visual.**

La inspección ocular de los materiales es el tipo de ensayo no destructivo más elemental. Se utiliza para ver fisuras, salpicaduras, manchas, grietas y cualquier otra enfermedad apreciable a primera vista o con ayuda de gafas y conjuntos de incremento como se muestra en la figura 21.

## Figura 21

### *Inspección visual*



*Nota.* En la figura 21, representa la END de inspección visual.

### ***Detección de fisuras por el método de hermeticidad.***

Las pruebas de hermeticidad o también conocidas como pruebas hidrostáticas se refiere a fugas de entra de líquido o gases presurizados en los sistemas evacuados destinados a contener estos líquidos como se indica en la figura 22, las pruebas de fugas incluyen procedimientos para las siguientes consideraciones (Morales Miranda, 2018, p. 26).

- Localización de fugas (detección y localización).
- Determinar de la tasa de fugas de una fuga o de un sistema.
- Visualización de fugas.

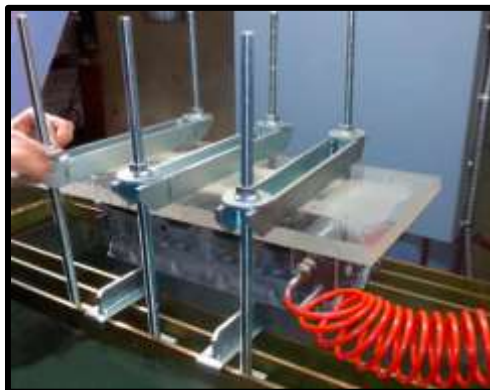
Requiere que un componente se llene completamente con un líquido, tal como agua. La sensibilidad normal para la inspección visual usando agua desionizada, por lo tanto, solo se puede revelar grandes discontinuidades con este método, la sensibilidad del ensayo puede mejorarse mediante la adición de:

- Líquido revelador de agua aplicado al exterior que cambia de color cuando entra en contacto con una fuga, sustituyendo el antiguo método de lavado con cal, que necesita mayor cantidad de filtración de agua para ser visible.
- Un concentrado que disminuye la tensión superficial del agua y proporciona un trazador visible o fluorescente.

La prueba hidrostática puede lograr la misma sensibilidad de una prueba de fugas de líquido penetrante en especímenes de gran volumen (Morales Miranda, 2018, p. 27).

## Figura 22

*Prueba hidrostática de hermeticidad*



*Nota.* En la figura 22, representa la prueba hidrostática de un bloque motor.

### **Líquidos penetrantes de fisuras.**

El control de fugas por líquidos penetrantes es un método no destructivo para determinar discontinuidades que están abiertas a la superficie de material sólido y no porosos. Por la acción de capilaridad, el penetrante puede introducirse en la grieta hasta  $0.1 \mu m$  ( $4 \mu pulg$ ) de anchura, existen dos tipos de líquidos utilizados para este control:

- Los penetrantes fluorescentes: Presenta una diversa sensibilidad, con fluorescencia bajo luz ultravioleta.
- Los penetrantes visibles: utiliza tintura por lo general el color rojo, que aparece como líneas brillantes en la superficie de trabajo.

Este método es utilizado para detectar defectos en la superficie y sus prestaciones son de fácil uso, portátil y bajo costo que pueden detectar defectos que se encuentren abiertos a la superficie o que son extremos (KALPAKJIAN & SCHMID, 2008, p. 1133).

En la figura 23, se puede apreciar un kit de líquidos penetrantes utilizados en el ámbito Metalock.

## Figura 23

### Kit de líquidos penetrantes



*Nota.* En la figura 23 se observa el kit de líquidos penetrantes Crack Finder de detección de fisuras.

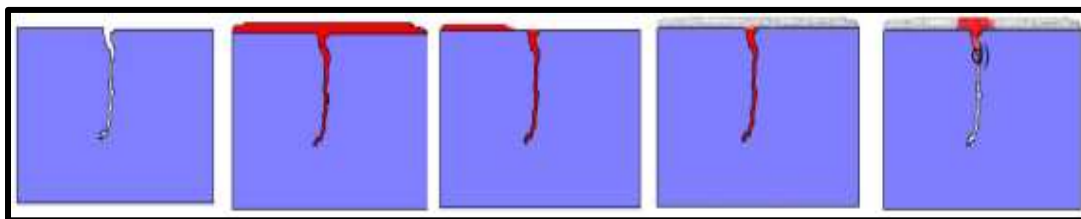
**Proceso del método por tinte penetrante.** Basándose en la Normativa NTE INEN-ISO 12706 y ASTM E 165 para ensayos no destructivos por medio de líquidos penetrantes el límite de temperatura de la superficie de la pieza y líquido penetrante debe tener un rango de 4° a 52° °C a continuación se detalla el procedimiento.

- *Limpieza inicial y secado:* es fundamental limpiar la zona de análisis libres de materiales e impurezas para su posterior secado.
- *Aplicación de líquido penetrante y tiempo de penetración:* cubre la superficie de análisis con líquido penetrante y dejar transcurrir un periodo de tiempo para filtrar capilaridades de la fisura.
- *Limpieza intermedia:* se limpia el líquido de la superficie con el agente limpiador.
- *Aplicación del líquido revelador:* se rocía en la ubicación de la fisura con una capa fina.
- *Inspección y evaluación:* se absorberá la tinta haciendo visible la trayectoria de la fisura.
- *Limpieza final:* normalmente los agentes químicos no son corrosivos, sin embargo, es necesario eliminar su sobrante para prevenir posteriores ataques.

En la figura 24 se observa el proceso de tintas penetrantes de una manera gráfica.

## Figura 24

### Proceso de tintas penetrantes



Nota. La figura 24 se muestra el proceso de tintura penetrante, tomada de (Morales Miranda, 2018, p. 28)

La aplicación del penetrante se debe realizar sobre toda la superficie a examinar de tal forma que toda el área este completamente cubierta de líquido penetrante. Según la norma ASTM E 165 recomienda un lapso de tiempo mínimo como se indica en la tabla 11.

**Tabla 11**

### Tiempos recomendados para el kit de líquidos de fisuras

Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de acción (min)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, magnesio, acero, latón-bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	Fundiciones y soldaduras	Sellado en fríos, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
Herramientas de puntas de carbono	Materiales producidos-extrusiones, forjados, platos	grietas (todas las formas)	10	10
		Falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico	Todas las formas	Grietas	5	10
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5	10
Cerámica	Todas las formas	Grietas, porosidad	5	10



*Nota.* Se represente en la tabla 11 los tiempos recomendados para kit de líquidos de fisuras, donde se escoge según el material, la forma y tipo de discontinuidad para conocer el tiempo de espera. Tomado de *la Norma ASTM E165*.

### **Antecedentes de una fisura de un bloque motor**

Para originar una fisura en el bloque motor de hierro fundido es a causa de los siguientes aspectos.

#### ***Sobrecalentamiento del motor***

Uno de los principales causantes de fisuras o agrietamientos del bloque motor es el sobrecalentamiento (A), debido al aumento excesivo de la temperatura donde las piezas que conforman el motor se expanden sobrepasando su umbral de tensión diseñado dando origen a las fisuras como se muestra en la figura 25.

### **Figura 25**

*Fisura por recalentamiento del motor*



*Nota.* En la figura 25 se representa una fisura provocada por recalentamiento en un bloque motor de hierro fundido.

### ***Mala fundición de origen***

Las causas de obtener una fisura o agrietamiento por fallas de fundición (A), comienzan por un mal proceso de moldeo en su fabricación al realizar un cambio inesperado en el molde puede provocar que la elaboración de las paredes sea más delgada de las esperadas, en relación con otras secciones del bloque motor como se puede apreciar en la figura 26.

### **Figura 26**

*Fisura por mala fundición de Origen*



*Nota.* En la figura 26 se observa una fisura (A) de origen de fabricación de un bloque motor de hierro fundido.

### ***Método de reconstrucción inapropiado***

La incorrecta aplicación de métodos de reparación para brindar soluciones a problemas de fisuras o agrietamientos juega un papel fundamental debido que si se aplica suelda por arco eléctrico el hierro fundido se expone a un cambio en su microestructura, ahora si el proceso de reconstrucción en frío es realizado por un técnico inexperto puede provocar que la fisura no sea sellada completamente como se indica en la figura 27.

### Figura 27

*Fisura por mala reconstrucción (A)*



*Nota.* En la figura 27 se representa un método inapropiado de la reconstrucción de un bloque motor de hierro fundido al ser aplicado suelda por arco eléctrico.

### **Cambio brusco de revoluciones**

La conducción del vehículo automotor es fundamental para evitar problemas de ruptura o fisuras del bloque motor (A), debido que si se excede el límite de revoluciones permitidas por el fabricante se corre el riesgo de provocar un desbielado del motor y como resultado de este fenómeno provoca la ruptura del brazo de biela y sus residuos son expulsados por las paredes del bloque motor como se indica en la figura 28.

### Figura 28

*Fisura por exceso de revoluciones (A)*



*Nota.* En la figura 28 se representa una fisura provocada por sobre revoluciones del motor dando como producto la ruptura del brazo de biela y pared del bloque motor de hierro fundido.

### **Método de criterio de expertos**

El método permite indagar a un grupo de expertos para validar la propuesta sustentándose en sus conocimientos, experiencia y nivel de estudios.

El orden establecido es el siguiente:

1. Establecer contacto con los expertos y solicitar que participen del proceso.
2. Entregar el cuestionario planteado y pedir que llenen a base de su experiencia.
3. Analizar las repuestas obtenidas e identificar los apartados que están de acuerdo o difieren.
4. Se repite el paso anterior hasta que se estabilicen las respuestas obtenidas.

De acuerdo a Escobar Pérez (2008), afirma que “el criterio de expertos es la opinión informada de personas que dominan el tema y son reconocidas por otros como expertos, brindando información, evidencia, juicios y valoraciones” (p.29).

Para seleccionar los técnicos que formaran parte del criterio de expertos, es una parte crítica en este proceso por lo cual Skjong y Wentworht (2000) propone los siguientes criterios de selección:

- a. Experiencia del tema a tratar.
- b. Reputación con la comunidad.
- c. Disponibilidad y motivación para practicar.
- d. Imparcialidad y cualidades que represente confianza en sí mismo.

### **Confiabilidad**

La confiabilidad de calidad es la implementación de programas, mecanismos, herramientas y técnicas en una empresa para la mejora de la calidad de sus productos, servicio y productividad. Es decir, una estrategia que garantice el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida. La curva de la confiabilidad es una gráfica de probabilidades de fallos en un tiempo determinado.

La calidad y garantía de una excelente reconstrucción en frío es controlada mediante pruebas de hermeticidad donde su principio es verificación de existencia de fugas del líquido refrigerante después de la reparación a diferentes grados de temperatura y a una presión constante de aire comprimido.

### **Herramientas de confiabilidad**

**Método de Weibull.** La distribución de Weibull nos permite conocer el ciclo de vida conformado por la zona de mortalidad infantil, vida útil y envejecimiento de un producto o máquina.

Su distribución posee tres parámetros estos son:

- $\gamma$ (Gama) → Parámetro de posición, su valor de difícil apreciación por lo cual se considera una probabilidad de fallas nulas.
- $\eta$ (Eta) → Parámetro de vida útil, su valor determina la vida útil de la máquina donde mayor sea su valor, mayor tiempo de vida tendrá.
- $\beta$ (Beta) → Parámetro de forma, indica los datos tabulados y determina la forma de la distribución, si beta es menor que 1 se denomina como mortalidad infantil, cuando es igual a 1 se la conoce como vida útil y si es mayor 1, como envejecimiento o desgaste.

Los parámetros de forma de  $\beta$ (Beta) se determina mediante la siguiente tabla 12.

**Tabla 12**

*Parámetros de forma de Beta*

Valor ( $\beta$ )	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente, cóncava
$\beta < 2$	Distribución de Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de falla creciente, se aproxima a la distribución normal; simétrica

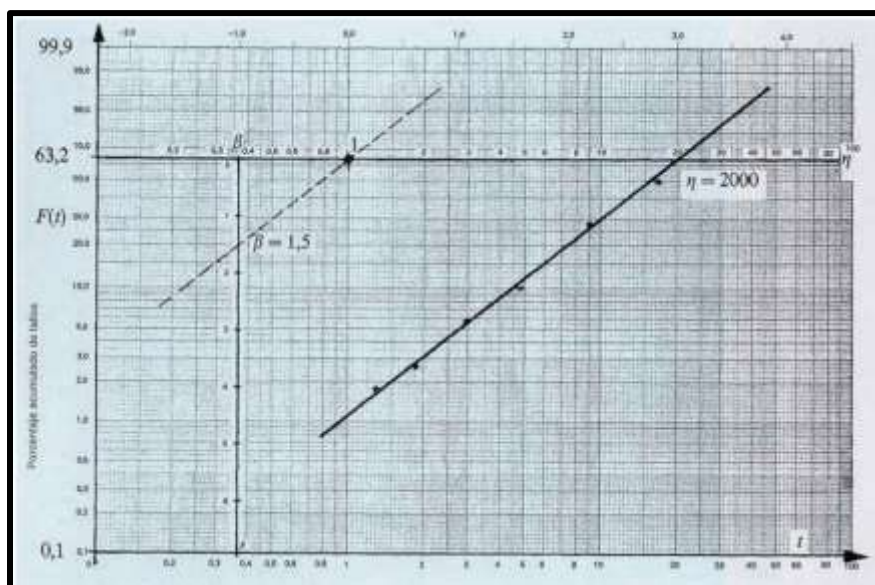
*Nota.* Se represente en la tabla 12 con los parámetros de forma de Beta para conocer su curva característica, Tomado del libro “*Mantenimiento planeación, ejecución y control pág. 143*”.

**Grafica de Weibull.** Para la gráfica de confiabilidad basándose en Weibull se tiene los siguientes parámetros como se indica en la figura 27.

- En el eje de ordenadas se tiene: doble logaritmo neperiano  $\ln \ln(1/(1 - F(t)))$ .
- En el eje de las abscisas, tenemos:  $\ln(t - t_0)$ .

### Figura 29

*Curva de función de confiabilidad*



*Nota.* En la figura 29, representa la curva de función de confiabilidad para tomar valores de  $\beta$  y  $n$ . Tomado de *Ingeniería y matemáticas aplicada*, 1994.

**Cálculo de confiabilidad.** La fórmula para el cálculo de la confiabilidad según en método de Weibull está dada por:

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

Donde:

$R(T)$  → La confiabilidad en función del tiempo.

$T$  → Tiempo en cualquier momento.

$\gamma \rightarrow$  Parametro de posicion igual a cero.

$\beta \rightarrow$  Parametro de forma.

$\eta \rightarrow$  Caracteristica de vida util, donde el 63,2% de los elementos con el mismo modo de falla hayan fallado.

Para obtener la ecuación de la recta se deduce de la siguiente manera:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$1/(1 - F(t)) = e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Aplicando logaritmos neperianos por dos veces:

$$\ln * \ln(1/(1 - F(t))) = \beta * \ln(t) - \beta * \ln(\eta)$$

Ahora aplicamos un cambio de variable tenemos que:

$$x = \ln(t) \rightarrow \text{Variable función de } t$$

$$y = \ln * \ln(1/(1 - F(t))) \rightarrow \text{Función de } t$$

$$B = -\beta * \ln(\eta) \rightarrow \text{Constante}$$

$$A = \beta \rightarrow \text{Coeficiente director}$$

Obteniendo como resultado la ecuación de la recta.

$$Y = AX + B \quad (2)$$

Para su interpretación se afirma que el valor de  $A = \beta$  y el valor que tome  $B = \alpha$ .

Para conocer los parámetros de  $\beta$  y  $\eta$  se puede aplicar la siguiente ecuación.

- Para determinar el valor de  $\beta$  y  $\alpha$  se puede aplicar las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\sum x^2 * \sum y - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (4)$$

- Ahora para determinar el valor de  $\eta$  se puede determinar aplicando la siguiente ecuación:

$$\eta = e^{\alpha/\beta} \quad (5)$$

Es el parámetro de escala y su valor viene dado por la intersección de la recta trazada con la línea paralela al eje de abscisas corresponde al 63,2%.

Se demuestra que para la ordenada  $t_0 = 0, F(t) = 63,2$ .

$$Y = AX + B$$

$$Y = \ln * \ln(1/(1 - F(t))) = 0$$

$$Y = \ln * \ln(1/(1 - F(t))) = 1; 1/(1 - F(t)) = e; 1 - F(t) = 1/e;$$

$$F(t) = 1 - \left(\frac{1}{e}\right) = 1 - \left(\frac{1}{2.7183}\right) = 1 - 0,3679$$

$$F(t) = 0,6321 \rightarrow 63,21\%$$

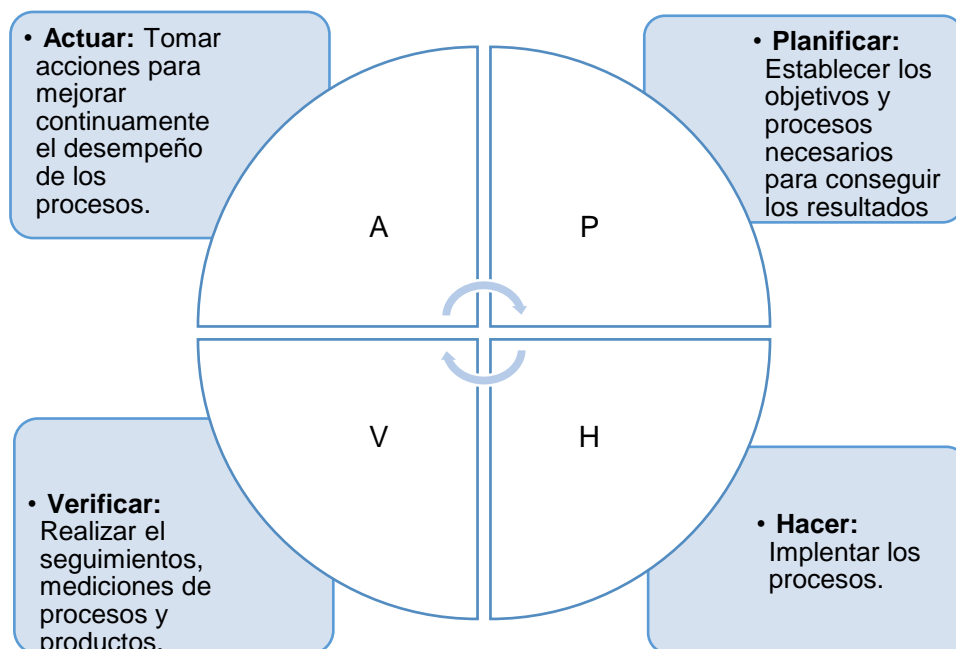
### Control de calidad PHVA

El ciclo Deming (PHVA) es un método aplicable para la gestión de la calidad, está conformado por cuatro principios que son: plantear, hacer, verificar y actuar. Este ciclo es una herramienta enfocada en soluciones de problemas y mejora continua como se indica en la figura 30.



**Figura 30**

*Ciclo Deming PHVA*



*Nota.* En la figura 30, representa el ciclo Deming PHVA aplicado a la reconstrucción en frío Metalock.

## Capítulo III

### Método de reconstrucción en frío y pruebas de hermeticidad

Actualmente el método de reconstrucción en frío Metalock es utilizado para la reparación de fisuras, rupturas de bloques de motor de hierro fundido, donde su material de fabricación puede ser el hierro fundido y aluminio, este método no provoca un cambio en su microestructura, debido que su proceso se lo realiza a temperatura ambiente.

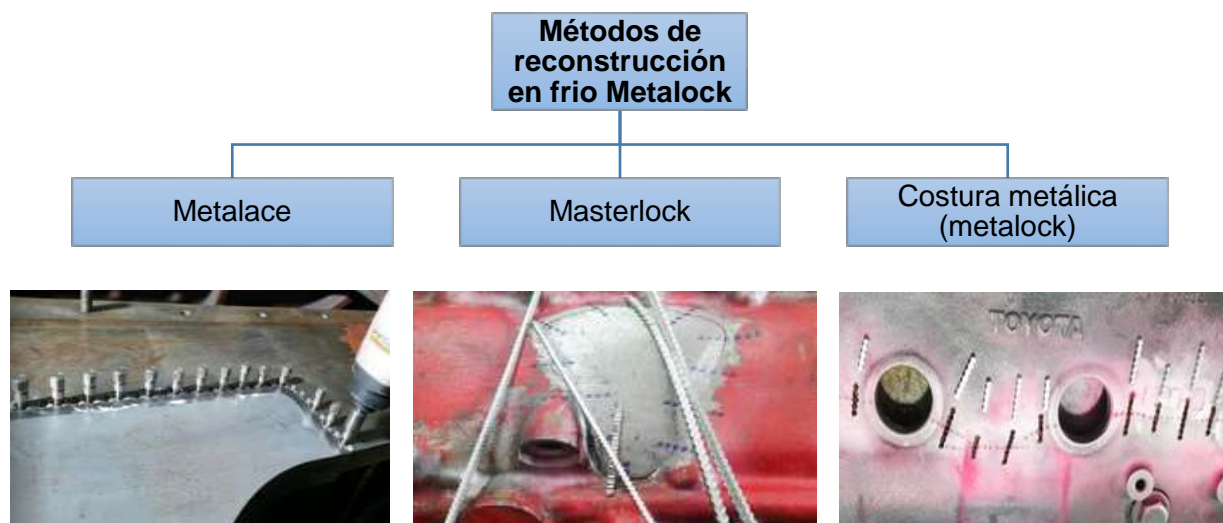
#### Reparación de fisuras de hierro fundido

Como se explicó en el capítulo anterior de nuestra investigación existen tres métodos de reconstrucción en frío Metalock que permiten la reparación de fisuras en un bloque de motor de

hierro fundido. A continuación, se puede visualizar en la figura 31 los métodos respectivos obtenidos por el método de investigación exploratorio.

### Figura 31

*Aplicación de los métodos de reconstrucción en frío Metalock*

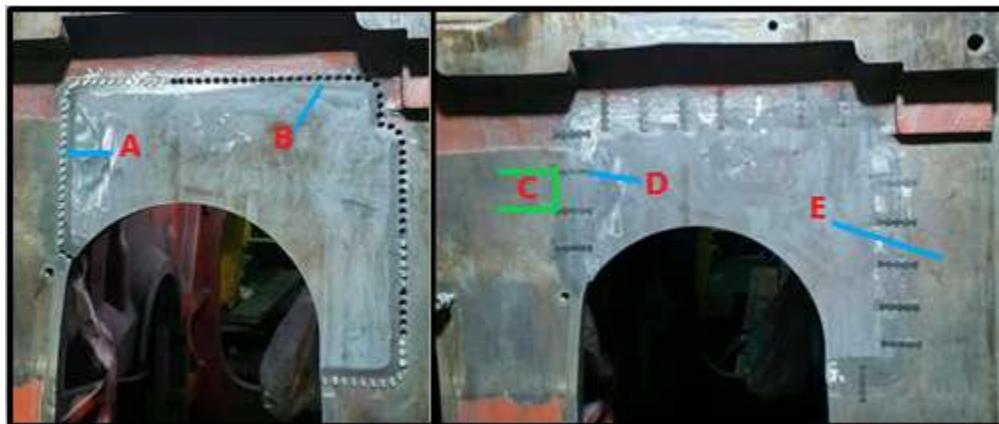


*Nota.* En la figura 31 se puede visualizar en el cuadro los métodos de reconstrucción en frío Metalock obtenidos por la investigación exploratoria.

El método de reconstrucción utilizado en la presente investigación es el método Metalock como se observa en la figura 32, que consiste en la colocación de pernos (A) sobre la fisura (B) y llaves metalock (D) de forma perpendicular a la trayectoria de la misma, separados por una distancia determinada (C) formando una costura metálica, finalmente remachándolas para adherirse fijamente al metal de la pieza reparada protegiendo la superficie original (E).

## Figura 32

### Costura metálica metalock



*Nota.* En la figura 32 se muestra la costura metálica utilizando el método Metalock en un bloque motor de hierro fundido.

### Requerimientos para la reconstrucción en frío Metalock

Para ejecución del método de reconstrucción en frío Metalock, se debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Presencia de fisuras, rajaduras, debilitamiento o rupturas en el bloque motor de hierro fundido.
- El bloque motor de hierro fundido debe estar libre de piezas y componentes que lo conforman.
- No debe haber sido expuesto a ningún otro método de reconstrucción el área fisurada.
- El bloque motor de hierro fundido debe encontrarse libre de lubricante y refrigerante en sus conductos internos.

### Bloque motor de hierro fundido (Área de ensayo)

Para el presente proyecto de investigación de titulación para la demostración del método de reconstrucción en frío Metalock se eligió un bloque motor de hierro fundido de la

marca Mazda serie NA, que posee una fisura en el lado izquierdo referente a un conducto de refrigeración como se indica en la figura 33.

### **Figura 33**

*Bloque motor de hierro fundido Mazda NA a reparar*



*Nota.* En la figura 33 se representa el bloque motor de hierro fundido en el cual se va a aplicar el método de reconstrucción en frío Metalock.

### **Insumos, equipos y herramientas**

Para la reparación de fisura de un bloque motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock se seleccionó los siguientes insumos.

#### ***Pernos a utilizar***

Para la reconstrucción en frío Metalock se puede aplicar pernos con características similares a los pernos metalock que garanticen la reparación, con la finalidad de formar una costura metálica en toda la trayectoria de la fisura de la superficie del bloque motor de hierro fundido.

El tamaño del perno seleccionado para la reconstrucción en frío Metalock se determinó acorde al espesor de las paredes o cámaras internas de refrigeración del bloque motor de hierro fundido. El espesor del bloque motor de hierro fundido tiene 6 mm de espesor como se muestra en la figura 34.

**Figura 34**

*Medición de espesor de un bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* En la figura 34 se representa la medición de la pared de refrigeración del bloque motor de hierro fundido de la marca Mazda serie NA.

Por ese motivo se aplicó la utilización de tornillos de material de acero de bajo carbono, tipo SAE GRADO 2, Norma ANSI/ASME B18.6.3. con una dimensión de 5/32", con un diseño de Allen cabeza cilíndrica, siendo las más utilizada y adecuada para la reparación de fisuras de bloques de motor de hierro fundido. Esto se determinó mediante la tabla 4 con sus respectivas especificaciones como se indica en la figura 35.

**Figura 35**

*Tornillo 5/32" Allen cabeza cilíndrica seleccionado*



*Nota.* En la figura 35 se representa el tornillo 5/32" con un diseño de Allen cabeza cilíndrica seleccionado de material ANSI/ASME B18.6.3.

### **Llave Metalock**

Las llaves Metalock se puede observar en la figura 36, son importantes como se explicó en el capítulo anterior, porque garantizan la recuperación de su resistencia original a la tracción.

Para lo cual se eligió una llave metalock con una denominación 3, esto se determinó mediante el espesor de la pared de refrigeración, que posee un tamaño de 5 mm (3/16"), profundidad de 4.8 mm (5/32) y una fuerza a la tracción de 1440 Kg (1.42 Ton) para más especificaciones revisar la tabla 5.

### **Figura 36**

*Llaves metalock de medida 3/16"*



*Nota.* En la figura 36, representa la llave metalock seleccionada para la reconstrucción en frío Metalock.

Las aperturas de las llaves metalock para la colocación se determinó por la trayectoria de la fisura en la superficie del bloque motor de hierro fundido (A), que es recta como se puede visualizar en la figura 37. Para lo cual el espaciado queda desde el punto central de la fisura hacia el borde, esto se determinó mediante la tabla 6.

### Figura 37

*Trayectoria de la fisura (A) del bloque motor de hierro fundido*

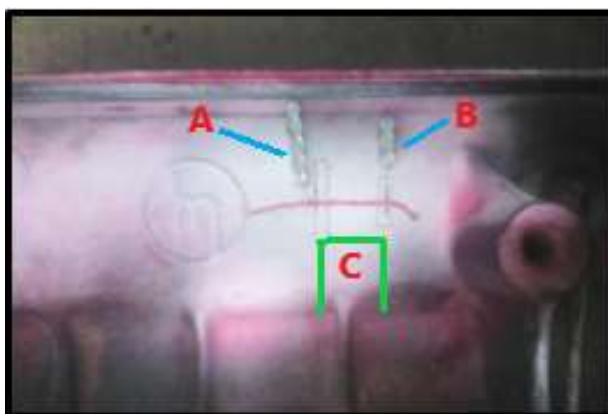


*Nota.* La figura representa la trayectoria recta de la fisura en la superficie del bloque motor de hierro fundido (A) de la Mazda serie NA.

La distancia de espaciado mínimo (C) de las llaves metalock que se debe dejar entre llaves metalock es de 20 mm (3/16") como se indica en la tabla 7 con sus respectivas especificaciones. Para el largo de las llaves metalock que se utilizo es de 3 (B) y 5 (A) puntos para el bloque motor de hierro fundido de la marca Mazda serie NA, como se indica en la figura 38. Esto se determinó en base al manual técnico de MIA especificado en el capítulo anterior.

### Figura 38

*Llaves metalock 3/16" de 3 y 5 puntos seleccionado*



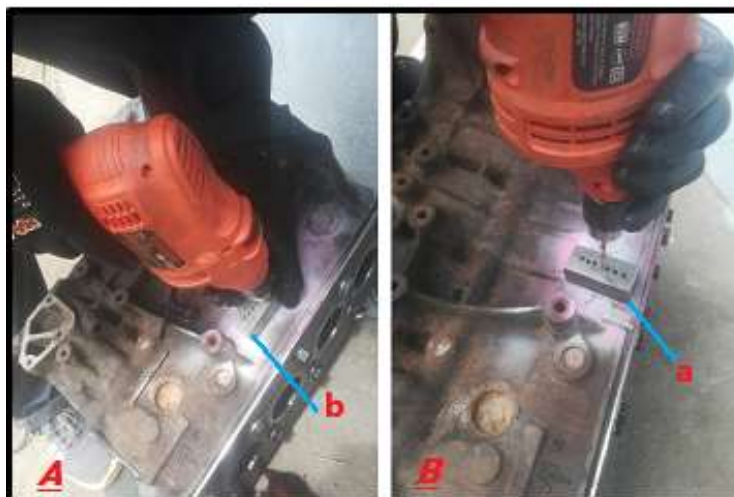
*Nota.* En la figura 38 se observa el espaciado, la cantidad de llaves a utilizar y la trayectoria de la fisura de la superficie del bloque motor de hierro fundido.

### **Matriz de perforación**

La selección de las matrices de perforación se determinó acorde a las llaves metalock y los pernos a utilizar, para ello se seleccionó mediante la tabla 8. Las matrices que se utilizó es la denominación 2 (1/8") para los orificios de los pernos (b) como se observa en la figura 39A y la denominación 3 (13/64") para los orificios de las llaves metalock (a) como se observa en la figura 39B.

### **Figura 39**

*Matrices de perforación seleccionado*



*Nota.* En la figura 39, representa la selección de matrices de perforación utilizadas para la perforación de orificios.

### **Diseño de Reconstrucción en frío Metalock**

Una vez seleccionado los insumos necesarios para la reparación de fisura del bloque motor de hierro fundido, se propone un método de reconstrucción en frío Metalock que consiste en tres fases:

- Fase I: *Detección de la fisura.*
  - Pruebas de hermeticidad. (antes y después de la reconstrucción)
  - Prueba de fisuras por líquidos penetrantes.



- Fase II: *Proceso de reconstrucción en frío.*

### **Fase I: Detección de la fisura**

Para el procedimiento de detección de fisuras se ejecutó por los ensayos no destructivos END para comprobar su ubicación, dimensión y trayectoria de la fisura que presenta el bloque motor Mazda serie NA de hierro fundido como probeta de ensayo para la reparación de reconstrucción en frío mediante el método Metalock.

Para iniciar se recomienda ejecutar una limpieza o lavado de pre-detección. La limpieza se enfoca en retirar impurezas del bloque motor para localizar la fisura rápidamente como se observa en la figura 40.

### **Figura 40**

*Limpieza de pre-detección del bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* Se visualiza en la figura 40 una limpieza antes de la ejecución de la reparación de fisura del bloque motor de hierro fundido.

**Prueba Hidrostática.** Se basa en la ejecución de la hermeticidad del bloque motor de hierro fundido aplicando presión máxima de 100 lbf a los conductos de refrigeración (d) que permanecen saturados por fluido líquido (refrigerante), utilizando planchas metálicas (a) y empaques (b) como se observa en la figura 41A, empernados (e) para la obstrucción del fluido hacia el ambiente. Mediante la prueba hidrostática se puede verificar diferentes aspectos como:

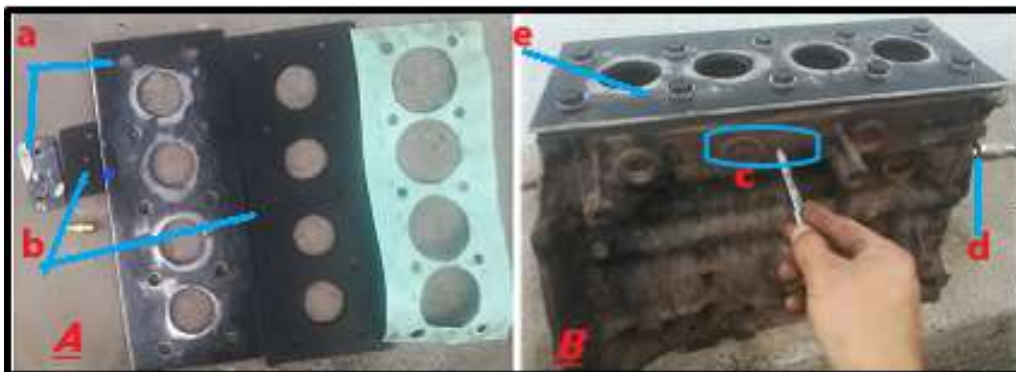
- Ubicación y localización la fisura.

- Diagnóstico del número de fisuras del bloque motor de hierro fundido.
- Determinación de la trayectoria de la fisura (c).

A continuación, se visualiza en la figura 41B la prueba hidrostática elaborado en el bloque motor de hierro fundido.

### Figura 41

*Prueba hidrostática del bloque motor de hierro fundido a reparar*



*Nota.* En la figura 41, representa la prueba hidrostática elaborado en el bloque motor de hierro fundido.

**Prueba de fisuras por Líquidos Penetrantes.** Aplicando la normativa NTE INEN-ISO 12706 y ASTM E 165 expuesta en el capítulo II se realiza el siguiente procedimiento para pruebas de fisuras por líquidos penetrantes en el bloque motor de hierro fundido.

Para la limpieza de del bloque motor de hierro fundido se aplica CRACK FINDER CLEANER parte 1 (A) como se indica en la figura 42, permite limpiar el área localizada de la posible fisura (B) dejando libre de contaminantes derivados del petróleo e impurezas del medio ambiente. Seguidamente se pulveriza con aire a presión para secar la superficie del bloque motor de hierro fundido.

**Figura 42***Aplicación de CLEANER parte 1*

*Nota.* En la figura 42, representa la aplicación de CLEANER para la limpieza de la pared del bloque motor de la posible fisura localizada.

Rosar el líquido CRACK FINDER DYE/PENETRANT parte 2 (A) como se indica en la figura 43, en la superficie expuesta en el paso anterior (B), esperar un lapso de tiempo de 5 a 10 minutos para que el líquido penetre en la posible fisura del bloque motor de hierro fundido para detectar. Posteriormente se limpia el líquido roseado de la superficie.

**Figura 43***Aplicación DYE PENETRANT parte 2*

*Nota.* La figura 43, representa la aplicación de DYE PENETRANT en la superficie del bloque motor de la posible fisura.

Finalmente se aplica el líquido CRACK FINDER DEVELOPER parte 3 (A) como se indica en la figura 44, en la superficie expuesta en el anterior paso (B), permitiendo encontrar la trayectoria de la fisura en el bloque motor de hierro fundido (C).

#### Figura 44

*Aplicación de DEVELOPER parte 3*



*Nota.* La figura 44, representa la aplicación de DEVELOPER parte 3 para localizar la trayectoria de la fisura del bloque motor de hierro fundido.

Terminado el proceso de detección de fisuras por líquidos penetrantes como se puede observar en la figura 45, permite localizar la trayectoria, posición y disposición de la fisura localizada en el bloque motor de hierro fundido (A).

#### Figura 45

*Trayectoria de la fisura (A) del bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* En la ilustración 45, representa la trayectoria de la fisura detectada en el bloque motor de hierro fundido.

### ***Fase II: Proceso de reconstrucción en frío Metalock.***

Para el desarrollo del proceso de reconstrucción en frío Metalock se debe tener en cuenta la primera fase de detección de fisuras sea exitoso y a su vez se disponga de los componentes descritos en el apartado del Proceso de reparación en frío Metalock (MIA) de la investigación. A continuación, se presenta el siguiente proceso para la reconstrucción.

Señalar con un punzón (B) con la ayuda de un martillo (A) en forma de puntos sobre toda la trayectoria de la fisura (C) del bloque motor de hierro fundido, la separación entre puntos es aproximadamente de 2 a 3 mm. El objetivo de los puntos es usarlo como guía para la perforación de los orificios como se indica en la figura 46.

#### **Figura 46**

*Señalación de la trayectoria de fisura del bloque motor*

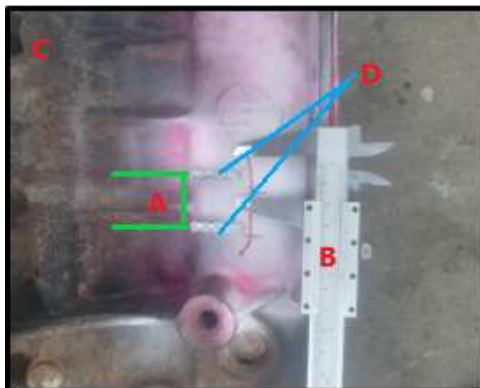


*Nota.* En la figura 46, representa la enmarcación de la trayectoria de la fisura del bloque motor Mazda serie NA a reparar mediante el proceso de reconstrucción en frío Metalock.

Se Mide la distancia (A) para la colocación de las llaves metalock (D) en la trayectoria de la fisura del bloque motor de hierro fundido (C) con el apoyo de un calibrador Vernier (B) como se observa en la figura 47, en este caso la distancia entre llaves metalock es de 20mm, ya que se utilizó las llaves metalock con denominación 3.

### Figura 47

*Distancia entre llaves metalock distribuido en el bloque motor*

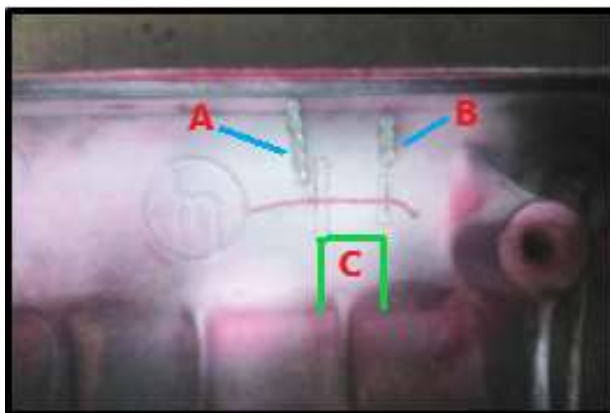


*Nota.* En la figura 47, representa la medición de 20mm de espaciado mediante un calibrador Vernier (pie de rey).

La cantidad de las llaves metalock utilizadas son dos, de cinco (A) y tres (B) puntos en una superficie de trayectoria recta para la reconstrucción en frío Metalock en el bloque motor de hierro fundido como se indica en la figura 48.

### Figura 48

*Cantidad de llaves metalock de 5 y 3 puntos*



*Nota.* En la figura 48, representa la cantidad de llaves utilizadas para la reconstrucción en frío Metalock para la investigación.

Se coloca la matriz de perforación 13/64" (B) transversal a la trayectoria de la superficie de la fisura (C), para efectuar la perforación de los orificios mediante la broca 13/64" (A) con los

espacios e intervalos necesarios como se presenta en la figura 49 para la colocación de las llaves metalock de la denominación 3.

### Figura 49

*Perforación de orificios para las llaves metalock*



*Nota.* En la ilustración 49 se representa la perforación de los orificios de las llaves metalock en el bloque motor de hierro fundido.

La profundidad de los orificios para las llaves metalock que deben tener es de 4,80mm como se observa en la figura 50.

### Figura 50

*Medición de profundidad de perforación de llaves metalock*



*Nota.* La ilustración 50 se representa la medición de profundidad de la perforación.

Se retira la matriz de perforación, seguido con el apoyo de un cincel (A) se retira las secciones sobrantes de material entre orificios (B) hasta obtener el mismo nivel de perforación.

Teniendo en cuenta que la profundidad de los orificios que no supere el 80% del material a reparar como se indica en la figura 51.

### Figura 51

*Eliminación de material sobrante entre orificios del bloque motor*

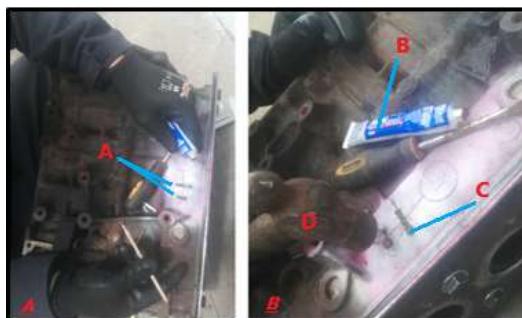


*Nota.* En la ilustración 51 se representa la eliminación de material sobrante entre los orificios de las llaves metalock con el apoyo de un cincel.

Para su fijación de las llaves metalock se coloca una pequeña cantidad de “Permatex” (B) en la ranura (A) como se muestra en la figura 52A. seguido se introduce las llaves metalock (C) hasta el tope de la perforación con el apoyo de un martillo (D) como se observa en la figura 52B. El número de llaves metalock a introducir para el calce de las ranuras depende del espesor del bloque motor de hierro fundido.

### Figura 52

*Colocación del calce de las llaves metalock en el bloque motor*



*Nota.* En la figura 52 se representa la colocación del calce de las llaves metalock en las ranuras del bloque motor de hierro fundido generado.



A continuación, se puede visualizar la colocación del calce de las llaves Metalock (A) en las ranuras desarrolladas en el bloque motor de hierro fundido (C) transversal a la trayectoria de la fisura (B) como se indica en la figura 53.

### Figura 53

*Colocación del calce de las llaves metalock en las ranuras del bloque motor*

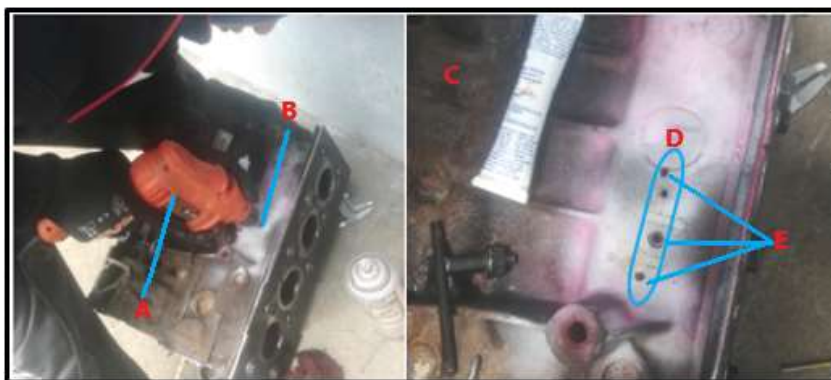


*Nota.* En la figura 53 se representa la visualización de las llaves metalock introducidas en el bloque motor de hierro fundido.

Con la asistencia de un taladro (A) se procede a perforar los orificios (E) en el bloque motor de hierro fundido (C), perpendicular a la superficie de la trayectoria de la grieta (D) con una broca 1/8" (B), la perforación no debe exceder el 80% de la pared a reconstruir como se observa en la figura 54.

### Figura 54

*Perforación de la trayectoria de la fisura del bloque motor*



*Nota.* En la figura 54 se representa la perforación sobre la trayectoria de la fisura cumpliendo los pasos de la reconstrucción en frío.

Una vez desarrollada la perforación se aplica aire comprimido eliminando los residuos de limallas producto de la perforación. Después se introduce un machuelo 5/32" (A) con el apoyo de una porta machuelo (C) en el orificio (B) extrayendo un roscado interno como se indica en la figura 55.

### Figura 55

*Roscado interno en el orificio del bloque motor*

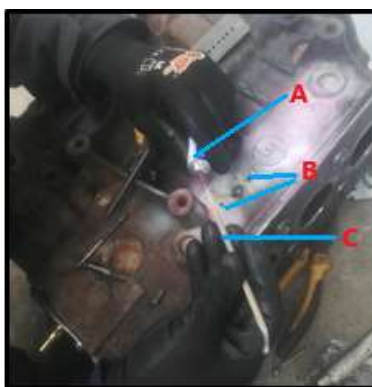


*Nota.* En la ilustración 55 se representa el roscado interno en el orificio mediante un machuelo.

Se aplica aire comprimido para la eliminación de escoria sobrante, con un rayador (C) se introduce una pequeña cantidad de permatex (A) en los orificios (B) para una mejor fijación de los pernos a introducirse figura 56.

### Figura 56

*Colocación de pegamento "Permatex" en los orificios de roscado*



*Nota.* En la figura 56 se representa la introducción de una pequeña cantidad de pegamento para la fijación de los pernos.

El siguiente paso se procede a la colocación del perno 5/32" (A) de material ANSI B18.6.3 para la fijación del mismo, tomando en cuenta el ajuste (B) respectivo para no se aisle el roscado del orificio (C) como se indica en la figura 57.

### Figura 57

*Colocación y ajuste del perno del bloque motor*



*Nota.* En la ilustración 57, representa la fijación del perno en el orificio roscado.

Con la asistencia de un cincel (A) se procede a cortar la parte sobrante del perno (B), teniendo en cuenta que es necesario dejar un sobrante de 1 a 2 mm de altura entre el filo de perno y superficie del bloque motor de hierro fundido (C) como se indica en la figura 58.

### Figura 58

*Corte del perno sobrante del bloque motor*



*Nota.* En la figura 58 se representa el corte del perno sobrante teniendo en cuenta la altura necesaria entre el filo del perno y la superficie del bloque motor de hierro fundido.

Para la ejecución de la reconstrucción en frío Metalock es necesario aplicar los procesos antes mencionado en toda la trayectoria de la fisura (A), los pernos son colocados de forma de solape una a continuación de otra, creando una costura metálica y hermética a presión, obteniendo una rigidez en la pieza, figura 59.

### Figura 59

*Costura metálica Metalock del bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* En la figura 59 se representa la costura metálica Metalock desarrollada mediante pernos en forma de solape y a la vez con la llave Metalock en toda la trayectoria de la fisura.

Para una mejor fijación de las llaves Metalock se recomienda colocar en los extremos de las llaves metalock (A) pernos. Para la colocación de pernos debe tener su roscado interno respectivo (B) como se indica en la figura 60.

### Figura 60

*Fijación de las llaves metalock del bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* En la figura 60 se observan el proceso respectivo para la fijación de las llaves Metalock mediante pernos en los extremos de cada una de ellas.

Con las partes sobrantes del perno se lo procede a compactar remachando mediante una pistola remachadora de impacto neumático para adherirse fijamente al metal de la pieza protegiendo la superficie original como se indica en la figura 61.

### **Figura 61**

*Compactación de la costura metálica metalock del bloque motor*



*Nota.* En la figura 61 se representa la compactación mediante una pistola neumática para adherirse a la superficie original del bloque motor de hierro fundido.

Finalmente se desarrolla un tratamiento de rectificación de acabado para verificar la hermeticidad de la fisura reparada asegurando el rendimiento y presiones de esfuerzo como se indica en la figura 62.

### **Figura 62**

*Tratamiento de rectificación de costura metálica del bloque motor*



*Nota.* En la figura 62 se representa el tratamiento de rectificación de acabado para la eliminación de partículas sobrantes de la compactación.

### Diagramas diseñados del proceso de reconstrucción en frío Metalock

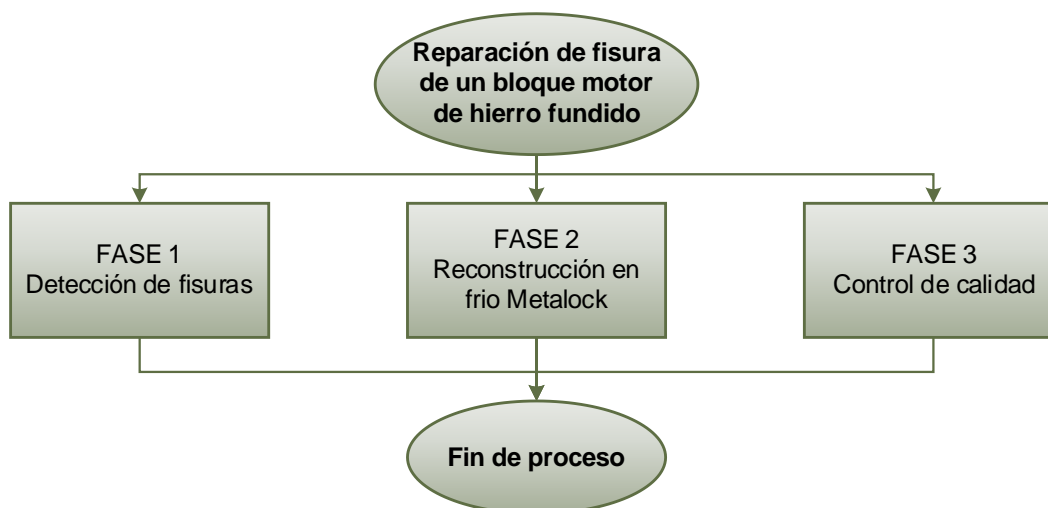
El éxito de todo proceso de reconstrucción en frío Metalock en la reparación de fisura de un bloque motor juega un papel importante la habilidad y experiencia del técnico, al insertar las llaves metalock y pernos para la formación de la costura metálica, tomando en cuenta el límite del 80% de la pared original. Además, de tener en cuenta la utilización correcta de las herramientas para la restauración del bloque motor de hierro fundido.

Para obtener un resultado más eficiente y comprensible en la aplicación del proceso de reparación de fisuras de un bloque motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío Metalock, se ha elaborado diagramas de procesos ejecutados con la finalidad de optimizar de tiempo de trabajo y recursos.

A continuación, se visualiza los diferentes diagramas aplicativos para la restauración del bloque motor fisurado.

#### Figura 63

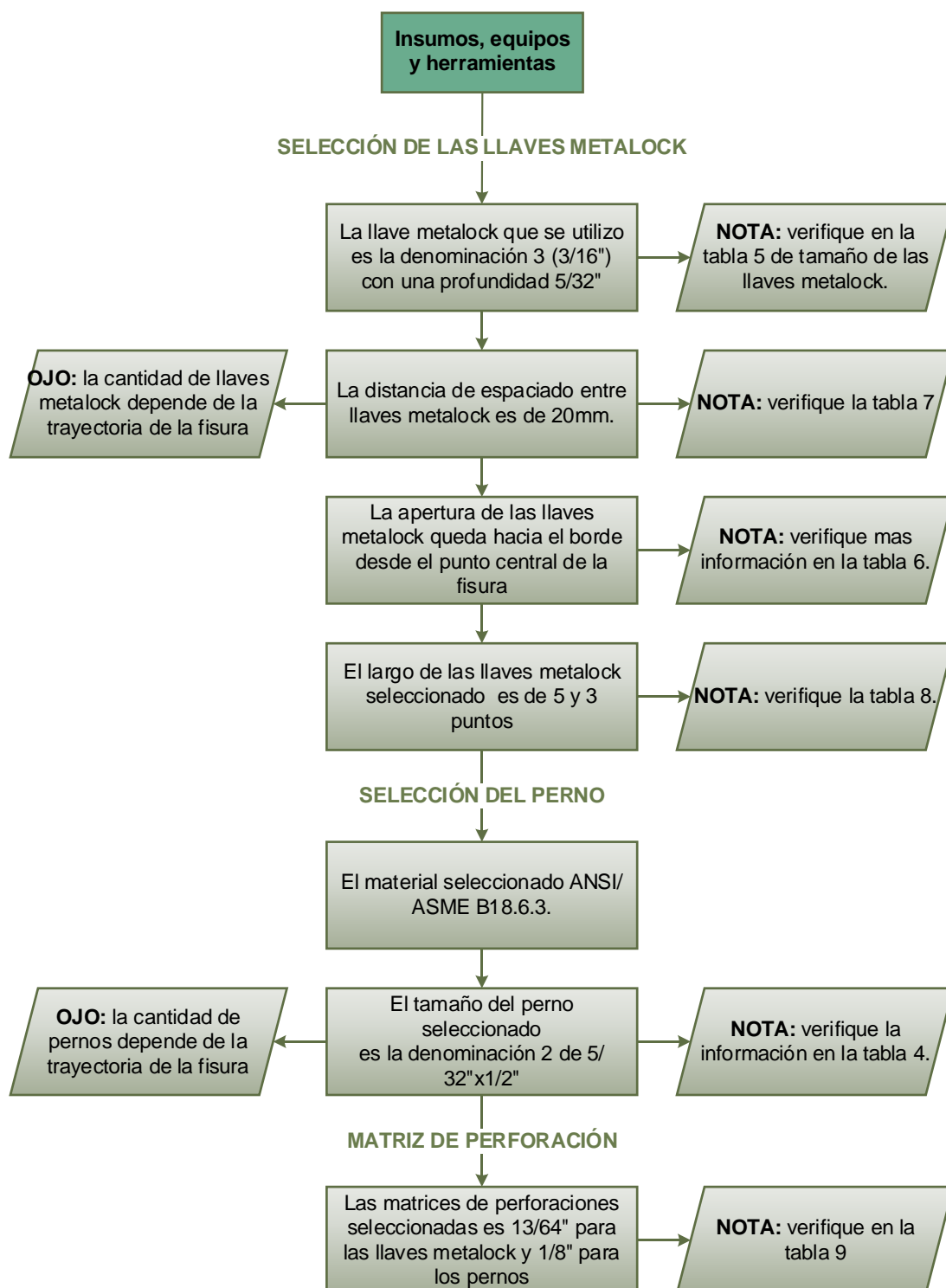
*Diagrama de fases de reparación de fisuras de un bloque motor*



*Nota.* En el diagrama 63 se representa las fases de reparación de fisura en las cuales se ha determinado mediante el método exploratorio.

Figura 64

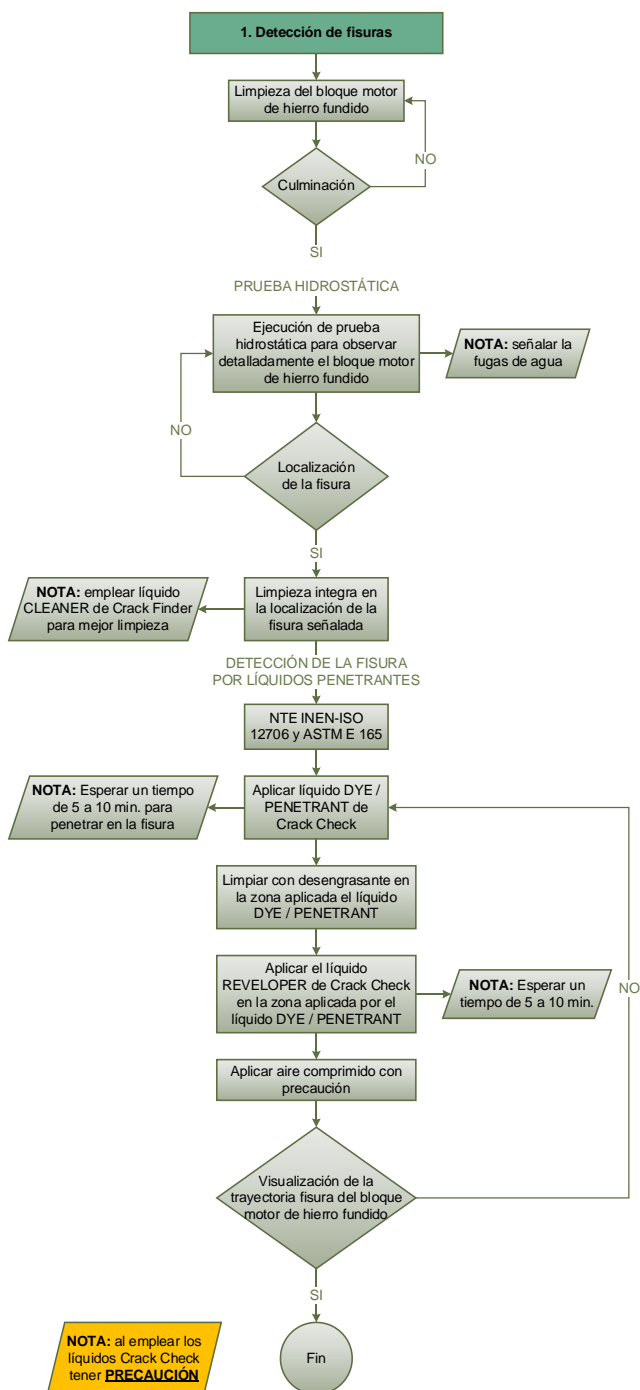
Diagrama de selección de insumos, herramientas y equipos



*Nota.* En el diagrama 64, representa la selección de insumos necesarios como las llaves Metalock, pernos y matrices de perforación.

Figura 65

Diagrama de proceso de detección de fisuras

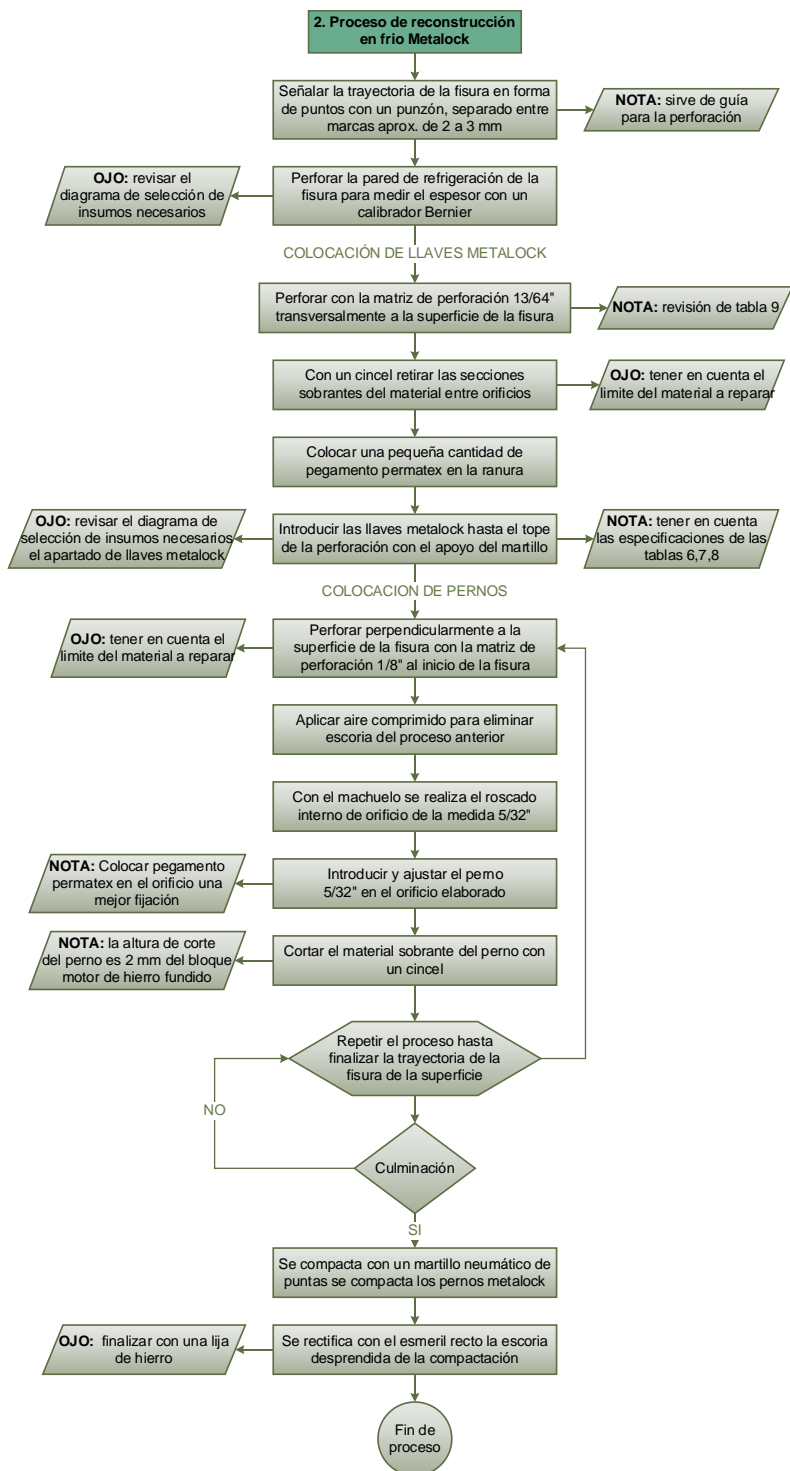


Nota. En el diagrama 65, representa la detección de fisura, el cual consiste por ensayos no destructivos END, la prueba hidrostática y la prueba de fisura por líquidos penetrantes.



Figura 66

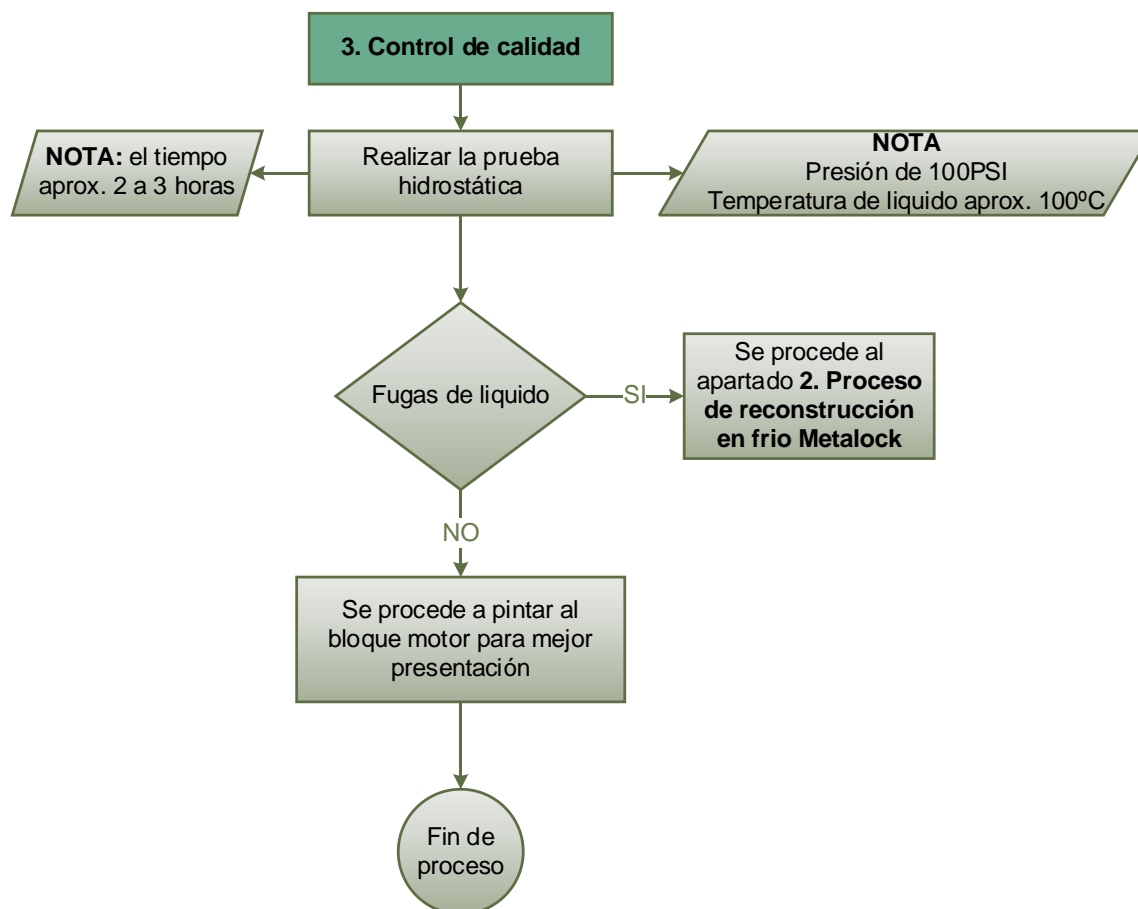
## Diagrama de proceso de reconstrucción en frío Metalock



Nota. En el diagrama 66 se representa el proceso de reconstrucción en frío Metalock.

Figura 67

Diagrama de proceso de control de calidad



Nota. En el diagrama 67, representa el proceso de control de calidad.

### Comprobación de la hermeticidad.






Para la comprobación de la hermeticidad se realiza pruebas hidrostáticas una vez culminado la fase 2 del proceso de reconstrucción en frio Metallock, permitiendo su verificación, estos valores se muestran en la tabla 13.

Para la prueba de hermeticidad se tomará en cuenta las siguientes variables:

- Temperatura del líquido refrigerante.
- Presión de entrada en los conductos de refrigeración.
- Tiempo de ejecución de la prueba.

Tabla 13

*Pruebas de hermeticidad en el bloque motor de hierro fundido*

<b>Por Gravedad</b>				
Ilustración	Temperatura (°C)	Presión (lbf)	Tiempo (horas)	Observación
	25	0	1	S/N
	45	0	1	S/N
	65	0	1	S/N
	85	0	1	S/N
	110	0	1	S/N
<b>A presión de funcionamiento</b>				
Ilustración	Temperatura (°C)	Presión (lbf)	Tiempo (horas)	Observación
	25	13	1	S/N
	45	13	1	S/N
	65	13	1	S/N
	85	13	1	S/N
	110	13	1	S/N
<b>Sobredimensionada al 200%</b>				
Ilustración	Temperatura (°C)	Presión (lbf)	Tiempo (horas)	Observación
	25	26	1	S/N
	45	26	1	S/N
	65	26	1	S/N
	85	26	1	S/N
	110	26	1	S/N
<b>Sobredimensionada al 400%</b>				
Ilustración	Temperatura (°C)	Presión (lbf)	Tiempo (horas)	Observación
	25	52	1	S/N
	45	52	1	S/N
	65	52	1	S/N
	85	52	1	S/N
	110	52	1	S/N
<b>Sobredimensionada al 800%</b>				
Ilustración	Temperatura (°C)	Presión (lbf)	Tiempo (horas)	Observación
	25	104	1	S/N
	45	104	1	S/N
	65	104	1	S/N
	85	104	1	S/N
	110	104	1	S/N

*Nota.* En la tabla 13 se representa los valores adquiridos en las pruebas de hermeticidad realizadas al bloque de motor de hierro fundido a diferentes grados de temperaturas de líquido refrigerante y diferentes presiones.

### **Aplicación de las herramientas de confiabilidad**

Para la obtención de la confiabilidad de esta investigación se aplica la metodología de investigación por criterio de expertos, donde se recolecto información a técnicos en el área de la reconstrucción en frío Metalock, como se indica en la tabla 14 y anexo 1.

Para la selección de expertos, debe cumplir los siguientes criterios:

- a. Experiencia en área de reconstrucción en frío.
- b. Reputación con la comunidad.
- c. Disponibilidad y motivación para participar.
- d. Imparcialidad y cualidades de confianza en sí mismo.
- e. Trabajar un mínimo de 5 años en área de la reconstrucción en frío.
- f. Tener su taller o local propio.
- g. Nivel de estudio debe tener mínimo aprobado el ciclo básico.

**Tabla 14**

*Técnicos encuestados*

<b>Técnico</b>	<b>Años de experiencia</b>
Jorge Flores Paguay	31 años
Pablo Zambrano	20 años
Ing. Christian Ortiz	18 años
Ing. Esteban Barbosa	8 años

*Nota.* En la presente tabla 14 se menciona a los técnicos de la reconstrucción en frío encuestados con sus años de experiencia.

Obteniendo como resultado de las encuestas realizadas los siguientes datos, como se indica en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Retorno de trabajo por fugas de líquidos refrigerante*

#	Técnico	Tiempo estimado en años
1	Jorge Flores Paguay	3 años
2	Pablo Zambrano	1 años
3	Ing. Christian Ortiz	2 años
4	Ing. Esteban Barbosa	2 años

*Nota.* En la presente tabla 15 se indica el tiempo que transcurre para que el block retorne al taller por problemas de fugas de líquido refrigerante.

#### ***Cálculo de la confiabilidad.***

Para el cálculo de la confiabilidad se realiza una muestra con 4 técnicos especializados en el área de la reconstrucción en frío Metalock, como se presentó en la tabla 14, obteniendo los siguientes tiempos como indica la tabla 15.

Para lo cual el primer paso a seguir es ordenar los valores conseguidos de forma ascendente como se indica en la tabla 16 y aplicando la ecuación (1) del Rango de la mediana se obtiene los valores para el eje de ordenas.

**Tabla 16**

*Datos obtenidos por muestra*

N° de muestra por técnico	X (años)	Y
1	1	0,109375
2	2	0,265625
3	2	0,421875
4	3	0,578125

*Nota.* En la tabla 16 se representa el número de muestras, los tiempos de retorno de trabajo por fuga de líquido refrigerante y el porcentaje correspondiente a cada muestra según el método de Bernal.

A continuación, se procederá a calcular la tabla de región lineal en una hoja de cálculo de Excel como indica el anexo 2, para cada una de las muestras como se indica en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Tabla de región lineal*

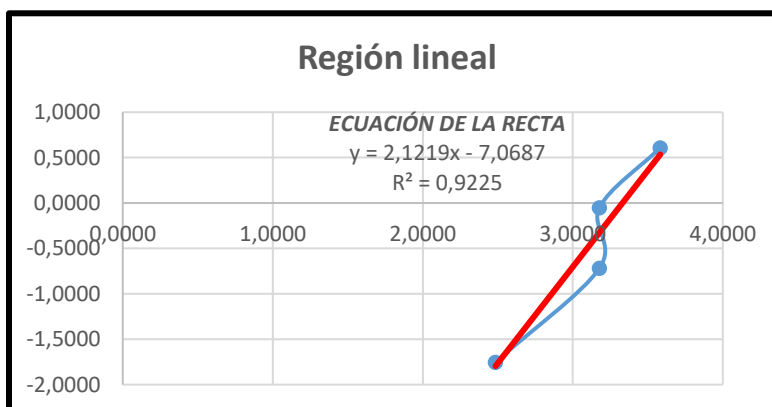
N° de muestra por técnico	X (AÑOS)	Y	X	Y	(X * Y)	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
			Ln(x)	Ln(Ln( $\frac{1}{1-Y}$ ))			
1	12	0,1094	2,4849	-2,1556	-5,3565	6,1748	4,6467
2	24	0,2656	3,1781	-1,1753	-3,7351	10,1000	1,3813
3	24	0,4219	3,1781	-0,6015	-1,9117	10,1000	0,3619
4	36	0,5781	3,5835	-0,1473	-0,5278	12,8416	0,0217
SUMATORIA	96	1,3750	12,4245	-4,0797	-11,5311	39,2164	6,4115

*Nota.* En la tabla 17 se represente indica el cálculo de la región lineal cada una de las muestras obtenidas con sus valores correspondiente.

Para obtener el valor de beta  $\beta$  se lo puede realizar de dos formar, una de ellas es obteniendo la ecuación de la recta y la segunda por medio de la ecuación (2). A continuación, se presenta en la figura 68 la gráfica de la región lineal y ecuación de la recta.

**Figura 68**

*Gráfica de la región lineal*



*Nota.* En la figura 68 se representa la ecuación de la recta para la obtención del valor de  $\beta = 2,1219$  y  $a = -7,0687$ .

También se puede calcular aplicando la ecuación (3) y (4), como se demostrará a continuación.

$$\beta = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$\beta = \frac{4 * (-4,6115) - ((12,4245) * (-1,9110))}{4 * (39,2164) - (12,4245)^2}$$

$$\beta = 2,1219$$

$$\alpha = \frac{\sum x^2 * \sum y - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$\alpha = \frac{39,2164 * (-1,9110) - 12,4245 * -4,6115}{4 * (39,2164) - (12,4245)^2}$$

$$\alpha = -7,0687$$

Como análisis de los resultados obtenidos podemos decir que  $\beta$  al ser mayor que 1, se puede afirmar que el desgaste es por edad.

Es necesario obtener el valor de  $\eta$  con la ecuación (5), que se demostrará a continuación.

$$\eta = e^{\alpha / -\beta}$$

$$\eta = e^{-7,0687 / -2,1219}$$

$$\eta = 28$$

Finalmente podemos calcular la confiabilidad de la reconstrucción en frío metalock para un tiempo de 1 año, aplicando la siguiente ecuación (1).

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(T) = e^{-\left(\frac{12-0}{28}\right)^{2,1219}}$$

$$R(T) = 0.8475 * 100\%$$

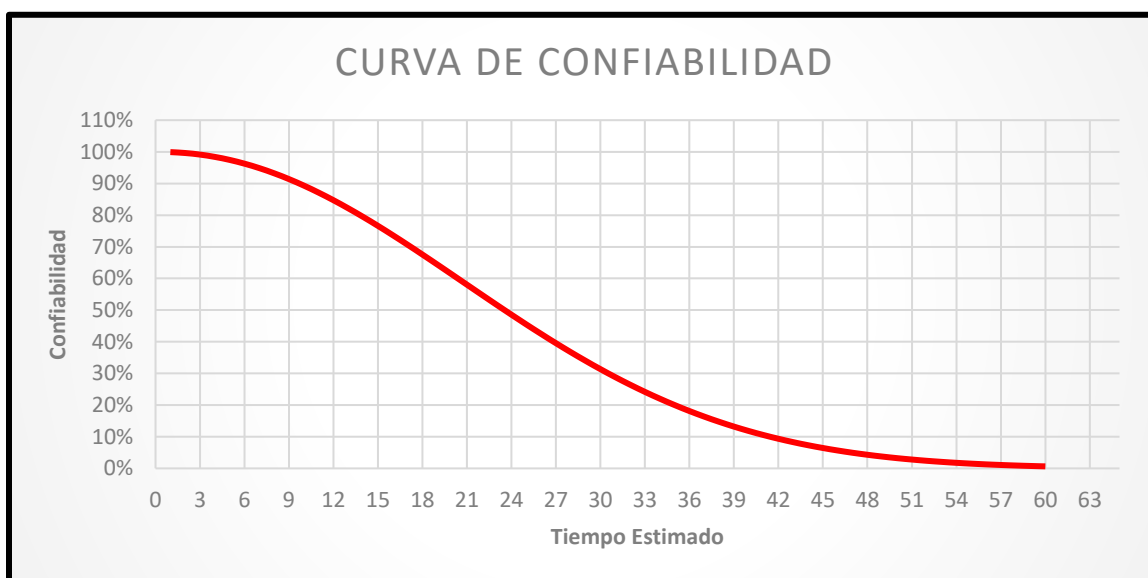
$$R(T) = 85\%$$

### **Curva de confiabilidad.**

Con los datos obtenidos del apartado anterior, se obtiene la siguiente curva de confiabilidad como se observa en la figura 69, donde se indica el porcentaje confiabilidad en función del tiempo.

**Figura 69**

*Curva de confiabilidad de la reparación de fisura por la reconstrucción en frio*



*Nota.* En la siguiente figura 69 se presenta la curva de confiabilidad elaborada mediante los resultados obtenidos por las encuestas realizadas a los expertos Metalock.

### **Control de calidad PHVA**

Una vez culminado el proceso de reconstrucción en frío Metalock, se procede a implementar un control de calidad PHVA, con la finalidad de brindar una garantía y confiabilidad de un año, donde su desarrollo se encuentra basado por sus siglas:

#### **Planeación**

Terminada la fase de reconstrucción en frío Metalock de una fisura de hierro fundido se procede a una planeación para el control de calidad que consiste del siguiente orden jerárquico.

1. Aplicación de tratamiento de sellado de fugas interno (sella block).



2. Limpieza de las paredes interiores y exteriores del block.
3. Presentación y entrega del trabajo.

### **Hacer**

La ejecución el plan propuesto para cada ítem mencionado se desarrollará de la siguiente manera:

Se comienza con la ejecución del proceso de control de calidad revisando los datos arrojados en las pruebas de hermeticidad, al no existir fugas del líquido refrigerante se procede a ejecutar un tratamiento térmico con la finalidad de garantizar la reconstrucción en frío Metalock.

Donde el primer requisito es que el bloque motor de hierro fundido, de la marca Mazda modelo NA debe estar a temperatura de trabajo, alrededor de 90 a 100 °C. Ahora se debe colocar el aditivo de fugas internas en el bloque motor permitiendo una mejor compactación de los pernos y chavetas con el área reconstruida.

Finalmente, el bloque motor es sometido a un sobredimensionamiento de presión de trabajo dejando ingresar una presión de 100 lbf en los conductos de refrigeración del bloque motor, tomando un tiempo de ejecución de 2 horas.

El sellador fisuras internas metálicas, no es conductor de calor evitando la corrosión y el carcomido de los componentes del sistema de enfriamiento como se indica en la figura 70.

### **Figura 70**

*Aplicación de tratamiento de sellado en el bloque motor Mazda NA reparado*



*Nota.* En la figura 70, representa el proceso de tratamiento de sellado de fisuras internas realizado al bloque motor de hierro fundido Mazda, serie NA a una presión de 100 Psi y temperatura de 90°C.

Una vez culminado el tiempo de la prueba de sellado de fisuras internas se procede a la limpieza del bloque motor, haciendo uso de un líquido desengrasante tanto para los conductos internos como para el exterior del bloque motor como se indica en la figura 71, este proceso tomara un tiempo de 30 minutos.

### **Figura 71**

*Limpieza del bloque motor Mazda serie NA*



*Nota.* En la siguiente ilustración 71 se representa la limpieza interna y externa del bloque motor, aplicando el desengrasante líquido.

Una vez finalizado la limpieza del bloque motor se procede al lijado 72A y pintado 72B del bloque motor de hierro fundido, para esta actividad se debe usar una lija de grano 32 o 42 utilizada para eliminar oxido y pintura del block, para el proceso de pintura se puede utilizar pintura en spray y dejar secar a la intemperie por el lapso de 1 hora, como se presenta en la figura 72.

## Figura 72

*Pintado y lijado del bloque motor de hierro fundido*



*Nota.* En la figura 72 se representa el lijado y pintado del bloque motor de hierro fundido Mazda serie NA.

### **La verificación (control)**

Esta etapa del control nos permite realizar una comparación y confrontación entre la planeación y el estado actual del trabajo de la reconstrucción en frío Metalock. Como indica en la figura 73, se puede observar un trabajo de garantía y confiabilidad además que se encuentra con una presentación impecable que a simple vista parece no ser reconstruido.

## Figura 73

*Bloque motor de hierro fundido listo para su entrega al cliente*



*Nota.* La figura presenta el trabajo finalizados en bloque motor de hierro fundido listo para su entrega.

Los resultados obtenidos por el control de calidad PHVA satisface los objetivos propuestos, pero se recomienda continuar con el estudio del control de calidad para futuras investigaciones y aplicar la fase de Actuar y mejora continua que ayudaran hacer un replanteo de acciones en caso de no cumplir con los objetivos planteados en la planificación, en caso de obtener resultados positivos y superar las expectativas es necesario estandarizar y sistematizar el proceso.

## Capítulo IV

### Análisis de resultados de la reconstrucción en frío Metalock

Para el desarrollo de los objetivos de la presente investigación previo a la obtención del título, se aplicó los instrumentos de recolección de contenido técnicos y científicos para sustentar la hipótesis establecida.

#### Insumos Metalock

Los insumos metalock son la parte fundamental para el proceso de reconstrucción en frío porque de ellas depende la reparación de la fisura, al usar como material de ensayo el hierro fundido se debe adquirir pernos y llaves Metalock que sean compatibles entre materiales y garanticen una hermeticidad del área a reconstruir.

Las llaves o chavetas metalock utilizada para esta investigación fue una de denominación 5 con una fuerza de 2500 kg (2.46 Ton), basándonos en el espesor de la pared de refrigeración del bloque motor al no superando los 6 mm, se realiza una perforación de 5.5 mm como profundidad para el injerto de la llave, arrojando como resultado visual la colocación de la llave y como resultado práctico la hermeticidad del área de reparación a una presión de 100 lbf. Se recomienda para investigaciones futuras realizar ensayos destructivos a tensión con la finalidad de conocer la fuerza a tensión que recuperada el bloque motor al ser insertadas las llaves. Los pernos metalock al ser escasos en el país, se presenta una alternativa utilizada en el ámbito de la reconstrucción en frío que son tornillos ANSI/ASME B18.6.3.

En la parte práctica los tornillos Allen de cabeza cilíndrica fue encargado de sellar la fisura donde se pudo constatar que para su colocación la perforación no debe exceder del 80% de la pared a reconstruir y dichos pernos deben ser colocados uno a continuación de otro, caso contrario existirá fugas de líquido refrigerante.

Como resultado se puede observar que los tornillos Allen son recursos alternativos aptos para el método de reconstrucción en frío al estar expuestos a temperaturas de

funcionamiento y un sobredimensionamiento de presión (100 lbf) referente sistema de refrigeración del bloque motor de hierro fundido y no presentar fugas del líquido refrigerante en el área de reparación.

### **Proceso de reconstrucción en frío metalock.**

Al aplicar el método de reconstrucción en frío se pudo evidenciar que es un proceso confiable y seguro que permite al bloque motor recibir una segunda oportunidad de funcionalidad, según la investigación de campo realizada el proceso se realiza a temperatura ambiente con herramientas neumáticas y proceso ordenado como se explicara a continuación:

La limpieza del bloque motor es obligatoria y específicamente en el área a reconstruir porque es necesario eliminar los residuos contaminantes que impidan el ingreso de los líquidos reveladores de fisura dando como resultado una mala detección, además el tiempo necesario para este proceso es de 15 minutos que se dividen de la siguiente manera 5 minutos para el líquido penetrante y 10 minutos para el líquido revelador siendo un tiempo óptimo y brindando resultados satisfactorios.

Se obtuvo una fisura con trayectoria recta por lo tanto el espacio queda hacia el borde, desde el punto central para que exista una recuperación de tensión equilibrada a los dos lados de la fisura y dejando una distancia de 20 mm entre llaves como lo indica la norma.

Para insertar los tornillos de cabeza redonda en la trayectoria de la fisura se debe realizar de una manera precisa y de forma perpendicular. La perforación siempre debe ser en el centro de la fisura para que al momento de insertar el tornillo la fisura desaparezca y el tornillo se convertirá en material de aporte.

La reconstrucción de la fisura siempre debe ser desde el centro hacia los filos de la fisura y al terminar de reconstruir la fisura es necesario realizar una perforación del 100% para evitar que la fisura se prologue.

Como resultado de esta operación se puede evidenciar que la llave Metalock y tornillos soportar la presión sobredimensionada (100 lbf) y temperatura de operación del bloque motor y

se recomienda que para futuras investigaciones de reconstrucción en frío se utilice los pernos metalock y se realice ensayos destructivos a tensión para obtener valores más exactos.

Por medio de encuestas hechas a profesionales del área Metalock se conoce que el proceso de reconstrucción en frío aun no es de conocimiento público y que no todas las personas saben de este método novedoso siendo más económico y garantizado. Además, que los escasos de expertos en esta área son escasas y se deja una nueva oportunidad abierta para que la ingeniería automotriz se incluya en la técnica de la reconstrucción en frío metalock.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, establecen que el proceso de reconstrucción en frío metalock aplicado a bloques de motor de hierro fundido brinda un 85% de confiabilidad.

### **Pruebas de hermeticidad aplicado a la reparación del bloque motor**

Realizado las pruebas de hermeticidad mediante los END a diferentes condiciones de temperatura y presiones sobredimensionados en un lapso de tiempo de 1h para cada caso descrito en la tabla de 13, para verificar la existencia de fugas de líquido refrigerante del bloque motor reparado, se determinó que la reparación de fisura del bloque motor de hierro fundido de la marca Mazda a gasolina serie NA mediante el método de reconstrucción en frío Metalock, se obtuvo una eficiencia del 100%, luego de haber transcurrido 24 horas de estar sometido el bloque motor a las pruebas de hermeticidad a diferentes condiciones de temperaturas y presiones como se indica en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Análisis de prueba de hermeticidad*

<b>Descripción</b>	<b>Presión lbf</b>	<b>Observación</b>	<b>Eficiencia</b>
Por gravedad	0	S/N	100%
Presión de funcionamiento	13	S/N	100%
Sobredimensionado a 200%	26	S/N	100%

Descripción	Presión lbf	Observación	Eficiencia
Sobredimensionado a 400%	52	S/N	100%
Sobredimensionado a 800%	104	S/N	100%

*Nota.* En la tabla 18 se representa el análisis de las pruebas de hermeticidad como resultados obtenidos.

### Confiabilidad de la reconstrucción en frío Metalock

El estudio de confiabilidad de reconstrucción en frío Metalock es el estudio del tiempo de trabajo del bloque motor de hierro fundido sin presentar anomalías.

Por medio de encuestas realizado a expertos Metalock se obtiene una muestra de cuatro técnicos con un promedio de 19 años de experiencia laboral en el ámbito de la reconstrucción en frío Metalock.

Para lo cual se formuló la siguiente pregunta: ¿El retorno del trabajo por condiciones de fugas de fluidos generalmente en que tiempo a ocurrido? Arrojando una sumatoria del rango de la mediana de 1,3750 siendo un valor aceptable. Es necesario que los datos en años y el valor de rango de la mediana obtenidos sea transformado a escala logarítmica para obtener la gráfica de la región lineal.

El valor de  $\beta$  y  $a$  se puede obtener de dos formas la primera es realizando la recta de la curva para lo cual se debe graficar en el plano cartesiano los valores de  $(x, y)$  y el valor que se obtenga como pendiente es el valor de  $\beta$ , por otra parte, el valor que se obtenga como intersección del eje y es el valor de  $a$ . La segunda parte es por medio de las ecuaciones (3) y (4) planteadas en el capítulo anterior, dando como resultado un  $\beta = 2,1219$  y  $a = -7,0687$ .

Al ser  $\beta$  mayor a 1 la regla de la confiabilidad dice que el desgaste es realizado por edad de operación.



Para calcular el valor de  $\eta$  es igual a exponencial elevado a la diferencia de  $a$  sobre  $\beta$  obteniendo la característica de vida útil, donde el 63,2% de todos los elementos con el mismo modo de operación hayan fallado. Obteniendo como resultado  $\eta = 28$  adimensional.

Una vez obtenido todos estos valores se puede obtener la confiabilidad aplicando la fórmula (1) vista en el capítulo anterior, donde es igual a exponente elevado a la menos diferencia del tiempo a calcular menos el parámetro de posición ( $\gamma$ ) sobre la vida útil del 63,2% de todos los elementos, todo esto elevado a  $\beta$  que es el parámetro de forma que toma la curva.

El valor de gamma ( $\gamma$ ) se lo toma como cero porque es el inicio del tiempo de operación una vez reparado el bloque de motor de hierro fundido. Obteniendo como resultado una confiabilidad de 85% al primer año de haber realizado la reparación cumpliendo satisfactoriamente la hipótesis planteada en la investigación.

Para conocer el comportamiento de la confiabilidad en el transcurso el tiempo se elabora la curva de la confiabilidad donde se puede determinar que en los primeros meses de operación presenta una confiabilidad de 100% y al transcurso de un año la confiabilidad desciende progresivamente al 85%. Para que la confiabilidad sea del 70% como indica la hipótesis de la investigación debe transcurrir un año y cinco meses.

Ahora que nuestra confiabilidad sea el 50% confiable debe pasar un tiempo de dos años, siendo aún una confiabilidad aceptable, pero entre más tiempo transcurra la confiabilidad disminuye entonces se afirma que al llegar a los 5 años de funcionamiento del bloque motor la confiabilidad es nula. Para lo cual es necesario realizar una inspección técnica del área reconstruida.

Al analizar las encuestas realizadas a los técnicos metalock se puede evidenciar que todos los técnicos afirman que el método de reconstrucción en frío Metalock brinda una confiabilidad del 100% con una garantía promedio de dos años en base de su experiencia laboral, siendo el Técnico Pablo Zambrano, uno de los más exactos al momento de dar confiabilidad de un año.

**Control de calidad PHVA**

Los resultados obtenidos por el control de calidad PHVA satisface los objetivos propuestos como la aplicación del tratamiento de sellado de fugas internas, limpieza de las paredes internas y externas. Finalmente la entrega del trabajo hacia el cliente con una garantía de un año de funcionalidad luego de su reparación de la fisura del bloque motor de hierro fundido, pero se recomienda continuar con el estudio del control de calidad para futuras investigaciones y aplicar la fase de Actuar y mejora continua que ayudaran hacer un replanteo de acciones en caso de no cumplir con los objetivos planteados en la planificación, en caso de obtener resultados positivos y superar las expectativas es necesario estandarizar y sistematizar el proceso.

## Capítulo V

### Marco administrativo

Para realizar la presente investigación de manera organizada y detallada que sea factible, se detalla a continuación los puntos económicos, tecnológicos, recursos necesarios que garanticen la confiabilidad y viabilidad en el análisis de hermeticidad en la reparación en la reparación de fisura de bloque motor de hierro fundido mediante el método de reconstrucción en frío metalock.

### Recursos Humanos

Los recursos humanos que participaron para el desarrollo del proyecto de titulación mediante el tema “ANÁLISIS DE HERMETICIDAD EN LA REPARACIÓN EN LA REPARACIÓN DE FISURA DE BLOQUE MOTOR DE HIERRO FUNDIDO MEDIANTE EL MÉTODO DE RECONSTRUCCIÓN EN FRIO METALOCK”

**Tabla 19**

*Recursos humanos*

Orden	Descripción	Función
1	Caiza Chiguano, Pedro Luis	Investigador
2	Chicaiza Pila, William Aldair	Investigador
3	Salazar Corrales, Marcelo Fabian	Colaborador científico

### Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos utilizados para determinar el análisis de hermeticidad y desarrollo del proyecto de investigación de reconstrucción en frío Metalock.

**Tabla 20**

*Recursos tecnológicos*

Ord.	Nombre
1	Laptop Dell
2	Internet
3	Multímetro
4	Calibrador vernier
5	Microsoft Office
6	Cámara

## Recursos Materiales

Los recursos materiales utilizados para determinar el análisis de hermeticidad y desarrollo del proyecto de investigación de reconstrucción en frio metalock.

**Tabla 21**

*Recursos materiales*

Orden	Detalle	Cantidad
1	Kit de tintas penetrantes	1
2	Plancha metálica 6mm de espesor	2
3	Pernos de M8x1/2"	2
4	Pernos de M12x1"	10
5	Rodelas planas para M8x1/2"	2
6	Rodelas planas para M12x1"	10
7	Toma de aire de 1/2"	1
8	Plancha de caucho	1
9	Pegamento permatex	1
10	Tornillos B16.6.3 de 5/32"x1"	50
11	Broca de 1/8"	3
12	Broca de 5/32"	3
13	Broca de 13/64"	3
14	Llave metalock 3/16"	2
15	Juego de piedras abrasivas toptul	1
16	Spray de color negro	1

## Presupuesto

El presupuesto utilizado para determinar el análisis de hermeticidad y desarrollo del proyecto de investigación de reconstrucción en frio metalock.

**Tabla 22**

*Presupuesto*

<b>Materiales – equipos</b>			
Detalle	Cantidad	Valor unitario (usd)	Valor total (usd)
Tornillos B16.6.3 de 5/32"x1"	100	0,10	\$10,00
Llaves metalock	4	35	\$140,00
Matriz de perforación	2	150	\$100,00
Bloque motor de hierro fundido	1	200	\$200,00
Pegamentos adhesivos	1	25	\$50,00

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (usd)</b>	<b>Valor total (usd)</b>
Juego de cincel manual	1	25	\$20,00
Kit de tintas penetrantes	1	100	\$600,00
Taladro eléctrico	1	70	\$70,00
Pulidora neumática esmeril motor tool dremel	1	30	\$30,00
Juego de piedras abrasivas	1	10	\$15,00
Martillo	1	5	\$15,00
Porta machuelos	1	15	\$15,00
Juego de machuelos 5/16 "	1	10	\$10,00
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>\$1.275,00</b>

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

Como conclusiones de la presente investigación sobre el análisis de la hermeticidad en la reconstrucción en frío Metalock aplicado a un bloque de motor de hierro fundido se obtiene resultados favorables que permiten incorporar este nuevo método al ámbito automotriz, dando una solución a problemas de fugas del líquido refrigerante en los bloques de motor.

En base a la información investigada existen tres métodos para una reparación de fisuras de un bloque motor de hierro fundido, el método que se eligió y se desarrolló en el proyecto de investigación presentado es la costura metálica también conocida como el método Metalock.

A pesar de haber desarrollado una investigación detallada, se obtuvo escasa información, ya que es un método novedoso y alternativo, para lo cual se optó argumentar la teoría mediante el método de investigación de campo exploratorio para adquirir más conocimiento para la ejecución de la investigación.

Tal y como se ha podido verificar en la reparación de la fisura del bloque motor de hierro fundido por el método de reconstrucción en frío Metalock permite la formación de una costura metálica en la fisura ubicada en área de ensayo del bloque motor, para el calce de las llaves metalock de aleaciones especiales de níquel cromo y de tornillos de material ANSI/ASME B18.6.3. en forma de solape.

Para explicar mejor los resultados obtenidos en la reparación de fisuras del bloque motor de hierro fundido se elaboró diagramas de procesos divididos en tres partes, los cuales son detección de fisuras, reconstrucción en frío Metalock finalizando con el control de calidad con el fin de optimizar el tiempo de restauración garantizando la eficiencia de ejecución de trabajo.

Tras el análisis de hermeticidad de la reparación de fisura empleando los END durante 24 horas de pruebas a diferentes condiciones de temperatura y presiones del bloque motor de hierro fundido de la marca Mazda serie NA, se obtuvo como resultado una eficiencia del 100% en la restauración utilizando el método de reconstrucción en frío Metalock.

En la hipótesis inicial planteada se especulaba obtener una garantía mayor al 70% en la reparación de una fisura mediante el método de reconstrucción en frío Metalock, mediante cálculos desarrollados se comprobó una confiabilidad del 85 % en el lapso de un año.

Mediante la gráfica de curva de confiabilidad se puede determinar que el método de reconstrucción en frío Metalock es confiable en un lapso de tiempo de 17 meses de haber transcurrido su reparación de fisura del bloque motor de hierro fundido, basándose en la hipótesis inicial que supere el 70%.

La reparación de fisuras mediante el método de reconstrucción en frío Metalock permitiendo disminuir desechos sólidos de autopartes automotrices dando una segunda oportunidad para cumplir con su funcionabilidad.

De las encuestas realizadas a los expertos en el ámbito de la reconstrucción en frío Metalock, afirmar que es muy difícil encontrar mano de obra calificada que aporte con sus conocimientos y servicios, brindando una nueva oportunidad para que la rama de ingeniería automotriz se introduzca en este proceso de reparación.

La reconstrucción en frío metalock presenta ser un negocio viable al tener un costo estimado de \$90 por pulgada, dejando claro que puede ser una alternativa de trabajo para ingenieros automotrices que se incorporan al mundo laboral.

La garantía que brindan los expertos Metalock, es del 100% de confiabilidad en el primer año de funcionamiento del bloque motor de hierro fundido, siempre que el motor se encuentre trabajando óptimamente.

## Recomendaciones

En el proceso de reconstrucción en frío Metalock de un bloque motor de hierro fundido se debe tomar en cuenta el límite de profundidad para la perforación de las ranuras de las llaves metalock que es del 80% del área original a reconstruirse.

Para el diseño y construcción de las llaves metalock se sugiere tener a consideración las fórmulas de la figura 10, teniendo en cuenta el espesor de las paredes de refrigeración del bloque motor que se requiere reparar.

Para realizar las detecciones de fisuras sea por el método de líquidos penetrantes o pruebas de hermeticidad, el área a ser reconstruida debe estar completamente libre de contaminantes como aceite, grasa o tierra y respetar los tiempos mencionados en la tabla 11 para obtener resultados favorables.

Referente para la realización de las pruebas de hermeticidad, se debe obstruir todos los conductos de refrigeración garantizando que no exista fugas por las juntas del bloque motor y que la presión que ingrese al bloque motor de hierro fundido no salga al exterior.

Al momento de realizar la reparación se recomienda que a los extremos de la fisura se taladre o perfore toda la pared de refrigeración con la finalidad que no sufra un alargamiento de fisura.

Para el sellado de fisuras interna el bloque motor debe estar sometido a una presión sobredimensionada de 100 lbf y a una temperatura de 90 °C, simulando la temperatura de funcionamiento del bloque motor.

Se debe usar equipos de seguridad que ayude a proteger al técnico Metalock, como son accesorios de protección visual, auditiva y corporal.

Se recomienda continuar con el estudio del control de calidad para futuras investigaciones aplicar la fase de actuar y mejora continua que ayudaran hacer un replanteo de acciones en caso de no cumplir con los objetivos planteados en la planificación, en caso de



obtener resultados positivos y superar las expectativas es necesario estandarizar y sistematizar el proceso.

## Bibliografía

- 2019-Metalock-news-SPANISH-2018-19-ONLINE-SINGLE-PAGES (1).pdf*. (s. f.).
- KALPAKJIAN, S., & SCHMID, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* 5 Edición. México DF: Pearson Education.
- Mamani Alanoca, M. A. (2018). *Estudio de parámetros de soldabilidad en la reconstrucción de piezas de hierro fundido gris*.
- Mikell, P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. Editorial Hispanoamericana SA, Naucalpan de Juarez, México, 164.
- Morales Miranda, C. A. (2018). *Análisis de soldadura en frío y costura mecánica para fisuras en hierro fundido gris y su aplicación en la reconstrucción de un block*. [B.S. thesis]. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ....
- Autio, A., & Odneglaard, K. (2011). *Analysis of strains in cast iron joints using FE-simulations and digital image correlation techniques* [Master's Thesis].
- Collini, L., Nicoletto, G., & Konečná, R. (2008). Microstructure and mechanical properties of pearlitic gray cast iron. *Materials Science and Engineering: A*, 488(1-2), 529-539.
- Eurs, N. (2013). *Metal stitch reconditioning analysis*.
- KALPAKJIAN, S., & SCHMID, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* 5 Edición. México DF: Pearson Education.
- Mikell, P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. Editorial Hispanoamericana SA, Naucalpan de Juarez, México, 164.
- Morales Miranda, C. A. (2018). *Análisis de soldadura en frío y costura mecánica para fisuras en hierro fundido gris y su aplicación en la reconstrucción de un block*. [B.S. thesis]. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ....
- Mott, R. L., Salas, R. N., Flores, M. A. R., & Martínez, E. B. (2009). *Resistencia de materiales* (Vol. 5). Pearson Educación.

Nicot Hinojosa, A. E. (2016). *Proceso de solidificación en la soldadura del hierro fundido con diferentes materiales de aporte* [PhD Thesis]. Departamento de Mecánica.

Shen, Z., Wang, Y., Song, W., Ji, L., & Cai, L. (2020). Manufacture on marine equipment special repair material—Metalock. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 740(1), 012050.

# Anexos