



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA

**Análisis de falla para la determinación del desgaste de un eslabón  
de cadena de arrastre de excavadora 320 D2L Cat**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Llanos Ruiz, Roger Asunción (ORCID: 0000-0003-4641-456X)

**ASESOR:**

Dr. Villareal Albitres, William Fernando (ORCID: 0000-0001-9027-6358)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

CHICLAYO - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios por guiar mis pasos para cumplir una de mis metas trazadas y permitirme seguir viviendo para seguir adelante en el caminar hacia el éxito profesional.

A mis padres hermanos y amigos por ser personas únicas en mi vida a los que siempre estimo con todo el corazón, por tenerme la paciencia de enseñarme a ver las cosas con amor y aconsejarme cada día de mi vida siempre con frases positivas hacia el futuro para ser una persona de bien.

Roger A Llanos Ruiz

## **Agradecimientos**

A mi estimada familia por todo el apoyo brindado durante toda esta formación académica y profesional.

A mi alma mater Universidad Cesar Vallejo, docentes y asesores por sus sabios consejos, apoyo y colaboración en la realización de mi proyecto de investigación y así mismo por las enseñanzas brindadas cada día para salir adelante en este mundo globalizado.

El Autor

## Índice de Contenidos

|   |           |
|---|-----------|
| Carátula.....   | i         |
| Dedicatoria.....  | ii        |
| Agradecimientos.....  | iii       |
| Índice de Contenidos.....                                     | iv        |
| Índice de Tablas.....   | v         |
| Índice de Figuras.....  | vi        |
| Resumen.....  | vii       |
| Abstract.....   | viii      |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                                   | <b>1</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>III. METODOLOGÍA.....</b>                                  | <b>9</b>  |
| 3.1. Tipo y diseño de la investigación.....                   | 9         |
| 3.2. Variables y operacionalización.....                      | 9         |
| 3.3. Población y muestra.....                                 | 10        |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de los datos..... | 10        |
| 3.5. Procedimiento.....                                       | 12        |
| 3.6. Métodos de análisis de datos.....                        | 13        |
| 3.7. Aspectos Éticos.....                                     | 14        |
| <b>IV. RESULTADOS.....</b>                                    | <b>15</b> |
| <b>V. DISCUSIÓN.....</b>                                      | <b>42</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES.....</b>                                  | <b>44</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>                              | <b>46</b> |
| REFERENCIAS.....  | 47        |
| ANEXOS.....   | 49        |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 01.</b> <i>Composición química del eslabón desgastado.</i> .....  | 19 |
| <b>Tabla 02.</b> <i>Composición química de los haceros para herramientas S6.</i> .....   | 19 |
| <b>Tabla 03.</b> <i>Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos del eslabón desgastado.</i> .....                       | 21 |
| <b>Tabla 04.</b> <i>Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón desgastado.</i> .....   | 22 |
| <b>Tabla 05.</b> <i>Composición química del eslabón nuevo.</i> .....   | 27 |
| <b>Tabla 06.</b> <i>Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos del eslabón nuevo.</i> .....                            | 29 |
| <b>Tabla 07.</b> <i>Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón nuevo.</i> .....  | 30 |
| <b>Tabla 08.</b> <i>Análisis estático de tensiones.</i> .....  | 35 |
| <b>Tabla 09.</b> <i>Análisis estadístico de desplazamiento.</i> .....  | 36 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Análisis estadístico de deformación.</i> .....   | 37 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Análisis estático de factor de seguridad.</i> .....  | 38 |
| <b>Tabla 12:</b> <i>Composición química del eslabón nuevo y eslabón desgastado de la cadena de arrastre de excavadora 320 D2L.</i> ..... | 39 |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos de los eslabones.</i> .....                             | 40 |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón nuevo.</i> .....  | 40 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 01.</i> Armado de cadena .....   | 5  |
| <i>Figura 02.</i> Medición de desgaste de eslabón .....  | 7  |
| <i>Figura 03.</i> Medición de desgaste de eslabón .....  | 8  |
| <i>Figura 04.</i> Flujograma de procesos de diagnóstico .....  | 13 |
| <i>Figura 05.</i> Identificación del eslabón .....   | 15 |
| <i>Figura 06.</i> <i>Desmontaje de eslabones</i> .....   | 16 |
| <i>Figura 07.</i> Verificación de la magnitud de desgaste en eslabón .....   | 16 |
| <i>Figura 08.</i> Medición del eslabón sin uso .....   | 17 |
| <i>Figura 09.</i> Medición del eslabón desgastado .....  | 17 |
| <i>Figura 10.</i> Preparación de muestra .....   | 17 |
| <i>Figura 11.</i> Máquina para corte de las probetas (BAINCUT – M).....  | 18 |
| <i>Figura 12.</i> Durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000.....   | 20 |
| <i>Figura 13.</i> Durómetro analógico. Marca Frank. Escala Rockwell C. ....  | 20 |
| <i>Figura 14.</i> Eslabón desgastado, cuatro puntos medición de la dureza. ....  | 21 |
| <i>Figura 15.</i> Fotografía de la capa superficial del eslabón desgastado.....  | 22 |
| <i>Figura 16.</i> Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón desgastado.....           | 23 |
| <i>Figura 17.</i> <i>Microscopio estereográfico, estructura de los espesores de capa</i> .....                         | 24 |
| <i>Figura 18.</i> Microscopio metalográfico Leica de 50 – 1000 X con pantalla de proyección de la microestructura..... | 24 |
| <i>Figura 19.</i> Probetas encapsuladas para los respectivos análisis metalográfico de los eslabones .....             | 25 |
| <i>Figura 20.</i> Fotomicrografía de la zona de temple del eslabón desgastado .....                                    | 25 |
| <i>Figura 21.</i> Microestructura de la zona central del eslabón desgastado.....                                       | 26 |
| <i>Figura 22.</i> Durómetro portátil universal digital SADT- HARTIP 3000. Escala Rockwell C. ....                      | 28 |
| <i>Figura 23.</i> Durómetro analógico. Marca Frank. Escala Rockwell C. ....  | 28 |
| <i>Figura 24.</i> Cuatro puntos de ensayos de dureza eslabón nuevo .....   | 29 |
| <i>Figura 25.</i> Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón nuevo .....               | 30 |
| <i>Figura 26.</i> Probetas encapsuladas para el respectivo análisis metalográfico. ....                                | 31 |
| <i>Figura 27.</i> Fotomicrografía a la zona de temple del eslabón nuevo .....  | 32 |
| <i>Figura 28.</i> Fotomicrografía de la zona central del eslabón nuevo .....   | 32 |
| <i>Figura 29.</i> Toma de medida del eslabón .....   | 33 |
| <i>Figura 30.</i> Tensiones del modelo (Eslabón).....  | 35 |
| <i>Figura 31.</i> Desplazamientos del modelo (Eslabón) .....   | 36 |
| <i>Figura 32.</i> Deformaciones unitarias del modelo (eslabón) .....   | 37 |
| <i>Figura 33.</i> Factor estático de seguridad (Eslabón).....  | 38 |
| <i>Figura 34.</i> Microestructura de ambos eslabones.....  | 41 |

## Resumen

En la investigación titulada “análisis de falla para la determinación del desgaste de un eslabón de cadena de arrastre de excavadora 320 d2l cat”, tuvo como objetivo general aplicar análisis de falla para la determinación del desgaste de eslabones de cadena de arrastre de excavadora cat 320 D2L.

Se realizaron las pruebas de laboratorio, análisis químico utilizando el espectrómetro de emisión atómica Marca Perkins, usando la norma ASTM E 415, para el ensayo de dureza se utilizó el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000. Se utilizó la norma ASTM E-18 método de prueba estándar para dureza Rockwell en materiales metálicos utilizando la escala Rockwell C (HRC) y norma ASTM A-956, y para el análisis metalográfico Se utilizó el microscopio metalográfico marca Leica 50 – 1000X y el microscopio estereográfico Leica SP-50: 2- 5X, para este ensayo se utilizó la norma ASTM E3-11.

También se ha podido realizar los análisis computacionales de esfuerzos y deformación en software de diseño mecánico solid Works para así poder determinar el comportamiento de los esfuerzos y verificar su factor de seguridad.

De acuerdo a los análisis químicos, metalográfico y ensayo de dureza no hubo diferencias sustanciales por lo que el desgaste prematuro no fue por temas de material sino por otros factores.

**Palabras clave:** Análisis, eslabones, desgaste.

## **Abstract**

In the research titled “Failure Analysis to Determine Wear of a 320 d2l Cat Excavator Drag Chain Link”, it was a general objective to apply failure analysis to determine the wear of cat 320 excavator drag chain link wear. D2L.

Laboratory tests, chemical analysis were performed using the Perkins Brand Atomic Emission Spectrometer, using ASTM E 415, for the hardness test the Frank brand analog durometer and the SADT-HARTIP 3000 universal portable durometer were used. ASTM E-18 standard test method for Rockwell hardness in metallic materials) using the Rockwell C scale (HRC) and ASTM A-956, and for metallographic analysis The Leica 50 - 100X brand metallographic microscope and the stereographic microscope were used Leica SP-50: 2-5X, ASTM E3-11 standard was used for this test.

It has also been possible to carry out the computational stress and deformation analyzes in solid Works mechanical design software in order to determine the behavior of the stresses and verify their safety factor.

According to the chemical, metallographic and hardness tests, there were no substantial differences, so the premature wear was not due to material issues, but due to other factors.

**Keywords:** Analysis, links, wear.



## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú la industria minera actualmente requiere mucho el uso de maquinaria pesada, como las excavadoras hidráulicas Modelo cat 320 D2L, las cuales cumplen una función muy importante en el desarrollo de proyectos mineros, pero también se ha identificado que este tipo de máquinas, necesitan o requieren de un buen diagnóstico de fallas y mantenimiento preventivo.

Con la excavadora cat 320 D2L se puede realizar las siguientes operaciones como:

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Perfilados                             | conformación de hombros |
| Enrocados                              | construcción de canales |
| Posas                                  | drenajes y subdrenajes  |
| zanjas de anclaje                      | colocación de DI y PI   |
| construcción nivelación de plataformas | carguío.                |

La empresa E&SG MAQUINARIAS SG E.I.R.L cuenta con maquinaria para el uso de movimiento de tierras en proyectos mineros, al momento de realizar tareas de mantenimiento se ha podido identificar que los eslabones de cadena no cumplen con el promedio de tiempo de uso en horas establecido por el fabricante, esto genera grandes costos en mantenimiento en el montaje y desmontaje y riesgos altos en seguridad.

Normalmente el tiempo de vida útil de los eslabones es de 10 000 horas con su correcto mantenimiento de acuerdo con manual de mediciones en los tiempos establecidos, se ha identificado que los eslabones presentan desgaste prematuro a las 7000 horas, esta es la causa por lo que se aplicó el análisis de falla para determinar la causa de este desgaste.

De acuerdo con la problemática encontrada anteriormente se planteó el siguiente **Planteamiento del problema:** ¿En qué medida los análisis de falla permiten determinar las causas del desgaste de los eslabones de cadena de arrastre de una excavadora 320 D2L cat?

Observando la problemática anterior surge la siguiente **Hipótesis**: Mediante el análisis de falla se podrá determinar las causas de desgastes de los eslabones de cadena de arrastre de una excavadora 320 D2L cat.

El presente informe de investigación tiene como **Objetivo general**: Aplicar análisis de falla para la determinación del desgaste de eslabones de cadena de arrastre de excavadora 320 D2L cat.

Así como también los siguientes **Objetivos específicos**:

1. Habilitar las probetas del eslabón desgastado para determinar dureza, composición química y su estructura metalográfica a través de pruebas de laboratorio.
2. Determinar la composición química, ensayo de dureza, análisis metalográfico de un eslabón sin uso, el cual servirá como testigo.
3. Realizar un análisis computacional de esfuerzos y deformación en software de diseño mecánico Solid Works para determinar esfuerzos.
4. Comparar los parámetros entre el testigo y la muestra de ensayo del eslabón desgastado.

La investigación se **Justifica**, en identificar, conocer y explicar las posibles causas del desgaste de los eslabones, mediante ensayos de dureza, análisis, químico y metalográfico.

Desde el punto de vista **industrial**, se busca alargar de vida útil de los eslabones al aplicar acciones correctivas a estas piezas mecánicas, por otro lado, nos permita dar unas alternativas de solución con las pruebas realizadas de los eslabones de cadena de arrastre en excavadoras de modelo 320 D2L cat.

En el tema **académico se justifica** porque permitió realizar un análisis de fallas del en un elemento del tren de rodaje de una excavadora cat 320 D2L, en sentido que ayudará a otros investigadores que tomen como referencia el análisis de falla y puedan tomar información para sus investigaciones.

## II. MARCO TEORICO

En la investigación titulada: “Análisis de falla de los eslabones de la cadena de la parrilla transportadora de pellas”, nos indica que:

Tuvieron como objetivo determinar las posibles causas de falla de los eslabones de la cadena, donde pudieron llegar concluir que la inspección visual, análisis de las condiciones de operación de la pieza, análisis químico, macrofractografía vía lupa estereoscópica, macro ataque, ensayo de dureza, son las más adecuadas en el análisis de fallados de eslabones a través de estudio metalográfico. (Jiménez y Gil, 2016).

Otra investigación de la que se tomó referencia tiene como título: “Análisis de datos de falla”, donde describe:

Que su objetivo general fue realizar un análisis de los datos de falla, con el método gráfico y comprobando los resultados mediante el método analítico, donde aplico la metodología, de diseño llegando a las conclusiones: cómo tener una buena historia clínica de los equipos y sistemas que incluya un buen registro de datos de falla y de interacciones sobre ellos, donde están registrados los tiempos de falla, los tiempos de reparación, donde también se hace la referencia (Ramírez, 2014).

En la investigación llamada: “Propuesta de análisis de fallas de las excavadoras para medir su rentabilidad en la empresa Brynajom S.R.L” el autor menciona:

Logró plantear su objetivo general proponer un análisis de fallas de las excavadoras para medir su rentabilidad de la empresa, Con la propuesta de análisis de fallas llego a la conclusión: incrementar la disponibilidad de las excavadoras de 77% hasta un 85%, esto significa una rentabilidad de 33%, basándonos solamente en el incremento de disponibilidad y disminución de parada de máquina. (Nestares, 2017)

Otras de las investigaciones que tuvo como título: “Plan de mantenimiento del tren de rodaje de la excavadora hidráulica 336 DL CAT para la disponibilidad en la empresa constructores y Mineros CG SAC” señala que:

Se planteó como objetivo general, determinar la implantación del Plan de Mantenimiento del Tren de Rodaje de la Excavadora Hidráulica 336 DL CAT. Donde concluye que: se llegó a aumentar la disponibilidad mecánica de la excavadora 336 DL CAT de la empresa Constructores y Mineros CG SAC. De 67.5% a 78.57% (Pérez, 2016)

Dentro de nuestra investigación se ha podido revisar las teorías para poder entender e interpretar mejor nuestra investigación.

## **Falla**

Una falla es la causa o evento que nos lleva a la finalización de la capacidad de un equipo para realizar su función adecuadamente o para dejar de realizarla en su totalidad. (Rios, 2014. p,2)

## **Fallos por desgaste**

Etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo. Ésta es una de las formas que se han tipificado sobre los modos de fallas de equipos, sistemas y dispositivos. (Desingned, 2020 p,2)

## **Fallas funcionales**

Específica las funciones y expectativas que se tiene en la maquinaria la pregunta siguiente es ¿cómo puedo lograr los objetivos? Para ello se necesita adoptar una serie de estrategias, pero aún antes se tiene que conocer y analizar sobre las fallas.

En primer lugar, se identifica las circunstancias que llevaron a la falla. (MonografiasPlus, 2020)

## **Efectos de falla**

Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido, e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla, y donde es recomendable establecer las consecuencias de la misma, esto incluye impacto de la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla. (Castro.A, 2020 p,30).

- ✓ Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el ambiente.
- ✓ Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones.
- ✓ Los efectos físicos causados por la falla.

## **Mecanismo de Falla**

Principio específico que da inicio a un desperfecto de la pieza. Entre los mecanismos de fallas tenemos: Abrasión, corrosión, erosión, calentamiento, sobrecarga, etc. (Manten, 2007).

## **Desgaste del riel de eslabones**

Técnica de medición, Las mediciones de los eslabones de cadena pueden obtenerse con el medidor de profundidad o con el indicador de desgaste ultrasónico. (Vasquez.F, 2019 p,1).

El medidor de profundidad indica la altura del eslabón desde la superficie del riel a la zapata de cadena. La ubicación correcta de la medición del eslabón de cadena se encuentra en la parte exterior de los eslabones, en el extremo del pasador. Ponga el medidor de profundidad tan cerca del extremo del pasador como sea posible, asegurándose antes, de que los eslabones y la superficie de la zapata estén limpios. Asegúrese de que el medidor esté plano sobre los rieles del eslabón y perpendicular a la superficie de la zapata. Las mediciones deben hacerse con una precisión de  $\pm 0,25$  mm ( $\pm 0,01$  pulg).

## **Sección de la cadena:**

La sección de la cadena consta de dos eslabones de cadena, un pasador y un buje. Las secciones de la cadena están conectadas juntas para formar el eje central de la cadena, el conjunto de eslabón. (Mecaevolution, 2020 p,1).



*Figura 01. Armado de cadena*

Fuente: undercarriage application guide CAT.

## **Eslabón de cadena**

Se usan dos eslabones de cadena en cada sección de la cadena. Los eslabones de cadena proveen un medio para unir las zapatas de la cadena y permiten un carril continuo a los rodillos. (Mecaevolution, 2013).

## **Condiciones del terreno**

En todos los efectos de las diversas aplicaciones influye mucho el terreno en el que se trabaja. Los efectos de las aplicaciones más comunes, cualquiera que sea el grado de impacto existente. Fuente: Valbuena (2013 Pag.86).

## **Mantenimiento basado en condición para tren de rodaje**

Para la medición del tren de rodaje CATEPILLAR ha diseñado un programa utilizando la técnica Predictiva del ultrasonido denominado CTS. Este aprovecha la herramienta de ultrasonido para medir el desgaste de los espesores de los diferentes compones del tren de rodaje generando un reporte en el formato “informe de inspección CTS” ver anexo, con el porcentaje de desgaste medido del componente se determina si el desgaste es normal o prematuro, y se toman las acciones correctivas del caso dependiendo de la causa de falla detectada, o se procede a programar el cambio del tren de rodaje si es el caso. (Vematrak, 2020).

Con esto se garantiza obtener el máximo rendimiento y vida útil del tren de rodaje y se eliminan los tiempos de parada debidos a fallas catastróficas del rodaje, educiendo los tiempos de parada al poder programar con anterioridad la consecución de los recursos para la parada del equipo.



Figura 02. Medición de desgaste de eslabón

Fuente: measurement and calc with systemone slides edición de la cadena con ultrasonido

## **Ensayos**

Se denomina ensayo de material a toda prueba que se realiza de acuerdo con normas técnicas dependiendo sus características. (Ingemecanica, 2020 p,2).

### **Análisis Químico**

Es una pericia que se aplica para la detección y evaluación de defectos de falla en el metal. (Hernandez y Espejo, 2002 p, 157).

### **Análisis metalográfico**

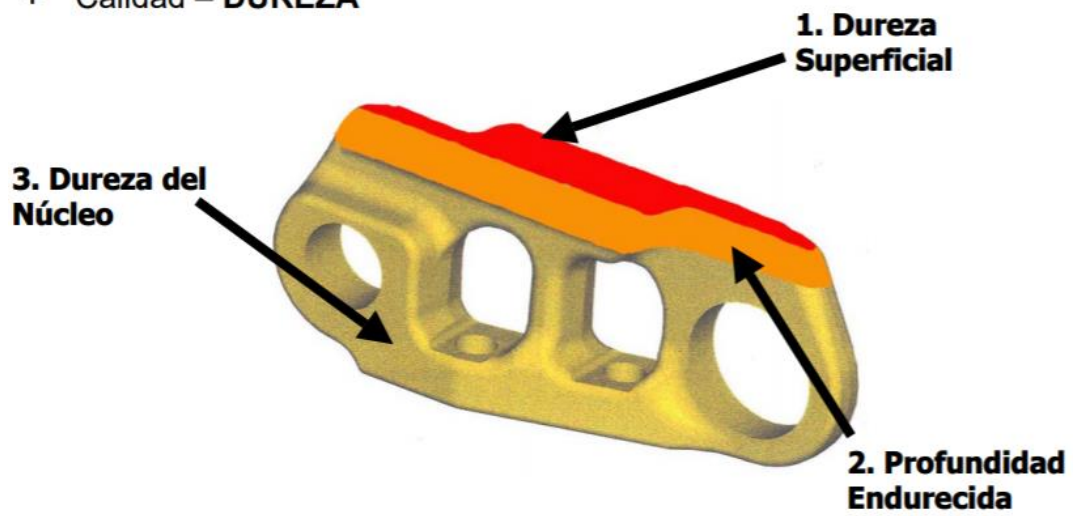
Con este estudio se logra verificar los tipos de los materiales para poder determinar sus propiedades mecánicas y químicas. (Lobera, 2020 p,1).

### **Análisis de Dureza**

Es un procedimiento que se utiliza para verificar la resistencia de los materiales a investigar. Los tipos más utilizados son dureza Brinell, Rockwell y Vickers. (Apuntes, 2020 p, 10).

## Conformación de dureza del eslabón

+ Calidad – DUREZA



*Figura 03.* Medición de desgaste de eslabón

Fuente: Curso por Martin Gallegos



### III. METODOLOGIA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

##### Tipo de Investigación

El informe de investigación es **APLICADA** debido a que trata de explicar los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio para determinar fallas en nuestra unidad de análisis (eslabón), las cuales serán representadas en porcentajes de desgaste y cuadros comparativos.

##### Diseño de la investigación

Según la investigación es **CUASI EXPERIMENTAL**, aquí nuestra unidad de análisis es específica del eslabón de una excavadora cat 320 D2L, con esta unidad de análisis lograremos recolectar la información para poder describir todos los fenómenos observados en las pruebas de laboratorio realizadas, la cual nos ayudará a determinar y describir las causas de las fallas de la pieza mecánica (Eslabón). Mediante los análisis podremos determinar posibles causas y aplicar soluciones a causas identificadas.

#### 3.2. Variables y operacionalización

##### Variable independiente

##### Análisis de fallas.

- Análisis Químico.
- Ensayo de Dureza.
- Análisis metalográfico.

##### Variable dependiente

- Desgaste de los eslabones de cadena de arrastre de la excavadora cat 320 D2L.

##### Operacionalización

La tabla de operacionalización se puede visualizar en el anexo 3.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

Es el conjunto de todos los elementos de estudio, las excavadoras 320 D2L cat a las cuales se les pudo aplicar el método de análisis de falla en la región Cajamarca.

#### **Muestra:**

Es el subconjunto de la población para poder realizar el análisis de falla y determinar el desgaste de un eslabón de cadena de arrastre de la excavadora modelo 320 D2L cat de la empresa E&SG MAQUINARIAS SERVICIOS GENERALES E.I.R. L.

#### **Unidad de análisis**

La unidad de análisis es un eslabón de cadena de la excavadora 320 D2L cat en la empresa E&SG MAQUINARIAS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de los datos.**

#### **TÉCNICAS**

##### **La observación**

Se estuvo presente en proceso de desarmado del tren de rodaje de la excavadora 320 D2L cat, con la finalidad de poder verificar los tiempos de demora en el desmontaje de los eslabones y posteriormente su determinación de las fallas de dicho eslabón.

##### **La entrevista estructurada**

Se realizó una encuesta principalmente al personal del área de mantenimiento para obtener el grado de conocimiento que tienen en la especialidad del sistema de carrilería y descubrimiento de fallas de las piezas mecánicas de la excavadora 320 D2L cat de la empresa E&SG MAQUINARAL SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

## **La revisión documentaria**

En este presente proyecto de investigación se utilizó distintas bases de datos especializadas lo cual está articulado a la revisión de documentación, referente a la problemática, teorías e investigaciones previas relacionadas al tema de análisis de fallas de excavadora 320 D2L cat de la empresa E&SG MAQUINARAL SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

## **Instrumentos de recolección de datos**

### **Ficha de observación**

Se estará presente en los trabajos manuales con respecto al desgaste de los eslabones, pruebas de laboratorio de forma que se acumule información directamente de la fuente de trabajo y del problema existente en los eslabones de cadena de arrastre de la excavadora cat 320 D2L.

### **Guía de entrevista**

Se realizaron preguntas adecuadas al personal de campo referidas a la vida útil promedio de los eslabones y el porcentaje promedio de desgaste de acuerdo con las horas de trabajo.

### **Check list**

Se realizará un Check list donde los operadores mencionan la situación y las respectivas fallas de las excavadoras cat 320 D2L.

## **Validez y Confiabilidad**

### **Validez**

Las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación demuestran su valides porque no son improvisadas y fueron adecuadas de acuerdo con la edad, nivel educativo, nivel ocupacional de las personas involucradas en el campo de la realización de pruebas y simulación del desgaste del eslabón, se validó los instrumentos recolectados en el aspecto metodológico

concerniente al diagnóstico de fallas del eslabón de la excavadora 320 d2l cat.

### **Confiabilidad**

Las técnicas e instrumentos son confiables porque se aplicaron en distintos escenarios en condiciones similares y los resultados no presentaron variaciones significativas. Esta investigación demuestra su confiabilidad, porque se utilizó información de primera línea en el campo del diagnóstico de pruebas de fallas validada por los expertos por la materia.

### **3.5. Procedimiento.**

se aplicó instrumentos de recolección de datos al personal involucrado en tareas relacionadas al tema de investigación es necesario contar con la aprobación de la empresa E&SG MAQUINARAL SERVICIOS GENERALES E.I.R.L, donde se está ejecutando el proyecto, para luego de ello ingresar al área de operaciones.

## FLUJOGRAMA DE PROCEDIMIENTOS

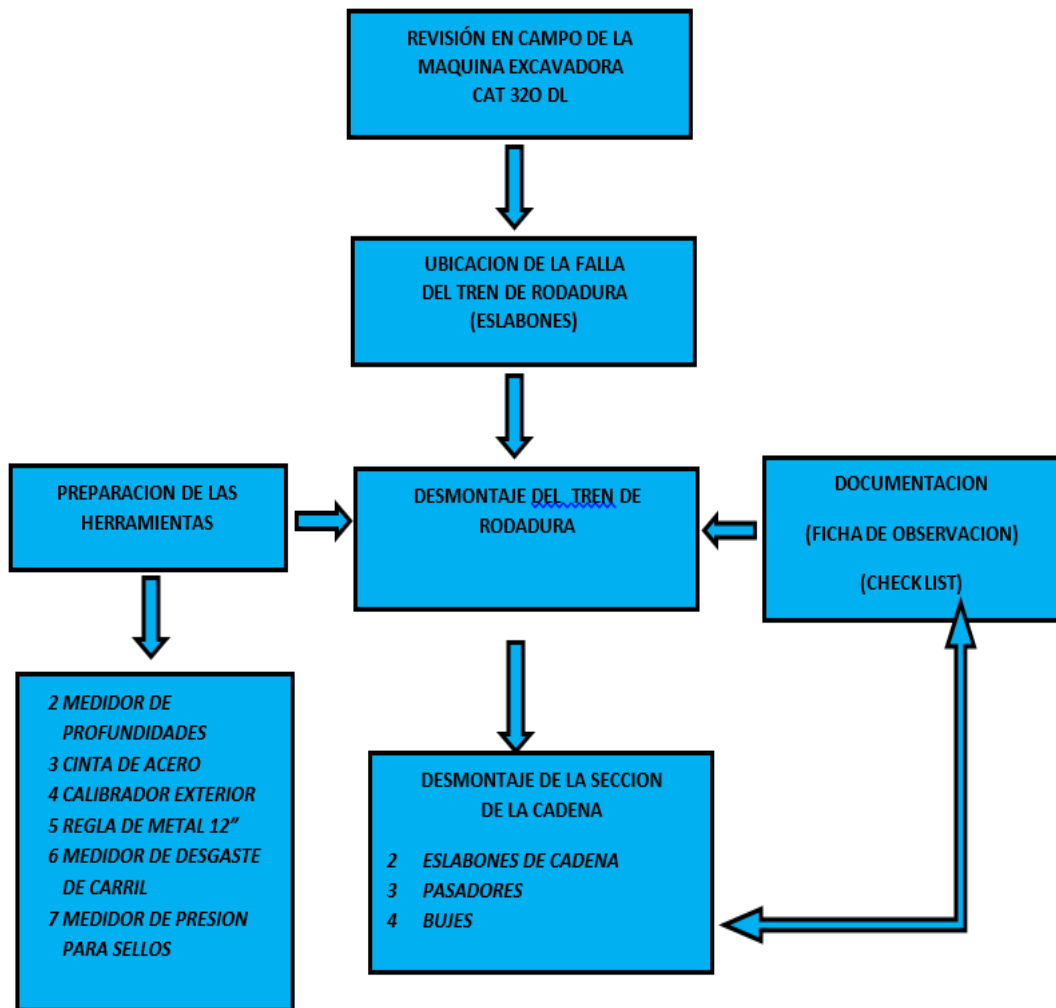


Figura 04. Flujoograma de procesos de diagnóstico.

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Métodos de análisis de datos

Las fallas que tienen lugar en el objeto de estudio se pueden apreciar fácilmente por las anomalías que ellas causan en el funcionamiento del eslabón de cadena de arrastre que está ubicado en la parte externa de la maquina cat 320 D2L. En este procedimiento se identificó el evento indeseable y sus detalles, asociados mediante hechos que lo respaldan. Los hechos se han logrado establecer mediante observación directa, documentación, del análisis de laboratorio y simulación para obtener conceptos científicos.

También se describe los análisis de falla y la determinación del desgaste de los eslabones del tren de rodaje de la excavadora 320 D2L cat, la información recopilada del lugar afectado por la problemática se identificó el desgaste del eslabón el cual nos permitió obtener datos importantes de las pruebas realizadas en el laboratorio, donde se verifico las zonas afectadas de la pieza mecánica utilizando los elementos estadísticos para tabulación, gráficos y figuras estadísticas obtenidas.

### **3.7. Aspectos Éticos.**

En la investigación se consideró algunos aspectos éticos como el respeto a la propiedad intelectual con la mayor objetividad posible, el respeto a la ideología y políticas de la empresa donde actualmente se realizará la investigación, la susceptibilidad de las personas que participaron en el presente estudio, respetando su privacidad y protegiendo su identidad.

En la investigación se involucran grandes responsabilidades como evitar el plagio esto implica no tratar de engañar a la ciencia, medio ambiente y a la sociedad.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Habilitar las probetas del eslabón desgastado para determinar dureza, composición química y su estructura metalográfica a través de pruebas de laboratorio.

Recolección de muestras para laboratorio:

Para recoger las muestras o probetas para el laboratorio se siguió una serie de pasos:

**1° paso:** se desmonto la cadena averiada de la excavadora cat 320 D2L en la empresa E&SG MAQUINARIAS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.



Figura 05. Identificación del eslabón.

Fuente: área de mantenimiento E&SG MAQUINARIAS E.I.R.L.

**2° paso:** desmontar todos los elementos mecánicos que conforman la cadena (zapatas, pines, bocinas y eslabones).



Figura 06. *Desmontaje de eslabones.*

Fuente: E&SG MAQUINARIAS E.I.R.L

**3° paso:** Verificar daños en los eslabones como: desgaste, fisuras, abolladuras, desviaciones.



Figura 07. *Verificación de la magnitud de desgaste en eslabón.*

Fuente: Área de mantenimiento E&SG MAQUINARIAS E.I.R.L.



## Descripción de la muestra extraída

Medidas estándar del eslabón

Altura: 106 mm



Figura 08. Medición del eslabón sin uso.

Medidas de la muestra extraída

Altura: 103 mm



Figura 09. Medición del eslabón desgastado.

Fuente: área de mantenimiento E&SG MAQUINARIAS E.I.R.L.

**4° paso:** Preparar la muestra para derivar al laboratorio.



Figura 10. Preparación de muestra.

Fuente: área de mantenimiento E&SG MAQUINARIAS E.I.R.L.

Para lograr el objetivo descrito se realizar dichas pruebas de laboratorio.

### **ANÁLISIS QUÍMICO**

Se realizó utilizando el espectrómetro de emisión atómica Marca Perkins, usando la norma ASTM E 415. (Método de prueba estándar para el análisis de carbono en el acero y elementos de baja aleación, por espectrometría de emisión atómica).

### **Proceso del análisis químico**

En primer lugar, se corta el eslabón para obtener la muestra, con la máquina de corte de probetas BAINCUT- M, Se pulió una cara con lijas de granulometría 80-100-220-400-600, introducir la muestra dentro del espectrómetro donde se producirán chispa por efecto de la incidencia de electrones en la superficie produciendo longitud de ondas de acuerdo al elemento químicos.



*Figura 11.* Máquina para corte de las probetas (BAINCUT – M).

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

## Resultado de pruebas de análisis químico

Tabla 01. Composición química del eslabón desgastado.

| Pieza         | Elemento | C     | Mn   | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | V     |
|---------------|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Eslabón usado | %        | 0.491 | 0.58 | 0.61 | 1.13 | 0.32 | 0.24 | 0.191 |

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos, (UNT).

De acuerdo a los resultados obtenido del análisis químico del eslabón desgastado corresponde a un acero AISI S6, que son aceros resistentes al desgaste y al impacto.

La ficha técnica donde muestra las características mecánicas y aplicaciones del acero AISI S6. **Ver anexo: 03.**

La siguiente tabla muestra la composición química de los haceros para herramientas S6, la cual servirá para comparar los resultados del análisis químico de acuerdo al fabricante AZO MATERIALS.

Tabla 02. composición química de los haceros para herramientas S6.

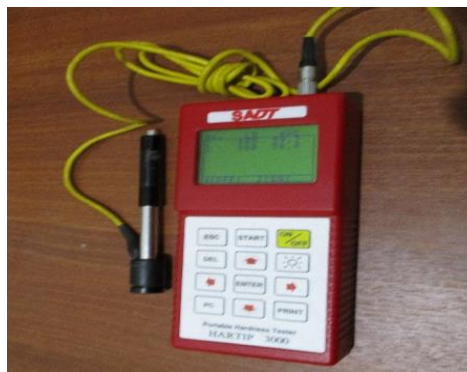
| ELEMNTO              | CONTENIDO (%) |
|----------------------|---------------|
| Hiero, FE            | Balance       |
| Carbón, C            | 0.40-0.50     |
| Manganeso, Manganeso | 1.20-1.50     |
| Silicio, Si          | 2.00-2.50     |
| Cromo, Cr            | 1.20-1.50     |
| Molibdeno, MES       | 0.30-0.50     |
| Vanadio, V           | 0.20-0.40     |
| Cobre, Cu            | 0,25          |
| Fósforo, P           | 0,03          |
| Azufre, S            | 0,03          |

Fuente: Azo materials.

## ENSAYO DE DUREZA

En este ensayo se utilizó el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000. Se utilizó la norma ASTM E-18 (método de prueba estándar para dureza Rockwell en materiales metálicos) utilizando la escala Rockwell C (HRC) y norma ASTM A-956(método estándar para prueba de dureza Equotip en metales utilizando un dispositivo de impacto D).

En este ensayo se utilizó los siguientes durómetros.



*Figura 12.* Durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).



*Figura 13.* Durómetro analógico. Marca Frank. Escala Rockwell C.

Fuente: Laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT)

## Proceso de ensayo de dureza

Se evaluó la dureza superficial en las posiciones 1,2,3,4 y núcleo. Para la cual se realizó un desbaste grueso (80-100.200) y desbaste fino (lija 400-600). Seguidamente se realizó el ensayo y se hizo 3 mediciones en cada posición.

Ubicación de las zonas o puntos de medición (1,2,3y4) y núcleo del eslabón desgastado.

## Medición de la dureza en las posiciones 1 - 2 - 3 y 4



Figura 14. Eslabón desgastado, cuatro puntos medición de la dureza.

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

## Resultados de la prueba de dureza

Tabla 03. Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos del eslabón desgastado.

| Posición                   | Dureza (HRC)      |                 |                |                |                |
|----------------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            | 1                 | 2               | 3              | 4              | Núcleo         |
| Eslabón usado              | 55.1- 56.9 - 53.6 | 53.8- 55.05- 60 | 56.0-55.9-56.4 | 58.8-56.1-55.7 | 39.1-41.4-39.2 |
| Promedio                   | 55.20             | 54.80           | 56.10          | 56.20          | 40.10          |
| Promedio general de dureza | 55.57             |                 |                |                |                |

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

Como se observa en la tabla de resultados la dureza superficial del material es homogénea en todos los puntos de medición.

## Capa de temple en el eslabón desgastado

La estructura de la superficie de los eslabones (zona: 1-2-3 y 4), se realizó utilizando el microscopio estereográfico Leica.

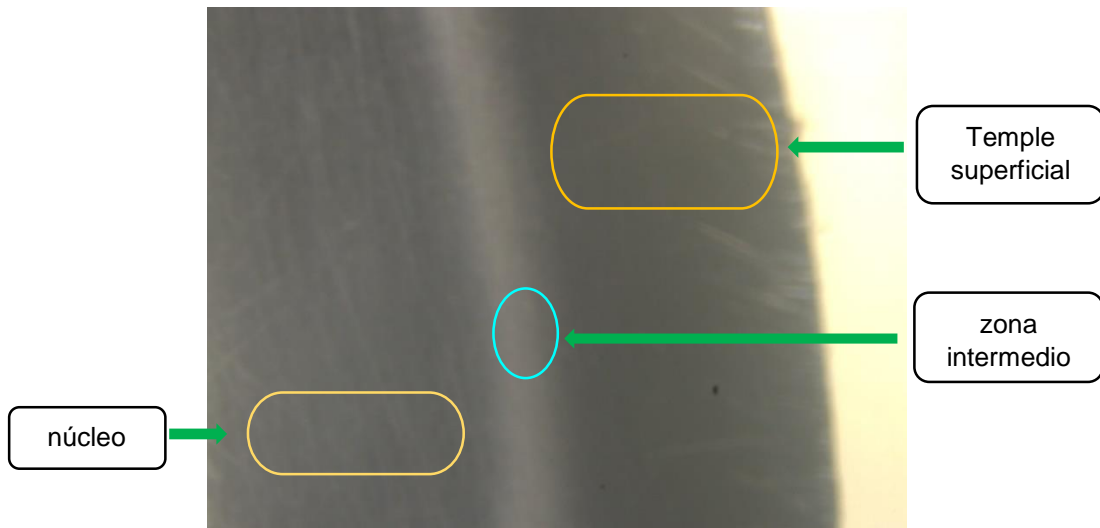


Figura 15. Fotografía de la capa superficial del eslabón desgastado.

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

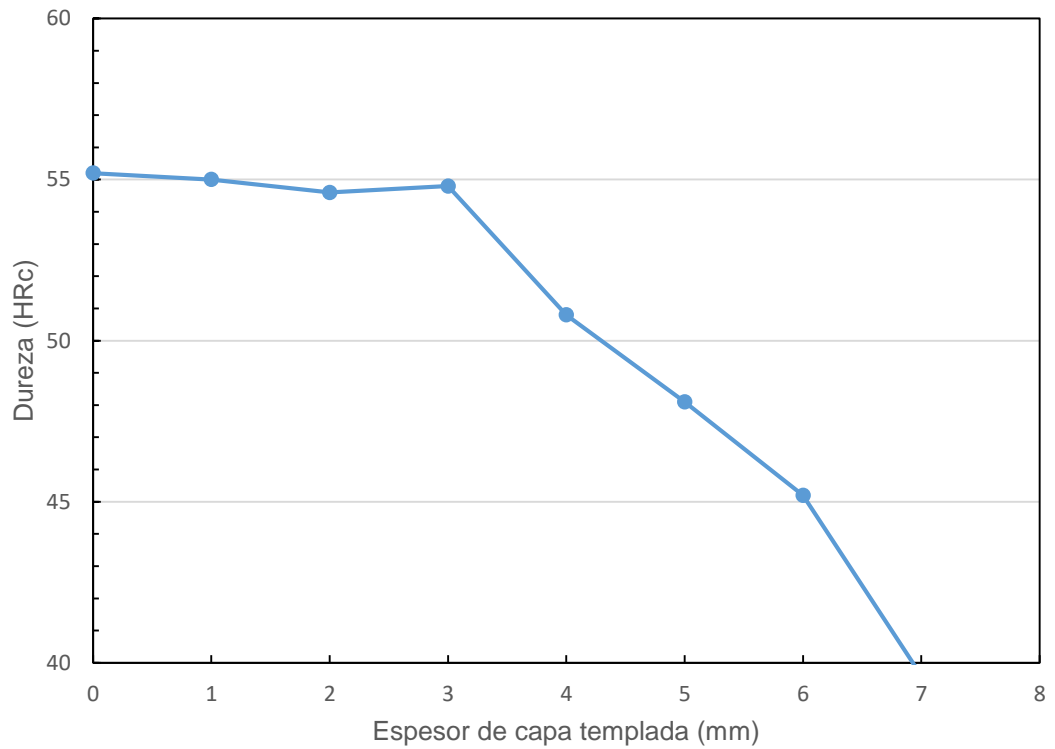
Figura 15 muestra la fotomicrografía de la zona superficial del eslabón en la zona 1-2-3 y 4 (zona de temple). Se observa una zona oscura que es la zona de temple superficial o temple localizado con llama oxiacetilénica. Produciendo un espesor de capa templada de 6.0 mm (color oscuro), una zona clara (zona intermedia) y zona central (color gris).

Tabla 04. Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón desgastado.

| Posición<br>(x)<br>mm. | Superficie<br>0 | 1.0  | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   | Núcleo<br>7.0 |
|------------------------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Dureza<br>(HRc)        | 55.20           | 55.0 | 54.60 | 54.80 | 50.80 | 48.10 | 45.20 | 39.60         |

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

Como se observa en la tabla 4, a medida que se va desgastando la superficie del eslabón va perdiendo dureza.



*Figura 16.* Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón desgastado.

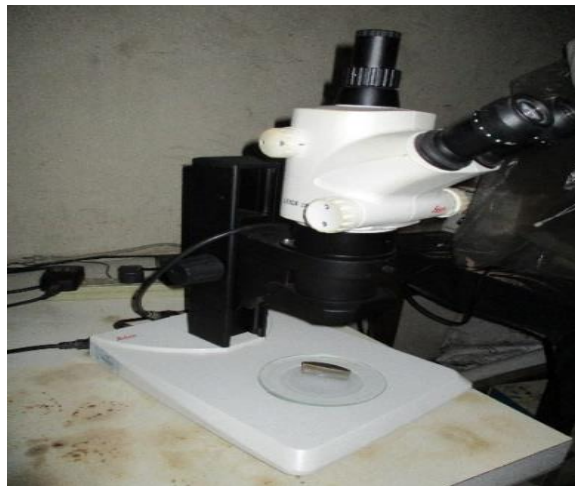
Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

Se observa en el diagrama de la figura 16 que la dureza del eslabón va disminuyendo desde la parte superficial del eslabón de acuerdo a la medida del temple superficial hasta la parte central que es el núcleo.

## ANALISIS METALOGRAFICO

Con este tipo de análisis realizado se logra determinar si tiene la dureza suficiente para soportar el desgaste debido a la fricción y al contacto con el terreno.

Para este tipo de análisis se utilizó el microscopio metalográfico marca Leica 50 – 1000X y el microscopio estereográfico Leica SP-50: 2- 5X, según norma ASTM E3-11 para obtención de resultados.



*Figura 17. Microscopio estereográfico, estructura de los espesores de capa.*

Fuente: Laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos, (UNT).



*Figura 18. Microscopio metalográfico Leica de 50 – 1000 X con pantalla de proyección de la microestructura.*

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos, (UNT).





*Figura 19.* Probetas encapsuladas para los respectivos análisis metalográfico de los eslabones.

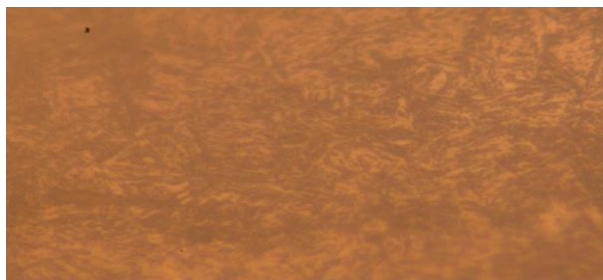
Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

### **Proceso del análisis metalográfico**

Se realizó el corte del eslabón con la máquina de corte BAINCUT-M para la obtención de la probeta y para realizar el respectivo análisis metalográfico. El encapsulado de probeta con resina epóxica. Desbaste grueso de probeta con lijas N° 80-100-180-220, desbaste fino con lijas 400-600-1000 y pulido de probeta con aluminio de 0.5  $\mu\text{m}$  - 0.3  $\mu\text{m}$  y 0.1  $\mu\text{m}$ . Ataque químico con Nital al 5%. Toma de fotomicrografía con la cámara fotográfica incorporada Leica y proyección de microestructura en la pantalla.

Resultados del análisis metalográfico

### **Microestructura de la zona de temple**

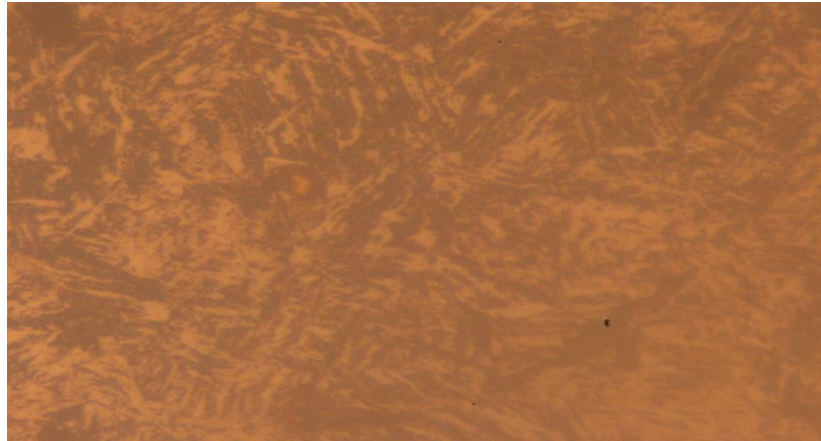


*Figura 20.* Fotomicrografía de la zona de temple del eslabón desgastado.

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

La microestructura del eslabón consta de martensita revenida y pequeños trazos de perlita fina, que sirve para denominar su estructura de los aceros templados. Ataque químico.

### Microestructura de la zona central (núcleo)



*Figura 21.* Microestructura de la zona central del eslabón desgastado.

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

Según los resultados obtenidos del núcleo del eslabón desgastado tiene la misma microestructura que en la parte superficial del eslabón. Ataque químico: Nital 5%. 500X.

**4.2. Determinar la composición química, ensayo de dureza, análisis metalográfico de un eslabón sin uso, el cual servirá como testigo.**

Para lograr determinar la dureza, la composición química y su estructura metalográfica del eslabón nuevo que servirá como base de comparación con el eslabón desgastado, se realizaron pruebas de laboratorio, cuyos resultados se presentan a continuación:

**ANALISIS QUIMICO**

Se realizó utilizando el espectrómetro de emisión atómica Marca Perkins, usando la norma ASTM E 415. (Método de prueba estándar para el análisis de carbono en el acero y elementos de baja aleación, por espectrometría de emisión atómica).

**Proceso del análisis químico**

Se obtuvo la muestra del eslabón nuevo y se pulió con diferentes tipos de lija en rangos de granulometría que varían desde 100 a 600 granos de abrasivo por pulgada lineal, luego se introdujo la muestra dentro del espectrómetro donde se producen chispas por efecto de la incidencia de electrones en la superficie produciendo longitud de ondas de acuerdo a los componentes químicos.

*Tabla 05. Composición química del eslabón nuevo.*

| <b>Pieza</b>         | <b>Elemento</b> | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Si</b> | <b>Cr</b> | <b>Ni</b> | <b>Mo</b> | <b>V</b> |
|----------------------|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Eslabón nuevo</b> | %               | 0.531    | 0.60      | 0.62      | 1.25      | 0.35      | 0.25      | 0.20     |

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

De acuerdo al resultado del análisis químico en el eslabón nuevo, su composición química es la de un acero AISI S6, el cual es un acero resistente al desgaste y al impacto.

## ENSAYO DE DUREZA

En este ensayo se utilizó el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000. Se utilizó la norma ASTM E-18 (método de prueba estándar para dureza Rockwell en materiales metálicos) utilizando la escala Rockwell C (HRC) y norma ASTM A-956 (método estándar para prueba de dureza Equotip en metales utilizando un dispositivo de impacto D), en este ensayo se utilizó los siguientes equipos de medición de dureza.



*Figura 22.* Durómetro portátil universal digital SADT- HARTIP 3000. Escala Rockwell C.  
Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos, (UNT).



*Figura 23.* Durómetro analógico. Marca Frank. Escala Rockwell C.  
Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

### Proceso del ensayo de dureza

Se realizó la medición de la dureza superficial en las posiciones 1, 2, 3,4 y núcleo del eslabón. Para la cual se realizó un desbaste con lijas gruesa 50,100,200 y desbaste fino 300,400, Seguidamente se realizó el ensayo donde se hizo 3 mediciones en cada posición y se sacó su valor promedio.

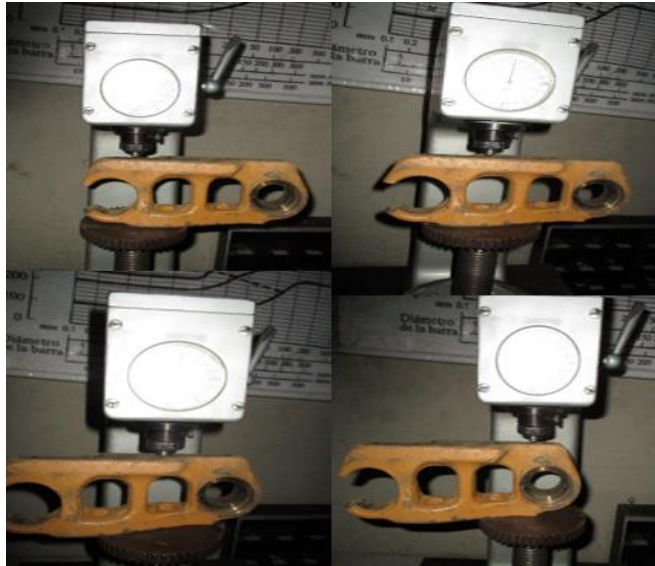


Figura 24. Cuatro puntos de ensayos de dureza eslabón nuevo.  
Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).



Figura 26. Medición de dureza en las 4 posición del eslabón nuevo.  
Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

**Tabla 06.** Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos del eslabón nuevo.

| Posición             | Dureza (HRC)        |                    |                     |                    | Núcleo               |
|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
|                      | 1                   | 2                  | 3                   | 4                  |                      |
| <b>Eslabón nuevo</b> | 56.9058.30-         | 56.3 - 57.1-       | 57.60-56.90-        | 58.1-56.80-        | 43.10 - 41.30-       |
| <b>Promedio</b>      | 57.60 = <b>57.6</b> | 57.0 = <b>56.8</b> | 57.10= <b>57.20</b> | 57.0= <b>57.30</b> | 43.70 = <b>42.70</b> |

Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

Los resultados obtenidos en los puntos donde se realizó el ensayo de dureza hay variaciones mínimas en la capa superficial las cuales se considera despreciables.

### Medición de la dureza por capa de temple superficial

Los eslabones tienen un temple superficial localizado, produciendo un espesor de capa templada de 6.81 mm para el eslabón nuevo.

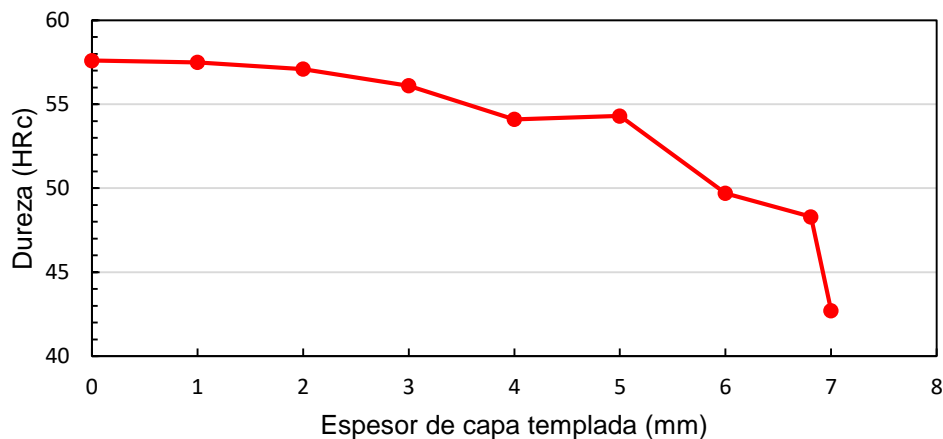
Se realizó las pruebas de dureza de acuerdo a la profundidad de capa de temple superficial donde el temple se va acercando a la parte del núcleo la dureza va disminuyendo los resultados se muestran en la presenta tabla.

**Tabla 07.** Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón nuevo.

| Posición (x) mm. | Superficie e | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   | 6.81  | Núcleo 7.0 |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Dureza (HRc)     | 57.60        | 57.50 | 57.10 | 56.10 | 54.10 | 54.30 | 49.70 | 48.30 | 42.70      |

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos, (UNT).

Según los resultados obtenidos del ensayo, la dureza en la capa de temple en cada punto mencionado varía de acuerdo con la profundidad del temple.



**Figura 25.** Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón nuevo.

Fuente: Laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

## ANÁLISIS METALOGRAFICO

Se utilizó el microscopio metalográfico marca Leica 50 – 1000X y el microscopio estereográfico Leica SP-50: 2- 5X, para este ensayo se utilizó la norma ASTM E3-11 (preparación de muestras metalográficas).

### Proceso para en análisis metalográfico.

El corte del eslabón se realizó con la máquina de corte BAINCUT-M para la obtención de la probeta y realizar el respectivo análisis metalográfico. Encapsulado de probeta con resina epóxica. Desbaste grueso de probetas con lijas N° 80-100-180-220, desbaste fino con lijas 400-600-1000 y pulido de probetas con alúmina de 0.5  $\mu\text{m}$  - 0.3  $\mu\text{m}$  y 0.1  $\mu\text{m}$ . Ataque químico con Nital al 5%.

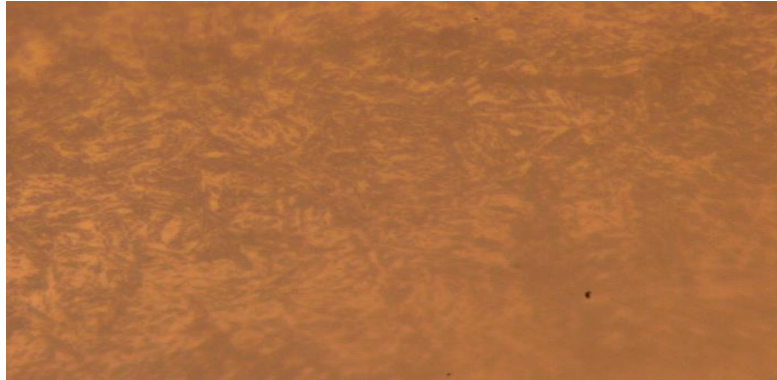


*Figura 26.* Probetas encapsuladas para el respectivo análisis metalográfico.

Fuente: Laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

## Resultados del análisis metalográfico.

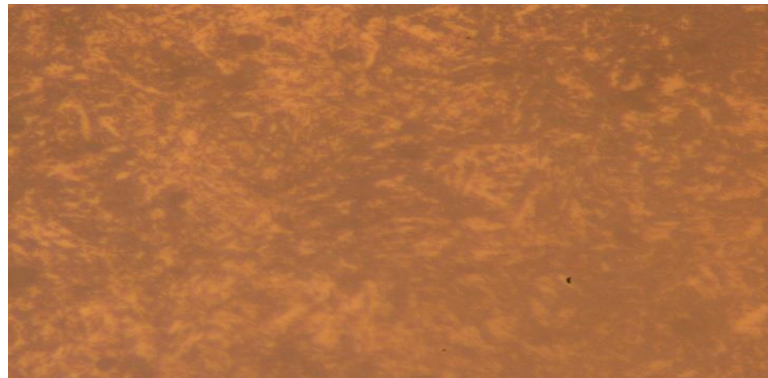
Microestructura de la zona de temple



*Figura 27.* Fotomicrografía a la zona de temple del eslabón nuevo.  
Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

La microestructura consta de martensita revenida (fina) llamada sorbita.  
Ataque químico: Nital 5%. 500X.

### Microestructura de la zona central (núcleo)



*Figura 28.* Fotomicrografía de la zona central del eslabón nuevo.  
Fuente: laboratorio metalúrgica física y ensayos mecánicos (UNT).

La microestructura del núcleo del eslabón consta de martensita revenida.  
Ataque químico: Nital 5%. 500X.



**4.3. Realizar un análisis computacional de esfuerzos y deformación en software de diseño mecánico solid Works para determinar esfuerzos.**

Se tomó medidas al eslabón extraído con instrumentos de medición: Vernier micrómetro de interior, micrómetro exterior para la consideración en el modelamiento en el software de diseño, la cual se aplicó una carga nominal de 12 toneladas 400 kilogramos.







*Figura 29. Toma de medida del eslabón.*

Fuente: elaboración propia.

El eslabón está construido de un material (AISI) S6 instituto americano del hierro y del acero con un tratamiento térmico superficial de endurecimiento por temple con un factor de seguridad de diseño 1.5.

### **Simulación en el software de diseño Solid Works del eslabón.**

Para realizar la simulación en el software de diseño Solid Works, primero se diseñó el eslabón de acuerdo con medidas extraídas con herramientas de medición, se comparó medidas del eslabón desgastado y nuevo luego se seleccionó el material, se realizó el análisis estático quien nos dio cuatro tipos de resultados.

-  Tensiones
-  Deformaciones unitarias
-  Desplazamientos
-  Factor de seguridad.

Cuando se diseñó el eslabón se tomó en cuenta el factor de seguridad para validar y no tener fallas al exceder las cargas nominales del diseño.

Nuestro factor de seguridad no puede ser menos a 1.5, para que el diseño sea considerado aceptable.

A continuación, se detallará los resultados de los análisis estáticos ya descritos.

## Análisis estático – tensiones.

Tabla 08. Análisis estático de tensiones.

| Nombre     | Tipo                            | Mín.                                     | Máx.   |
|------------|---------------------------------|--|--|
| Tensiones1 | VON:<br>Tensión de<br>von Mises | 236,066.344N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 370 | 128,770,928.000N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 396 |

Fuente: elaboración propia.

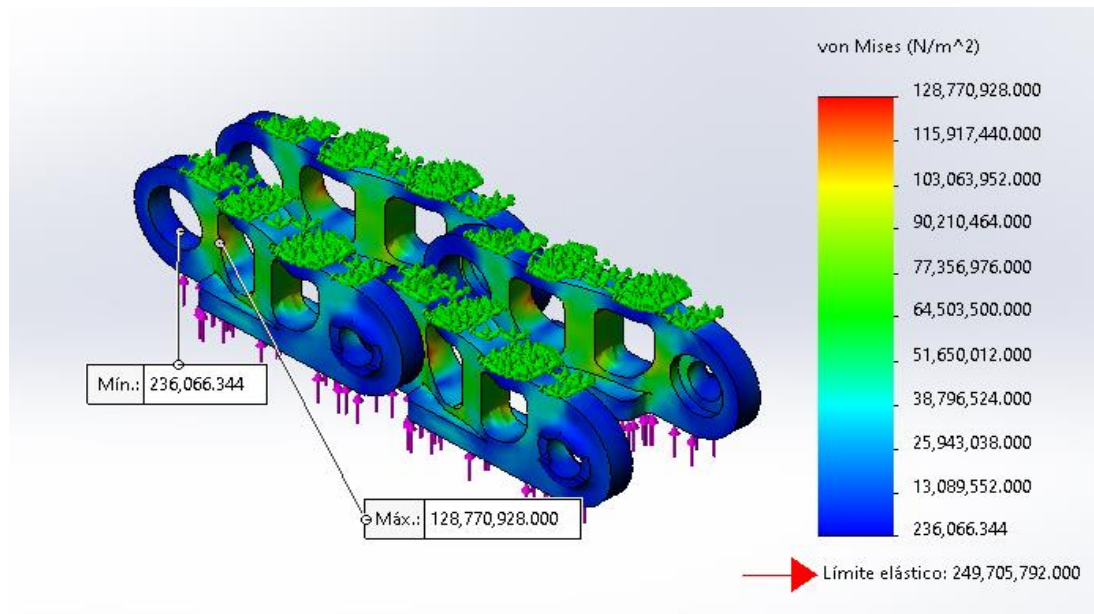


Figura 30. Tensiones del modelo (Eslabón)

Fuente: elaboración Propia.

El análisis estático de tensiones muestra las tensiones mínimas y máximas que van expresadas desde el color azul y rojo, en la gráfica podemos observar que el eslabón está entre los colores turquesa y verde de acuerdo con la carga aplicada, por lo tanto, los resultados son aceptables para el diseño.

## Análisis estático – desplazamiento.

Tabla 09. Análisis estadístico de desplazamiento.

| Nombre           | Tipo                                    | Mín.               | Máx.                  |
|------------------|---|--------------------|-----------------------|
| Desplazamientos1 | URES:<br>Desplazamientos<br>resultantes | 0.000mm<br>Nodo: 6 | 0.053mm<br>Nodo: 9487 |

Fuente: elaboración Propia.

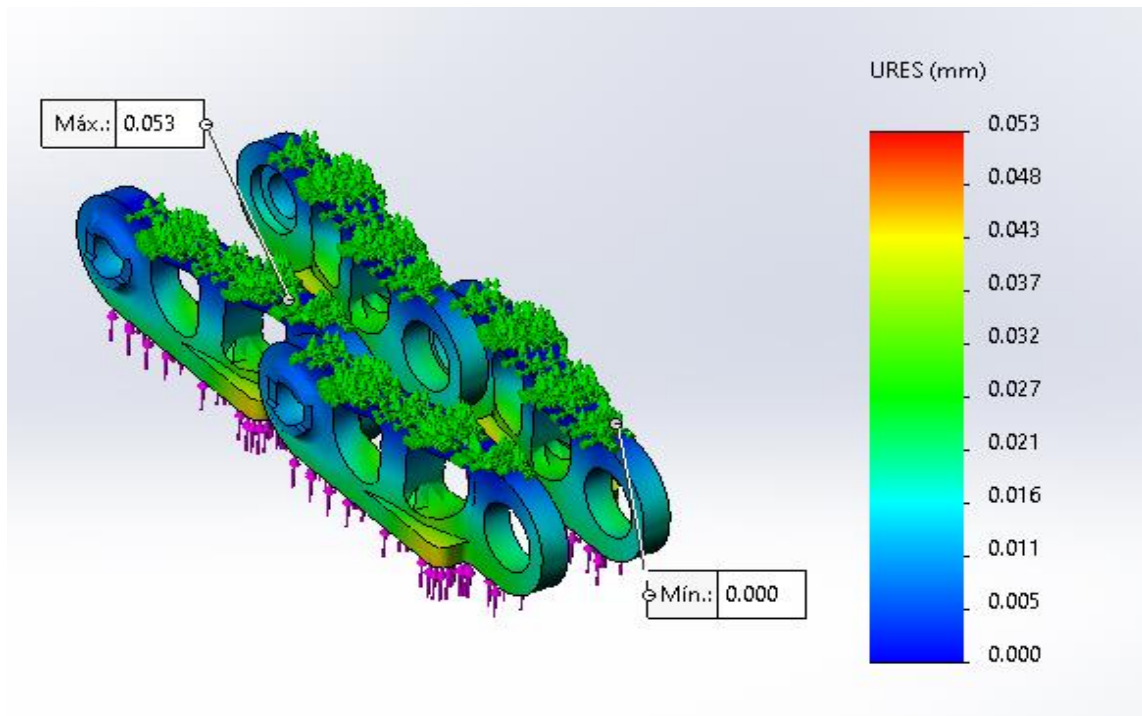


Figura 31. Desplazamientos del modelo (Eslabón).

Fuente: elaboración Propia.

En el análisis estático de desplazamientos se observa los desplazamientos mínimos y máximos expresadas en la barra de colores azul y rojo comparativamente.

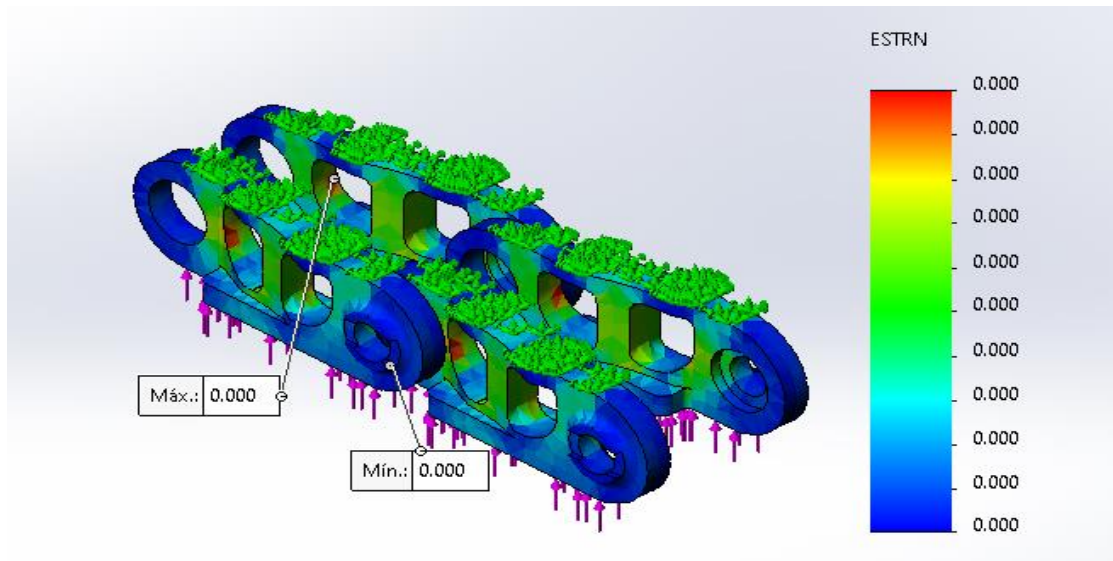
En la gráfica nos muestra la zona que ha sufrido el máximo desplazamiento con un valor de 0.053mm cual indica que está dentro del rango permitido.

## Análisis estático – desplazamiento.

**Tabla 10.** Análisis estadístico de deformación.

| Nombre                   | Tipo                                       | Mín.                       | Máx.                       |
|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| Deformaciones unitarias1 | ESTRN:<br>Deformación unitaria equivalente | 0.000<br>Elemento:<br>2005 | 0.000<br>Elemento:<br>6433 |

Fuente: elaboración propia.



**Figura 32.** Deformaciones unitarias del modelo (eslabón).

Fuente: elaboración Propia.

En el análisis estático de desplazamientos unitario se observa las deformaciones mínimos y máximos expresadas en la barra de colores azul y rojo respectivamente.

La grafica de colores nos muestra el valor de las deformaciones mínimas de color azul y máximas de color rojo nos indican que su desplazamiento es cero.

## Análisis estático – factor de seguridad.

Tabla 11. Análisis estático de factor de seguridad.

| Nombre               | Tipo                      | Mín.               | Máx.                   |
|----------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|
| Factor de seguridad1 | Tensión de von Mises máx. | 1.939<br>Nodo: 396 | 1,057.778<br>Nodo: 370 |

Fuente: elaboración propia.

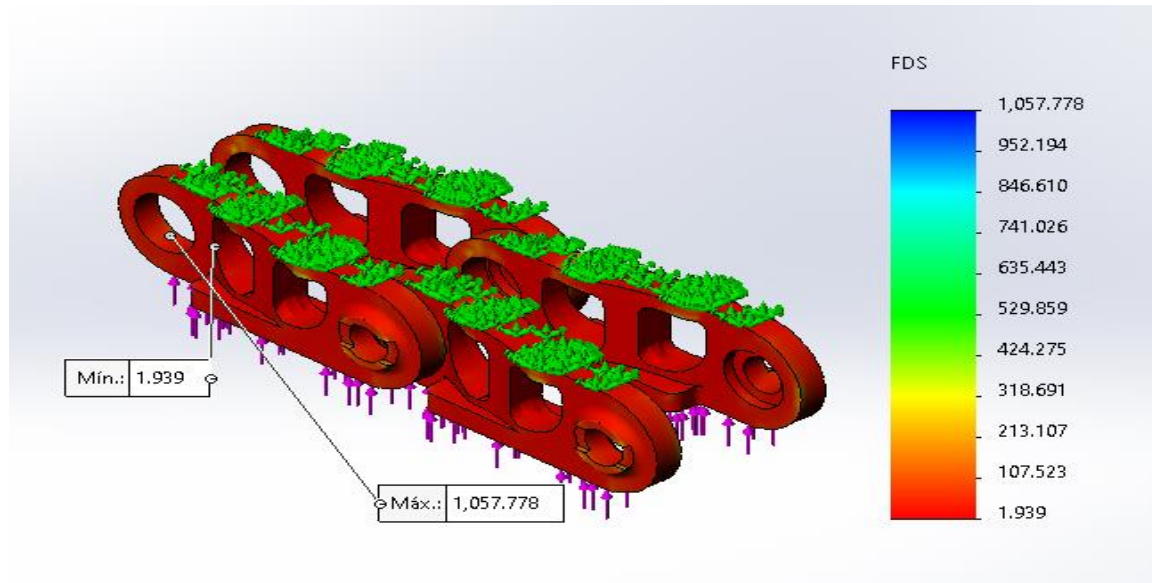


Figura 33. Factor estático de seguridad (Eslabón).

Fuente: elaboración Propia.

Como se observa en la tabla de resultados, el factor de seguridad es de 1.9, lo que demuestra que el diseño de los eslabones está con un factor aceptable.

#### 4.4. Comparar los parámetros entre el testigo y la muestra de ensayo del eslabón desgastado.

Una vez realizado los ensayos correspondientes en el laboratorio (químico, dureza, metalográfico) se hizo las comparaciones de los resultados obtenidos a ambos eslabones.

#### ANÁLISIS QUÍMICO

**Tabla 12:** Composición química del eslabón nuevo y eslabón desgastado de la cadena de arrastre de excavadora 320 D2L.

| Pieza                             | Elemento | C     | Mn   | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | V     |
|-----------------------------------|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>Eslabón nuevo</b>              | %        | 0.531 | 0.60 | 0.62 | 1.25 | 0.35 | 0.25 | 0.20  |
| <b>Eslabón usado (desgastado)</b> | %        | 0.491 | 0.58 | 0.61 | 1.13 | 0.32 | 0.24 | 0.191 |

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

Según los resultados obtenidos de los análisis químicos a ambos componentes hay pequeñas variaciones en los porcentajes de los elementos químicos y según la norma AISI (instituto americano del hierro y del acero), la fabricación de ambos eslabones corresponde a un acero AISI S6, que son aceros resistentes al desgaste y al impacto. Además, el eslabón nuevo tiene un porcentaje de carbono ligeramente mayor que la del eslabón desgastado.

## ENSAYO DE DUREZA

**Tabla 13.** Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos de los eslabones.

| Posición             | Dureza (HRC)               |                           |                            |                            |                            |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                      | 1                          | 2                         | 3                          | 4                          | Núcleo                     |
| <b>Eslabón nuevo</b> | 56.90-58.30-57.60<br>57.6  | 56.3-57.1-57.0<br>56.8    | 57.60-56.90-57.10<br>57.20 | 58.1-56.80-57.0<br>57.30   | 43.10-41.30-43.70<br>42.70 |
| <b>Promedio</b>      |                            |                           |                            |                            |                            |
| <b>Eslabón usado</b> | 55.10-56.90-53.60<br>55.20 | 53.80-55.0-55.60<br>54.80 | 56.0-55.90-56.40<br>56.10  | 58.80-56.10-55.70<br>56.20 | 39.10-41.40-39.20<br>40.10 |
| <b>Promedio</b>      |                            |                           |                            |                            |                            |

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

De acuerdo a la prueba de dureza superficial varían de acuerdo a la profundidad de medición. En los puntos A, B, C, D, donde se dio el desgaste del eslabón hay una variación significativa de dureza con respecto al eslabón nuevo debido a que en esa zona hubo un desgaste de 3 mm y de acuerdo a las capas de temple concuerda con la dureza obtenida por capa de temple.

**Tabla 14.** Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón nuevo.

| Posición (x) mm.          | Dureza (HRC) |       |       |       |       |       |       |       |        |
|---------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                           | Superficie 0 | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   | 6.81  | Núcleo |
| <b>Eslabón nuevo</b>      | 57.60        | 57.50 | 57.10 | 56.10 | 54.10 | 54.30 | 49.70 | 48.30 | 42.70  |
| <b>Eslabón desgastado</b> | 55.20        | 55.0  | 54.60 | 54.80 | 50.80 | 48.10 | 45.20 |       | 39.60  |

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

se realizó la medición de la dureza superficial de acuerdo a la profundidad de capa de temple donde su dureza va variando de acuerdo a la profundidad del temple y de acuerdo a los resultados obtenidos sus variaciones entre el eslabón nuevo y el eslabón desgastado son mínimas.



## ANÁLISIS METALOGRÁFICO

Microestructura de la zona de temple del eslabón desgastado y eslabón nuevo.



*Figura 34.* Microestructura de ambos eslabones.

Fuente: laboratorio metalúrgico física y ensayos mecánicos (UNT).

Según los resultados obtenidos del análisis metalográfico de la zona de temple y del núcleo del eslabón desgastado es martensita revenida (fina) llamada sorbita y del eslabón nuevo martensita revenida y pequeñas trazas de perlita.

La estructura metalográfica de ambos componentes es margencita revenida, por lo tanto, no se observa ningún tipo de diferencia entre ambos eslabones.

## V. DISCUSIÓN

Para obtener la muestra que sirvió como probeta se solicitó los permisos correspondientes a la empresa E&SG maquinarias servicio generales, para realizar el trabajo de desmontaje de la cadena de arrastre de una excavadora cat 320 d2L y así obtener un eslabón desgastado el cual no cumplió con las horas establecidas por el fabricante, como por lo tanto se realizó el análisis de falla.

Una vez obtenida la probeta se contactó con la empresa responsable de realizar los análisis de laboratorio, y en base a los resultados remitidos identificar el porqué del desgaste.

La principal dificultad que se tubo para remitir las probetas a la empresa encargada de realizar los análisis de laboratorio fue por la emergencia sanitaria decretada en nuestro país por el tema de la COVID 19 que afecta a todo el país y el mundo el cual en sus inicios restringió todo tipos de transporte internos e interprovinciales, por este motivo es q se dilato el tipo de envía hacia el laboratorio de metalurgia y química de la universidad nacional de Trujillo ,una vez obtenido el eslabón desgastado de la excavadora se envió al laboratorio para realizar tres tipos de análisis: químico, metalográfico ensayo de dureza, dicha empresa será la responsable de proporcionar el informe de los resultados.

La determinación de los análisis de laboratorio se realizó bajo ciertas normas establecidas y con el personal especializado quienes realizaron ensayo de dureza, que determina la medida de la dureza superficial del eslabón, en análisis química nos ayuda a determinar la composición química la cual es un factor determinante en sus propiedades mecánicas, análisis metalográfico nos ayuda a observar su micro estructura del material de su tratamiento termino en la probeta.

Los análisis de laboratorio se realizaron con éxito en la U.N.T, antes de ello nos pusimos en contacto con la empresa, SOLDEXA que es su momento nos dijeron q si se era posible enviar nuestras probetas, transcurrido un corto periodo de tiempo

se pusieron en contacto con mi persona dándome una respuesta negativa con argumentos de que su personal no está laborando debido a que estaban cumpliendo el aislamiento social obligatorio y la reanudación de sus labores no tenía fecha concreta.

En el Software de diseño mecánico solid Works se realizó el análisis de elementos finitos las cuales nos proporciona cuatro tipos de análisis estáticos como análisis de tensiones, análisis de deformación unitaria análisis de desplazamiento y factor de seguridad este tipo de análisis nos ayudó a determinar qué tipo de esfuerzos están sometidos los eslabones de acuerdo al peso de la maquina o esfuerzos de trabajo

Se hizo el esfuerzo de conseguir la ficha técnica previa coordinación con los representantes de Caterpillar, quienes nos informaron de forma verbal y contundente que esa información es confidencial, por lo tanto, se compró un eslabón nuevo para que se envié al laboratorio para realizar los respectivos análisis y ensayos para obtener sus características mecánicas y hacer la comparación con los resultados obtenidos del eslabón que tubo desgaste prematuro.

En las pruebas correspondientes a dureza y análisis químico comparados entre la muestra desgastada y la muestra nueva se pudo corroborar que en su dureza a superficial varían de acuerdo a la profundidad de medición. En los puntos A, B, C, D, donde se dio el desgaste del eslabón hay una variación significativa de dureza con respecto al eslabón nuevo debido a que en esa zona hubo un desgaste de 3 mm y de acuerdo a las capas de temple concuerda, en los análisis químicos a ambos componentes hay pequeñas variaciones en los porcentajes de los elementos químicos y según la norma AISI, la fabricación de ambos eslabones corresponde a un acero AISI S6, que son aceros resistentes al desgaste y al impacto.

## VI. CONCLUSIONES

Se logró extraer un 01 (eslabón) desgastado del tren de rodaje de una excavadora cat 320 d2l y la obtención de un eslabón nuevo, para luego enviar a laboratorio para la habilitación de las probetas correspondientes según norma técnicas, ASTM E 415. (Método de prueba estándar para el análisis de carbono en el acero y elementos de baja aleación, ASTM E-18 (método de prueba estándar para dureza Rockwell y norma ASTM A-956 (método estándar para prueba de dureza Equotip en metales utilizando un dispositivo de impacto D). y ASTM E3-11 para el análisis metalográfico.

Esto indica que, al no existir diferencias significativas entre las microestructuras de las capas de temple superficial, características mecánicas y composición química, es poco probable que el motivo de la falla prematura por desgaste estuviera en los materiales del eslabón a causa de una deficiencia de dureza o una composición química no adecuada o un tratamiento termino inadecuado.

Para los análisis químicos de las 02 probetas se utilizó un espectrómetro de emisión atómica Marca Perkins, con el fin de establecer si había diferencias importantes en la composición química de materiales entre el eslabón nuevo y el eslabón desgastado. Por tanto, según los resultados obtenidos ambos eslabones tienen la misma composición química y según la norma AISI corresponde a un acero AISI S6.

En los ensayos de dureza se utilizó el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000, y de acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que su dureza superficial presenta ligeras variaciones en su resistencia mecánica del eslabón nuevo y el eslabón desgastado. Por lo cual no se considera que esas pequeñas variaciones puedan haber favorecido al desgaste del eslabón.

Así mismo se realizó el análisis metalográfico en el temple superficial y en el núcleo del eslabón nuevo y el eslabón desgastado. Concluyendo que según los resultados obtenidos ambos eslabones constan de la misma microestructura en la zona de temple.

El análisis estático de esfuerzos del eslabón revela que las superficies de contacto y la zona de mayor intensificación de esfuerzos es por el contacto de rodadura.

Se obtuvo un factor de seguridad del 1.9 máximo de Resistencia y puntos de deformación, lo cual demuestra y que aprueba su resistencia máxima sometida, se concluye que los eslabones no podrían haber fallado por interacción directa de las fuerzas del equipo al que está sometido.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de corrosión para comprobar que las propiedades químicas contrarresten el desgaste por corrosión.
- Se recomienda estudiar el efecto de la fatiga en el desgaste del material.
- Es recomendable evaluar el comportamiento de la superficie del terreno en la vida útil de los eslabones.
- Se recomienda realizar análisis de abrasión para poder determinar la posible causa del desgaste prematuro en los eslabones.
- Recomendaría investigar el uso de otra marca de maquinaria a fin de determinar el tiempo de vida útil de los eslabones y evaluar si la tecnología del eslabón afecta.

## REFERENCIAS

MONCADA, Davian, RODRÍGUEZ, Edder, QUIÑONES, Velázquez y SARMIENTO, Juan. Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas. Tesis (título profesional). Bucaramanga: universidad Industrial de Santander, 2009. 422pp.

LLANOS, Arthur. Tratamiento termoquímico de cementación y su incidencia en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora cat 420D. tesis (título profesional). Callao: universidad nacional del callao, 2018. 136pp.

PÉREZ, Juan. Tratamiento térmico de los aceros. Tesis (grado de maestro). San Nicolás de los Garza: universidad autónoma de nuevo león, 1996. 197pp.

CASAS, William. Análisis de fallas de equipos pesados para determinar su disponibilidad en la compañía minera poderosa S.A. Tesis (título profesional). Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú, 2016. 89pp.

FERNÁNDEZ, Andrea. Efecto de la adición de titanio y niobio en la microestructura, resistencia al desgaste (pin on ring) y dureza de un acero maraging. TESIS (título profesional). Bogotá: universidad libre Colombia, 2018. 83pp.

Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis por ÑAUPAS, Humberto [et al] 4ta ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2014. 538pp.  
ISBN: 9789587621884.

SAMPÉN, Luis. Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste. 2da ed. Lima: Industrial Data, Vol. 6, diciembre, 2003. 66-73pp.

BUDYNAS, Richard y NISBETH, Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 9na ed. México: McGraw-Hill, 2012. 1068 pp.  
ISBN: 9786071507716.

ARMENDÁRIZ, Jacobo, SÁNCHEZ, Cerrud, RODRÍGUEZ, M Y ORTIZ, A. Sistema experto para análisis de fallas de ejes. 3ra ed. México: Ingeniería investigación y tecnología UNAM, 2002. 112-121pp.  
ISSN: 25940732.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación. 5ta ed. México Df: McGraw-Hill, 2010. 613pp.  
ISBN: 9786071502919.

VOESTALPINE HIGH PERFORMANCE METALS DEL PERÚ S.A. 2020.  
VOESTALPINE. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de MAYO de 2020.]. disponible en:  
<https://www.bohlerperu.com/es/>.

CERVERA, Miguel y BLANCO, Elena. Mecánica de estructuras, resistencia de materiales. Barcelona: universitat politècnica de Catalunya, 2003. 318pp.  
ISBN: 8483016222.

HERNÁNDEZ, Héctor y ESPEJO, Edgar. Casos de fallas estudiados. 2.<sup>a</sup> ed. Talleres de panamericana: universidad nacional, 2002. 114pp.  
SBN 958701242-9, 2002. 306-320.

FUENTES, Paolo, VILLANUEVA, Jaime y ESTUPIÑAN, Edgar. Análisis del desgaste en componentes de cargadores frontales, mediante modelos basados en elementos finitos, Chile: revista chilena de ingeniería, 613-621, julio 2018.

COLOMA, Morales. Simulación de recuperación por método de elemento finito de cucharones para maquinaria de minería. Tesis (título profesional). Riobamba – Ecuador: escuela superior politècnica de chimnorazo,2017.87pp.



## ANEXOS

### ANEXO 01. Operacionalización de variable independiente

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICION CONCEPTUAL   | DEFINICION OPERACIONAL  | INDICADORES  | DIMENSIONES              | ESCALA/ NIVELES DE MEDICION |
|------------------------|---|---|--|--------------------------|-----------------------------|
| Análisis de falla.     | El análisis de falla debe indagar posible causa en los materiales, diseño, fabricación, montaje u operación, se hace evidente que lo ideal es que éste sea realizado por un Equipo Interdisciplinario de Expertos en cada una de estas áreas, con el fin de poder evaluar con mayor certeza, cuál (o cuáles) es la causa de la falla mecánica. (Hector H, 2002) | La medición de las variables se realiza a través de los ensayos de laboratorio. | ✓ Fallas tempranas<br>✓ Fallas adultas<br>✓ Fallas tardías | ✓ Rango de tiempo de uso | ✓ Porcentaje<br><br>✓ horas |

Fuente: elaboración propia.

### Operacionalización de variable dependiente

| VARIABLE DEPENDIENTE  | DEFINICION CONCEPTUAL  | DEFINICION OPERACIONAL                                       | INDICADORES  | DIMENCIONES  | ESCALA / NIVELES DE MEDICION  |
|---|--|--|--|--|---|
| Determinar el desgaste de los eslabones de cadena de arrastre cat 320 d2l | La palabra desgaste, hace referencia a la perdida de la estructura superficial de un material debido a una interacción constante y mecánica con una superficie o con un objeto, el roce permanente entre las dos estructuras permite apreciar la perdida exponencial de un elemento siendo resultado de la acción ejercida entre ambos cuerpos, sin embargo, esto se logra única y exclusivamente con una acción mecánica. | comparación de las dimensiones originales con las averiadas. | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desgaste por fricción.</li> <li>✓ Desgaste abrasivo.</li> <li>✓ Fatiga superficial</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Perdida de material.</li> <li>✓ Variación en sus componentes químicos.</li> <li>✓ Variación en su estructura cristalina.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ % - dureza.</li> <li>✓ Análisis químico.</li> <li>✓ Análisis metalográfico.</li> </ul> |

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO: 02

### REPORTES DE INSPECCIÓN DE TRENES DE RODADURA

| <b>REPORTE DE INSPECCIÓN DE SERVICIO<br/>TRENES DE RODAJE</b>  |   |   |  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|--|---|---|--|---|-----------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------------|------|------------|-------------------|-------------------------|---|--|--|
| FECHA _____<br>N° CLIENTE _____<br>COMPAÑÍA _____<br>CIUDAD/PAÍS _____<br>UBICACIÓN _____                        | MODELO _____<br>N° SERIE _____<br>EQUIPO N° _____ | <b>APLICACIÓN</b><br>PALA <input type="checkbox"/> CONST. <input type="checkbox"/> ACERIA <input type="checkbox"/><br>ESCARIFICADOR <input type="checkbox"/> MINA <input type="checkbox"/> CANTERA <input type="checkbox"/><br>EMPUJE <input type="checkbox"/> FORESTAL <input type="checkbox"/> AGRÍCOLA <input type="checkbox"/><br>JALAR <input type="checkbox"/> OTRO _____ | <b>TERRENO</b><br>ARENA <input type="checkbox"/> ARCILLA <input type="checkbox"/><br>ABRASIVO <input type="checkbox"/> GREDA <input type="checkbox"/><br>ROCOSO <input type="checkbox"/><br>OTRO _____ | HORMÓMETRO OPERATIVO? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/><br>LECTURA /HRS _____ |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| <b>TRABAJO ACTUAL</b>  |   |   |  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| HRS. TRABAJADAS _____<br>HRS. POR DÍA _____<br>DÍAS A LA SEMANA _____  |   |   |  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| COMPONENTE   | LISTA DE INSPECCIÓN                               |   |  |   | LECTURA DEL HORÓMETRO |                          | HORAS DE SERVICIO | MEDIDA                           |      | % DESGASTE | HORAS POTENCIALES | HORAS QUE QUEDAN DE USO | ITEMS CRÍTICOS<br>FECHA DE REINSPECCIÓN |  |  |
|  | N° PARTE  | SECC.   | ITEMS  | SI NO   | FECHA                 |                          |                   | Izq.                             | Der. |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   |  |   | NUEVO RECONS-TRUIDO   | VOLTEADO O RECONS-TRUIDO |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| ESLABONES  | 1   | N° PARTE _____  | TRIZADURAS   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | SECC. _____   | DESGASTE LATERAL   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   | DESGASTE ALTURA RIEL   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| PASADORES Y BUJES (PASO)   | 2   | SELLADO <input type="checkbox"/>  | SOLDADOS   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | SELLADO Y LUBRICADO <input type="checkbox"/>  | SUELTOS  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   | SECOS  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| BUJES (EXTERNO)  | 3   | MAYOR DESGASTE:   | TRIZADOS   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | MARCHA ADELAN. <input type="checkbox"/> VERTICAL <input type="checkbox"/>   | SUELTOS  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | MARCHA ATRÁS <input type="checkbox"/>   | SECOS  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| ZAPATAS  | 4   | TIPO _____  | DOBLADA O ROTA   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | ANCHO _____   | DESGASTE LATERAL   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   | PERNOS SUELTOS   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| RUEDAS GUÍA  | 5   | DESGASTE DE LA PESTAÑA  | PESTAÑA GASTADA  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | INTERNO <input type="checkbox"/> SUPERIOR <input type="checkbox"/>  | RELLENADA  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | EXTERNO <input type="checkbox"/>  | ROTA   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| RODILLOS SUPERIORES  | 6   | FORJADO <input type="checkbox"/>  | OVALADOS   |   |                       |                          | F                 | F                                |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | FUNDIDO <input type="checkbox"/>  | SUCIEDAD ACUMULADA   |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   | PESTAÑA ROTA   |   |                       |                          | R                 | R                                |      |            |                   |                         |   |  |  |
| RODILLOS INFERIORES  | 7   | ESTADO DE LA:   | OVALADOS   |   |                       |                          | F                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | PESTAÑA _____   | SUCIEDAD ACUMULADA   |   |                       |                          | 2                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | COLLARÍN _____  |  |   |                       |                          | 3                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | PESTAÑA SIMPLE <input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>  | PESTAÑA ROTA   |   |                       |                          | 4                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| RUEDAS MOTRICES  | 8   | MAYOR DESGASTE:   | SEGMENTADA   |   |                       |                          | 5                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | MARCHA ADELAN. <input type="checkbox"/> BASE <input type="checkbox"/>   | DIENTES SOLDADOS   |   |                       |                          | 6                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   | MARCHA ATRÁS <input type="checkbox"/> PUNTA <input type="checkbox"/>  | DIENTES ROTOS  |   |                       |                          | 7                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
|  |   |   |  |   |                       |                          | R                 |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |
| AJUSTE DE LA CADENA OK <input type="checkbox"/> TIRANTE <input type="checkbox"/> SUELTO <input type="checkbox"/> |   |   |  | PROTECTOR DEL TREN DE RODAJE BUENO <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/>           |                       |                          |                   | NINGUNO <input type="checkbox"/> |      |            |                   | OBSERVACIONES: _____    |   |  |  |
| HECHO POR: _____   |   |   |  |   |                       |                          |                   |                                  |      |            |                   |                         |   |  |  |

## ANEXO:03

### FICHA: CARACTERÍSTICAS MECANICAS

S6 Tool Steel - Shock-Resisting Steel (UNS T41906)

---

## S6 Tool Steel - Shock-Resisting Steel (UNS T41906)

Written by AZoM

Aug 20 2012

### Topics Covered

- Introduction
- [Chemical Composition](#)
- Physical Properties
- Mechanical Properties
- Thermal Properties
- Other Designations
- [Fabrication and Heat Treatment](#)
- Machinability
- Forming
- Welding
- [Heat Treatment](#)
- Forging
- [Cold Working](#)
- Annealing
- Tempering
- Applications

### Introduction

Shock-resisting tool steels are designated as group S steels according to the AISI classification system. S1, S2, S5, S6, and S7 are the types of shock-resisting steels. The hardenability of group S steels can be controlled by varying their composition instead of adjusting the melting procedures and grain size. These steels can obtain optimum hardness at higher austenitizing temperatures. The tempering resistance of group S steels can be enhanced by addition of silicon, which also forms a microstructure to resist distortion in tempered conditions.

The following section will discuss in detail about S6 shock-resisting tool steel, which has high silicon content and good hardenability.

### Chemical Composition

The following table shows the chemical composition of S6 tool steels.

| Element        | Content (%) |
|----------------|-------------|
| Iron, Fe       | Balance     |
| Carbon, C      | 0.40-0.50   |
| Manganese, Mn  | 1.20-1.50   |
| Silicon, Si    | 2.00-2.50   |
| Chromium, Cr   | 1.20-1.50   |
| Molybdenum, Mo | 0.30-0.50   |
| Vanadium, V    | 0.20-0.40   |
| Copper, Cu     | 0.25        |
| Phosphorus, P  | 0.03        |
| Sulfur, S      | 0.03        |

## Physical Properties

The physical properties of S6 tool steels are given in the following table.

| Properties    | Metric    | Imperial                 |
|---------------|-----------|--------------------------|
| Density       | 7.75 g/cc | 0.280 lb/in <sup>3</sup> |
| Melting point | 1432°C    | 2610°F                   |

## Mechanical Properties

The mechanical properties of S6 tool steels are tabulated below.

| Properties      |             | Conditions |           |
|-----------------|-------------|------------|-----------|
|                 |             | T (°C)     | Treatment |
| Poisson's ratio | 0.27-0.30   | 25         | -         |
| Elastic modulus | 190-210 GPa | 25         | -         |

## Thermal Properties

The following table shows the thermal properties of S6 tool steels.

| Properties        |  | Conditions |           |
|-------------------|--|------------|-----------|
|                   |  | T (°C)     | Treatment |
| Thermal expansion | $12.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | 20-425     | -         |

## Other Designations

Other designations that are equivalent to S6 tool steels include:

- ASTM A681
- FED QQ-T-570
- UNS T41906

## **Fabrication and Heat Treatment**

### **Machinability**

The machinability rate of S6 tool steels is 85% of that of the W group steels.

### **Forming**

S6 tool steels have good forming characteristics under annealed conditions.

### **Welding**

S6 tool steels can be readily welded. However, steels with high silicon content have to be handled carefully.

### **Heat Treatment**

S6 tool steels are slowly preheated at 760°C (1400°F). Temperature is then increased to 927°C (1700°F) followed by holding the steel sections at that temperature for 10 to 30 mins. They are finally quenched in oil.

### **Forging**

Forging is carried out in S6 tool steels at temperatures ranging from 899 to 1093°C (1650 to 2000°F). Forging below 871°C (1600°F) is not recommended.

### **Cold Working**

S6 tool steels are cold worked under annealed conditions using conventional methods.

### **Annealing**

Annealing of S6 tool steels is performed at 816°C (1500°F) followed by cooling in the furnace at a temperature of - 4°C (25°F) per hour.

## Tempering

S6 tool steels are tempered at 204 to 315°C (400 to 600°F) to obtain Rockwell C hardness of 56 - 54.

## Applications

The following are the applications of S6 tool steels:

- Hammers
- Chisels
- Rivet sets

## Anexo 04. Informe de resultados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA METALÚRGICA

Facultad de Ingeniería

Ciudad Universitaria - Apartado 315  
Trujillo (040 30050 - 040 34050)  
TRUJILLO - PERÚ

Por intermedio de la presente se le está alcanzando los ensayos realizados a los eslabones de cadena de arrastre de excavadora 320 D2L.

**Solicitado por:** Roger Asunción Llanos Ruiz

**Dirección:** Cajamarca

**Realizado por:** Dr. Ing. Ismael Purizaga Fernández, Universidad Nacional de Trujillo. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Laboratorio de Metalurgia Física y Ensayos Mecánicos.

**Fecha:** 25 de junio 2020

### ANÁLISIS QUÍMICO:

Se realizó utilizando el espectrómetro de emisión atómica Marca Perkins, usando la norma ASTM E 415. (Método de prueba estándar para el análisis de carbono en el acero y elementos de baja aleación, por espectrometría de emisión atómica).

### METODOLOGÍA:

Consistió en obtener la muestra de los eslabones y pulir con lija hasta la granulometría 600, introducir la muestra dentro del espectrómetro donde se producirán chispa por efecto de la incidencia de electrones en la superficie produciendo longitud de ondas de acuerdo a los componentes químicos.

### RESULTADOS

Los resultados se muestran en la tabla 1

**Tabla 1.** Composición química de los eslabones de cadena de arrastre de excavadora 320 D2L

| Pieza         | Elemento | C     | Mn   | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | V     |
|---------------|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Eslabón nuevo | %        | 0.531 | 0.60 | 0.62 | 1.25 | 0.35 | 0.25 | 0.20  |
| Eslabón usado | %        | 0.491 | 0.58 | 0.61 | 1.13 | 0.32 | 0.24 | 0.191 |

### CONCLUSIONES:

Según la composición química los eslabones tienen la composición química parecida a la del acero AISI 56, que son aceros resistentes al desgaste y al impacto. Además el eslabón nuevo tiene un porcentaje de carbono ligeramente mayor que la del acero usado.







### ENSAYO DE DUREZA

En este ensayo se utilizó el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil universal SADT-HARTIP 3000. Se utilizó la norma ASTM E-18 (método de prueba estándar para dureza Rockwell en materiales metálicos) utilizando la escala Rockwell C (HRC) y norma ASTM A-956 (método estándar para prueba de dureza Equatip en metales utilizando un dispositivo de impacto D).

### METODOLOGIA

Se evaluó la dureza superficial en las posiciones 1, 2, 3, 4 y centro. Para la cual se realizó un desbaste grueso y desbaste fino (lija 400). Seguidamente se realizó el ensayo y se hizo 3 mediciones en cada posición.

### RESULTADOS

Estos resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Dureza (HRC) obtenidos y evaluados en los respectivos puntos de los eslabones

| Posición      | Dureza (HRC)      |                  |                   |                   |                   |
|---------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|               | 1                 | 2                | 3                 | 4                 | Núcleo            |
| Eslabón nuevo | 56.90-58.30-57.60 | 56.3-57.1-57.0   | 57.60-56.90-57.10 | 58.1-56.80-57.0   | 43.10-41.30-43.70 |
| Promedio      | 57.6              | 56.8             | 57.20             | 57.30             | 42.70             |
| Eslabón usado | 55.10-56.90-53.60 | 53.80-55.0-55.60 | 56.0-55.90-56.40  | 58.80-56.10-55.70 | 39.10-41.40-39.20 |
| Promedio      | 55.20             | 54.80            | 56.10             | 56.20             | 40.10             |

Los eslabones en las posiciones 1, 2, 3 y 4 se les ha realizado un temple superficial localizado con llama oxiacetilénica, produciendo un espesor de capa templada de 6.81 mm para el eslabón nuevo, la tabla 3 y figura 1 muestra el perfil de dureza de la capa templada de eslabón nuevo.

**Tabla 3.** Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón nuevo

| Posición (x) mm. | Superficie 0 |       |       |       |       |       |       |       | Núcleo 7.0 |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                  |              | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   | 6.81  |            |
| Dureza (HRC)     | 57.60        | 57.50 | 57.10 | 56.10 | 54.10 | 54.30 | 49.70 | 48.30 | 42.70      |



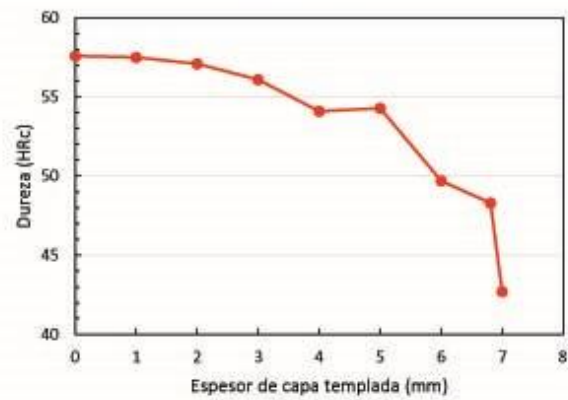


Figura 1. Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón nuevo.

En el eslabón usado el temple superficial produjo un espesor de capa templada de 6.0 mm cuyo perfil de dureza se muestra en la tabla 4 y figura 2.

Tabla 4. Dureza obtenida de la capa de temple en el eslabón usado

| Posición (x) mm. | Superficie 0 | 1.0  | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   | Núcleo 7.0 |
|------------------|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Dureza (HRC)     | 55.20        | 55.0 | 54.60 | 54.80 | 50.80 | 48.10 | 45.20 | 39.60      |

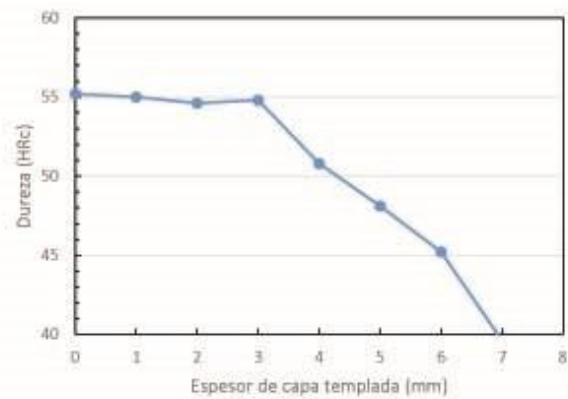


Figura 2. Perfil de dureza en el espesor de capa de temple superficial en el eslabón usado.



#### CONCLUSIÓN:

Según los resultados de dureza, la dureza en la superficie posiciones 1, 2, 3 y 4 es homogénea en ambos eslabones, obteniéndose los valores ligeramente más altos en el eslabón nuevo. Debido a que este eslabón tiene porcentaje de carbono ligeramente mayor y con el temple superficial se obtiene una martensita con mayor dureza. Porque la dureza de la martensita es función del porcentaje de carbono. Es decir según se incremente el %C en el acero la dureza de la martensita aumenta.

Y según el perfil de dureza se observa que esta dureza es constante hasta los 3 mm de profundidad y de allí cae ligeramente esto sucede en ambos eslabones. También se muestra que los mejores valores de dureza son para el eslabón nuevo.

#### ANEXOS

Para el ensayo de dureza se utilizó, el durómetro analógico marca Frank y el durómetro portátil Universal SADT-HARTIP3000. Se evaluó en la escala Rockwell C.

En este ensayo se utilizó los siguientes durómetros.



**Figura 3.** Durómetro analógico. Marca Frank, Escala Rockwell C



**Figura 4.** Durómetro portátil universal digital SADT- HARTIP 3000. Escala Rockwell C

*Risuafl*





Ubicación de las zonas o puntos de medición (1, 2, 3 y 4) y centro de los eslabones (nuevos y usados)



Figura 5. Eslabón nuevo.



Figura 6. Eslabón usado.

Medición de la dureza en las posiciones 1 - 2 - 3 y 4



Figura 7. Medición de dureza de la posición 1 del eslabón nuevo.



Figura 8. Medición de dureza en la posición 2 del eslabón nuevo.



Figura 9. Medición de dureza de la posición 3 del eslabón nuevo.



Figura 10. Medición de dureza en la posición 4 del eslabón nuevo.



#### ANÁLISIS METALOGRAFICO

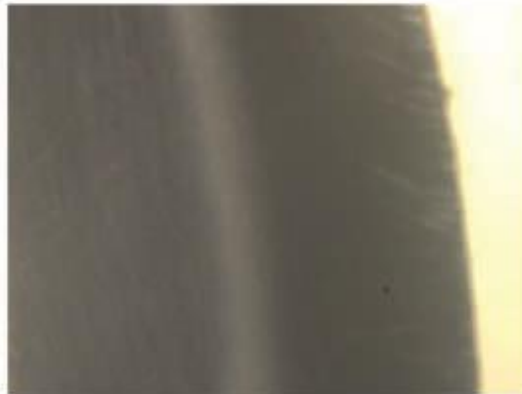
Se utilizó el microscopio metalográfico marca Leica 50 – 100X y el microscopio estereográfico Leica SP-50: 2- 5X, para este ensayo se utilizó la norma ASTM E3-11 (preparación de muestras metalográficas).

#### METODOLOGIA

Corte de los eslabones con la máquina de corte BAINCUT-M para la obtención de las probetas para los respectivos análisis metalográficos. Encapsulado de probetas con resina epóxica. Desbaste grueso de probetas con lijas N° 80-100-180-220, desbaste fino con lijas 400-600-1000 y pulido de probetas con alúmina de 0.5  $\mu\text{m}$  - 0.3  $\mu\text{m}$  y 0.1  $\mu\text{m}$ . Ataque químico con Nital al 5%. Toma de fotomicrografía con la cámara fotográfica incorporada Leica y proyección de microestructura en la pantalla.

#### RESULTADOS

Estructura de la superficie de los eslabones (zona: 1-2-3 y 4), se realizó utilizando el microscopio estereográfico Leica.



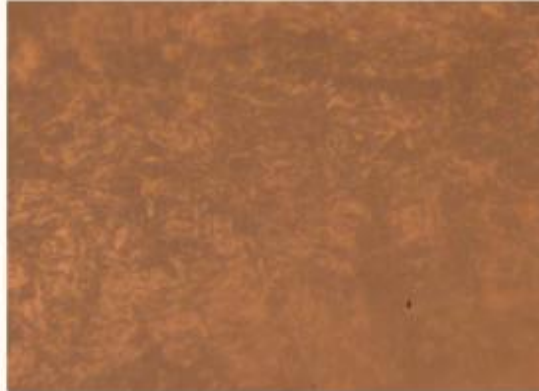
**Figura 11.** Fotomicrografía de la zona superficial del eslabón en la zona 1-2-3 y 4 (zona de temple), Se observa una zona oscura que es la zona de temple superficial o temple localizado con llama oxiacetilénica. Produciendo un espesor de capa templada para el eslabón nuevo de 6.81 mm y para el eslabón usado de 6.0 mm (color oscuro), una zona clara (zona intermedia) y zona central (color gris)

*Rosario P.*



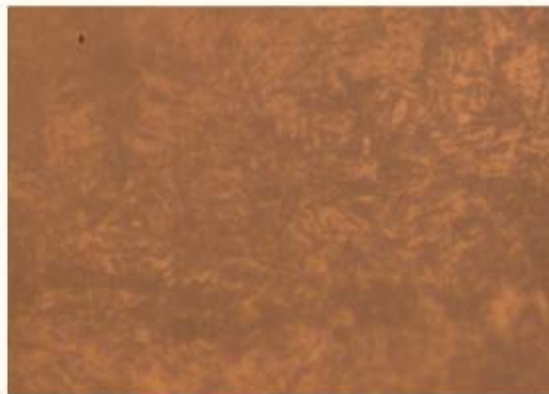


**Microestructura de la zona de temple para el eslabón nuevo**



**Figura 12.** Fotomicrografía a la zona de temple del eslabón nuevo. La microestructura consta de martensita revenida (fina) llamada sorbita. Ataque químico: Nital 5%. 500X.

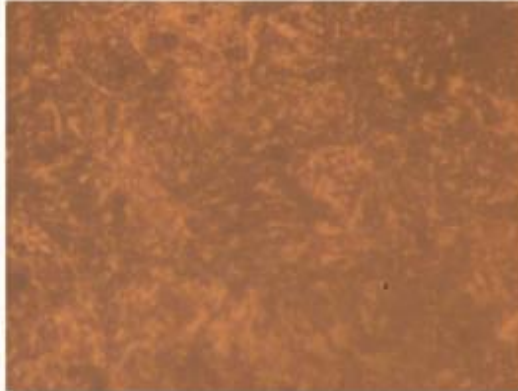
**Microestructura de la zona de temple del eslabón usado**



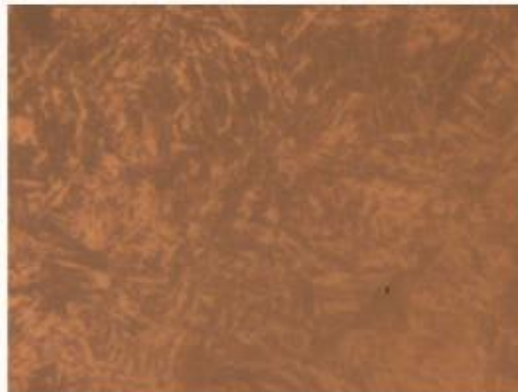
**Figura 13.** Fotomicrografía de la zona de temple del eslabón usado. La microestructura consta de martensita revenida y pequeñas trazas de perlita fina. Ataque químico: Nital 5%. 500 X



**Microestructura de la zona central de los eslabones**



**Figura 14.** Fotomicrografía de la zona central del eslabón nuevo. La microestructura consta de martensita revenida. Ataque químico: Nital 5%. 500X



**Figura 15.** Microestructura de la zona central del eslabón usado. La microestructura consta de martensita (basta) revenida. Ataque químico: Nital 5%. 500X



**CONCLUSIÓN:**

Según los resultados obtenidos se concluye:

- Los dos eslabones la superficie (1-2-3-4) se le ha realizado temple superficial y la características de la apariencia de la capa de temple son iguales. La capa de temple de eslabón nuevo es 6.81 mm mientras que el eslabón usado tiene 6.0 mm. Eso se debe a que el eslabón nuevo tiene mayor %C y por lo tanto la penetración de temple es ligeramente mayor.



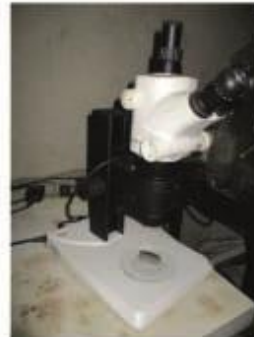
- La estructura en la capa de temple en el eslabón nuevo es martensita revenida en su totalidad. Mientras que la capa de temple del eslabón usado aparte de la martensita revenida existe pequeños trazos de perlita esto es lo que hace que este eslabón su dureza superficial sea ligeramente más baja.
- La estructura del núcleo del eslabón nuevo es martensita revenida mientras que la estructura del núcleo del eslabón usado es martensita revenida (basta), debido a esto la dureza en el núcleo del eslabón nuevo es ligeramente mayor que el eslabón usado.

#### ANEXOS

Para el análisis metalográfico y análisis de la microestructura se utilizaron los siguientes microscopios.



**Figura 16.** Microscopio metalográfico Leica de 50 – 1000 X con pantalla de proyección de la microestructura.



**Figura 17.** Microscopio estereográfico para el análisis macroscópico de la estructura de los espesores de capa.



**Figura 18.** Probetas encapsuladas para la los respectivos análisis metalográfico de los eslabones del cadena de arrastre de excavadora 320 D2L.







UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERIA METALURGICA

Facultad de Ingeniería

Ciudad Universitaria - Apartado 315  
Teléfono (040) 290150 - (040) 241521  
TRUJILLO - PERU

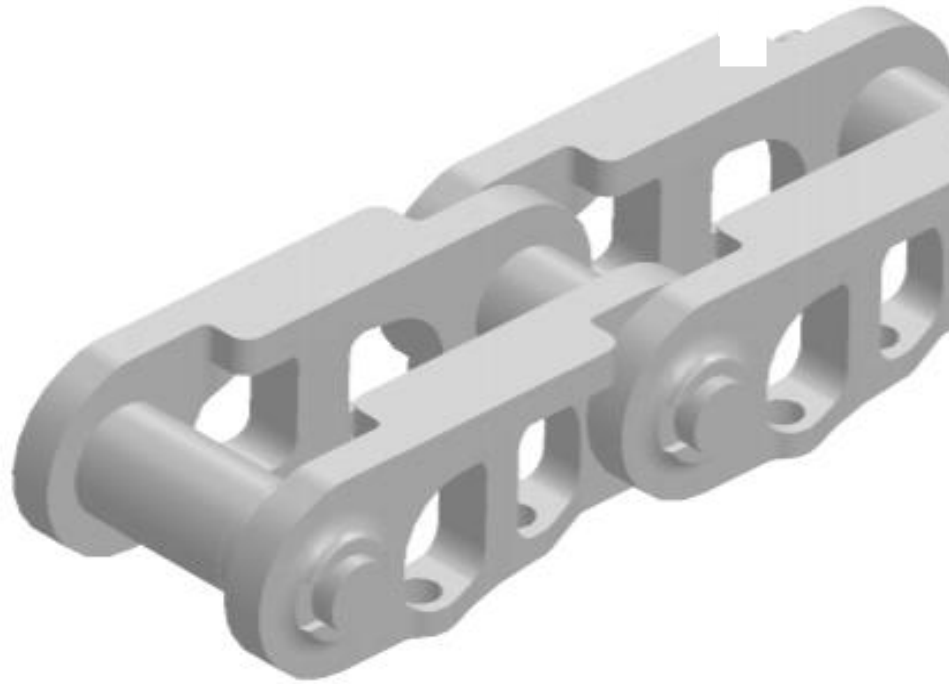
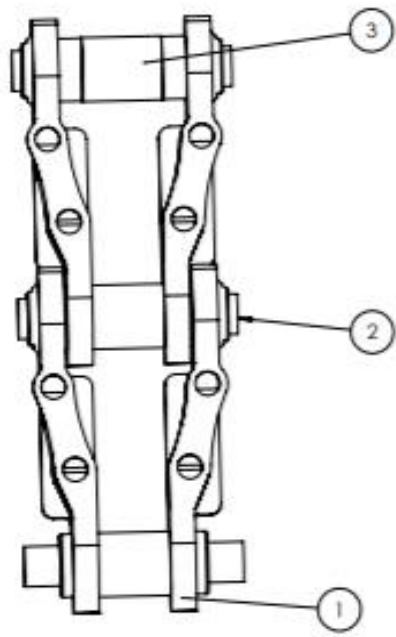
Atentamente

Dr. Ing. Ismael Purizaga Fernández  
CIP 36332

Jefe del Laboratorio Metalúrgica Física y  
Ensayos mecánicos



Anexo 05: planos del eslabón



| ITEM NO. | NUMERO DE PARTES                   | DESCRIPCIÓN            | QTY. |
|----------|------------------------------------|------------------------|------|
| 1        | Eslabon (Acero al Carbono)- (35Mn) | Material: ASTM - A514  | 4    |
| 2        | Pin (Acero al Carbono)             | Material: AISI - 8620H | 3    |
| 3        | Bocina (Acero en Boro)             | Material: AISI - 94B17 | 3    |

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| TIPO        |                        |
| CLIENTE     |                        |
| PROYECTO    |                        |
| FECHA       | 2024-03-28 10:00:00 AM |
| PROYECTANTE | INGENIERO              |
| REVISOR     | J.J.                   |
| UBICACION   | COLOMBIA               |
| ESCALA      | 1:1                    |

SOLIDWORKS 2020