



**Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**ACREDITADA  
INSTITUCIONALMENTE**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES DE DRAGA  
DESARROLLO DE NUEVAS ALEACIONES**

**ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA  
ADOLFO DAVID GARCES CONTRERAS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

**2013**



**Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**ACREDITADA  
INSTITUCIONALMENTE**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES DE DRAGA  
DESARROLLO DE NUEVAS ALEACIONES**

**ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA  
ADOLFO DAVID GARCÉS CONTRERAS**

**Tesis de Grado presentada como requisito para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director**

**PhD**

**LUIS MARCOS CASTELLANOS GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

**2013**



**Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**Cartagena D. T. y C., 25 de agosto de 2013**

Señores

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Facultad de Ingeniería Mecánica

Comité Evaluador de Trabajos de Grado

Cordial Saludo.

Por medio de la presente nos permitimos someter a su consideración la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES DE DRAGA – DESARROLLO DE NUEVAS ALEACIONES”**, de los estudiantes ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA y ADOLFO DAVID GARCÉS CONTRERAS, para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Cordialmente,

---

**ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA**

C.C. 1.143.364.059

---

**ADOLFO DAVID GARCÉS CONTRERAS**

C.C. 1.047.436.079



**Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**Cartagena D. T. y C., 25 de agosto de 2013**

Señores

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Facultad de Ingeniería Mecánica

Comité Evaluador de Trabajos de Grado

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito someter a su consideración la tesis titulada “**CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES DE DRAGA – DESARROLLO DE NUEVAS ALEACIONES**”, elaborado por los estudiantes ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA y ADOLFO DAVID GARCÉS CONTRERAS, en el que me desempeño como director.

Cordialmente,

---

**PhD. LUIS MARCOS CASTELLANOS GONZÁLEZ**

Director de Tesis.



Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA  
INSTITUCIONALMENTE

Nosotros, ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA y ADOLFO DAVID GARCÉS CONTRERAS, mayores de edad y domiciliados en la ciudad de Cartagena D. T. y C. e identificados como consta al pie de la presente, de manera libre y espontánea, manifestamos en éste documento nuestra voluntad de ceder a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR** los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES DE DRAGA – DESARROLLO DE NUEVAS ALEACIONES**” producto de nuestra actividad académica para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la ley 23 de 1982. Con todo, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En concordancia suscribimos este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entregamos al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Dado en la ciudad de Cartagena de Indias D. T. y C., a los 25 días del mes de Agosto de 2013.

---

ALFONSO LUIS SERRANO TAPIA

C. C. 1.143.364.059

ADOLFO DAVID GARCES CONTRERAS

C. C. 1.047.436.079



---

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., 25 de agosto de 2013

---

Cartagena de Indias D. T. y C. 25 de agosto de 2013

*A Dios por darnos la vida, por protegernos, darnos esta gran oportunidad de cumplir  
nuestro sueño y llevarnos siempre por el buen camino.*

*A nuestros padres por el apoyo incondicional y por estar siempre comprendiendo  
nuestros problemas y celebrando nuestros triunfos.*

*A nuestros profesores por compartimos el conocimiento y desarrollarnos como personas  
competentes para afrontar cualquier adversidad.*

*A aquellas personas que de alguna u otra manera influyeron en el proceso de formación  
profesional a lo largo de toda la carrera.*

*A nuestros amigos más apegados que siempre estuvieron para dar el apoyo en  
momentos difíciles.*

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a:

**PhD. Luis Marcos Castellanos**, por todo el conocimiento que incondicionalmente nos impartió durante toda nuestra etapa de pregrado, sus consejos e instrucciones fueron de gran ayuda para nosotros tanto para nuestra investigación como para nuestra vida de ingenieros, también su gran confianza al permitirnos apoyarlo en esta investigación.

A todos los docentes de la Universidad Tecnológica de Bolívar que con su apoyo y palabras nos daban aliento para continuar con esta investigación, gracias a su apoyo hoy damos fin a nuestro primer escalón hacia el éxito.

A la empresa **CONTECAR** y a la **FERRETERIA IGNACIO SIERRA** y a sus ingenieros que nos abrieron sus puertas y nos apoyaron incondicionalmente con su conocimiento, tiempo y confianza, durante la realización de este trabajo.

A nuestras familias y seres queridos que nos apoyaron y animaron a seguir corriendo en los momentos más difíciles de esta gran carrera que estamos a punto de finalizar. Mostramos especial gratitud a nuestros amados padres Gabriel Serrano y Yamileth Tapia, Adolfo Garcés Escalante y Roquelina Contreras, por su formación, ejemplo claro de esfuerzo y sacrificio y por estar a nuestro lado todos los días de esta importante etapa en nuestra vida. También agradecemos a nuestros hermanos y amigos que siempre estuvieron presentes en esta gran lucha.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>PROBLEMA CIENTÍFICO</b> .....	<b>10</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>11</b>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>1. ESTADO DEL ARTE DE LAS DRAGAS Y ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE TERRENO DE DRAGADO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO DEL DRAGADO .....	13
1.2 FUNCIONAMIENTO DE LA DRAGA.....	14
1.3 IMPORTANCIA DEL DRAGADO .....	16
1.3.1 Características del Dragado .....	17
1.4 CONDICIONES QUE AFECTAN EL DRAGADO .....	19
1.4.1 Vientos .....	19
1.4.2 Mareas .....	19
1.4.3 Corrientes .....	19
1.5 ESTUDIO DEL TERRENO DE DRAGADO .....	19
1.5.1 Zona de Dragado en la Bahía de Cartagena .....	20
<b>2. DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTADOR</b> .....	<b>21</b>
2.1 GENERALIDADES .....	21
2.2 PARTES QUE CONFORMAN LA DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTANTE. ....	24
2.2.1 Pontón.....	24
2.2.2 Cabezal Cortante .....	25
2.2.2.1 Corona.....	27
2.2.2.1.1 Cortadores con Hojas de Corte .....	28
2.2.2.1.2 Cortadores con Dientes Reemplazables .....	29
2.2.2.1.3 Rodete de Cangilones .....	31
2.2.3 Escalera .....	32
2.2.4 Bombas .....	32
2.2.5 Cables y Poleas de Giro .....	33
2.2.6 Pilonos .....	33
2.2.7 Sistema de Tuberías .....	33
2.3 VENTAJAS.....	34
2.4 DESVENTAJAS.....	34
<b>3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>39</b>



<b>3.1 MECANISMOS DE FORTALECIMIENTO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1 Tratamientos térmicos .....</b>	<b>35</b>
3.1.1.1 Temple .....	36
3.1.1.2 Revenido .....	37
<b>3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>39</b>
3.2.1 Ensayo de dureza .....	39
3.2.2 Tenacidad - Ensayo de impacto .....	42
3.2.3 Desgaste.....	43
3.2.4 Ensayo de ultrasonidos.....	45
3.2.5 Análisis químico.....	46
3.2.6 Análisis del Tamaño de Grano.....	47
<b>4. PROPUESTA DE ALEACIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS DIENTES TRADICIONALMENTE UTILIZADOS EN EL DRAGADO.....	52
5.2 ESTUDIO COMPARATIVO A ESCALA DE LABORATORIO DE ALEACIONES NACIONALES PARA DIENTES DE DRAGA, INCLUYENDO UNA NUEVA ALEACIÓN, RESPECTO A UNA DE REFERENCIA IMPORTADA DE ESCO.	57
5.2.1 Análisis Químico.....	57
5.2.2 Ensayo de Ultrasonido .....	58
5.2.3 Ensayo de Impacto.....	71
5.2.4 Análisis del Tamaño de Grano.....	72
5.2.5 Evaluación comparativa de los nuevos dientes en pruebas de campo.....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>FIGURA 1.</b> EXTRACCIÓN DE TIERRA EN LA BAHÍA TURÍSTICA DE CARTAGENA DE INDIAS – DRAGA DE PALA.	14
<b>FIGURA 2.</b> DRAGA DE ARRASTRE Y SUCCIÓN CON TOLVA.	15
<b>FIGURA 3.</b> DRAGADO EN UN MUELLE – DRAGA DE CORTE O CUTTER.	16
<b>FIGURA 4.</b> EXTRACCIÓN DE GRAVA SUBMARINA – DRAGA DE PALA.	17
<b>FIGURA 5.</b> DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTANTE.	22
<b>FIGURA 6.</b> DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTANTE	23
<b>FIGURA 7.</b> ELEMENTOS PRINCIPALES QUE COMPOENEN A LA DRAGA DE SUCCIÓN DE CORTE.	24
<b>FIGURA 8.</b> GRÁFICO DEL MOVIMIENTO DE LA DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTANTE.	25
<b>FIGURA 9.</b> CABEZAL CORTADOR DE LA DRAGA CON DIENTES. 6 ALABES POR 7 FILAS PARA UN TOTAL DE 42 DIENTES.	26
<b>FIGURA 10.</b> EJEMPLO DE CABEZALES CORTANTES.	26
<b>FIGURA 11.</b> EJEMPLOS DE CABEZAL CORTADOR EN FORMA DE CORONA.	27
<b>FIGURA 12.</b> CABEZAL CORTADOR CON HOJAS LISAS	28
<b>FIGURA 13.</b> CABEZAL CORTADOR CON HOJAS CON FORMA DE SIERRA.	28
<b>FIGURA 14.</b> CABEZAL CORTADOR DE LA DRAGA DE CONTECAR.	29
<b>FIGURA 15.</b> REEMPLAZO DE DIENTE VIEJO POR NUEVO EN DRAGA DE CONTECAR.	30
<b>FIGURA 16.</b> EJEMPLO DE CABEZAL CORTADOR EN FORMA DE RODETE DE CANGILONES.	31
<b>FIGURA 17.</b> ESCALERA DRAGA DE SUCCIÓN DE CORTE DE CONTECAR.	32
<b>FIGURA 18.</b> DRAGA DE SUCCIÓN DE CORTE CON LOS SPUDS ARRIBA.	33
<b>FIGURA 19.</b> ESQUEMA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS MÁS EMPLEADOS Y DEL DESPLAZAMIENTO DE LAS ZONAS DE TRANSFORMACIÓN.	36
<b>FIGURA 20.</b> PROCESO DE TEMPLE.	37
<b>FIGURA 21.</b> DIAGRAMA TTT DE ACERO TEMPLADO Y REVENIDO.	38
<b>FIGURA 22.</b> ENSAYO DE DUREZA, DIFERENTES GEOMETRÍAS DE PUNTA.	40
<b>FIGURA 23.</b> TIPOS COMUNES DE GEOMETRÍAS DEL ENSAYO DE DUREZA.	41
<b>FIGURA 24.</b> ENSAYO CHARPY DE ENERGÍA ABSORBIDA POR IMPACTO.	42
<b>FIGURA 25.</b> ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA DE DESGASTE.	44
<b>FIGURA 26.</b> ENSAYO DE ULTRASONIDOS.	45
<b>FIGURA 27.</b> VARIACIÓN DEL PRODUCTO DE SOLUBILIDAD DE DISTINTOS PRECIPITADOS CON LA TEMPERATURA	49
<b>FIGURA 28.</b> LOS DIENTES AMERICANOS DE VERDE Y LOS NACIONALES DE ROJO, DE SUCCIÓN Y DE CORTE.	60
<b>FIGURA 29.</b> LOS DIENTES NACIONALES PRESENTAN UN DISEÑO DISTINTO A LOS DIENTES AMERICANOS. VERDES PARA ESCO Y ROJOS PARA METALESCO	60
<b>FIGURA 30.</b> DIENTE DE ESCO SEÑALANDO LAS ZONAS DE DEFECTOS, DIENTE DE METALESCO DEFECTOS NOTABLES EN LA SUPERFICIE.	61
<b>FIGURA 31.</b> POROSIDADES EXTERNAS AISLADAS Y AGRUPADAS EN ESTOS DIENTES DE FABRICACIÓN NACIONAL, QUE EN GENERAL SE ENCUENTRAN DISEMINADOS POR TODO EL CUERPO DEL DIENTE.	61



<b>FIGURA 32.</b> ECOS DE LA ONDA ULTRASÓNICA SEÑALANDO LOS DEFECTOS EN LOS DIENTES AMERICANOS.	62
<b>FIGURA 33.</b> LA IMAGEN MUESTRA UNA AGRUPACIÓN QUE INDICA UN 87,5% DE AMPLITUD Y LA OTRA DE 42.5% AMBOS SON DE SUCCIÓN.	62
<b>FIGURA 34.</b> IMÁGENES QUE MUESTRAN POROSIDAD INTERNA EN LAS PUNTAS DE CORTE NO 1 Y 3 LAS CUALES SON DE FABRICACIÓN AMERICANA, QUE NO SOBREPASAN EL 50% DE AMPLITUD Y QUE SE ENCUENTRAN CERCA AL EXTREMO DE TRABAJO.	63
<b>FIGURA 35.</b> DIENTES DE LA NUEVA ALEACIÓN, NO PRESENTAN DEFECTOS SUPERFICIALES.	64
<b>FIGURA 36.</b> EVIDENCIA DE LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL DIENTE N°1	66
<b>FIGURA 37.</b> IMÁGENES QUE MUESTRAN Y EVIDENCIAN LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL DIENTE N°4	67
<b>FIGURA 38.</b> IMÁGENES QUE MUESTRAN Y EVIDENCIAN LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL DIENTE N°6	68
<b>FIGURA 39.</b> IMÁGENES QUE MUESTRAN Y EVIDENCIAN LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL DIENTE N°8	69
<b>FIGURA 40.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO ESCO A 890°C 200X	73
<b>FIGURA 41.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO ESCO A 890°C 200X	73
<b>FIGURA 42.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO ESCO A 920°C	74
<b>FIGURA 43.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO ESCO A 920°C 200X	74
<b>FIGURA 44.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO METALESCO A 890°C 200X	75
<b>FIGURA 45.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO METALESCO A 890°C 200X	75
<b>FIGURA 46.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO METALESCO A 920°C 200X	76
<b>FIGURA 47.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO METALESCO A 920°C 200X	76
<b>FIGURA 48.</b> RESULTADO ANÁLISIS TAMAÑO DE GRANO NUEVA ALEACIÓN A 890°C 200X	77
<b>FIGURA 50.</b> DIENTES DE DRAGAS QUE PARTICIPARON EN LA PRUEBA DE CAMPO EN IMPOXMAR. EN VERDE LOS DE ESCO, EN AMARILLO LOS NUEVOS Y EN ROJO LOS DE METALESCO SIN LAS MEJORAS	79
<b>FIGURA 51.</b> IMÁGENES DE LA COLOCACIÓN DE LOS DIENTES EN EL CABEZAL DE LA DRAGA. SE MUESTRAN DOS DIENTES NUEVOS ESCO (VERDES), UN DIENTE ANTIGUO METALESCO (ROJO) Y UN DIENTE NUEVO (AMARILLO)	79
<b>FIGURA 52.</b> MUESTRA EL DESGASTE COMPARATIVO EN LA DRAGA DE TRES TIPOS DE DIENTES. LOS N SON NUEVOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO, LOS M SON LOS ANTIGUOS DE METALESCO SIN MEJORAS Y LOS E SON LOS QUE SE IMPORTARON DE ESCO CERTIFICADOS.	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> RENDIMIENTO DE DIVERSOS TIPOS DE DRAGA RESPECTO AL TERRENO DE DRAGADO.....	18
<b>TABLA 2.</b> PROPUESTA DE ALEACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE DIENTES DE DRAGA DE MAYOR RENDIMIENTO. ....	51
<b>TABLA 3.</b> RESULTADOS PRIMERA PRUEBA DE DUREZA DIENTES ESCO Y METALESCO.....	54
<b>TABLA 4.</b> RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA A LOS DIENTES DE DRAGA TRADICIONALES A DIFERENTES TEMPERATURAS DE TEMPLE .....	55
<b>TABLA 5.</b> RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA DE LOS DIENTES DE DRAGA CON REVENIDO A 220°C.....	55
<b>TABLA 6.</b> RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTES CON TEMPLE A 860°C.	56
<b>TABLA 7.</b> RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTES CON TEMPLE A 890°C.	56
<b>TABLA 8.</b> RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTE CON TEMPLE A 920°C...	56
<b>TABLA 9.</b> NÚMERO DEL DIENTE ANALIZADO CON EL NÚMERO DE DEFECTOS ENCONTRADOS .....	65
<b>TABLA 10.</b> RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO PROBETAS TEMPLADAS A 860°C.....	71
<b>TABLA 11.</b> RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO PROBETAS TEMPLADAS A 890°C.....	71
<b>TABLA 12.</b> RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO PROBETAS TEMPLADAS A 920°C.....	72
<b>TABLA 13.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO EN LOS DIENTES DE DRAGA.....	78

## INTRODUCCIÓN

La investigación científica que se dará a conocer en el siguiente documento, se basa en el análisis y caracterización de la composición química de los Dientes de Draga, más específicos de los Dientes de Corte. El estudio se hace con la finalidad de proponer una aleación mejorada, que no solo aumentará la resistencia y durabilidad del Diente, sino que reducirá su costo con respecto a los que se comercian en el país. El cambio se verá reflejado en las empresas que obtienen los dientes de compañías extranjeras, que reducirán los gastos de traslado; y como los dientes son piezas de un solo uso, el trabajo se verá afectado si estos no son de muy buena calidad.

Se explicaran los métodos que se usaran para la obtención de datos concernientes que facilitaron la investigación, además de las pruebas mecánicas realizadas con los dientes de corte de dos empresas que se encargan de su distribución, ESCO [22] de Estados Unidos, y MetalEsco de Medellín – Colombia. Por medio de la investigación, se evidenciara cuenta cuales son los componentes químicos que le brindan las propiedades mecánicas que poseen los dientes, para así realizar la variación porcentual de dichos elementos que darán un producto mejorado y más resistente; es bueno saber que existen unas normas para la fabricación de los dientes de draga, que muestran los rangos decimales de los elementos químicos para su elaboración; pero en éste caso, se sabe que, no se está usando la mejor combinación de dichos porcentajes. Este estudio se basa en la mejora continua de todo tipo de máquina o pieza elaborada. Otro punto importante de esta investigación es el impacto económico y ambiental que tendrá la nueva aleación; los dientes de draga podrán reducir gastos de importación y su larga durabilidad evitará el desecho continuo de estos mismos, aumentando así la producción y entrega de obras en menor tiempo.

## JUSTIFICACIÓN

- En Colombia se tiene planeado realizar un proyecto a gran escala y es la de la ampliación del canal del dique para el uso como medio de intercomunicación entre el mar caribe e interior del país. La realización de esta investigación contribuirá a la rápida operación de dragado, lo que acortará el tiempo previsto de entrega; brindando así una ruta alterna de conexión con las cargas que entran del exterior.
- El producto de esta investigación, traerá a mediano plazo una mejora en el transporte fluvial de Colombia, que es un país rico en fuentes hídricas por la cantidad de ríos que circulan a través de ella, las empresas que maquinen con dragas, se verán muy beneficiadas con el ahorro económico que obtendrán del uso de los dientes de draga propuestos en este artículo; La alta resistencia y durabilidad economizará el constante cambio de estos, lo que no afectará en la operación.
- Este trabajo se verá enfocado en la mejora de una pieza fundamental para el trabajo marítimo de Colombia, la cual no solo traerá beneficios económicos y operacionales, sino que motivará a demás personas a investigar el área, para el rápido crecimiento intelectual y tecnológico.



## PROBLEMA CIENTÍFICO

Colombia es un país que es caracterizado y reconocido a nivel mundial por la alta fauna, flora y su cantidad de ríos, además de que cuenta con una posición geográfica favorable, sirve de conexión entre los dos océanos más grandes, y dicha posición ventajosa hace que los puertos costeros tengan una alta demanda de cargas de importación y exportación.

El trabajo a continuación, busca satisfacer una necesidad, corregir un problema, causar un cambio; las empresas costeras en Cartagena, como los puertos y empresas dedicadas a la extracción de minerales, cuentan con dragas para la operación de sus costas con el objeto de facilitar el tránsito de sus embarcaciones; esta es una operación del día a día y nunca se detiene el trabajo de dragado. El problema que soluciona esta tesis, aparece en el momento que se ve interrumpida la operación de dragado porque la máquina requiere un cambio de dientes, normalmente se toma 1 día en realizar el cambio, pero ese no es solo el problema; el problema mayor viene cuando la vida útil de los repuestos se hace más corta y requieren de cambios frecuentemente, llegando a gastar en 1 mes 2 lotes, y al año aproximadamente unos 15. Esto causa el gasto de dinero constante por la poca durabilidad y los altos precios en el mercado internacional.

Se piensa implementar una nueva aleación a los dientes de draga que reemplace la comercial, con la ventaja de que esta nueva aleación aumentará de forma notable la resistencia y durabilidad, además de mejorar el trabajo de dragado debido a que el contacto entre los dientes y la superficie será mucho más firme y más puntual, se variara en cifras porcentuales las cantidades de Vanadio, Molibdeno, Titanio y Aluminio, cada uno con una característica especial que mejora las propiedades mecánicas del diente.



## **OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar la composición química y las propiedades mecánicas de los Dientes de Draga de Corte y Succión, y proponer una aleación alternativa que represente una mejora notable en la operación de dragado debido al alto índice de durabilidad y resistencia al impacto.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a escala de laboratorio los dientes de dragas ESCO y METAESCO tradicionalmente usados en el dragado para determinar las causas de su limitada vida útil.
- Hacer un estudio comparativo a escala de laboratorio de aleaciones nacionales para dientes de draga, incluyendo una nueva aleación, respecto a una de referencia importadas de ESCO.
- Desarrollar las corridas de tratamientos térmicos a los dientes fabricados con las nuevas aleaciones y controlar la calidad de los mismos.
- Hacer una evaluación comparativa del grado de desgaste en pruebas de campo de los nuevos dientes tratados térmicamente tomando como referencia los dientes importados de ESCO y los tradicionales.



---

## 1. ESTADO DEL ARTE DE LAS DRAGAS Y ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE TERRENO DE DRAGADO

Las Dragas, son embarcaciones que se utilizan para la remoción de material por debajo del nivel del agua y su uso es muy importante para facilitar el tránsito de embarcaciones navales, con el fin de transportar desde materiales y mercancías hasta personas, a los municipios donde solo se accede por medio acuático.

En la actualidad, se está implementando mucho esta técnica que antes no se tenía en cuenta debido a que las embarcaciones han aumentado su capacidad así como su tamaño; esto ha traído consigo una serie de ventajas a nivel económico en los países que se caracterizan por poseer vías de acceso fluvial y marítima; se ha facilitado la comunicación entre los países por medios marinos, y se han aumentado las obras civiles en los mares, bahías y playas, tales como plataformas petroleras, fuertes, islas artificiales, entre otros. [1]

Dentro de las obras de dragado más importantes de la actualidad, tenemos la ampliación del canal de Panamá, ésta sin duda alguna fue una de las acciones que más le dio importancia al dragado, y significa mucho ya que ofrece la posibilidad de comunicar el océano pacífico con el atlántico, y acelera el tránsito de mercancía que provienen de países orientales como China, Japón y Corea del Sur, hacia los países europeos, Francia, España e Inglaterra. Otras Obras de Dragado importantes en la actualidad son: El Dragado del Canal de Nicaragua y del Canal del Dique.

### 1.1 Objetivo del Dragado

El objeto principal del dragado generalmente es el de ampliar y cavar las profundidades y costas de los mares, ríos y lagunas para permitir ya sea el tránsito fluvial y marítimo, además de facilitar la construcción de obras civiles en el agua.

Sin embargo existen otras más funciones para las dragas, como la de apilar tumultos de tierra en las costas para evitar inundaciones y/o preparación de playas turísticas o artificiales. También es importante el uso que se le da a la draga como medio de limpieza del fondo marino, retira todos los desechos contaminantes y limpia y filtra el agua, esto se está implementando muy a menudo actualmente, como sabemos existe un alto índice de contaminación en el agua. [15]

## **1.2 Funcionamiento de la Draga**

Existen diversos tipos de draga en el mundo, pero todas cumplen la misma función pero de manera diferente; todas las operaciones de dragado, deben cumplir con una doble función:

- Extraer el Material del fondo marino
- Desplazar el material hasta el lugar de descarga

Generalmente, las dragas están compuestas por dos mecanismos principales, que son el de extracción y el de transporte de residuos; La extracción del material se puede realizar de diversas formas, pero estas varían con respecto a tiempos de operación, costos y claro está la zona de dragado. Puede que tome más tiempo el dragado con una draga de cuchara que con una draga de succión, pero sin embargo es más fácil el mantenimiento de la draga mecánica que de la que es hidráulica. Ver Figura 1. [19]



***Figura 1. Extracción de Tierra en La Bahía Turística de Cartagena de Indias – Draga de Pala.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> **Figura tomada de:** <http://noticiascolombianas.blogspot.com>

El transporte residual también se puede realizar variando más que todo por la velocidad de dragado y de contención de la draga. Para las dragas de tolva o de cuchara, ellas cuentan con un tanque que funciona como depósito, donde vierten todo el material extraído, que después será desocupado en otra zona.

En las dragas de dragado rápido, como lo son dragas de corte, de succión, el mecanismo de transporte del material generalmente es mediante tuberías o ductos submarinos, que comunican a una zona de tierra firme o mar adentro, donde las profundidades superan los 30 metros.

En la Figura 2, podemos apreciar lo que es una draga de arrastre, con mecanismo de extracción mediante una tolva, la cual vierte el contenido extraído a un tanque para después desocuparlo en aguas más profundas.



***Figura 2. Draga de Arrastre y Succión con Tolva.<sup>2</sup>***

La actividad de vertido de material marino, está delimitada por las asociaciones protectoras del medio ambiente, ellas se encargan de seleccionar el sitio donde se debe verter lo extraído por la draga.

<sup>2</sup> **Figura tomada de:** <http://img.nauticexpo.es>

### **1.3 Importancia del Dragado**

La actividad de dragado la podemos determinar por cinco factores que son importantes, los cuales son las principales causas para realizar dragado:

- La primera y más importante es la Excavación del lecho marino, aunque no necesariamente en mares y bahías, sino en lagos y ríos. Esto se hace con el fin de construir puertos o muelles, Tuberías submarinas y Ampliación de canales etc.

Ver Figura 3. [16]



***Figura 3.** Dragado en un Muelle – Draga de Corte o Cutter.<sup>3</sup>*

- Relleno de espacios, ya sea para la formación de espacios portuarios, obras civiles marinas, tales como torres petroleras, aeropuertos, etc. También para la creación o acomodación de playas y zonas costeras, así como la creación de hábitats para las especies animales.
- Operaciones de dragado especiales como reemplazo de material submarino, relleno etc. Ver Figura 4.
- Extracción de minerales o gravas, materiales para construcción, arena, metales preciosos, etc.

<sup>3</sup>Figura tomada de <http://ccocoa.com>



**Figura 4.** Extracción de Grava Submarina – Draga de Pala.<sup>4</sup>

- Limpieza de Formaciones acuáticas, Ríos, Lagos, Lagunas, Pozos. Todo lo relacionado con la remoción de material dañino para el desarrollo del medio ambiente.

### **1.3.1 Características del Dragado**

La operación de dragado, debe realizarse teniendo en cuenta lo requerido por el cliente, es decir, hay muchas variables que se pueden tener en consideración para la tarea, como lo son:

1. *Dimensiones de la Zona a Dragar:* Es importante determinar la zona en la que se realizará la operación, una zona de dragado muy estrecha implica un inconveniente mucho mayor, y la obligación a realizar la obra con una draga de capacidad mucho menor, esto es debido a que embarcaciones grandes no podrán moverse con tanta facilidad como una draga de menor magnitud. Por otro lado, en grandes dimensiones, donde es obvio que el trabajo de dragado es mucho más grande y pesado, pues implica de varios factores externos, se necesitará de un equipamiento muchísimo mayor, que pueda abastecer las necesidades del proyecto. [17]
2. *Profundidad de Dragado:* Este aspecto es importante tener en cuenta y afecta de manera económica a la producción del dragado, generalmente el dragado a grandes profundidades requiere de un equipamiento mucho mayor lo cual

<sup>4</sup> Figura tomada de <http://www.esponmar.com>

aumentaría en gran porcentaje los gastos económicos, pero no siempre suele ser tan necesaria una equipación como tal. En zonas donde el dragado es de menor profundidad, lo más recomendable es realizarlo con equipamientos sobre pontón, para controlar el calado nominal que presentan.

3. *Grado de Agitación:* Dentro de las condiciones externas, podemos encontrarnos con el comportamiento meteorológico, el cual afecta directamente la obra de dragado, el oleaje sin duda es uno de los mayores problemas a la hora de la operación. Para aquellas dragas que usan sistema de anclaje, lo más recomendable es cancelar la operación en momentos en que el grado de agitación sea mucho mayor, debido a que esto puede causar un dragado de la zona irregular.

A continuación se muestra una tabla comparativa del comportamiento de las dragas existentes a diferentes tipos de terreno. Ver Tabla 1. [20]

**TABLA 1. RENDIMIENTO DE DIVERSOS TIPOS DE DRAGA RESPECTO AL TERRENO DE DRAGADO**

TIPOS DE DRAGA	ARENAS	FANGO	ARCILLAS	TERRENOS COMPACTOS	TERRENOS SUELTOS	ROCAS BLANDAS	ROCAS DURAS
Succión en Marcha	++	++	-	-	++	-	
Succión Estacionaria	++	++	-	-	++	-	
Cabezal Cortador	++	++	++	+++	++	++	-
Rodete de Cangilones	++	++	++	+	++	+	-
Rosario	++	++	++	-	+++	-	
Cuchara	+++	++	-	-	++		
Pala	++	++	-	-	++		
Retroexcavadora	++	++	-	-	++		

- 
- +++ (Muy Eficiente)
  - ++ (Eficiente)
  - + (Normal)
  - - (Poco Eficiente)

## 1.4 Condiciones que afectan el Dragado

### 1.4.1 Vientos

Son el principal generador de oleajes y frecuentan en su mayoría la zona costera, estos ejercen fuerzas sobre las estructuras y sobre las dragas, ocasionando un movimiento oscilatorio en la draga, provocando entre otras cosas un dragado irregular. Lo más recomendable es detener las operaciones de dragado con vientos grado 5, o vientos regulares, cuando son muy frecuentes y con mucha fuerza.

### 1.4.2 Mareas

Las mareas en muchas ocasiones son las causantes de los volcamientos de numerosas embarcaciones navales, es por eso que en una operación de dragado en áreas alejadas de la costa, donde la marea es demasiado alta lo más recomendable es detener la operación e ir a aguas más tranquilas; lo que puede ocasionar también es dragado irregular, al aumentar la marea, aumenta la profundidad y es un aspecto importante de tener en cuenta.

### 1.4.3 Corrientes

Durante la operación de dragado es muy importante que el sentido de las olas esté en concordancia con el de la draga, generalmente esto causa imperfecciones en el dragado, ya que se puede movilizar de la zona de dragado e irrumpir en otra más lejana. En el caso de las dragas de pala, la corriente impulsa la pala cuando está aún no ha salido totalmente del agua, lo que causa un movimiento de péndulo a la hora del izaje.

## 1.5 Estudio del Terreno de Dragado

Es este el tema más importante a la hora de decidir que se va a dragar y donde se va a dragar; el terreno puede ser de distintas formas, y dependiendo de él se puede elegir la



---

mejor draga para el trabajo. **Ver Tabla 1.**

Existen diversos tipos de terrenos, así como diversos tipos de dragas, las cuales satisfacen todos los requerimientos del terreno. [18]

Los terrenos de dragado pueden ser:

- Arenosos, arenas finas y arenas compactas, se clasifican dentro de este tipo de terreno, estas conciernen todo tipo de arenas, aunque el trabajo de extracción no es muy difícil, no siempre es uniforme y puede estar acompañado en su mayoría de rocas y arcilla.
- Fangos y Lodos, Son más frecuentes en lagos y en ríos, debido a la acumulación de agua, y las lluvias arrastran todo material sólido y lo disuelven en tierra y agua, creando una superficie demasiado adhesiva, la cual es de mucha dificultad de trabajo.
- Arcilla y Terrenos Compactos, Este tipo de terrenos lo podemos encontrar en el fondo marino, donde las corrientes no alcanzan a disolver en su totalidad la arena y evita el movimiento de ellas. Este terreno esta generalmente acompañado de rocas blandas y tumultos de arena compacta.
- Rocas, sin duda alguna es la zona de trabajo donde más dificultad se presenta, debido a que la extracción de estas es muy difícil, sin embargo la draga de Succión de Corte, posee mecanismos para poder irrumpir en estas y facilitar la extracción, mediante los dientes de corte, que trituran las rocas hasta un diámetro promedio de 3 a 4 cm.

### ***1.5.1 Zona de Dragado en la Bahía de Cartagena***

La draga en estudio es una draga de Succión de Corte, la cual por medio de un taladro o un cabezal con dientes, perfora todo tipo de terrenos para la posterior succión mediante una bomba hidráulica. Esta draga es la que más frecuenta las zonas aledañas a la costa de Cartagena de indias, debido a que la bahía de Cartagena, por ser lugar de desembocadura de ríos y de ciénagas, posee mucha contaminación y muchos sedimentos rocosos y coralinos.

La draga de succión de corte en la cual se está realizando el experimento con los dientes,



---

responde a la necesidad de generar una nueva aleación de dientes de draga, para alcanzar un rendimiento óptimo de dragado.

## 2. DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTADOR

La draga de Succión con Cabezal Cortador, es la draga que se tiene en estudio, y a la que se realizara el experimento de los dientes de draga; Cartagena cuenta con 6 Dragas de este tipo, distribuidas a lo largo de la zona costera de Mamonal y Barú.

Se llama draga de Succión, porque succiona los sedimentos que son triturados con el cabezal cortador, el cual cuenta con unos dientes, que dependiendo del terreno se comportan de manera diferente, es decir, que para cada tipo de terreno nombrado anteriormente en el primer punto de este trabajo, existe un diente que desempeña la mejor función.

En Cartagena se encuentra este tipo de draga debido a que el terreno costero es mezclado, en desembocaduras puede ser fangoso, así como en ciénagas y bahías, donde no hay corrientes que purifiquen, pero sin embargo puede haber presencia de sólidos como rocas o corales. Éste tipo de draga posee un alto rendimiento en cualquier tipo de terreno, pero sin embargo no es cien por ciento, diversos factores, limitan su producción. Este capítulo se enfocara en la descripción física así como el funcionamiento de la draga de succión con cabezal cortador, que la caracteriza, se profundizara en sus ventajas y desventajas y se evaluara el rendimiento en comparación con los otros tipos de dragas.

### 2.1 Generalidades

La draga de Succión con Cabezal Cortador, es una draga que reúne las características de una draga Mecánica y una Hidráulica, por lo tanto posee las ventajas de ambos tipos de dragas. [2]

El funcionamiento se basa en la rotación cíclica de un cabezal que posee en el extremo del brazo de la draga, como se observa en la **Figura 5**. El cabezal está conformado por una serie de dientes, los cuales son los que se encargan de perforar y triturar todo el



terreno para posteriormente succionarlo mediante un tubo que se encuentra en el centro del cabezal.



*Figura 5. Draga de Succión con Cabezal Cortante.<sup>5</sup>*

La draga de corte, está compuesta por un pontón, el cual trabaja de forma estacionaria o en marcha dependiendo del sistema de propulsión de la misma.

Este tipo de draga se caracteriza por ser muy versátil, teniendo así un campo de aplicación muy amplia y que puede desempeñar muy bien en cualquier tipo de terreno,

**Ver Tabla 1.**

El trabajo de dragado se puede ver limitado por el tamaño del brazo que porta en el extremo, por lo que actúa en zonas donde las profundidades son medias y pequeñas.

Los elementos que componen a esta draga son: Estructura Flotante o Casco de Barco, Anclas de Giro (Babor y Estribor), pilonos de anclaje en popa durante la operación y el avance, tuberías y equipos de succión, cabezal de corte o cutter, estructura de soporte del cutter, y sistema de elevación de la escala.

<sup>5</sup> **Figura tomada de:** <http://www.atmosferis.com>

Características principales de la draga de succión con cabezal cortante en estudio  
(Figura 6):

- Capacidad de carga: No dispone
- Profundidad de Dragado: 0,75 – 35 m
- Calado mínimo en trabajo: 0,75 m
- Anchura máxima de corte: 175 m
- Velocidad Máxima de corriente: 2 Nudos
- Resistencia Máxima compresión terreno: 50 Mpa
- Altura máxima de ola: 2 m



**Figura 6.** *Draga de Succión con Cabezal Cortante<sup>6</sup>*

<sup>6</sup> Figura tomada de: <http://www.atmosferis.com>



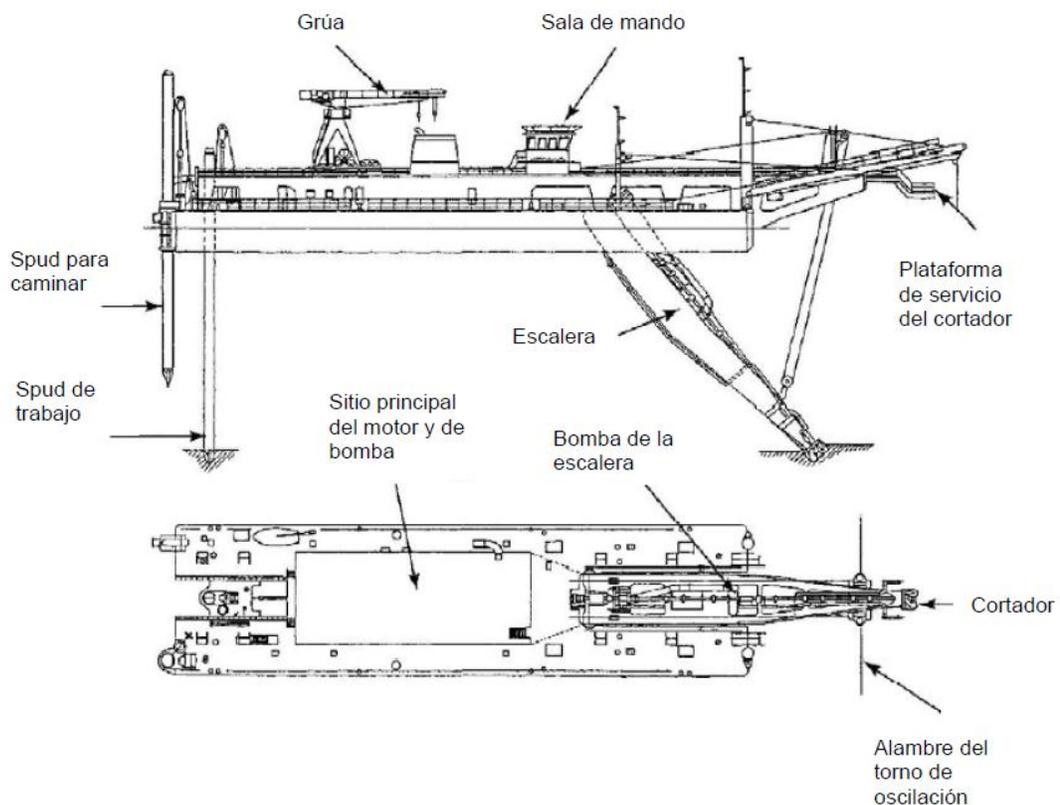
## 2.2 Partes que Conforman la Draga de Succión con Cabezal cortante.

A continuación las partes que conforman la draga de succión con cabezal cortante:

### 2.2.1 Pontón

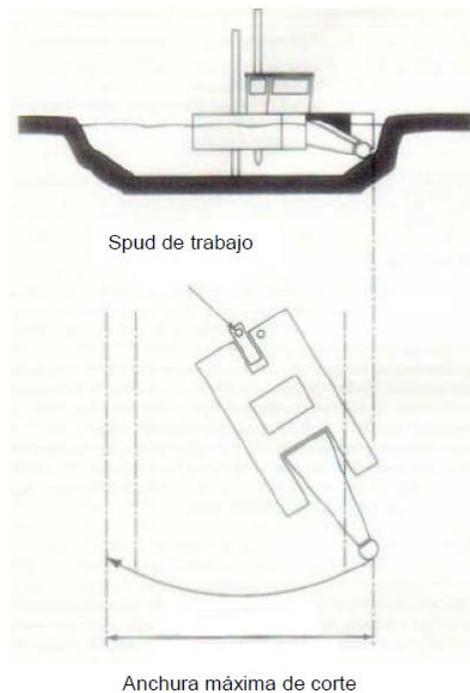
El pontón flotante, generalmente tiene forma rectangular con una abertura en la mitad a lo largo para permitir el movimiento de la escalera, la cual tiene la función de ajustar el cabezal cortante a diversas alturas para la operación de dragado. Tal como se observa en las Figuras 7 y 8.

El pontón define muchos aspectos característicos de la draga, que limitan o promueven el desplazamiento de la draga, así como la cobertura que posea y que en ocasiones puede ser desventajosa si se draga en ríos muy estrechos.



**Figura 7.** Elementos principales que componen a la Draga de Succión de Corte.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Figura tomada de: [www.entradas.zonaingenieria.com](http://www.entradas.zonaingenieria.com)



**Figura 8.** Gráfico del movimiento de la Draga de Succión con Cabezal Cortante.<sup>8</sup>

### 2.2.2 Cabezal Cortante

El terreno rocoso y compacto que se va a dragar, se afronta con un cabezal en forma de corona o espiral, llamada Cortador. El cortador se encuentra al comienzo del tubo succionador del material marino y al final de la escalera. La función principal de este cortador es disminuir el diámetro de sólidos en el fondo marino para su extracción y la penetración para la fácil succión del terreno. [2]

El Cabezal posee de 5 a 6 alabes, los cuales poseen hojas lisas o dientes como lo es en nuestro caso de draga en estudio. Posee 8 filas de dientes en 6 alabes, lo que daría un total de 48 dientes en operación, los cuales tienen la característica de ser removibles e intercambiables al momento de presentar desgaste o roturas.

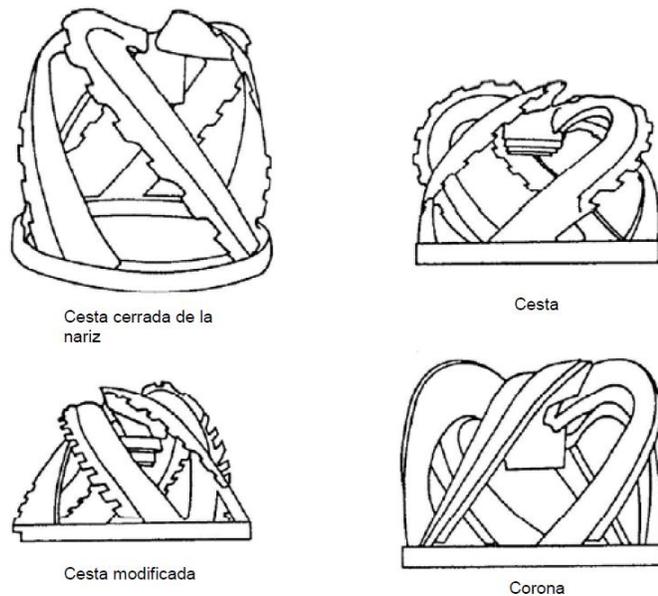
La parte donde los dientes se enganchan tiene el nombre de Encía, o Porta dientes. Algunos dientes son colocados a presión y otros por medio de un mecanismo de pin sujetador. Ver Figura 9.

<sup>8</sup> [www.entradas.zonaingenieria.com](http://www.entradas.zonaingenieria.com)



**Figura 9.** Cabezal Cortador de la draga con dientes. 6 alabes por 7 Filas para un total de 42 Dientes.<sup>9</sup>

Existen diversos tipos de cabezales, los cuales varían el rendimiento en la operación de dragado. En la **Figura 10**, se pueden apreciar ejemplos de cabezales para este tipo de dragas.



**Figura 10.** Ejemplo de cabezales cortantes.

<sup>9</sup> Figura tomada de: <http://www.tug44.org>.



### 2.2.2.1 Corona

La corona en un cabezal cortador es un grupo de cuchillas especiales dispuestas en forma helicoidal, generalmente es este el tipo de cabezal que más común se ve en este tipo de dragas. Las coronas pueden variar según el diseño o la necesidad de la obra de dragado, cada una tiene una función principal a la hora de dragado. Ver Figura 11.

Las cuchillas de Hojas de filo plano, se usan en terrenos blandos, como arcillas y sedimentos. De filo Aserrado para terrenos compactos, como arcillas duras y rocas débiles. Trépano para roca blanda. Pica para roca de dureza moderada.

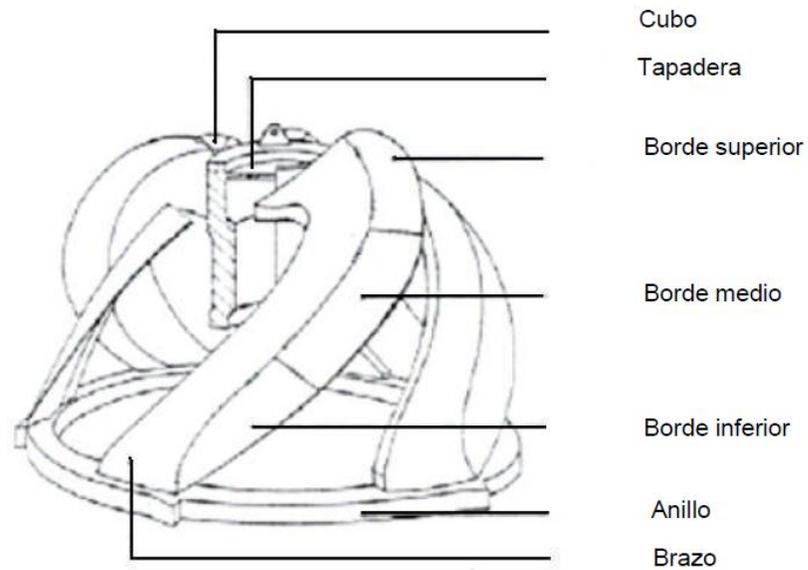


**Figura 11.** Ejemplos de Cabezal Cortador en forma de Corona.

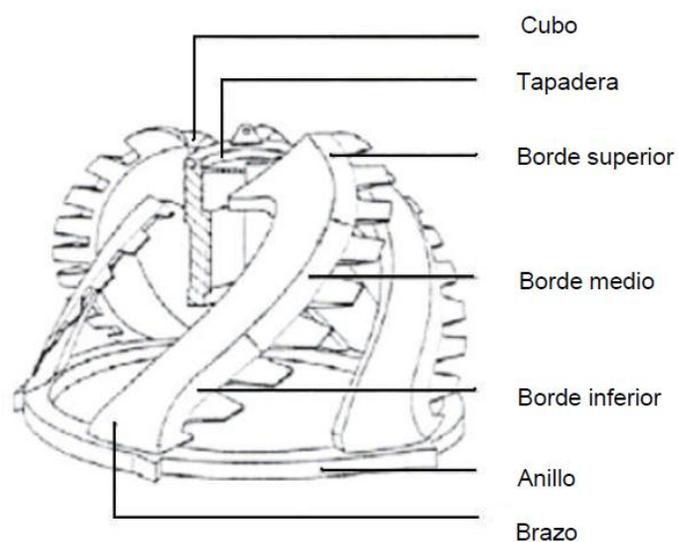


### 2.2.2.1.1 Cortadores con Hojas de Corte

Los cabezales cortadores pueden ser de diversos tipos, estas son reemplazables y en ocasiones pueden ser lisas o con forma de sierra. Ver Figuras 12 y 13.



**Figura 12.** Cabezal Cortador con Hojas Lisas



**Figura 13.** Cabezal Cortador con hojas con forma de sierra.



Las hojas lisas se comporta muy bien en arcillas blandas y terrenos blandos, también son muy útiles en suelos pantanosos, con alta densidad de raíces.

Las hojas con forma de sierra ofrecen una mayor efectividad en cuanto a penetración lo cual es útil en arcillas duras, arenas compactas o suelos con grava. La ventaja que tienen los cabezales es que ofrecen la versatilidad en cuanto a poder ajustar las hojas de acuerdo a la operación de dragado, las hojas son ajustadas por medio de soldadura y que al momento de presentar algún desgaste se pueden intercambiar por otras.

#### 2.2.2.1.2 Cortadores con Dientes Reemplazables

Esta modalidad se usa cuando el terreno a dragar es demasiado compacto, o hay presencia de rocas, es por esto que agregan dientes al cabezal, cuya función principal es la de triturar y perforar el sólido hasta reducir su diámetro. Una desventaja que ocurre con este tipo de cabezal, es que reduce en un porcentaje notable el tiempo de producción al momento de reemplazarlo, estos vienen en ocasiones soldados o en el mayor de los casos sujetos por medio de un Pin. Ver Figura 14.

El cortador cuenta con unos adaptadores, llamados encías o porta dientes, en ellos los dientes encajan para posteriormente compactarlos en alguno de los métodos que se dijeron anteriormente.

Es más fácil la colocación de los dientes con un pin de seguridad, ya que reduce el tiempo de reemplazo del diente. Ver Figura 15.



**Figura 14.** Cabezal cortador de la Draga de CONTECAR.



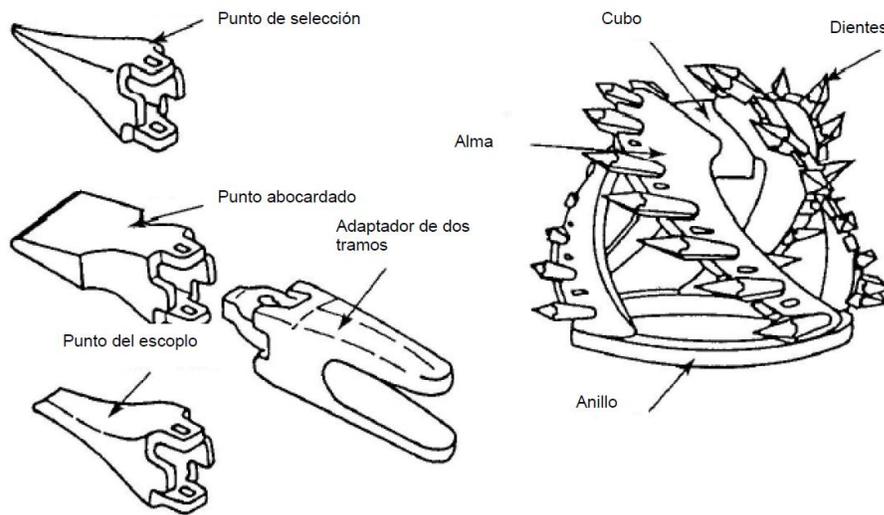
*Figura 15. Reemplazo de Diente viejo por nuevo en draga de CONTECAR.*

Los dientes tienen distintas formas de acuerdo al material que se va a dragar, por ejemplo, aquellos dientes con forma de cincel ancho o de “boca de pato”, como los investigados en este trabajo, se utilizan normalmente para turba, arcillas blandas, arenas sueltas y graves. Para suelos más duros se puede elegir un diente con cincel más angosto o en forma de pico.

Últimamente en los proyectos de dragado, se ha aumentado la tendencia a realizarse en zonas donde requieran un trabajo de suelos duros y rocas, al igual que existe una tendencia a reducir costos.

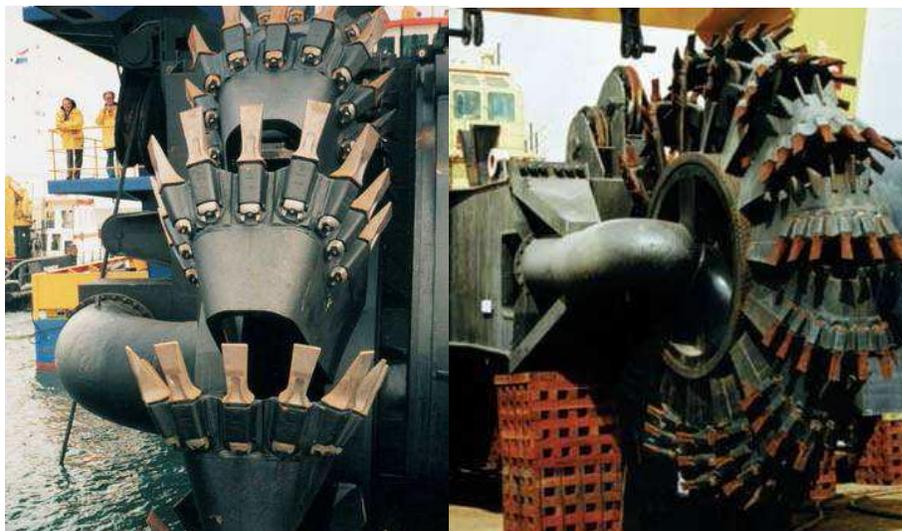
El uso de partes recambiables afectan los costos de dragado en las siguientes formas:

- El costo de tiempo mientras se realiza el cambio de las partes desgastadas, en el caso de dragas grandes, estos costos son muy elevados.
- El costo de las partes que se recambian, que en suelos duros, la duración de estos se reduce y aumenta la necesidad de nuevas partes.



### 2.2.2.1.3 Rodete de Cangilones

Este tipo de cabezal es más usado para terrenos muy compactos, vienen dentados y generalmente es usado para la minería. Ver Figura 16.



**Figura 16.** Ejemplo de cabezal cortador en forma de Rodete de Cangilones.



### 2.2.3 Escalera

La estructura que se encarga de soportar o sujetar el cabezal cortador, se le llama escalera. La escalera tiene en un extremo el cabezal cortador, y generalmente es de forma cilíndrica hueca, por donde conduce la tubería que succiona los materiales extraídos. Ver Figura 17.



*Figura 17. Escalera Draga de Succión de Corte de CONTECAR.*

En el otro extremo de la escalera, se encuentra la estación de mando o la cabina desde donde se controla la operación de dragado.

La escalera solo posee un movimiento en sentido vertical. La escalera es manipulada mediante un sistema de poleas.

### 2.2.4 Bombas

Las bombas son las encargadas de realizar la succión y posterior expulsión del material dragado, dependiendo de la capacidad de la draga, puede haber más de una. La bomba se encuentra al final de la escalera, y en esta posición se ve muy afectada por el roce directo del material dragado con la tubería y la bomba, lo cual provoca un desgaste

constante por ambos lados, es por eso que actualmente se está desarrollando una manera de contrarrestar esto, con la utilización de capas finas protectoras de materiales resistentes.

### ***2.2.5 Cables y Poleas de Giro***

Cumplen la función de permitir movimiento a la escalera, para alcanzar las profundidades estimadas.

### ***2.2.6 Pilonos***

Los pilones en este tipo de dragas son dos, y son los que permiten el movimiento circular de la draga en el momento de la operación. Los pilones son más conocidos como “Spuds”, y se caracterizan por ser unos cilindros de bastante altura, los cuales se entierran en el fondo marino dejando a la draga anclada, pero permitiendo el giro trazando una órbita alrededor del pilón, de tal modo que el centro de giro es el pilón.

Los Spuds se ubican en la parte trasera de la draga, estos permiten que no se pierda el ritmo de dragado, generando así un dragado uniforme y amplio. Ver figura 18.



***Figura 18. Draga de Succión de Corte con los Spuds arriba.***

### ***2.2.7 Sistema de Tuberías***

Este tipo de dragas cuenta con un sistema de tuberías, que se encargan del transporte del

---

material dragado, no cuenta con un recipiente interno, por lo que todo lo extraído se debe transportar mediante estas. Generalmente este sistema es mucho más eficiente cuando la zona de vertido se encuentra a una distancia cercana, donde se pueda descargar directamente; Sin embargo cuando la zona de descarga está muy alejada, es necesario el uso de gánguiles, los cuales limitan la producción de la draga al momento de llevar el residuo a la zona de descargue, durante ese tiempo la draga no puede laborar.

### **2.3 Ventajas**

Dentro de las amplias ventajas que ofrece trabajar con este tipo de draga, se resaltan las de mayor importancia e impacto [21], como lo son:

- La capacidad de poder dragar en una variedad amplia de terrenos, ya sean compactos o suaves, o rocosos o fangosos.
- La rápida extracción de material dragado con el uso de bombas y su sistema de transporte el cual permite un dragado constante sin interrupciones.
- Capacidad de dragado en aguas poco profundas.
- Brinda un alto nivel de producción.
- El resultado final de dragado muestra un trabajo uniforme y bien elaborado.

### **2.4 Desventajas**

Las desventajas son:

- En condiciones meteorológicas muy fuertes, la draga es muy susceptible a realizar mal el dragado.
- Distancia de transporte de material limitada a la distancia de la tubería que dispone.
- Dilución del material dragado, por lo que en ocasiones absorbe demasiado líquido.
- Profundidad de dragado limitada por el largo de la escalera.



---

## 2.5 Mecanismos de fortalecimiento

Debido a las bajas propiedades mecánicas que tienen los materiales después de la fundición, es de vital importancia realizar algunos mecanismos que mejoren algunas propiedades específicas, teniendo en cuenta las necesidades del comprador, esto se realiza a través de distintos procesos tales como: Tratamientos térmicos y disminución de tamaño de grano.

Algunas de las propiedades que son controladas con estos mecanismos son dureza, resistencia mecánica, tenacidad, resiliencia y resistencia al desgaste. Dichas propiedades se pueden aumentar con la adición de elementos microaleantes que se incluyen en el proceso de fundición en pequeños porcentajes.

- Dureza: Es la resistencia que tiene un material a ser rayado o penetrado por otro. También puede definirse como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o de deformarse. En la metalurgia la dureza se mide utilizando un durómetro para el ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y el rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza. [11]
- Tenacidad: Es el valor crítico del factor de esfuerzo-intensidad en un punto de grieta necesario para producir una falla catastrófica bajo una simple carga uniaxial. El consumo de energía necesario para provocar la fractura no está uniformemente distribuido y depende considerablemente del tamaño y forma del espécimen a probar y de las proporciones de la carga de impacto.
- Resistencia al desgaste: El desgaste en ocasiones se divide en cuatro mecanismos principales, asociados a abrasión, adhesión, fatiga y corrosión. Uno de los más importantes que es la abrasión, es la pérdida de material de la superficie debido a que esta se frota contra aspereas e la superficie de otro sólido o a la acción abrasiva de pequeñas partículas. [12]

### 2.5.1 Tratamientos térmicos

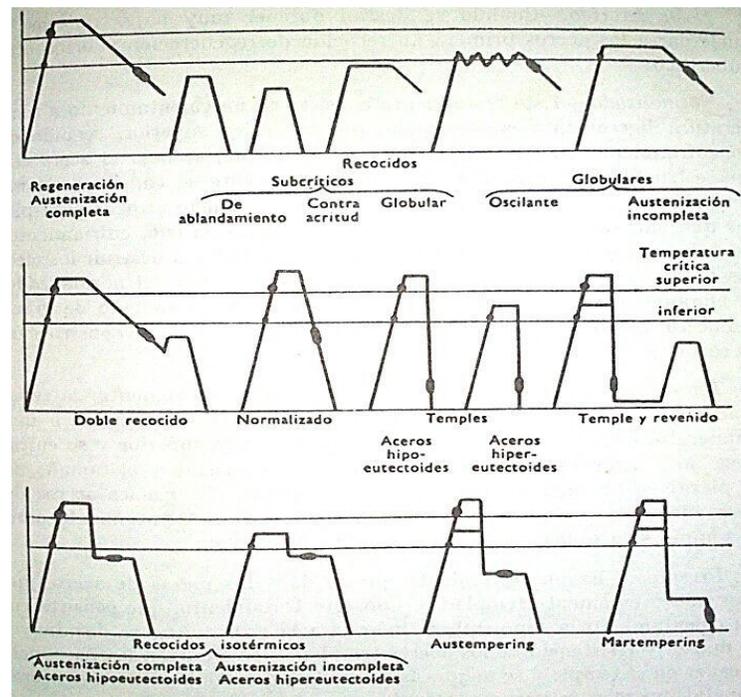
Los tratamientos térmicos constituyen el más importante mecanismo de fortalecimiento utilizado en la actualidad. Este mecanismo ha evolucionado a través de la historia con el



objetivo de encontrar las temperaturas exactas de trabajo en el horno. Existe una gran variedad de tratamientos que aumentan unas propiedades así como también disminuyen otras. Ver Figura 19. Algunos de los tratamientos más usados son los siguientes:

- Temple.
- Revenido.
- Recocido.\*
- Normalizado.\*
- Tratamientos isotérmicos.\*
- Austempering y martempering.\*

\* No se aplicara este proceso.



**Figura 19.** Esquema de los tratamientos térmicos más empleados y del desplazamiento de las zonas de transformación.<sup>10</sup>

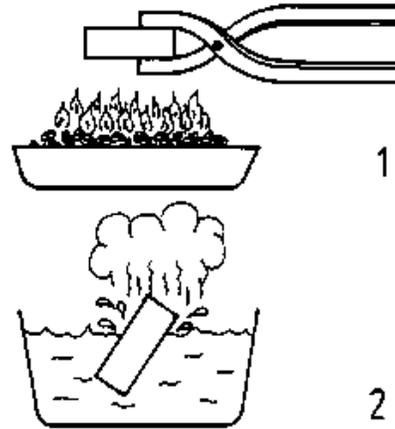
### 2.5.1.1 Temple

El temple tiene por objeto endurecer y aumenta la resistencia de los aceros. Para ello, se

<sup>10</sup> **Figura tomada de:** Tratamientos térmicos de los aceros, José Apraiz Barreiro



calienta en general el acero a una temperatura tal que supere el límite de transformación y se enfría luego rápidamente (según la composición y el tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc. [5]



*Figura 20. Proceso de Temple.<sup>11</sup>*

#### 2.5.1.2 Revenido

Este es un tratamiento térmico que se da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperatura inferior a la crítica  $A_1$ , se disminuye la dureza y la resistencia de los aceros templados, sin embargo, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.

<sup>11</sup> **Figura tomada de:** [http://www.acambiode.com/producto/fotos\\_tratamientos-trmicos-colombia\\_94923](http://www.acambiode.com/producto/fotos_tratamientos-trmicos-colombia_94923)

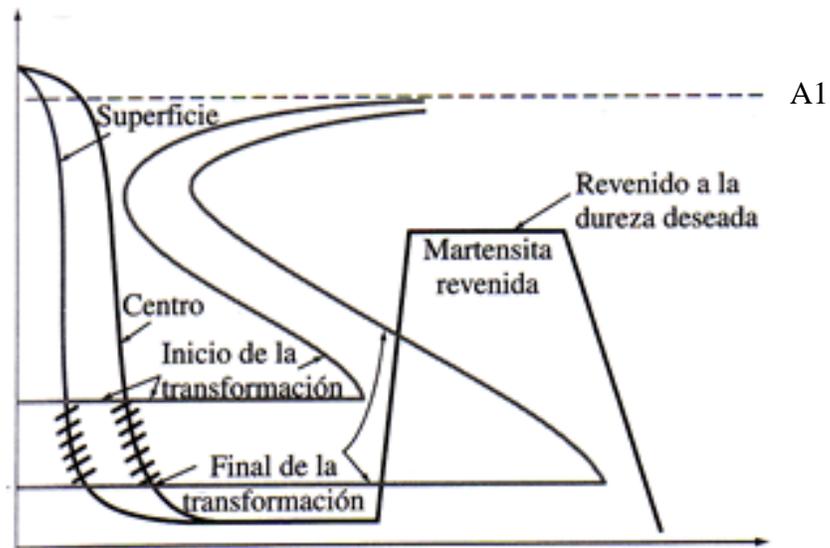


Figura 21. Diagrama TTT de acero templado y revenido.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> **Figura tomada de:** [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/Material-de-clase/tema-6.-materiales-metalicos-ceramicos-y-polimeros-i/skinless\\_view](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/Material-de-clase/tema-6.-materiales-metalicos-ceramicos-y-polimeros-i/skinless_view)

---

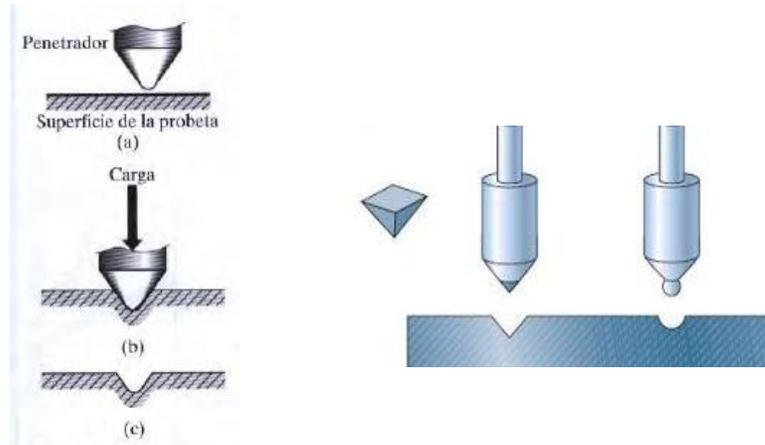
## 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3.1 Ensayos de laboratorio

Una forma de verificar que se ha realizado el tratamiento térmico o el mecanismo de fortalecimiento correcto a alguna pieza es realizar un estudio de laboratorio que permita determinar si aumentaron o disminuyeron las propiedades que se deseaban. La precisión de estos análisis depende tanto de la calibración del instrumento como del estado de la probeta, a través de los años se han ido mejorando estos procesos, y cada vez son más fáciles y precisos los resultados obtenidos con estos instrumentos. Algunos de los ensayos más utilizados son los de dureza, tenacidad y desgaste. Aunque también una actividad muy importante dentro de los ensayos de laboratorio son los análisis microestructural, donde se determina si el tratamiento térmico hizo el cambio correcto en la microestructura del material.

#### 3.1.1 Ensayo de dureza

El ensayo de dureza representa una alternativa relativamente sencilla al ensayo de tracción. La resistencia del material a la penetración indica su resistencia de forma cualitativa. El penetrador puede tener distintas formas, tanto redondead como puntiagudo y es de un material mucho más duro que la pieza que se ensaya, normalmente se usa acero endurecido, carburo de wolframio o diamante. Ver Figuras 22 y 23. [4]



*Figura 22. Ensayo de dureza, diferentes geometrías de punta.<sup>13</sup>*

<sup>13</sup> **Figura tomada de:** Ciencia de materiales para ingeniería – Shackelford James F.



Ensayo	Penetrador	Forma de la indentación Vista lateral	Vista superior	Carga	Expresión del índice de dureza
Brinell	Bola de 10 mm de acero o de carburo de wolframio			$P$	$HBW = \frac{2P}{\pi D \left[ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]}$
Vickers	Pirámide de diamante			$P$	$HV = 1.72P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			$P$	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell	A } Cono de diamante C } D } B } Bola de acero de 1/16 de pulgada de diámetro F } G } E } Bola de acero de 1/8 de pulgada de diámetro H }	 	 	60 kg 150 kg 100 kg 100 kg 60 kg 150 kg 100 kg 60 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ $R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ $R_E =$ $R_H =$

Fuente: H. W. Hayden, W. G. Moffat y J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. 3: *Mechanical Behavior*, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1965.

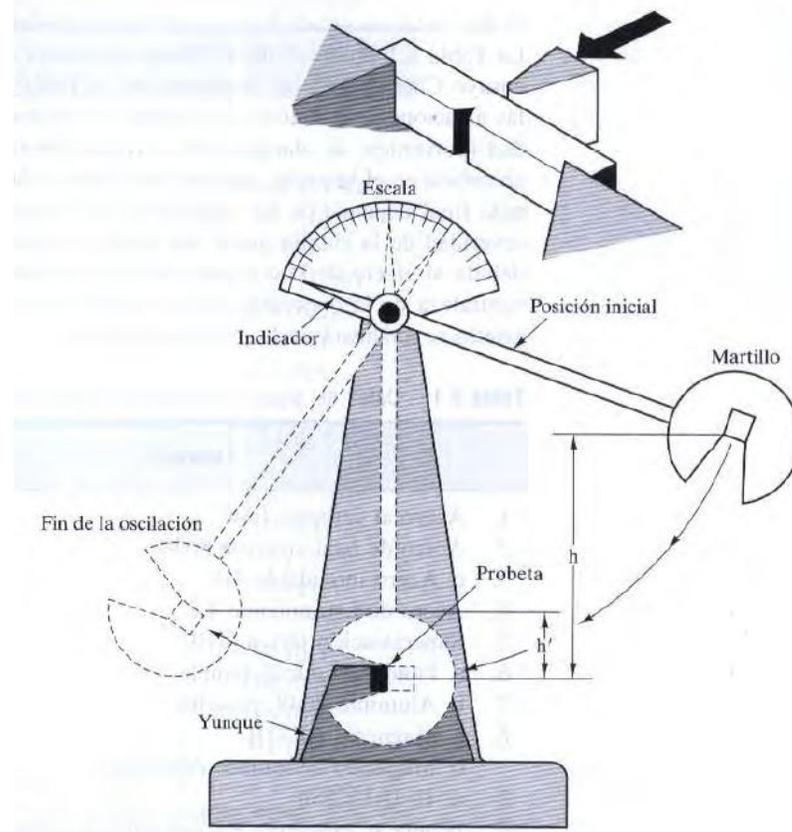
Figura 23. Tipos comunes de geometrías del ensayo de dureza.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Figura tomada de: Ciencia de materiales para ingeniería – Shackelford James F.

### 3.2.2 Tenacidad - Ensayo de impacto

Tal como la dureza es la analogía de la resistencia que se mide a través del ensayo de tracción. La energía absorbida en el impacto, o energía necesaria para romper una probeta normalizada sometida a una carga de impacto, es una analogía de la tenacidad. La forma más común de medir la energía absorbida en el impacto en el laboratorio es el ensayo Charpy. [6]

Esta medición se basa en un principio relativamente fácil. La energía necesaria para romper la probeta se calcula a partir de la diferencia entre la altura inicial y final del péndulo giratorio. Tal como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24.** Ensayo Charpy de energía absorbida por impacto.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> **Figura tomada de:** H. W. Hayden, W.G. Moffatt y J. Wulff, La estructura y propiedades de los materiales, Vol. 3



---

El resultado del ensayo consiste en someter la muestra a deformación elástica, deformación plástica y rotura, en rápida sucesión. Para poder controlar la rotura, se mecaniza una entalla, con el objetivo de producir concentración de tensiones, en la cara de la probeta sometida a la máxima tensión de tracción. [7]

### 3.2.3 *Desgaste*

El desgaste en generalmente una forma física de degradación del material. Este se puede definir como la eliminación de material de la superficie como resultado de una acción mecánica. Aunque el estudio sistemático del desgaste se ha limitado a las dos últimas décadas, algunos aspectos clave de este fenómeno están bien caracterizados. [3]

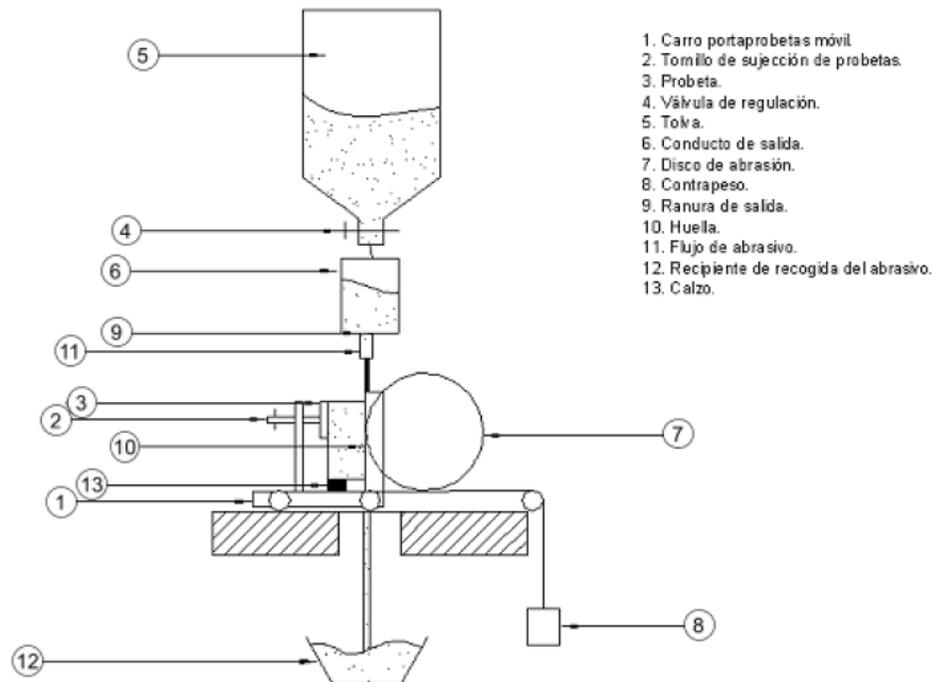
Existen cuatro formas principales de desgaste:

- Desgaste adhesivo: Este tiene lugar cuando dos superficies lisas se deslizan una sobre la otra y se arrancan fragmentos de una superficie y se adhieren a la otra.
- Desgaste abrasivo: Tiene lugar cuando una superficie dura y rugosa desliza sobre una superficie más blanda. El resultado es una serie de surcos en el material blando y la consecuente formación de partículas de desgaste.
- Desgaste por fatiga superficial: Este ocurre durante deslizamientos o rodaduras repetidos sobre una pista. La formación de grietas superficiales o subsuperficiales lleva a la desintegración de la superficie.
- Desgaste corrosivo: Este tiene lugar por deslizamiento en un ambiente corrosivo y, por supuesto, añade una degradación química a los efectos químicos del desgaste.

Los estudios de laboratorio que determinan numéricamente el desgaste, son relativamente pocos, entre los más usados se encuentra la máquina de desgaste por abrasión, que consta de un disco que gira y se pone en contacto con la probeta cilíndrica y que utilizando un flujo abrasivo con arena sílica y aceite, a medida que avanza el tiempo del ensayo se va midiendo el diámetro con la ayuda de un integrador y se pesa para obtener



la masa perdida, mientras el tambor graficador muestra los resultados del ensayo. Tal como se observa en la Figura 25.



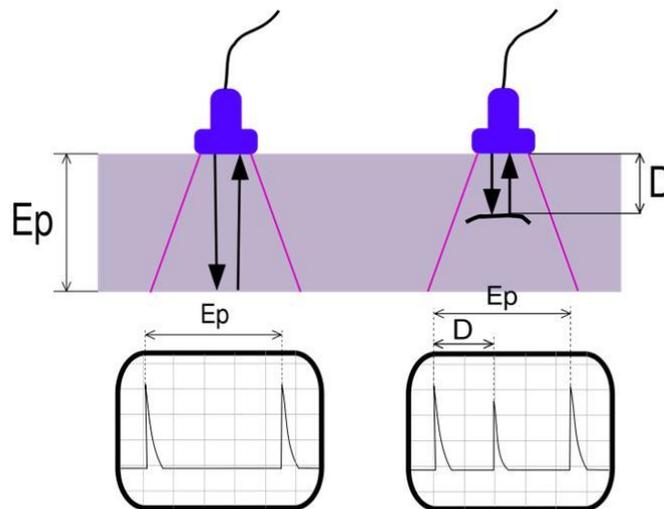
*Figura 25. Elementos principales de la máquina de desgaste.<sup>16</sup>*

Aunque en muchas ocasiones se recurre al estudio comparativo para obtener el comportamiento de desgaste de una probeta o una pieza. Esto se realiza tomando como variable el tiempo y en muchos casos las dimensiones iniciales y finales de la probeta.

<sup>16</sup> **Figura tomada de:** <http://es.scribd.com/doc/104012549/Ensayo-de-Desgaste#download>

### 3.2.4 Ensayo de ultrasonidos

Es uno de los ensayos no destructivos más utilizados, y se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar y tiene aplicación en todo tipo de materiales. Además los ensayos mediante ultrasonido permiten determinar las medidas de espesores reales de películas protectoras, de pinturas, de recubrimientos, así como la localización y medida de defectos internos como microfisuras, inclusiones, segregaciones y poros. Ver Figura 26.



**Figura 26. Ensayo de ultrasonidos.**<sup>17</sup>

<sup>17</sup> **Figura tomada de:** [http://citt.udb.edu.sv/joomla/index.php?view=article&id=56:metrologia-y-enseno-](http://citt.udb.edu.sv/joomla/index.php?view=article&id=56:metrologia-y-enseno)



### 3.2.5 Análisis químico

Este estudio de laboratorio se emplea para determinar la composición química de un material, es decir, que el objetivo de este estudio es conocer que sustancias o elementos y en qué cantidad componen un determinado material. Existen dos tipos de análisis químico, el análisis químico cualitativo y el análisis químico cuantitativo. [10]

El análisis químico cualitativo que pretende establecer la identidad química de las especies de una muestra, revelando la identidad de los elementos y compuestos de una muestra. El análisis químico cuantitativo es aquel que se realiza para determinar la cantidad relativa de las sustancias presentes en una muestra.

En el análisis químico también se tiene en cuenta el porcentaje químico de los elementos presentes en la aleación, esto es, debido a que el aumento del porcentaje de las sustancias químicas, aumenta las propiedades ya sea física o mecánica del material final. Algunos ejemplos de los elementos de microaleación que se implementarán en esta investigación son:

- *Vanadio*: El vanadio es un elemento químico que se caracteriza en una aleación por proporcionar o aumentar el índice de resistencia al desgaste abrasivo, además fusionado con otros elementos puede influir mucho en la obtención de otras propiedades mecánicas.
- *Níquel*: El níquel se caracteriza por ser un fuerte aleante para combatir la corrosión y la resistencia al impacto o tenacidad, proporciona al material una capacidad de absorber la energía por cualquier golpe, en la investigación se implementará debido a que como el diente está en constante roce y choque con el material dragado, que en la mayoría de los casos son rocas.
- *Titanio*: El titanio se caracteriza por ser un metal limpio y duradero, generalmente es usado en implementos quirúrgicos o de hospital; el titanio protege al material contra la corrosión y proporciona un alto grado de tenacidad y resistencia mecánica. Sin embargo en la aleación en estudio, no se implementará el titanio para ayudar contra la corrosión, sino más que todo para evitar que se



formen carburos dentro del material, que pueden ser muy dañinos.

- *Molibdeno*: El molibdeno es un material que aleado, proporciona mucha resistencia mecánica al material, y es importante en la aplicación de esta investigación, debido a que se combina con el vanadio para crear un compuesto muy característico.

### 3.2.6 *Análisis del Tamaño de Grano*

Se le llama grano a la forma microestructural que compone al metal, es la parte más pequeña físicamente en un metal, generalmente mientras menor sea el tamaño de este grano, más fino será y por ende mucho más compacto, esto proporciona una dureza muy alta y una resistencia al desgaste muy característica. [13]

En la investigación se realizará un estudio del tamaño de grano, primero identificando las cualidades de los dientes referencia tanto de ESCO como de METALESCO, determinaremos el tamaño de grano con el que trabajan y experimentaremos para mejorar ese tamaño de grano. El tamaño del grano está relacionado directamente con la temperatura de cocción del material, y de los elementos que componen al metal, realizaremos un tanto entre 5 temperaturas diferentes, pero cercanas unas a la otra, con el fin de obtener una visión de cómo evoluciona el grano en la microestructura, y así poder identificar cual es una temperatura óptima para la fabricación de los dientes de draga.

El tamaño de grano se clasifica de 1 a 13, siendo 13 el tamaño de grano más fino y 1 el más grueso, esto es, si tenemos un área de 5 micras cuadradas, el número de granos que estén dentro de esta área determina el grado del tamaño de grano, si hay 5 granos, es grado 5, y así sucesivamente.

Para el análisis del tamaño de grano, se va a hacer uso de la herramienta disponible en el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Tecnológica de Bolívar, además del software con el que cuenta, analySIS, el cual automáticamente proyecta la imagen desde el microscopio y determina el tamaño de grano que tiene.



---

## 4. PROPUESTA DE ALEACIÓN

La mejor combinación de propiedades en los dientes de draga debe partir de la obtención de un grano fino hereditario de la austenita, lo que combinado con un adecuado tratamiento térmico de temple y revenido permite lograr el mejor compromiso de propiedades de resistencia y tenacidad en función de las exigencias para el trabajo de estas piezas. [14]

El tamaño de grano fino se puede lograr de dos maneras fundamentales:

- 1) Por la introducción de elementos afinadores de grano en la fundición, entre los que figuran Aluminio, Titanio, Molibdeno y Vanadio.
- 2) por tratamiento de recristalización de la austenita.

Un adecuado diseño de la composición química de la aleación y un tratamiento térmico a la medida son esenciales para obtener un buen producto de acero fundido para satisfacer una necesidad dada.

La selección de los elementos de aleación y su concentración depende mucho del porcentaje de carbono y nitrógeno en la aleación. La estabilidad y solubilidad de los nitruros y carburos en la austenita a altas temperaturas, así como la avidez para la formación de nitruros y carburos de los elementos de micro aleación son determinantes en el diseño de una aleación y del tratamiento térmico.

Podemos afirmar que una buena opción para obtener dientes de draga en aceros con relativamente bajo carbono (0,20 % C) es la aleación con Titanio y Vanadio, acompañados del procesos de desoxidación con Aluminio y la reducción de las impurezas perniciosas (Azufre y Fósforo).

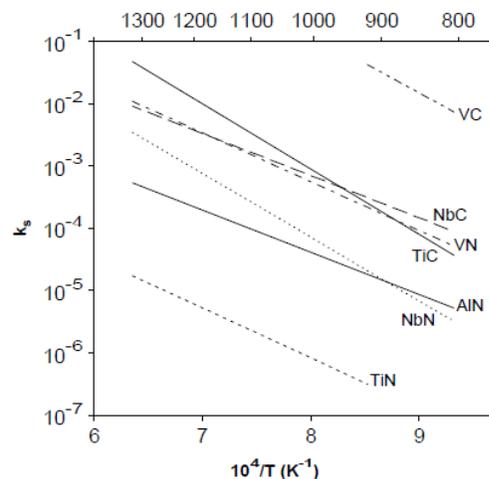
El Carbono, aunque aumenta la templabilidad y se combina para formar los carburos contribuyendo al endurecimiento por dispersión de segundas fases, se limita por sus efectos negativos sobre la tenacidad y la temperatura de transición y la soldabilidad (la que no tiene caso en esta aplicación).

El Titanio en muy bajas concentraciones se combina con el nitrógeno en la aleación para formar TiN (Nitruro de Titanio), que es un excelente afinador de grano y presenta alta

estabilidad en la austenita. De igual modo el Aluminio forma AlN (Nitruro de Aluminio), por lo que ambos absorben el nitrógeno reduciendo el efecto negativo del mismo en estado libre y son afinadores de grano.

El Vanadio, aunque es un afinador de grano, no es esta la función que se busca en este caso, sino su participación en la formación de carburos dispersos de alta dureza y resistencia al desgaste abrasivo. El vanadio es limitado a concentración bajas (0,1 – 0,2%) por su limitada solubilidad en la austenita y estabilidad relativamente alta. La concentración Vanadio en forma de carburos no disueltos en la austenita puede reducir la tenacidad luego del Tratamiento Térmico se desea que el Vanadio se disuelva totalmente en el calentamiento para el temple y forme carburos dispersos durante el revenido.

La formación del TiN (Nitruro de Titanio) (lo que se garantiza en presencia de nitrógeno) es de vital importancia dada su alta estabilidad en la austenita a temperaturas elevadas, manteniendo un grano fino hereditario. Esas temperaturas altas son requeridas para la disolución del VC (Carburo de Vanadio), el que luego del temple y revenido volverá a presentarse como un carburo disperso contribuyendo a elevar la resistencia al desgaste abrasivo. Ver Figura 27. [8]



**Figura 27.** Variación del Producto de solubilidad de distintos precipitados con la temperatura

Proponemos aleaciones de acero fundido ligeramente aleados al Cromo, Níquel y

---

Molibdeno, elementos que elevan la templabilidad del acero y presentan otros beneficios.

El Carbono puede estar alrededor del 0,30 % C; el Manganeso debe estar entre 1,0 y 1,5 % cuya función principal está en reducir el efecto negativo del azufre sobre la tenacidad del acero, además es un formador de carburo; el Titanio se propone esté entre 0,026 y 0,034 % cuya función principal es el afinado de grano y el Vanadio se propone que esté entre 0,15 y 0,25 % cuya función es la formación de carburos dispersos de alta resistencia al desgaste abrasivo.

La aleación debe hacerse con el mayor cuidado para evitar poros e impurezas en el producto final. Debe lograrse la presencia de Titanio y una pequeña cantidad de nitrógeno en la fundición para que se forme TiN (Nitruro de Titanio).

Para lograr el efecto deseado del Vanadio, se harán estudios de Tamaño de grano hereditario controlado con el TiN (Nitruro de Titanio) y de estabilidad y solubilidad de los carburos de Vanadio en función de la temperatura y tiempo de permanencia en el estado austenítico, lo que permitirá determinar las temperaturas adecuadas para el temple. Las temperaturas de revenido deben permitir la presencia del VC (Carburo de Vanadio) junto con otros carburos de Cromo, Molibdeno y Manganeso. De igual modo la temperatura de revenido seguirá permitiendo regular las propiedades mecánicas para obtener un diente a la medida de las necesidades impuestas por el tipo de terreno a dragar. Ver la Tabla 2.



**Tabla 2. PROPUESTA DE ALEACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE DIENTES DE DRAGA DE MAYOR RENDIMIENTO.**

Elementos	%	Observaciones
Carbono	0,28- 0,32	Formación de carburos, eleva templabilidad (su incremento baja tenacidad)
Manganeso	1,0 - 1,5	Evita el efecto negativo del Azufre sobre la tenacidad y forma carburos
Fósforo	< 0,04	Tan bajo como sea posible
Azufre	< 0,04	Tan bajo como sea posible
Silicio	< 0,8	
Níquel	0,8 - 1,2	Eleva templabilidad y tenacidad. Valores elevados aumenta Austenita retenida
Cromo	1,0 - 1,4	Eleva templabilidad y forma carburos
Molibdeno	0,4 - 0,6	Eleva templabilidad, forma carburo y evita fragilidad de segundo tipo
Vanadio	0,15 - 0,25	Formador de carburos de alta dureza (exige control preciso del TT)
Titanio	0,026 - 0,034	Formador de nitruro y carburo. Afinador de grano
Aluminio	Pend.	Debe garantizar la reducción del nitrógeno y formar nitruro como afinador de grano

**Nota: El diseño del tratamiento térmico de Temple y revenido depende en gran medida e la composición química.**

---

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Caracterización de los dientes tradicionalmente utilizados en el dragado.

En esta caracterización se hizo análisis microestructural y estudio de ultrasonido, tanto para los dientes ESCO como para los nacionales de METALESCO.

En el estudio microestructural se determinó el grado de limpieza (inclusiones no metálicas), Las aleaciones ESCO como se muestra en la **figura 2**, presentan un alto grado inclusiones no metálicas, óxidos globulares con grado 5 según la norma **ASTM E45 (Norma para la clasificación de inclusiones no metálicas)**, y acumulaciones de estas suciedades en los límites de grado después del temple, como se evidencia en **figura 1**. Esto es debido a incorrecciones en la desoxidación durante el proceso de fundición.

Cuando estas aleaciones con baja calidad son templadas es frecuente la aparición de micro grietas en los límites de grano, como se muestra en la **figura 3**.

El estudio de las aleaciones de METALESCO, también mostró bajo grado de limpieza, con inclusiones de óxidos globulares del grado 3, pero en este caso lo más crítico fue la alta presencia de poros de fundición de grandes dimensiones como se muestra en la **figura 4**.

Se utilizaron los reportes de composición química suministrados por el proveedor.

Las evaluaciones preliminares de la durabilidad de estas piezas realizadas por el equipo de trabajo de la draga de CONTECAR reportan que los dientes nacionales duran alrededor del 75 % del tiempo respecto a los importados de ESCO.

Se demuestra que tanto las aleaciones importadas como las nacionales en los dientes de draga presentan problemas macro y micro estructurales que contribuyen al bajo rendimiento de estos dientes. Esto demostró que es posible obtener aleaciones para dientes de draga de mejor calidad, mayor rendimiento y con menos defectos de fundición (poros), lo que justifica el desarrollo de este proyecto.

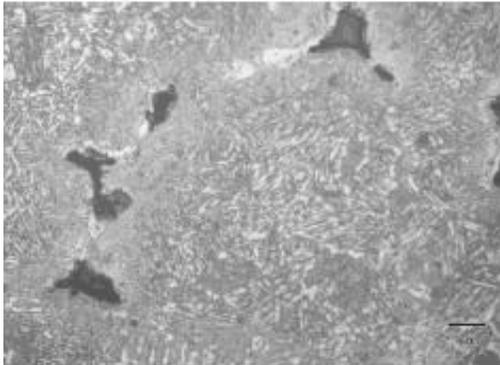


Figura 1. Estructura de temple del mostrando inclusiones en los límites de grano, dientes ESCO

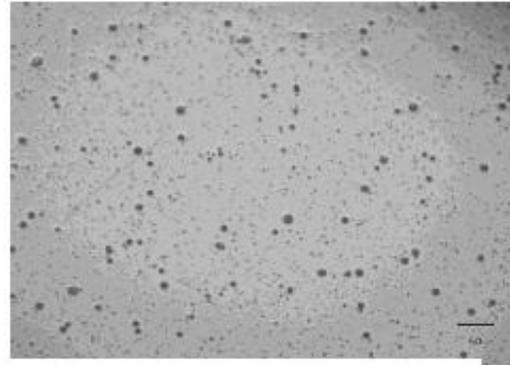


Figura 2. Abundante Inclusiones no metálicas en el acero ESCO



Figura 3. Estructura de temple mostrando grietas en el límite de grano, acero ESCO.



Figura 4. Poros de fundición en las estructuras de los aceros en dientes de METAESCO

Con el fin de encontrar un punto de inicio para el análisis se realizaron varios ensayos para caracterizar las aleaciones de los dientes que usualmente son utilizados en las dragas de la ciudad.

De los dientes de fabricación nacional hechos por la empresa METAESCO y de los dientes importados Fabricados por la empresa ESCO. Se extrajeron algunas muestras las cuales se analizaron en el laboratorio en su estado inicial. Determinando su dureza para después realizar tratamiento térmico a ambos grupos de muestras y así ver cuál de los dos obtienen las mejores características después de realizado el proceso.

Los resultados se presentan en la Tabla 3 y fueron los siguientes:

**TABLA 3. RESULTADOS PRIMERA PRUEBA DE DUREZA DIENTES ESCO Y METALESCO**

Dientes	Dureza HRC
<b>METALESCO</b>	35
<b>ESCO</b>	38

Estos resultados se obtienen de los dientes en su estado inicial, tal y como vienen desde la fábrica. Por lo que es claro que se necesita un tratamiento térmico previo al montaje de los dientes en la draga.

La duración de trabajo de los dientes de METALESCO oscila entre los 10 y 12 días, mientras que los de ESCO duran entre 11 y 15 días de trabajo continuo. Por tal razón, se convierte en una labor tediosa el cambio constante de dientes, además que constituye una pérdida significativa de dinero pues cada cambio de juego de dientes requiere una parada total del equipo.

El cabezal de la draga que es objeto de estudio, tiene 6 alabes con 8 filas de dientes cada uno, Esto quiere decir que cada vez que hay una parada es necesario cambiar hasta 48 dientes. El precio de los dientes de METALESCO es de \$100.000 pesos, lo que significa que cada juego tiene un valor de \$4'800.000 pesos.

Con el fin de determinar si se ha logrado mejorar algunas propiedades después del tratamiento térmico se realizan algunos estudios de laboratorio. La primera propiedad que evaluamos fue la dureza.

Con el apoyo del Laboratorio de Metalografía de la Universidad Tecnológica de Bolívar, se dispuso de un durómetro de última tecnología para realizar todos los estudios correspondientes.

Los tratamientos térmicos que se realizaron fueron temple y revenido. Se cortaron 12 probetas las cuales se dividieron en 3 grupos. Cada grupo fue sometido a un temple a distintas temperaturas.

Para encontrar la temperatura efectiva de temple era necesario hacer más de una prueba, en este caso se hicieron tres verificaciones de temperatura para dar con el valor exacto



necesario para realizar el tratamiento térmico a los dientes en estudio. [9]

Inicialmente se realizaron pruebas de dureza a las probetas con el objetivo de ver el comportamiento de las propiedades con el mismo tratamiento térmico a diferentes temperaturas. Algunos de los resultados se presentan en la Tabla 4 y son los siguientes:

**TABLA 4. RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA A LOS DIENTES DE DRAGA TRADICIONALES A DIFERENTES TEMPERATURAS DE TEMPLE**

Probeta	Temperatura	Dureza media (HRC)
4	850	33
5	870	47
6	890	44
2	935	43
3	970	42

Después de la obtención de estos resultados presentados anteriormente, se realizó un revenido a 220° C a todas las probetas. Los resultados de dureza obtenidos son los siguientes (Ver Tabla 5):

**TABLA 5. RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA DE LOS DIENTES DE DRAGA CON REVENIDO A 220°C**

Probetas	T, De Temple	Dureza media (HRC)
4	850	45
5	870	44
6	890	31
2	935	43
3	970	40

Con nuevos valores de temperaturas se realiza el mismo procedimiento que en el estudio anterior, pero con más replicas. Los resultados obtenidos en este análisis servirán de



datos de entrada en el análisis estadístico.

Los valores de temperaturas utilizados fueron: 860°C, 890°C y 920°C. Los resultados del estudio de dureza se presentan en las Tablas 6 a 8 y fueron:

**TABLA 6. RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTES CON TEMPLE A 860°C**

PROBETAS		DUREZA HRC					PROMEDIO
<b>NUEVOS</b>	<b>N1</b>	45	45	44	42	45	44
<b>METALESCO</b>	<b>M1</b>	48	50	46	54	51	50
<b>ESCO</b>	<b>E1</b>	46	56	48	51	50	50

**TABLA 7. RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTES CON TEMPLE A 890°C**

PROBETAS		DUREZA HRC					PROMEDIO
<b>NUEVOS</b>	<b>N2</b>	44	45	48	44	45	45
<b>METALESCO</b>	<b>M2</b>	50	50	52	46	50	49
<b>ESCO</b>	<b>E2</b>	42	46	47	49	52	47

**TABLA 8. RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA TODOS LOS DIENTE CON TEMPLE A 920°C**

PROBETAS		DUREZA HRC					PROMEDIO
<b>NUEVOS</b>	<b>N3</b>	44	39	40	44	41	42
<b>METALESCO</b>	<b>M3</b>	45	44	47	50	45	46
<b>ESCO</b>	<b>E3</b>	45	50	49	55	54	51

Estos resultados permiten concluir que no hay cambio significativo en la dureza con el cambio de temperatura de temple, se escoge la temperatura 890°C para garantizar alcanzar la fase austenita y manteniendo un tamaño de grano fino. La temperatura 860 °C puede provocar puntos blandos por la presencia de ferrita. Con la temperatura de temple ya definida, es necesario realizar un tratamiento térmico que permita aliviar

---

esfuerzos concentrados producidos por el temple. El procedimiento que se realiza a continuación es el revenido y este se realiza a una temperatura de 220°C.

Se puede concluir que con la segunda temperatura de temple, 890°C, el revenido no reduce significativamente la dureza del diente, esto se debe a la formación del carburo Épsilon, típico en estos aceros. Por esta razón los tratamientos térmicos escogidos para la aleación propuesta de los dientes, es temple a una temperatura de 890°C con enfriamiento en agua y revenido a una temperatura de 220°C durante dos horas.

## **5.2 Estudio comparativo a escala de laboratorio de aleaciones nacionales para dientes de draga, incluyendo una nueva aleación, respecto a una de referencia importada de ESCO.**

Se realizan las siguientes tareas: Análisis químico, ensayos no destructivos por ultrasonido y mejora de los parámetros de tratamiento térmico para lograr la mejor combinación de propiedades mecánicas. Para este fin se tomaron tres aleaciones: Una tradicional de METALESCO (M), una de referencia importada y certificada por ESCO (E) y una nueva aleación micro aleada al Titanio - vanadio

### **5.2.1 Análisis Químico**

Resultados del análisis químico realizado en la Universidad de Antioquia para los dientes de draga de ESCO, METALESCO y NUEVA ALEACIÓN. . Hay que aclarar que los dientes ESCO en este análisis son importados propiamente para este estudio; no son los mismos que se usaron para el estudio comparativo inicial, los que presentaron algunos problemas de calidad. Ver Tablas de Análisis químico.



ESCO IMPORTADA PARA EL PROYECTO:

Consecutivo No. 150713 - 63			Muestra: E1						
Elemento	Carbono (C)	Silicio (Si)	Manganeso (Mn)	Azufre (S)	Fósforo (P)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno (Mo)	Aluminio (Al)
%p/p	0.257	1.256	1.174	0.009	0.020	0.070	1.437	0.220	0.018
Elemento	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Estaño (Sn)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Antimonio (Sb)	Zirconio (Zr)	Calcio (Ca)	.....
%p/p	0.023	0.010	0.008	0.002	0.006	0.000	0.059	0.002	.....

METALESCO TRADICIONALES:

Consecutivo No. 150713 - 61			Muestra: M1						
Elemento	Carbono (C)	Silicio (Si)	Manganeso (Mn)	Azufre (S)	Fósforo (P)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno (Mo)	Aluminio (Al)
%p/p	0.308	1.458	1.046	0.012	0.018	1.154	1.318	0.437	0.235
Elemento	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Estaño (Sn)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Antimonio (Sb)	Zirconio (Zr)	Calcio (Ca)	.....
%p/p	0.064	0.013	0.008	0.002	0.007	0.002	0.002	0.006	.....

NUEVA ALEACIÓN CON TITANIO Y VANADIO:

Consecutivo No. 150713 - 62			Muestra: N1						
Elemento	Carbono (C)	Silicio (Si)	Manganeso (Mn)	Azufre (S)	Fósforo (P)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno (Mo)	Aluminio (Al)
%p/p	0.267	0.790	0.899	0.014	0.033	1.108	1.568	0.498	0.437
Elemento	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Estaño (Sn)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Antimonio (Sb)	Zirconio (Zr)	Calcio (Ca)	.....
%p/p	0.243	0.012	0.018	0.175	0.111	0.003	0.005	0.005	.....

Se puede observar cómo se diferencian los tres diferentes dientes uno del otro, también podemos notar como en ciertos parámetros la nueva aleación posee en ciertos porcentajes un valor mucho mayor, ejemplo: Vanadio.

Los dientes de ESCO y METALESCO, presentan mucha similitud en su composición química, pero las propiedades físicas y mecánicas no son del todo parecidas, en las siguientes secciones someteremos a pruebas de laboratorio a los dientes para comprobar las propiedades mecánicas que poseen y realizar un marco comparativo entre ellos, para determinar el diente de mejor comportamiento.

**5.2.2 Ensayo de Ultrasonido**

Con la colaboración de la empresa Ingeniería y ensayos del caribe S.A.S. se realizaron dos etapas de análisis por ultrasonido. En la primera etapa se estudiaron los dientes de actual uso en la draga, los de fabricación nacional y los de fabricación americana. En el segundo análisis se estudiaron los dientes correspondientes a la aleación nueva propuesta en este trabajo. Ver Figura. Las características del estudio se muestran a continuación:



		PROCEDIMIENTO N° PRT-UT-001		
		CÓDIGO: IEC UT-001		
		PREPARO:		
		REVISO:		
		APROBÓ:		
		FECHA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2012		
CLIENTE: F.I.S LTDA. FERRETERÍA IGNACIO SIERRA Y SUCESORES LTDA.				
CIUDAD: CARTAGENA				
DETALLE: INSPECCIÓN POR PEDIDO DEL CLIENTE				
LUGAR DE INSPECCIÓN: PATIO MANTENIMIENTO FIS LTDA.				
PROYECTO: INSPECCIÓN DIENTES PARA DRAGADO				
EQUIPO DE INSPECCIÓN: DIENTES PARA DRAGADO DE SUCCIÓN Y CORTE				
MATERIAL: ACERO FUNDIDO				
ESPECIFICACIÓN (NORMA): ASME SECCIÓN V art 5, 9				
PLANO No: Ver fotos de referencia				
ESTADO DE LA SUPERFICIE: POROSA SIN RECUBRIMIENTO				
ACABADO DE LA SUPERFICIE: SIN RECUBRIMIENTO				
RANGO DE ESPESORES: Variado				
EQUIPO DE ULTRASONIDO: MDF359B		MODELO: 359B		
ACOPLANTE: GRASA				
DIÁMETRO O LONGITUD: VARIABLE				
MÉTODO: PULSO-ECO				
BLOQUE DE CALIBRACIÓN:		IIW TIPO 1		
VELOCIDAD DEL SONIDO: 5920m/s – ONDAS LONGITUDINALES				
SENSIBILIDAD DE REF.: 62dB				
% REF. DE REJECT DE CALIBRACIÓN : 80%				
PALPADORES:	MODELO:	DIÁMETRO:	ANGULO:	FRECUENCIA
1.	S107789	10mm	0°	4MHz
2.	-----	-----	-----	-----

## Primer análisis. Dientes ESCO y METAESCO

### Inspección visual externa:

La inspección se realizó a unas piezas de acero ligeramente aleado con cromo y níquel, dientes de dragado, y estos tienen un área de acople y otra completamente maciza, de los cuales son 20 piezas, 10 fabricadas en USA, de color verde, de las cuales 5 son de succión y 5 son de corte; las otras 10 son de un fabricante nacional, de color rojo, son 5



de succión y 5 de corte. Las puntas de fabricación americana tienen un acabado ideal para este tipo de piezas fabricadas por fundición. Las nacionales muestran poros, aislados o solitarios, y agrupados en gran cantidad, lo cual deja claro que su constitución interna puede ser igual a la exterior. Tal como se muestra en las Figuras 28 a 31.



**Figura 28.** Los dientes americanos de verde y los nacionales de rojo, de succión y de corte.



**Figura 29.** Los dientes nacionales presentan un diseño distinto a los dientes americanos. Verdes para ESCO y rojos para METALESCO



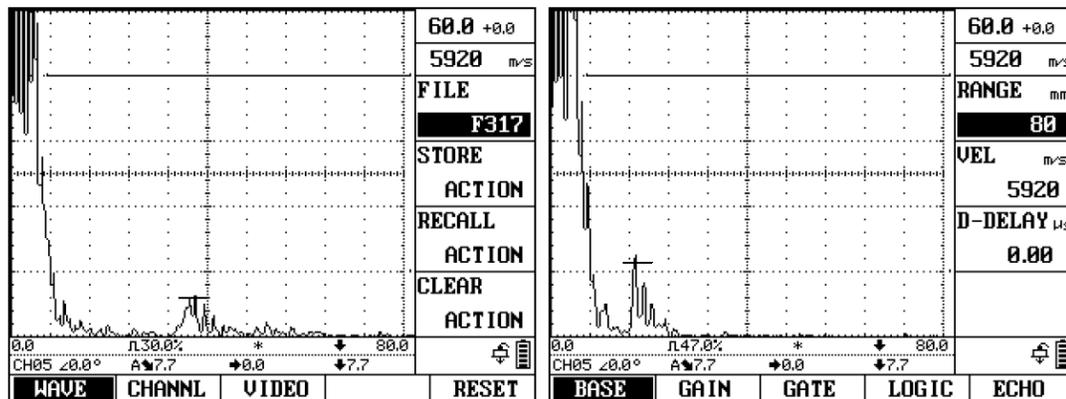
*Figura 30. Diente de ESCO señalando las zonas de defectos, Diente de METALESCO defectos notables en la superficie.*



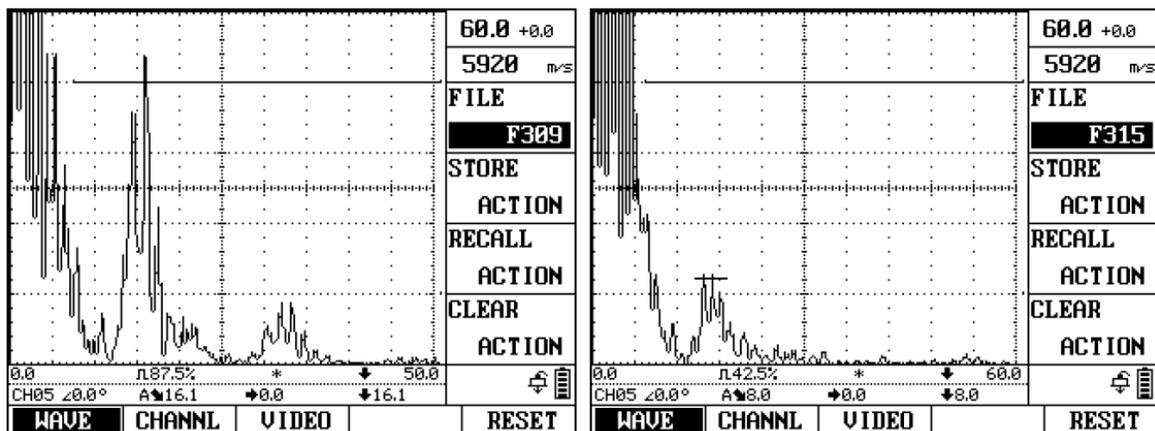
*Figura 31. Porosidades externas aisladas y agrupadas en estos dientes de fabricación nacional, que en general se encuentran diseminados por todo el cuerpo del diente.*

**Inspección Ultrasonica:**

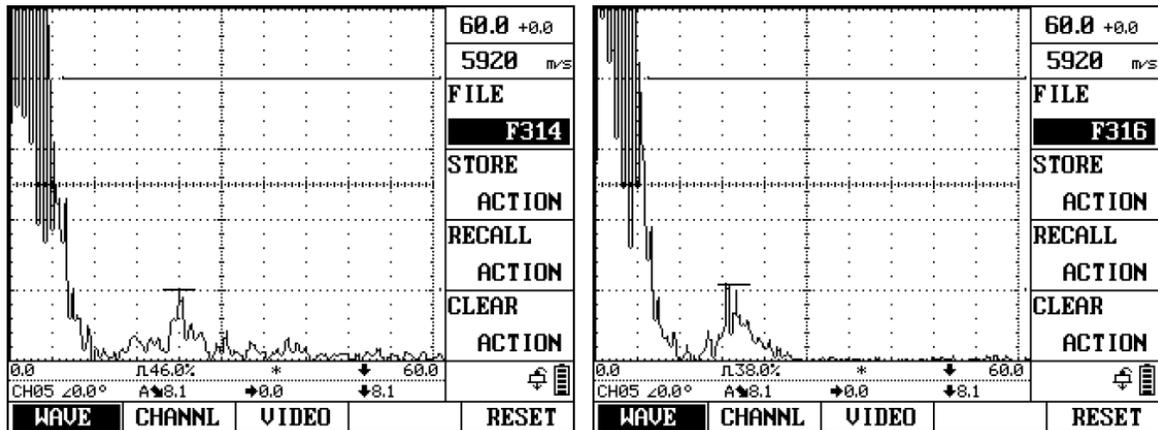
Teniendo en cuenta el material de los dientes, se calibró el equipo para usarse por el método ultrasónico Scan A, es decir, con la velocidad de sonido característica para aceros (5900mts/seg), adicionalmente, se utilizó un bloque patrón IIW V1 tipo 1 para corroborar la calibración. Los dientes, al ser fabricados por fundición, pueden retener gases en su interior que al solidificarse formaran los poros. Este es uno de los defectos más comunes de las fundiciones, normalmente los poros se presentan en agrupaciones que producen ecos de dispersión tipo hierba. Ver las Figuras 32 a 34.



*Figura 32. Ecos de la onda ultrasónica señalando los defectos en los dientes Americanos.*



*Figura 33. La imagen muestra una agrupación que indica un 87,5% de amplitud y la otra de 42.5% ambos son de succión.*



**Figura 34.** Imágenes que muestran porosidad interna en las puntas de corte No 1 y 3 las cuales son de fabricación americana, que no sobrepasan el 50% de amplitud y que se encuentran cerca al extremo de trabajo.

Los dientes presentan en general porosidad interna en su mayoría agrupada pero es debido a procesos de fabricación, a los cuales se les debe hacer seguimiento permanente para lograr un producto de mejor calidad y así extender la vida útil de los mismos. Los dientes americanos frente a los nacionales son de mejor calidad y las indicaciones registradas no alcanzan un rango que diga que son descartables, lo contrario con los dientes de fabricación nacional los cuales la mayoría mostraron porosidad interna que supera el rango estándar de 80% en las indicaciones detectadas por el equipo de ultrasonido. Sin embargo, de acuerdo a las condiciones de trabajo a las que serán sometidos, junto con la información aquí suministrada, el fabricante debe estimar la vida útil que, en la mayoría de los casos será menor a la de los dientes americanos.

## **Segundo análisis. Dientes de la NUEVA ALEACIÓN**

### **Inspección visual externa:**

La inspección se realiza a dientes de dragado de succión los cuales son piezas de fundición, estos tienen un área de acople y otra completamente maciza, sobre la cual se realiza la inspección. La cantidad total es de 15 piezas, de un fabricante nacional. No se notan poros en estas puntas, las cuales mejoraron en el acabado con relación a las inspeccionadas con anterioridad. Ver Figura 35.



*Figura 35. Dientes de la nueva aleación, no presentan defectos superficiales.*



***Inspección Ultrasónica:***

Teniendo en cuenta el material de los dientes, se calibró el equipo para usarse por el método ultrasónico Scan A, es decir, con la velocidad de sonido característica, adicionalmente, se utilizó un bloque patrón IIW V1 tipo 1 para corroborar la calibración. En general, las indicaciones registradas son puntuales, su tamaño es de alrededor de 1mm, por lo que se puede decir que el proceso de fabricación mejoró con relación a los dientes anteriores. A continuación en la Tabla 9 Los dientes con indicaciones. Luego las Figuras 36 a 40 con detalles del estudio.

**TABLA 9. NÚMERO DEL DIENTE ANALIZADO CON  
EL NÚMERO DE DEFECTOS ENCONTRADOS**

Diente N°	N° de Indicaciones
1	2
2	1
3	1
4	2
5	1
6	2
7	1
8	2
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1

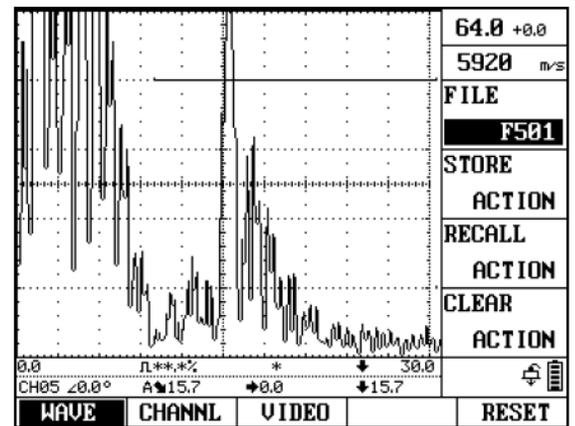
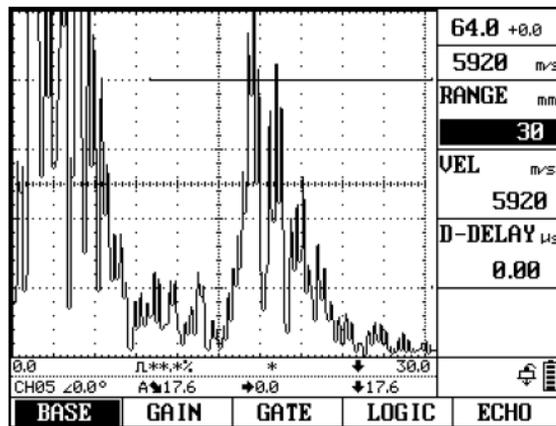


Figura 36. Evidencia de los defectos encontrados en el diente n°1

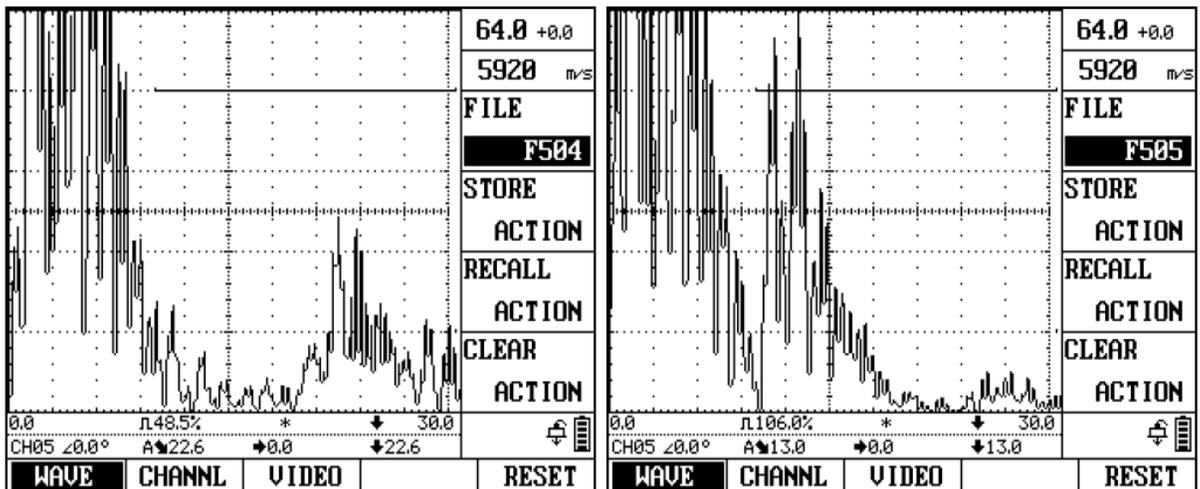


Figura 37. Imágenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°4

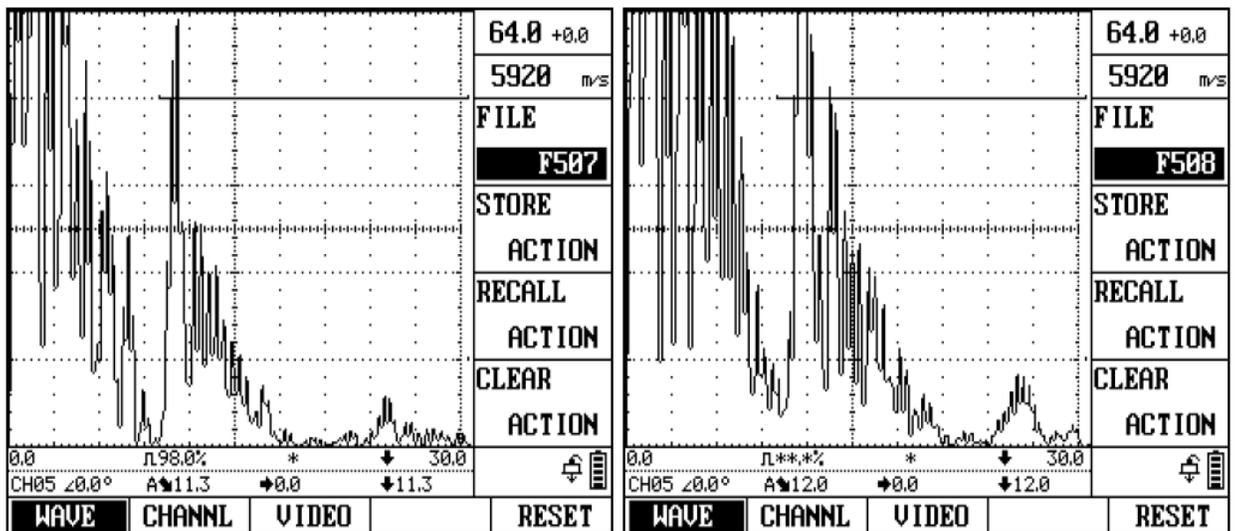


Figura 38. Imágenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°6

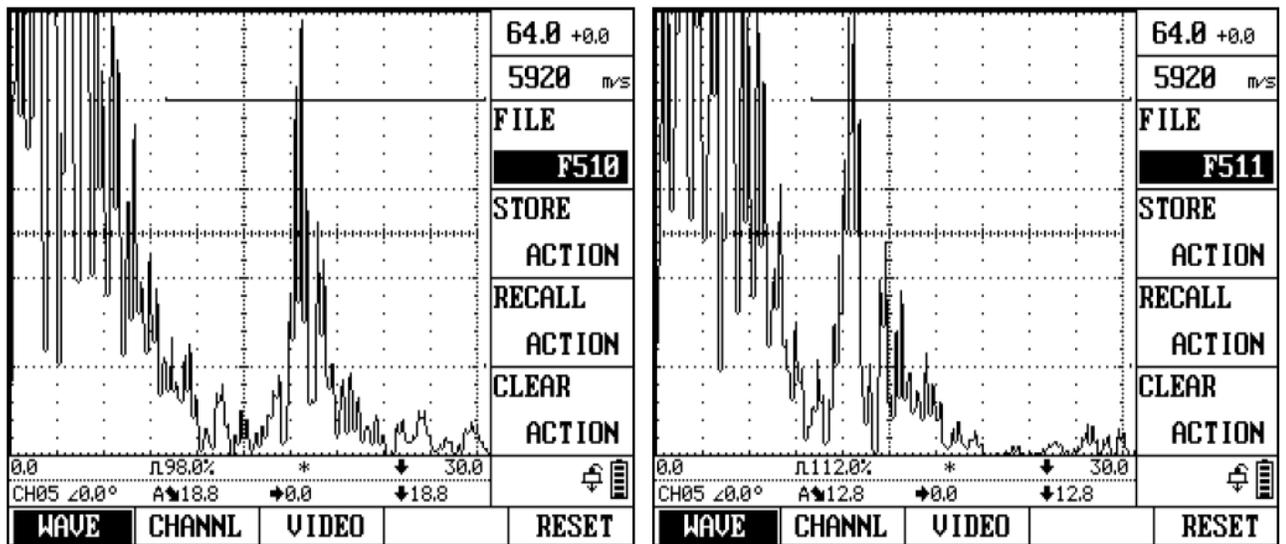
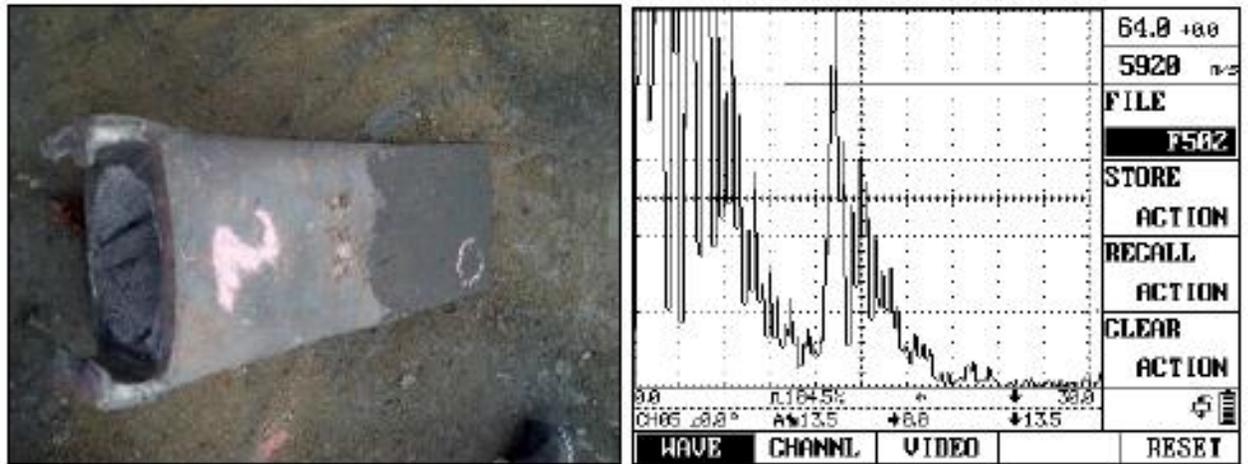
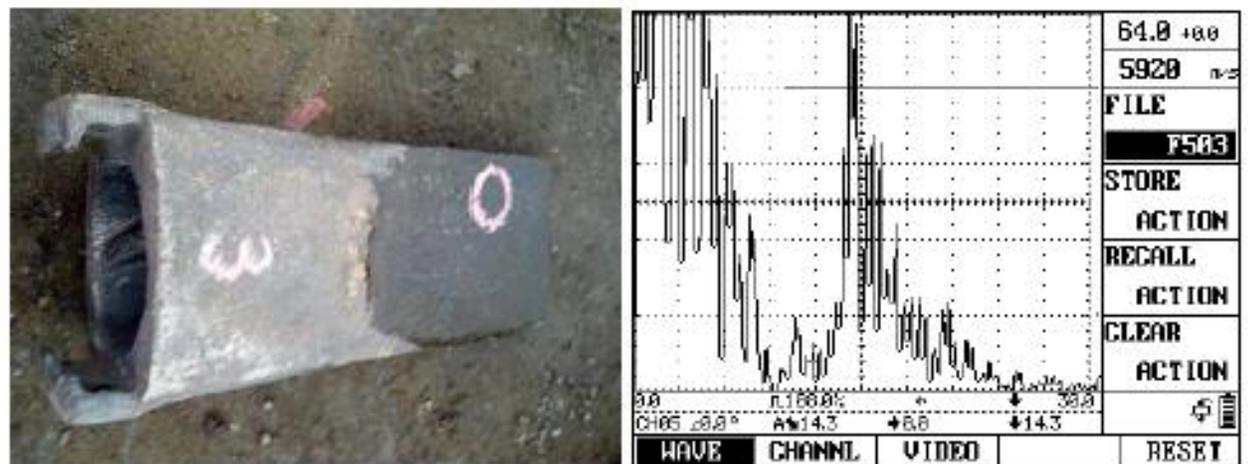


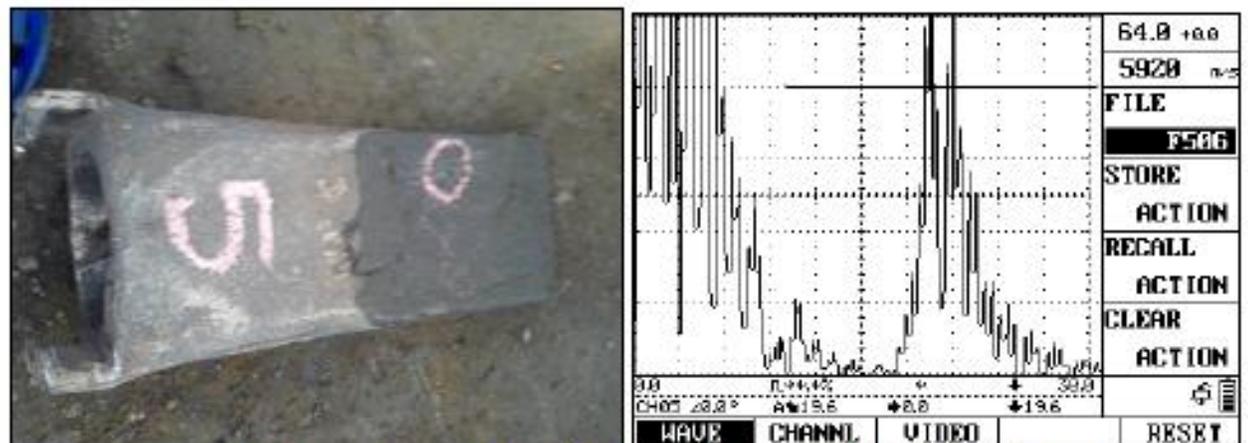
Figura 39. Imágenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°8



Imagenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°2



Imagenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°3



Imagenes que muestran y evidencian los defectos encontrados en el diente n°5

Los dientes presentan en general poros internos, aislados, siendo los verdaderamente relevantes los indicados, lo cual muestra una mejora significativa en el proceso de fabricación y el empleo de productos de mejor calidad, si se compara con los dientes inspeccionados anteriormente.

### **5.2.3 Ensayo de Impacto**

Con los valores de temperaturas anteriores, se realizaron algunos estudios de tenacidad para determinar la cantidad de energía que pueden absorber los dientes por impacto y la incidencia de la temperatura de temple en la tenacidad. El estudio se realizó con probetas rectangulares cuya sección transversal medía 1 cm<sup>2</sup> de área.

Con el apoyo del laboratorio de metalografía de la Universidad Tecnológica de Bolívar se realizaron las pruebas con la máquina de ensayo Charpy. Esta máquina análoga arroja los resultados del estudio en las unidades Kg-m, sin embargo, se utilizó la conversión de esta unidad en Joules (J).

Los resultados obtenidos en el estudio se presentan en las Tablas 10 a 12 y fueron:

**TABLA 10. RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO  
PROBETAS TEMPLADAS A 860°C**

PROBETAS	ENERGIA ABSORBIDA (Promedio)	
	Kg-m	J
<b>N1</b>	1,5	14,7
<b>M1</b>	1,4	13,72
<b>E1</b>	2,8	27,44

**TABLA 11. RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO  
PROBETAS TEMPLADAS A 890°C**

PROBETAS	ENERGIA ABSORBIDA (Promedio)	
	Kg-m	J
<b>N1</b>	1,4	13,72
<b>M1</b>	0,8	7,84
<b>E1</b>	4,2	41,16



**TABLA 12. RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO  
PROBETAS TEMPLADAS A 920°C**

PROBETAS	ENERGIA ABSORBIDA (Promedio)	
	Kg-m	J
<b>N1</b>	1,8	17,64
<b>M1</b>	1,7	16,66
<b>E1</b>	3,6	35,28

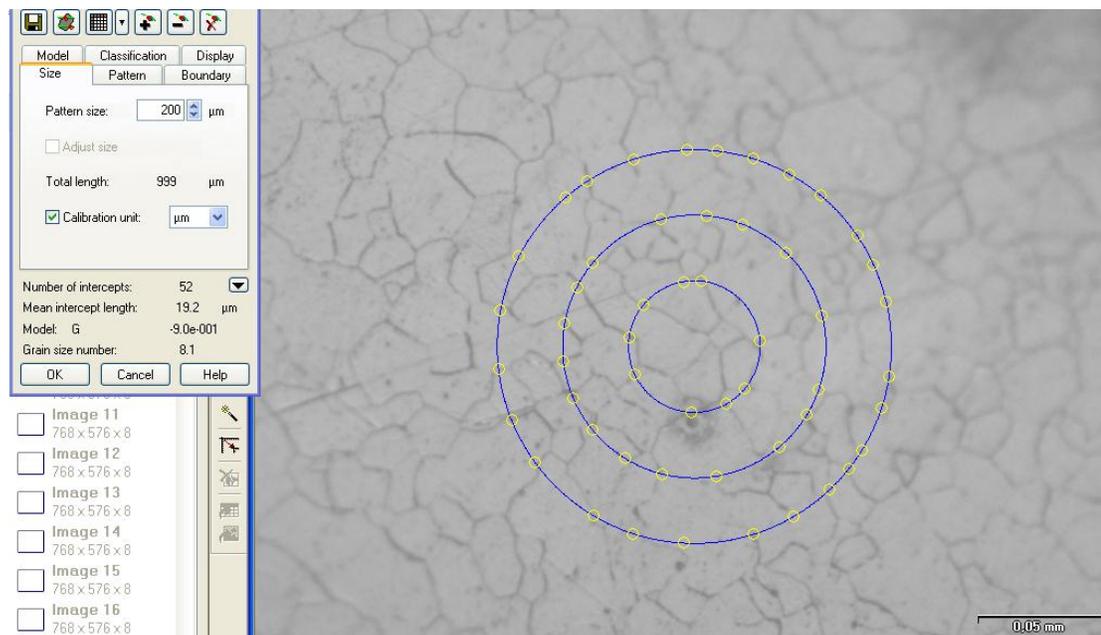
El resultado indica que la aleación nueva muestra valores similares e incluso más elevados de resistencia al impacto que los dientes de fabricación nacional, sin embargo aún se mantiene por debajo de los valores de los dientes importados. Como la tenacidad depende de varios factores: Porcentaje de carbono, grado de limpieza, defectos de fundición, tamaño de grano y de los elementos formadores de carburo, se puede explicar que en los aceros tradicionales de METALESCO la tenacidad es baja debido a que posee mayor porcentaje de Carbono y gran cantidad de inclusiones y poros, que son concentradores de tensiones.

#### **5.2.4 Análisis del Tamaño de Grano**

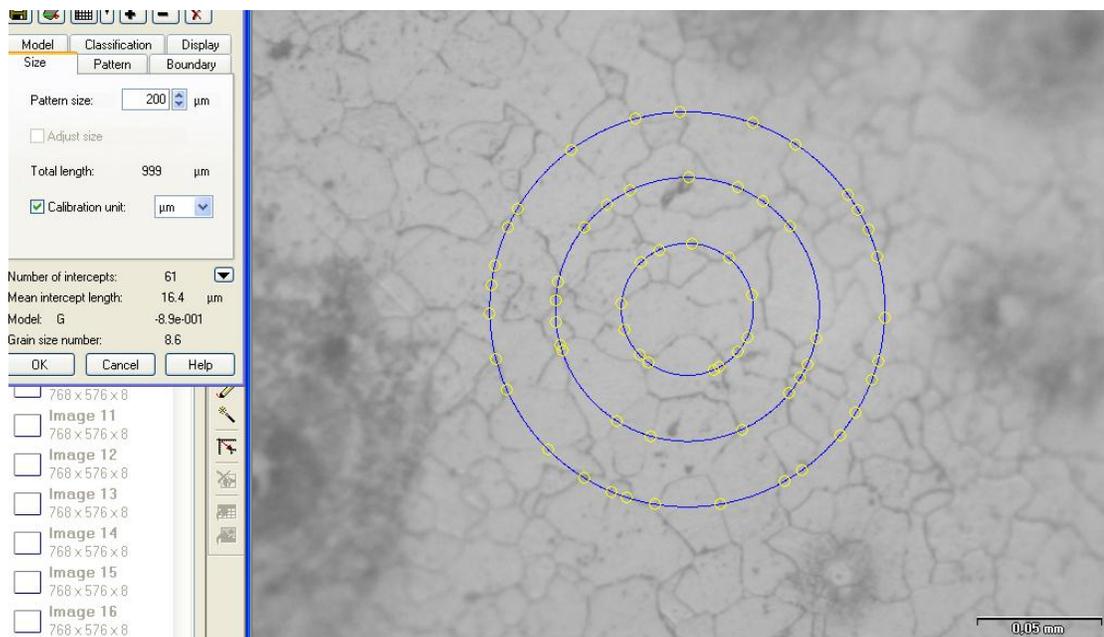
El estudio de la evolución del tamaño de grano es de vital importancia, y ayudará a fortalecer las propiedades físicas y mecánicas de los dientes de draga en estudio, además con la implementación de la nueva aleación, se definió que opción es la más correcta para el desarrollo experimental en campo.

A continuación el análisis de tamaño de grano de los dientes de **ESCO** (Ver Figuras 40 a 43):

A una Temperatura de Temple de 890°C:

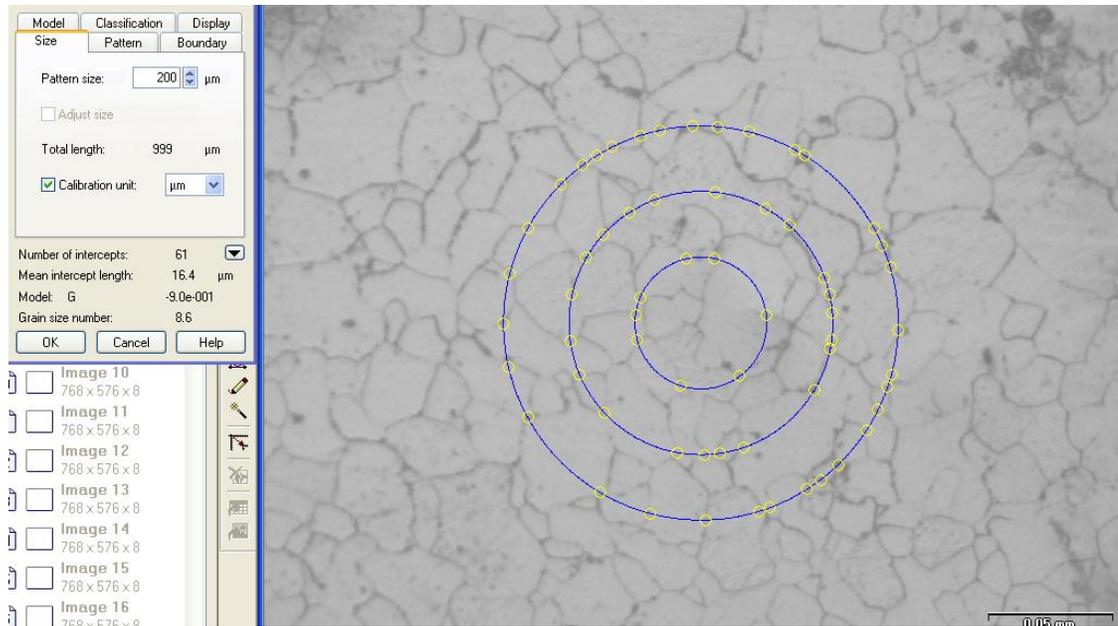


**Figura 40.** Resultado Análisis tamaño de grano ESCO a 890°C 200X

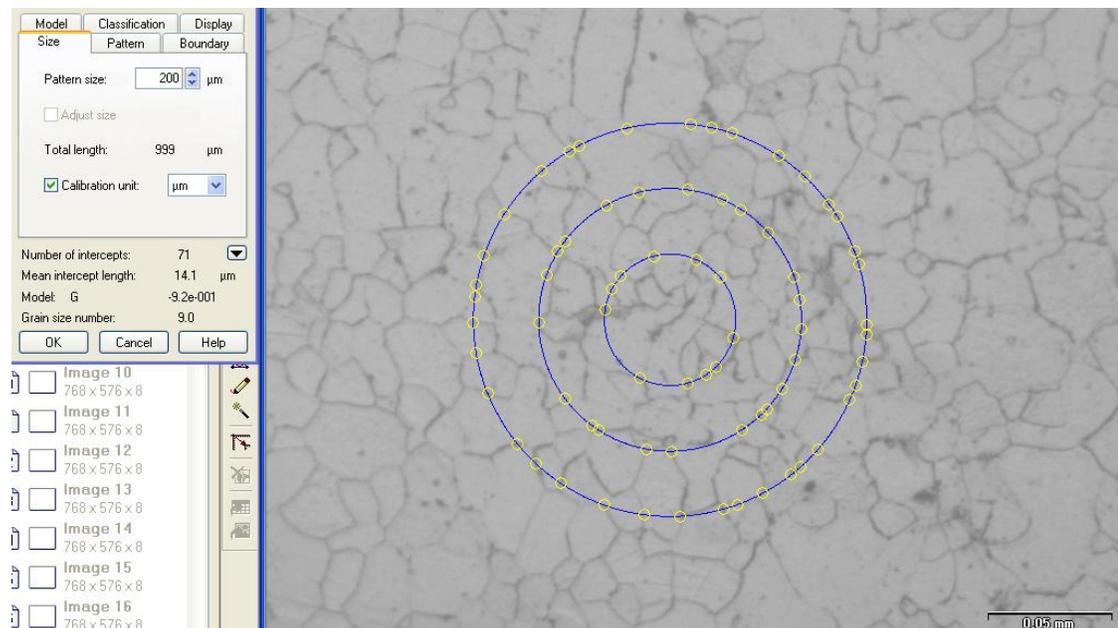


**Figura 41.** Resultado Análisis tamaño de grano ESCO a 890°C 200X

A una Temperatura de Temple de 920°C:



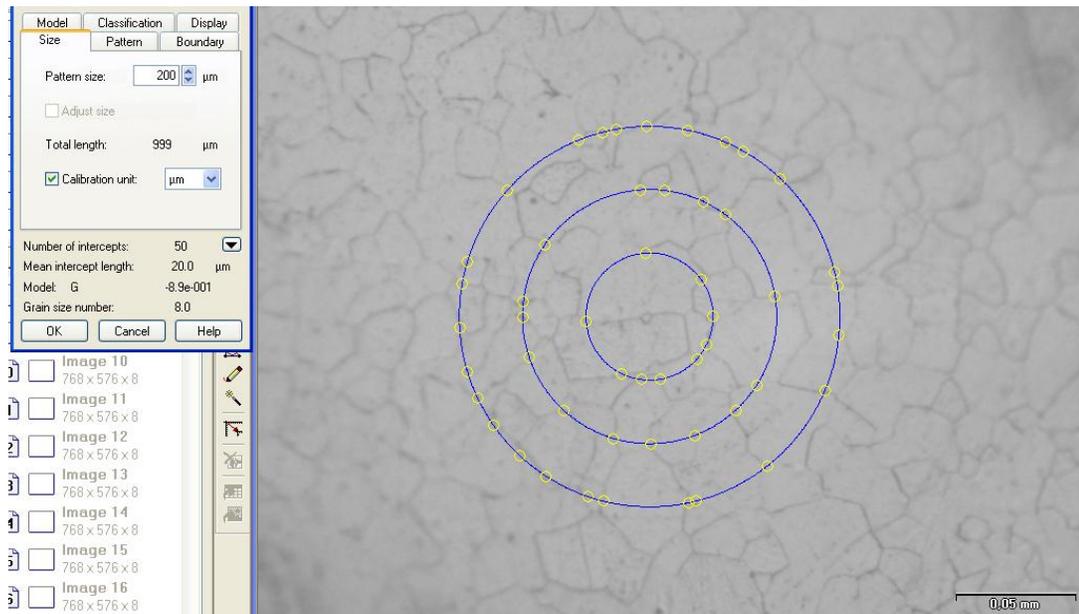
**Figura 42.** Resultado Análisis tamaño de grano ESCO a 920°C



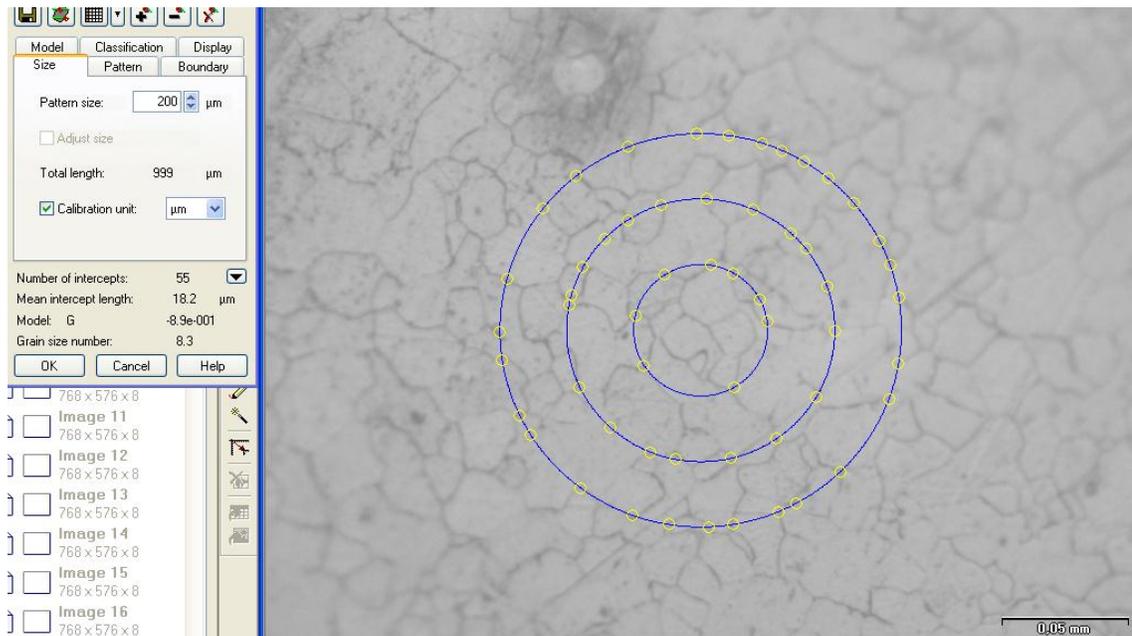
**Figura 43.** Resultado Análisis tamaño de grano ESCO a 920°C 200X

A continuación el análisis de tamaño de grano de los dientes de **METALESCO** (Ver Figuras 44 a 47):

A una Temperatura de Temple de 890°C:

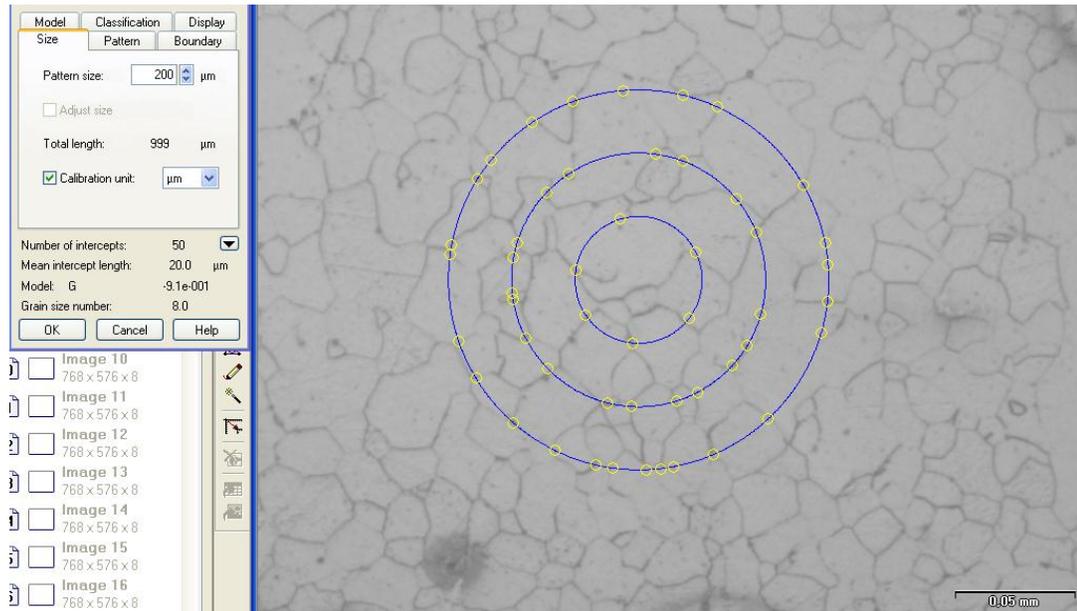


**Figura 44.** Resultado Análisis tamaño de grano METALESCO a 890°C 200X

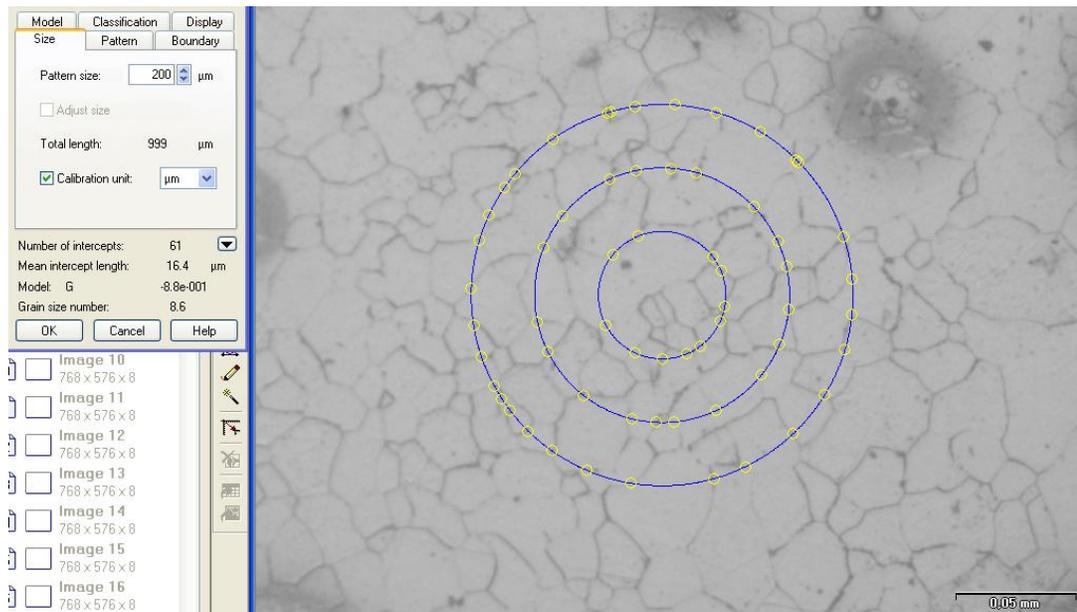


**Figura 45.** Resultado Análisis tamaño de grano METALESCO a 890°C 200X

A una Temperatura de Temple de 920°C:



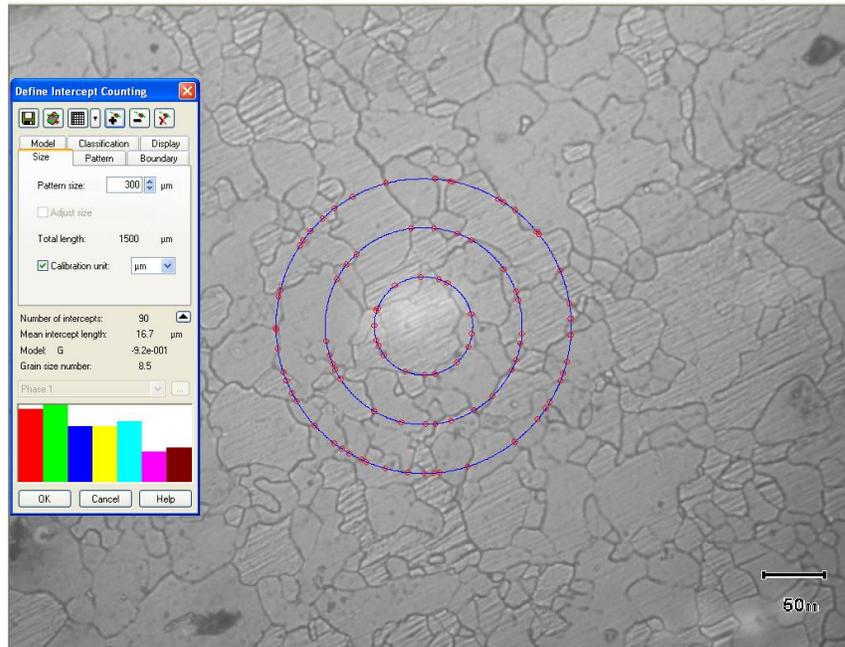
**Figura 46.** Resultado Análisis tamaño de grano METALESCO a 920°C 200X



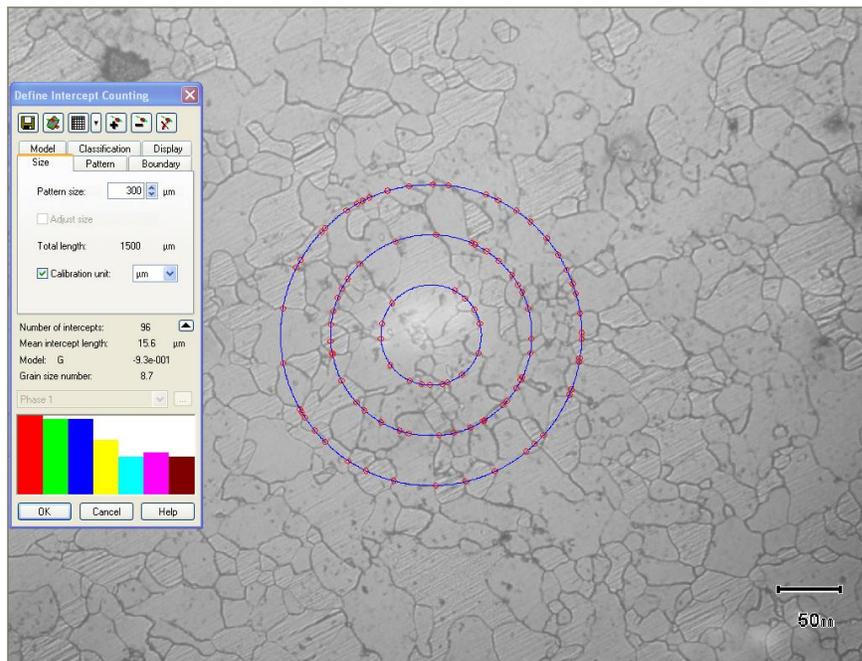
**Figura 47.** Resultado Análisis tamaño de grano METALESCO a 920°C 200X

**NUEVA ALEACIÓN:**

A una Temperatura de Temple de 890°C (Ver Figuras 48 y 49):



**Figura 48.** Resultado Análisis tamaño de grano NUEVA ALEACIÓN a 890°C 200X



**Figura 49.** Resultado Análisis tamaño de grano NUEVA ALEACIÓN a 890°C 200X

**RESUMEN:**

A continuación en la Tabla 13, la compilación de los resultados de Tamaño de grado.

**TABLA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO EN LOS DIENTES DE DRAGA**

ALEACIÓN	TEMPERATURA (°C)	PROBETA 1	Tamaño de Grano (G)	Número de Interceptos	Distancia entre interceptos (L)(micras)
ESCO	890	1	8,1	52	19,2
		2	8,6	61	16,4
	920	1	8,6	61	16,4
		2	9,0	71	14,1
METALESCO	890	1	8,0	50	20,0
		2	8,3	55	18,2
	920	1	8,0	50	20,0
		2	8,6	61	16,4
NUEVA	890	1	8,5	90	16,7
		2	8,7	96	15,6

Tal como se ilustra en la tabla anterior, el tamaño de grano de los tres tipos de dientes, se mantuvo en un margen similar, la nueva aleación tuvo un buen tamaño de grano, llegando a un Grado 9.

**5.2.5 Evaluación comparativa de los nuevos dientes en pruebas de campo.**

Las pruebas de campo se hacen en la draga de IMPOXMAR en operaciones de dragado en terreno variable durante 124 horas de labor. El propósito de esta evaluación es determinar el modo de falla y la intensidad relativa del desgaste.

Para esta prueba se instalaron cinco dientes nuevos N (con tres marcas de sierra en la base del diente), tres antiguos sin mejoras de METALESCO (con dos marcas de sierra en la base del diente) y tres comprados a ESCO (con una marca de sierra en la base del diente). Todos los dientes pertenecen al grupo que fue evaluado a escala de laboratorio, incluyendo ensayos no destructivos con las propiedades dadas en el epígrafe anterior.



Los dientes fueron ubicados en zonas del cortador donde las condiciones de trabajo fueran similares. En la figura 49 y 50 se muestran los 11 dientes que fueron instalados en la draga con pinturas diferentes, en amarillo los 5 dientes del nuevos termomejorados. En la figura 63 se observan las operaciones colocación de los dientes objeto de estudio.



**Figura 49.** Dientes de dragas que participaron en la prueba de campo en IMPOXMAR. En verde los de ESCO, en amarillo los nuevos y en rojo los de METALESCO sin las mejoras



**Figura 50.** Imágenes de la colocación de los dientes en el cabezal de la draga. Se muestran dos dientes nuevos ESCO (verdes), un diente antiguo METALESCO (rojo) y un diente nuevo (amarillo).

Resultados de las pruebas de campo.

Los resultados son satisfactorios cumpliéndose el cometido de este proyecto. Durante el proceso de dragado el capitán estuvo monitoreando los dientes, observando un buen comportamiento, similar a los buenos dientes de ESCO, lo que queda reflejado en el aval de IMPOXMAR.

Se utilizaron los dientes con resultados más significativos. Los que se corresponden con los cuatro dientes de la imagen de la figura 63. En la imagen de la figura 64 se muestra claramente que hubo un buen rendimiento de los nuevos dientes en comparación con los de ESCO, con muy baja resistencia al desgaste.

Descripción de la imagen de la **figura 51** y del resultado:

Los dos primeros dientes de izquierda son hechos en la nueva aleación, el segundo estuvo en la prueba y el primero no se ha usado; el tercer diente M pertenece a producciones primarias de METALESCO sin las mejoras; Los últimos tres dientes E a la derecha son los comprados a ESCO, el cuarto y el quinto estuvieron en la prueba y el último no se ha usado.



**Figura 51.** Muestra el desgaste comparativo en la draga de tres tipos de dientes. Los N son nuevos obtenidos en el proyecto, los M son los antiguos de METALESCO sin mejoras y los E son los que se importaron de ESCO certificados.



---

En la parte de abajo de los dientes, en la foto, se aprecia la identificación para el procesos de dragado con marcas hechas por cortes de sierra (III en los nuevos, II en los no mejorados de METALESCO y I en los importados ESCO).



---

## CONCLUSIONES

Los Dientes de Draga son una herramienta que frecuentemente está sometida a trabajo pesado, el estudio que aquí realizamos tenía el fin de determinar las características que estos poseían, y con esas características ya conocidas, proponer la creación de una nueva aleación a partir de un análisis químico y del comportamiento de su estructura interna.

- Se realiza la Caracterización a escala de laboratorio y en pruebas de campo de los dientes de draga importados y nacionales que presentaban un bajo rendimiento en la draga de empresa IMPOXMAR, lo que permitió justificar este proyecto de mejorar para obtener un producto competitivo a partir del conocimiento de causa; algunas de las principales insuficiencias son:
  - Ninguno de los dos proveedores de dientes de draga los produce con propiedades diferenciadas, distinguiendo las exigencias del tipo de terreno de dragado. No se observaron diferencias de composición química, ni en las propiedades mecánicas reguladas por el tratamiento térmico entre los dientes de pico y de boca de pato en ninguno de los dos proveedores.
  - Los valores de dureza después del temple y revenido son relativamente bajos, entre 36 y 42 HRC limitados por los bajos % de carbono. No existiendo diferencias requeridas entre las aleaciones y las propiedades de dientes que trabajan en roca dura (de punta) respecto a los que trabajan en terreno suave (de boca de pato); No se fabrica teniendo en cuenta las exigencias del terreno de dragado
  - El principal mecanismo de falla de los dientes es el desgaste abrasivo, lo que depende mucho del tipo de terreno, en roca dura las micro y macro fracturas pueden ser un factor importante.
  - Ambos aceros tienen abundantes inclusiones no metálicas y niveles variados del tamaño de grano.
  - Existe un elevado el porcentaje de poros de fundición en los aceros de METALESCO.



- La principal acción de mejora que se propone es: Mejorar la aleación introduciendo elementos de micro aleación que permitan mantener la estabilidad del tamaño de grano fino hereditario en la austenita en el temple, con una adecuada dispersión de los carburos especiales con el termomejorado produciendo una excelente combinación de propiedades mecánicas de tenacidad y resistencia al desgaste abrasivo.
- Se diseñan las nuevas aleaciones en aceros microaleados al Titanio – Vanadio, se hacen corridas piloto de fundición en METALESCO para dientes de boca de pato para el trabajo en terreno no rocoso, se reducen significativamente las inclusiones no metálicas y los poros de fundición.
- Con la evaluación a escala de laboratorio, que incluyó análisis químico, microestructural, y de propiedades mecánicas, incluyendo la dependencia de la tenacidad y el tamaño de grano con la temperatura de temple, se demuestra que se ha logrado un diente de draga muy superior al primero fabricado por METALESCO y comparable con el importado de ESCO.
- El producto obtenido es susceptible de ser perfeccionado para obtener el tamaño de grano más fino y un mejor control de la distribución de los carburos de vanadio para garantizar mejor resistencia al impacto, fundamentalmente para el diente de pico que trabajará en condiciones más severas.
- Con la evaluación comparativa en pruebas de campo fue exitosa, se obtiene muy buen rendimiento de los nuevos dientes fabricados con una aleación mejorada, con muy baja intensidad al desgaste comparable con los de ESCO certificados. Estos dientes tienen un costo del 50 % más bajo que los importados.



- 
- Por la relación rendimiento/costos se continúa produciendo dientes de draga en aceros de bajo a medio carbono ligeramente aleados con presencia de elementos de micro aleación (Vanadio, Titanio, Molibdeno, Boro y otros) los que mediante tratamientos térmicos específicos permiten una buena combinación de propiedades de resistencia al desgaste y tenacidad
  
  - Son limitadas las empresas productoras de piezas en acero fundido con calidad certificada, en el departamento de Bolívar no hay empresa de fundición en acero. Existe una alta actividad de dragado en Colombia, sólo en Cartagena existen 7 empresas de dragado, lo que vislumbra un importante mercado.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Ortego, L. (2011).** Técnicas de dragado en Ingeniería Marítima. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- [2] **Clemente Tirado, J. J. (s.f).** Equipos de dragado. Universidad de Castilla
- [3] **Anderson, J. C. (s.f).** Ciencia de los Materiales (Segunda ed.). Limusa Noriega Editores.
- [4] **Shackelford, J. F. (s.f).** Ciencia de Materiales para Ingenieros (Tercera ed.). Pearson Prentice Hall
- [5] **Apraiz Barreiro, J. (s.f).** Tratamientos termicos de los aceros. Madrid: Editorial Dossat.
- [6] **Hayden, H. W., Moffatt, W. G., & Wulff, J. (s.f).** La estructura y propiedades de los materiales (Vol. III).
- [7] **Askeland, D. R. (2004).** Ciencia e Ingeniería de los Materiales (Tercera ed.). Missouri: International Thomson Editores.
- [8] **ASM HANDBOOK COMMITTEE. (2008).** Metallography and Microstructures (Vol. IX). Ohio.
- [9] **ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (2010).** Heat Treating (Vol. IV). Ohio.
- [10] **ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (2010).** Mechanical Testing and Evaluation (Vol. 8). Ohio: Concurrent Technologies Corporation.
- [11] **Budinski, K. G., & Budinski, M. K. (2010).** Engineering Materials (Novena ed.). Ohio: Prentice Hall.
- [12] **Flinn, R. A., & Trojan, P. K. (2005).** Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones (Tercera ed.). Mc Graw Hill.
- [13] **Van Vlack, L. H. (s.f).** A Textbook of Material Technology. Ann Arbor: Addison-Wesley Publishing Company.
- [14] **Castellanos, L.M. (1996).** Teoría cinética de las transformaciones de fase en aceros ligeramente aleados. Tesis doctoral. Villa Clara, Cuba: Universidad



---

Central de las Villas.

- [15] **Vlasblom, W.J. (2003).** Lecture WB3413 Dredging processen, cutting of rock.
- [16] **Vlasblom, W. J., Den Burger, M., & Talmon, A. M. (2004).** Design aspects for cutterheads related to the mixture forming process when cutting coarse materials.
- [17] **Vlasblom, W. J., Den Burger, M., & Talmon, A. M. (1999).** Influence of Operational Parameters on Dredge Cutter Head Spillage, proceeding CEDA dredging Days.
- [18] **International Dredging Academic, (2001).** Basic Dredging. Cutter Suction Dredgers (Vol. 6)
- [19] <http://www.ecplaza.net/trade-leads-seller/one-2500m3-h-cutter-suction--6436326.html> Este
- [20] <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/tag/dragas-de-succion/>
- [21] <http://www.esponmar.com>
- [22] <http://www.escocorp.com/EN/Pages/default.aspx>