

# **Determinación de las Causas de la Falla una Placa de Compresion Dinamica (DCP) y de un Sistema de Fijacion con Tornillos Transpediculares para Columna.**

**Gil, Linda**

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre; Centro de Estudios de Corrosion, Puerto Ordaz, Venezuela, lindaegil@gmail.com

**Larez, Lenrris**

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre  
Puerto Ordaz, Venezuela,corrosionunexpo@gmail.com

**Nerismar Angulo**

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre; Centro de Estudios de Corrosión, Puerto Ordaz, Venezuela, corrosionunexpo@gmail.com

**Sugehis Liscano**

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre; Centro de Estudios de Corrosión, Puerto Ordaz, Venezuela, corrosionunexpo@gmail.com

## **ABSTRACT**

The failure of the implants once placed in patients results in health risks, increased costs of surgery and recovery, plus delayed reintroduction of the active working population, for that reason this research identified the major causes that originated these failures, taking two failed implant cases: a spinal fixation system with transpedicular screws and a dynamic compression plate (DCP), to which were applied a typical methodology of failure analysis including: visual inspection, fractography, metallurgical characterization by optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) with microanalysis por EDX and chemical composition. The results demonstrated that the combination of surface defects and of friction conditions between the metal components of the implant, coupled with the presence of ions Cloro detrimental or the passive layer of the material, causing that such implants fail by mechanisms of corrosion- friction, corrosion pitting and the failure propagate by corrosion fatigue.

**Keywords:** Implant failures, DHS plate, fatigue, corrosion.

## **RESUMEN**

La falla de los implantes una vez colocados en los pacientes trae como consecuencia riesgos para la salud, aumentos en los costos de cirugía y recuperación, además de retraso en el reintro de la población laboral activa, por tal razón esta investigación determina las principales causas que originan estas fallas, tomando dos casos de implantes fallados: un sistema de fijación de columna con tornillos transpediculares y una placa de compresion dinámica (DCP), a las que se les aplicó una metodología típica de análisis de falla que incluyó: inspección visual, fractografía con lupa estereoscópica y microscopia electronica de barrido, así como la caracterización química, y metalurgica. Los resultados demostraron que la conjunción de defectos superficiales y de condiciones de fricción entre los componentes metálicos de los implantes, aunado a la presencia de iones Cl<sup>-</sup> perjudiciales para la capa

pasiva del material, provocó que dichos implantes fallaran por mecanismos de corrosión fricción, corrosión picadura y posteriormente la falla se propagara por corrosión fatiga.

**Palabras claves:** Implantes, fallas, placa DHS, fatiga, corrosión.

## 1. INTRODUCCION

El desarrollo de la Bioingeniería ha permitido grandes avances en la medicina, uno de ellos ha sido el desarrollo de aleaciones metálicas utilizables en Cirugía Ortopédica y Traumatología, que además de resistencia mecánica posean un alto grado de biocompatibilidad, que es la propiedad de no causar daño a los tejidos receptores. Entre los requerimientos principales de los materiales metálicos destinados a implantes para huesos y sustitución articular se consideran completa estabilidad y biocompatibilidad y elevadas resistencias mecánica al desgaste y a la corrosión, bajo fricción y bajo peso(Azevedo,2003; Griza 2013). Los implantes están hechos de materiales poliméricos, metálicos, y cerámicos o combinaciones de estos materiales; dependiendo del uso que se le dará, existe un proceso de degradación específica para cada uno de estos materiales. Un implante metálico se considera que ha fallado cuando debe ser removido prematuramente del cuerpo(Liza 2011; Griza 2010).

Existen dos clases de falla; mecánica y biológica. El mecanismo mecánico de falla puede incluir, de forma aislada y en algunos casos combinados, fenómenos tales como, deformación permanente, fractura por sobrecarga, fractura por fatiga, corrosión y desgaste. La falla biológica es consecuencia de infección, inflamación u otras reacciones del cuerpo en presencia del implante (Hansen, 2008; Domínguez 2009;Roffey, 2012 )

Existen gran cantidad de implantes y prótesis utilizados en cirugía traumatólica; sin embargo, este trabajo se centrará en dos tipos de sistemas protésicos fallados. El sistema DHS es un sistema de “cargas repartidas “cuyo uso o indicación principal es para el tratamiento de fracturas peritrocantereas, intertrocantereas y del cuello de fémur, esta fabricado con acero inoxidable austenítico (ASTM F138, F139) y consta de tres elementos: Placa DHS, tornillo de compresión DHS / DCS y tornillo DHS / DCS.

La fijación multisegmentaria de la columna ya es un buen procedimiento quirúrgico bien establecido. La experiencia clínica y los avances técnicos en las dos últimas décadas han culminado en un sistema de tornillos intrapediculares de gran precisión que permite al cirujano de columna obtener una reducción estable y confiable. El Sistema de Tornillos intrapediculares de Mehdian es un método de tratamiento versátil para una gran variedad de desordenes de la columna, particularmente en la región lumbar (Domínguez, 2009). El método de sujeción especial ha sido diseñado específicamente para solucionar los problemas de emigración de las barras y de aflojamiento de la cabeza de los tornillos.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

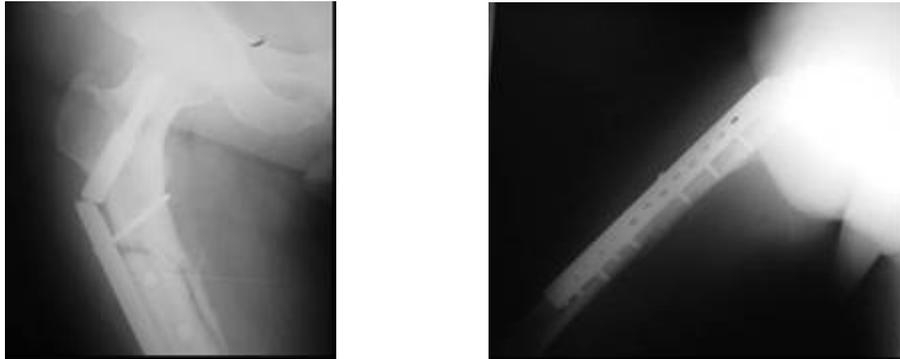
Para los estudios de análisis de falla es relevante conocer las condiciones de trabajo de las piezas, en este caso las piezas falladas son implantes, es importante conocer la historia clínica del paciente; ya que esto permite identificar las condiciones de servicio en que estaba operando y determinar aspectos tales como el tiempo de servicio, ubicación de la pieza en el sitio de trabajo, tipo y cantidad de carga, aplicación de las cargas, entre otros. Para el análisis de estos casos se aplico la metodología característica de un análisis de falla; inspección visual con lupa estereoscópica, análisis químicos, estudios metalográficos, análisis fractográficos por microscopía electrónica de barrido y microanálisis por dispersión de energía de rayos X (EDX). El estudio del caso considero aspectos médicos tales como técnicas quirúrgicas de implantación, tiempo de permanencia del implante en el organismo, edad y sexo del paciente, características de lesión que ameritó el implante (morbilidad), otros. Se determino la composición química de las muestras usando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SPECTRA-20 y analizador de carbono y azufre LECO CS-244;

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 CASO # 1. PLACA DHS PARA FIJACION OSEA

Este caso corresponde a un paciente masculino de 38 años de edad, con un peso de 91 Kg., e ingresado al Hospital a causa de sufrir un accidente automovilístico, las radiografías revelaron fractura intertrocanterica de fémur derecho. Se le practica una Osteosíntesis con DHS (placa con tornillo dinámico de cadera). 6 meses después de haberse implantado el sistema DHS el paciente es nuevamente presentando dolor e imposibilidad para la bipedestación. Se le practicaron nuevas radiografías, las cuales revelaron fractura de la placa de fijación.

La figura 1 a y b, se observan las radiografías de la placa antes y después de la falla, donde se evidencia que el hueso no logro consolidarse a pesar de haber permanecido seis meses en el cuerpo del paciente.



**Fig. 1: Radiografías tomadas antes de la extracción del material fracturado, las cuales revelan la rotura del material y la falta de consolidación del hueso del fémur**

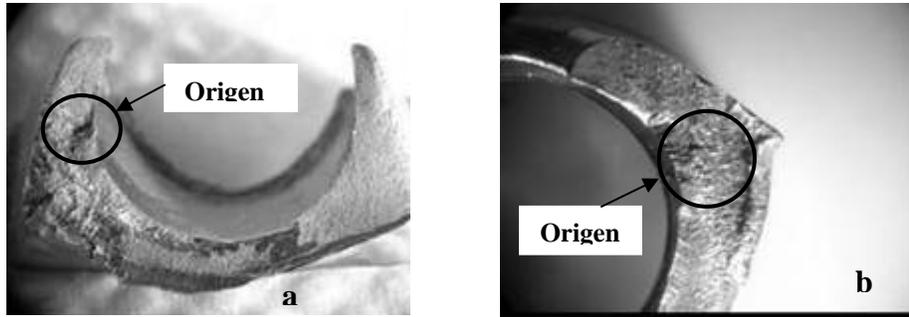
En la figura 2a, muestran que la fractura tuvo lugar en el sitio de máxima concentración de esfuerzos, esto se deduce del hecho de que la pieza falló justo en el agujero de mayor diámetro de la placa, además este orificio se encontraba en una zona que presentaba un cambio brusco de ángulo ( $135^\circ$ ) y de sección (ya que pasa de una sección rectangular a una circular). Así mismo, es importante destacar que el agujero donde falló la pieza es en el cual se introduce el tornillo DHS/DCS, figura 2b.



**Figura 2: Detalles del sistema fracturado a) fractura en la zona de cambio de sección, b) Detalle de la falla en agujero de cambio de sección.**

En la figura 3a, se evidencia el aspecto general de la cara de fractura indicándose el origen de la fractura, la cual se presenta a nivel superficial interno del componente cilindrico, la figura 3b, muestra detalle a mayor aumento de la figura 3b, notese las marcas de progresión de la grieta.

De la inspección se pudo apreciar que la fractura tuvo sus inicios en la superficie interna de la pieza. La figura 4 muestra las características de la superficie en las áreas cercanas al origen de la falla, en esta figura se pueden apreciar las marcas superficiales dejadas por el mecanizado, hay evidencias de condiciones de fricción..

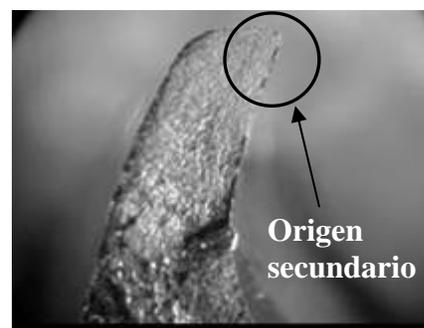
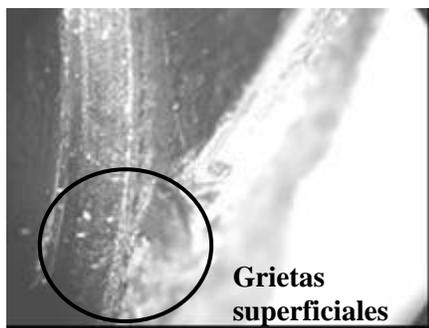


**Fig. 3: Vista de la cara de fractura de la placa. A) zona de inicio y 3b) detalle a mayor aumento, nótese las marcas de progresión.**



**Figura 4: Marcas superficiales en zona cercana al origen de la fractura**

En la figura 5 se aprecian varias grietas relativamente grandes justo en la zona de origen de la fractura, lo que pone de manifiesto la posibilidad que una de estas grietas fue la responsable del inicio y propagación de la falla. Así también la figura 6 muestra una zona adyacente al origen de la falla con apariencia de ser un origen secundario debido a la orientación de las marcas radiales hacia el vértice superior.



**Figura: 5. Grietas en la zona del origen.      Figura. 6: Posible origen secundario de fractura**

Luego de la preparación superficial y bajo observación de microscopia óptica, se evidencian inclusiones del tipo globular. El nivel de inclusiones encontrado en la placa DHS es de grado 2, esto revela que el material se

encontraba fuera de especificaciones con respecto a la norma, por lo que se puede afirmar que este fue un factor importante en el mecanismo de falla del material, ya que este tipo de irregularidades inciden negativamente en el óptimo comportamiento del material frente a los esfuerzos. Así mismo posterior ataque químico se reveló una microestructura que presentó una sola fase austenítica, con un tamaño de grano muy fino acorde a la norma, ya que se encontró muy por debajo del máximo exigido que es 5 (Domínguez, 2009). Se apreció cierta orientación de dichos granos en el sentido longitudinal, lo que se explica por la deformación en frío a la que es sometida el material durante su elaboración; por otro lado es apreciable la cantidad de inclusiones encontradas en las micrografías, donde se aprecian estas imperfecciones ya enunciadas en el apartado anterior

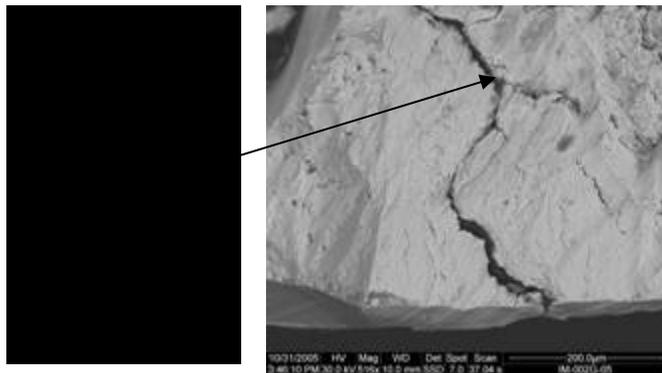
De acuerdo a los resultados del análisis químico, la placa se corresponde con un acero inoxidable ASTM F-138, se observa que los requerimientos se encontraron acordes a las especificaciones establecidas, la única excepción la representaría la concentración de Ni que es superado del valor nominal en 0,49%; pero definitivamente este incremento es irrelevante para la alteración de cualquier tipo de propiedad en el material tanto a nivel metalográfico como mecánico.

**Tabla 1: Análisis químico de placa de acero inoxidable**

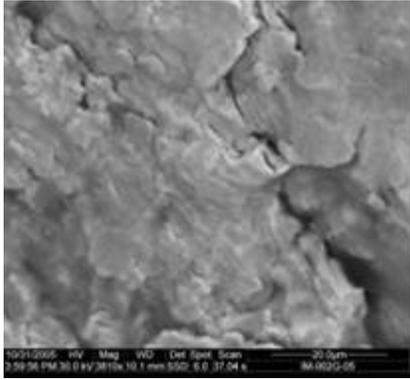
%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Al
0,02	0,15	1,90	0,002	0,01	17,65	14,49	2,56	0,06	0,02

Las imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido mostraron con mayor nitidez la abundancia de grietas relativamente grandes en las cercanías de los orígenes de la falla a mayores aumentos, se observan grietas ramificadas que se propagan desde la superficie las fig 7 y, lo cual revela que existieron importantes esfuerzos de tensión en el material; por otro lado también es importante resaltar que se hallaron evidencias de fatiga, eso se denota en la figura 11, donde se aprecian estriaciones características de este tipo de comportamiento y por último se detectaron inclusiones globulares entre las grietas (fig. 9), cabe destacar que el material estaba fuera de norma en lo que respecta a este parámetro.

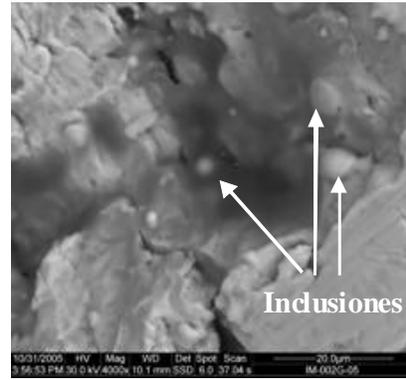
El microanálisis con EDX demuestra la existencia de los elementos cloro y sodio en las grietas superficiales del material, dichos elementos son extremadamente perjudiciales para la capa pasiva que protege al implante de la corrosión, ya que el cloro rompe esta película protectora y dejan al material expuesto a la acción corrosiva de los fluidos corporales. (Kanchanomai, 2008; Domínguez, 2009)



**Figura 7: Grieta superficial cerca del origen de falla con microanálisis.**



**Figura 8: Detalle de estriaciones de fatiga**

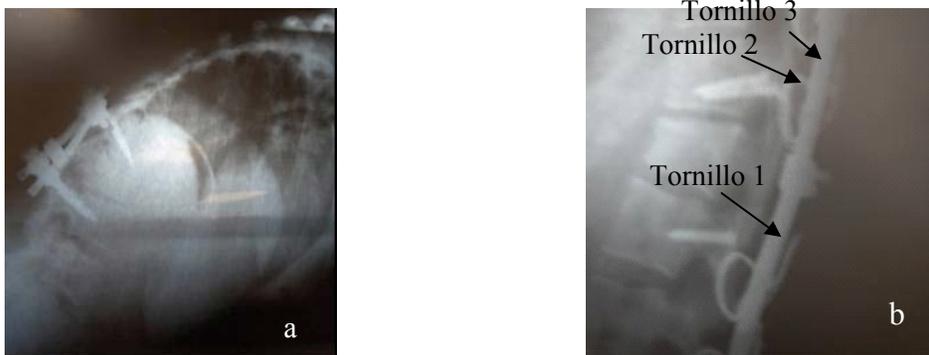


**Figura 9: Detalle de presencia de inclusiones**

De los resultados obtenidos se pudo deducir que la falla presentada por la placa DHS estuvieron presentes tres mecanismos de corrosión: corrosión fricción, corrosión picadura y corrosión fatiga. La primera fue originada por el roce entre la placa DHS y el tornillo DHS/DCS ( lo cual pudo ser ocasionado por una inadecuada colocación del sistema en el paciente), produciendo la ruptura de la capa pasiva por parte iones de cloro y de sodio, seguidamente y aunado a la presencia de grietas superficiales, casionó un proceso de corrosión picadura dejando expuesto el material a los agentes corrosivos y a la acidificación de la zona debido al consumo de iones OH<sup>-</sup> seguido a la precipitación de hidroxidos metálicos, produciendo una autocatalisis (Domínguez,2009). Por último la falla se propagó por corrosión fatiga debido a las cargas tensiles ciclicas a las cuales estuvo sometida la placa aunado a un ambiente corrosivo. Es importante destacar que este mecanismo estuvo ampliamente favorecido por el nivel excesivo de inclusiones presentes en el material que contribuyó al debilitamiento de las propiedades mecánicas del material frente a los esfuerzos y consecuentemente la ffractura temprana de la pieza..

### 3.2 CASO # 2. SISTEMA DE TORNILLOS TRANSPEDICULARES PARA COLUMNA

Este caso corrsponde a un paciente femenino de 28 años de edad, quien posterior a accidente de transito presento politraumatismos con fractura por aplastamiento de vértebras L1. Se intervino quirúrgicamente practicándose una fijación instrumental con tornillos transpediculares T12 L1 con evolución inmediata satisfactoria. Inicia con dolor dorsal irradiado a los miembros inferiores nueve meses después de la colocación del sistema, con desviación cifótica de la postura. Debido al dolor persistente se realizan la primera radiografía central, donde se constata la ruptura de los tornillos transpediculares de dos inicialmente y luego de un tercero, figura 10a y b.



**Figura 10. Vista radiográfica de la fractura de los tornillos antes de su desincorporación del paciente**

De la inspección visual se pudo observar que los tornillos fracturaron en zonas cercanas al cambio de sección del

tornillo, mas específicamente en áreas próximas a la cabeza de este; por otro lado también se evidencia que dicha fractura sucede en la parte inferior de la rosca (zona más delgada de la rosca). Dichas fallas por lo tanto se encontraron en sitios de concentración de esfuerzos, ver figuras 11 y 12 ; es importante destacar que el tornillo 3 fue el que presentó la falla más lejana al cuello del tornillo, ver figura 13.



**Figura 11: Fractura de tornillo #1**



**Figura 12: Fractura de tornillo #2**



**Figura 13: Fractura de tornillo #3**

En lo que respecta a la fractografía se pudo notar que en los casos de todos los tornillos se halló evidencia de fatiga, ya que es posible observar marcas de playa en las superficies de fractura como se puede apreciar claramente en las figuras 14 y 18, por otro lado es importante destacar que el mecanismo de fractura en el tornillo 2 difiere considerablemente de lo ocurrido con los otros, ya que en este se evidencia una zona con mucho mas brillo, lo que revela la presencia de un mecanismo mas frágil de la fractura, además mientras que las otras fracturas fueron perpendiculares al eje longitudinal, el tornillo 2 presentó un ángulo aproximado de 45° con respecto a este mismo eje. Lo que hace presumir que los esfuerzos presentados en este fueron primordialmente de torsión. Para todos los tornillos se puede apreciar que el origen de la fractura se presentó en la superficie de los tornillos, diametralmente opuesto a los labios de corte que se evidencian más notoriamente en los tornillos 1 y 3. Es importante reseñar que en el tornillo 3 (figura 16) se observan en el inicio de fractura una serie de marcas perpendiculares a la dirección de las marcas de playa y que se aprecian como pequeños escalones, esto es característico de las fracturas con múltiples inicios.

En lo que respecta al análisis metalográfico de los tornillos es importante destacar la presencia marcada de inclusiones muy finas. Para los tornillos 1 y 3 se encontró un grado de inclusiones numero 2 y para el tornillo 2 de 1 ½, se debe tener muy en cuenta que este tipo de aleaciones deberían estar lo mas exentas posibles de impurezas, por lo tanto es evidente que esto incidió de manera desfavorable en el comportamiento mecánico de los mismos, además de que estas imperfecciones pudieron dar lugar a sitios de concentración de esfuerzos y mejorar las condiciones de propagación de la falla. Por otro lado se debe hacer notar que la microestructura presente pertenece a una estructura de aleación de titanio Ti-6Al-4Va, lo cual corresponde a una matriz  $\alpha$  (hexagonal compacta) con presencia de una fase  $\beta$  (cúbica centrada en el cuerpo), la cual se encuentra distribuida en la matriz  $\alpha$ . Se puede observar que los granos de la fase  $\beta$  tienen cierta orientación en sentido longitudinal, lo que demuestra que el material fue sometido a deformación en dicha orientación.

El análisis químico reveló que la composición de los tornillos 1 y 2 están dentro de los límites de las especificaciones de la norma F136 aplicada a este tipo de materiales, sin embargo el tornillo 3 presentó un porcentaje demasiado elevado de aluminio el cual resultó siendo el doble de la concentración máxima permitida por la norma. Por otro lado es importante recordar que el aluminio actúa como un estabilizador de la fase alfa en cantidades por encima de 8%, pero composiciones superiores a este número, pueden producir una fragilización en el cambio de fase titanio-aluminio, lo que pudo haber influido en el mecanismo de fractura del material.

En las figuras 17 a 22, se observan las características superficiales de los tres tornillos fallados del sistema de fijación de la columna. En ellas se puede apreciar claramente que estos tornillos presentaban una superficie llena de marcas e imperfecciones en el acabado del material. Mas específicamente en las figuras 18 y 20 se observan en detalle grietas muy cercanas al origen de la fractura, lo cual evidencia que una de estas grietas sirvió de origen

para la falla. En cambio para el tornillo 3 (fig. 21-22) se observan escalones pronunciados en el origen de la fractura, esto demuestra que la fractura tuvo diferentes inicios, y estos escalones representan la unión de los diferentes frentes de avance de la grieta.

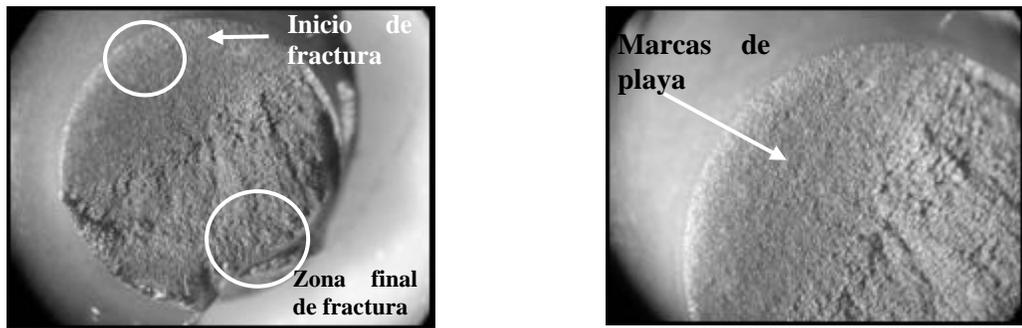


Figura 14: Fractografía con lupa estereoscópica de Tornillo 1



Figura 15: Fractografía con lupa de Tornillo 2

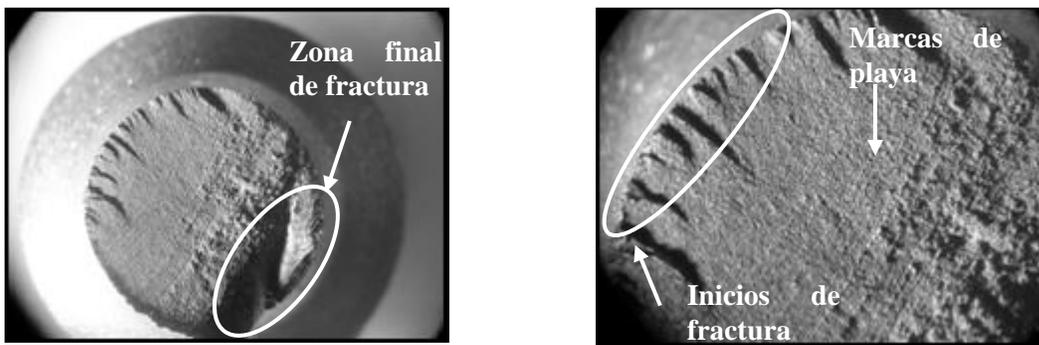
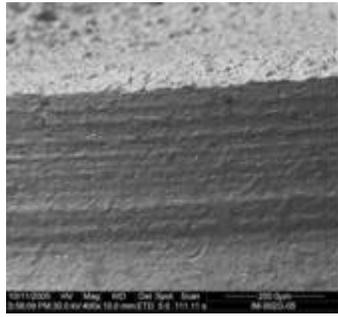


Figura 16: Fractografía con lupa de Tornillo 3

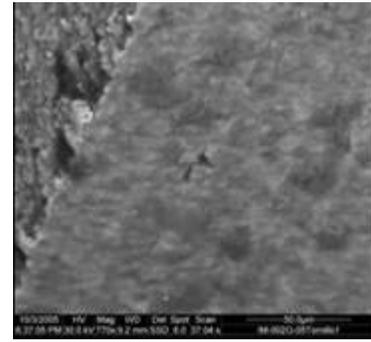
Tabla 2: Análisis químico de tornillos transpediculares

ELEMENTO	Tornillo #1	Tornillo #2	Tornillo #3
Al	6,14 ± 0,03	6,30 ± 0,01	<b>14,6 ± 0,1</b>
Va	3,7 ± 0,2	3,82 ± 0,03	4,1 ± 0,2
Fe	0,12 ± 0,03	0,35 ± 0,06	0,20 ± 0,03
C	0,017 ± 0,003	0,026 ± 0,002	0,022 ± 0,003

**Tornillo #1**

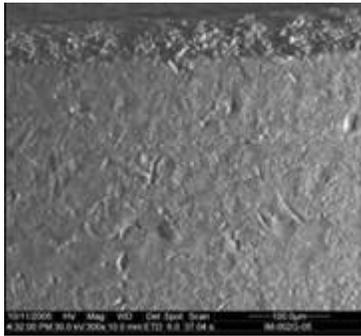


**Figura. 17: Marcas superficiales producto del mecanizado.**

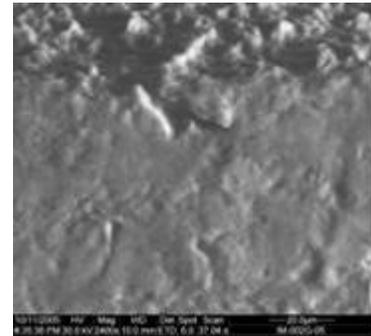


**Figura 18: Grietas cercanas al origen de fractura**

**Tornillo # 2**

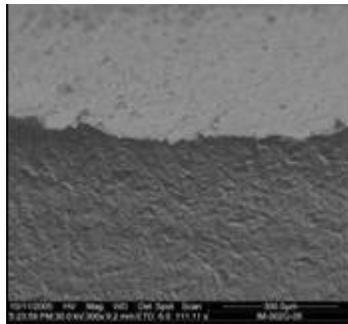


**Figura 19: Marcas superficiales**

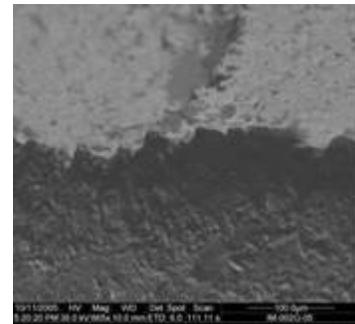


**Figura 20: Grietas en el origen de fractura**

**Tornillo # 3**



**Figura 21: Marcas superficiales**



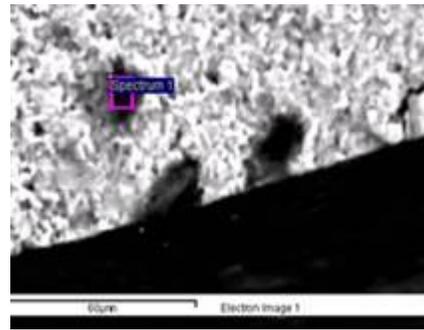
**Figura 22: Detalle de grietas superficiales**

En el análisis con EDX de los tornillos 1 y 2 se confirmó la existencia de iones de sodio e iones cloruro (tabla 3 y 4), los cuales se encontraron en los productos de corrosión observados en pequeñas grietas superficiales cercanas al origen de la falla (ver figuras 23 y 24), lo que pone de manifiesto que se produjo un proceso de corrosión en estas áreas. Por otro lado en el EDX del tornillo 3 se hace un análisis lejos de la zona de inicio y solo se consiguen los elementos base de la aleación a excepción del oxígeno y el carbono que se encuentran como contaminación de la muestra (tabla 5), además en la figura 25 se puede apreciar la ductilidad de la fractura por la presencia de dimples equiaxiales, por último la forma de estos dimples son muestra de que el esfuerzo de tensión fue el esfuerzo principal al que estaban sometidos estos tornillos.

Tornillo # 1

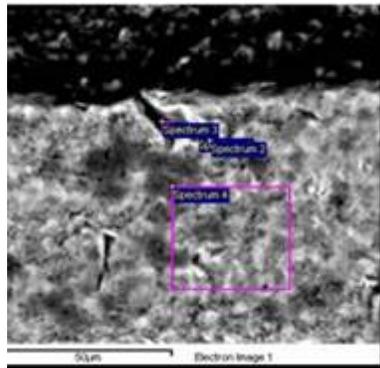
**Tabla 3: % en peso de elementos por EDX**

Element	Weight%
C	46.83
O	20.83
Na	1.11
Mg	0.23
Al	1.14
Si	1.36
S	0.10
Cl	0.47
K	0.41
Ca	0.09
Ti	26.14
V	1.30
Total	100.00



**Figura 23: Productos de corrosión**

Tornillo # 2



**Figura 24: EDX en grietas cercanas al origen**

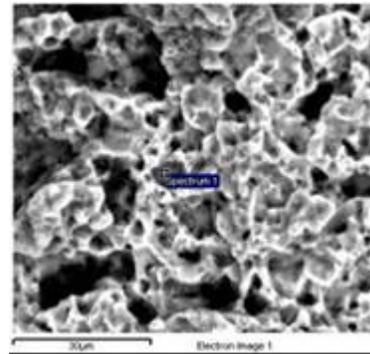
**Tabla 4: % en peso de elementos por EDX**

Element	Weigh %	
	Spectro 1	Spectro 2
C	7,41	4,08
O	20,30	24,69
Na	1,55	1,55
Al	1,78	2,12
Si	0,26	1,96
P	0,23	0,40
Cl	0,28	0,18
K		0,15
Ca	0,40	0,21
Ti	64,78	61,97
V	3,01	2,69
Total		

**Tabla 5: % en peso de elementos por EDX**

Element	Spectro 1
C	16,36
O	45,74
Al	1,14
Ca	5,93
Ti	29,01
V	1,56
Total	

Tornillo # 3



**Figura 25: EDX en sección transversal de fractura**

De los resultados de los ensayos realizados se puede afirmar que la falla fue iniciada por la abundancias de marcas y defectos superficiales, lo que aunado a la presencia de iones sodio y cloro generó la ruptura de la capa pasiva generandose así un proceso de corrosión picadura y que debido a las cargas actuantes se propagó por corrosión fatiga. Es importante señalar que las fallas en los tornillos se produjeron en zonas cercanas a los sitios de cambio de sección transversal, lo que eviencia que estos se comportaron como concentradores de esfuerzo y propiciaron la fractura del material.

#### 4. CONCLUSIONES

1. Los orígenes de las fallas estuvieron asociadas a defectos en la superficie del material, los cuales se encontraban cercanos a zonas de alta concentración de esfuerzo. El acabado superficial de los implantes

fue un factor decisivo para el mecanismo de falla, ya que debido a las imperfecciones presentadas y aunadas a los esfuerzos ciclicos presentes, propiciaron las condiciones propias para el inicio y propagación de la grieta

2. La composición química se encontro dentro de lo establecido en la norma F136, por lo tanto no incidieron en el mecanismo de falla.
3. El grado de inclusiones favorecio la falla, ya que estan debilitan las propiedades mecanicas de las aleaciones usadas. Las microestructuras fueron acorde a lo esperado.

## REFERENCIAS

- Azevedo C.R.F. (2003). "Failure analysis of a commercially pure titanium plate for osteosynthesis", *Engineering Failure Analysis*, Vol.10, pp 153–164.
- Domínguez E., Gil L. (2009). "Los Implantes Metalicos". Editorail Ateproca, Caracas.Venezuela.
- Griza S., Reguly A., Strohaecker T.R. (2010). "Total hip stem failure due to weld procedure and material selection misuse", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 17, pp 555-561.
- Griza S., Dos Santos S., Massayoshi M., Bertoni F., Telmo R. (2013). "Case study and analysis of a fatigue failure in a THA stem". *Engineering Failure Analysis*, Vol. 28, pp 166-175.
- Liza S., Haseeb A. Abbas A. A., Masjuki H.H. (2011). "Failure Analysis of retrieved HMWPE tibial insert in total knee replacement, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 18, pp 1415-1423.
- Kanchanomai C., Phiphobmongkol V., Muanjan P. (2008). "Fatigue failure of an orthopedic implant – A locking compression plate" . *Engineering Failure Analysis*, Vol. 15, pp 521-530.
- Roffey P. (2012). "Case study: Failure of a high nitrogen stainless steel femoral stem", *Engineering Failure Analysis*, Vol.20, pp173-182.

## ***Authorization and Disclaimer***

*Authors LINDA GIL, LENRYS LAREZ Y NERISMAR ANGULO authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*