

Las prácticas empresariales, una experiencia académica-profesional: caso de estudio

Lisandro Vargas-Henríquez, Alfonso Rodríguez-Peña & Milton Coba-Salcedo

Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. lisandrovargas@mail.uniatlantico.edu.co,
alfonsorodriguez1@mail.uniatlantico.edu.co, miltoncoba@mail.uniatlantico.edu.co

Resumen— En la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico se incluye la práctica empresarial como una de las cinco opciones de Grado como requisito para la obtención del Título de Ingeniero [1]. La práctica empresarial toma en cuenta la necesidad de desarrollar el compromiso social y el fortalecimiento de la capacidad investigativa y creativa de los estudiantes, además les permite identificar y vivenciar problemas concretos de la industria y proponer alternativas de solución desde la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. Este trabajo describe la práctica empresarial realizada por parte de dos estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica, bajo la tutoría, orientación y supervisión de los autores del artículo. Como conclusión, a lo largo de los dos años de su implementación ha quedado demostrado que la práctica empresarial se percibe como una clara estrategia de enseñanza-aprendizaje con la finalidad de aplicar las competencias adquiridas en los diferentes currículos.

Palabras Clave— práctica empresarial; estrategia de aprendizaje; educación.

Recibido: 6 de agosto de 2018. Revisado: 12 de septiembre de 2018. Aceptado: 18 de septiembre de 2018.

The industrial practices: an academic-professional experience

Abstract— In the Faculty of Engineering of the Universidad del Atlántico, business practice is included as one of the five undergraduate options as a requirement for obtaining the Engineering Degree [1]. Business practice takes into account the need to develop social commitment and the strengthening of the students' research and creative capacity, as well as allowing them to identify and experience specific problems in the industry and propose alternative solutions based on the practical application of the knowledge acquired. This paper describes the business practice carried out by two students of the Mechanical Engineering program, under the tutorship, guidance and supervision of the authors of the article. In conclusion, throughout the two years of its implementation, it has been demonstrated that business practice is perceived as a clear teaching-learning strategy with the aim of applying the competencies acquired in the different curricula.

Keywords— Industrial practice, Learning strategy, education.

1 Introducción

El estudiante de hoy necesita aprender a resolver problemas, a analizar críticamente la realidad de la sociedad y transformarla, a identificar conceptos, aprender a pensar, aprender a hacer, aprender a ser, aprender a convivir, y por último, a descubrir el conocimiento de una manera amena, interesante y motivadora, rompiendo el

paradigma académico y entrando al paradigma del quehacer profesional.

Es necesario que se desarrolle la independencia cognoscitiva, la avidez por el saber, de tal manera que el estudiante participe activamente en la solución de cualquier situación problemática por difícil que sea [2].

Los métodos que utilizan los docentes actualmente en el proceso de enseñanza-aprendizaje, los objetivos y la naturaleza del diseño curricular ofrecen una limitada preparación a los estudiantes para resolver problemas reales y conducen de manera insuficiente a la asimilación productiva y creadora de los conocimientos pero que es complementada por la práctica empresarial.

La solución de la situación descrita anteriormente precisa un aprendizaje diferente y, por tanto, planea la necesidad de perfeccionar los métodos de enseñanza. De ahí la importancia de la implementación de las prácticas empresariales, las cuales constituye una de las vías para el logro del propósito anterior.

En este artículo se presenta el desarrollo de la práctica empresarial realizada por las egresadas de Ingeniería Mecánica Catalina Carmona y Lisbeth Castro cuyo objetivo principal fue diseñar una metodología que permitiera evaluar cuantitativamente las grietas generadas en las principales estructuras de los equipos mineros camiones Caterpillar Cat 240 modelo 793 series B y C en el Cerrejón para mejorar el actual sistema de mantenimiento que se aplica a estos.

2 La Práctica empresarial

La práctica empresarial es una actividad académica-profesional presencial que realiza el estudiante en el sector productivo y/o de servicios, que le brinda la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en la formación académica. Además, desarrollar habilidades, competencias y actitudes relativas a su área de formación mediante su confrontación con problemas reales del entorno. Uno de los objetivos es contribuir con el desarrollo del Programa o Líneas de Investigación y/o Extensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico, relacionados con problemas específicos del sector empresarial y/o comunidad en general.

Cómo requisito la práctica empresarial debe tener una duración de mínimo seis (6) meses y los estudiantes deben entregar una propuesta

Como citar este artículo: Vargas-Henríquez, L., Rodríguez-Peña, A. and Coba-Salcedo M., Las prácticas empresariales, una experiencia académica-profesional: caso de estudio. Educación en Ingeniería, 14(27), pp. 59-64, Agosto 2018 - Febrero, 2019.

al Comité de Grado del programa de Ingeniería Mecánica. La Evaluación final corresponde a un 30% de la nota entregada por la empresa, y el 70% de los evaluadores por parte de la Universidad.

3 Desarrollo de la práctica empresarial

3.1 Planteamiento del problema

En la mina de explotación de carbón Cerrejón localizada en el departamento de La Guajira, se cuenta con 103 camiones Caterpillar CAT 240 modelo 793 series B y C utilizados para cargue, transporte y descargue de material estéril y carbón. Estos camiones tienen más de 20 años de operación dentro de la mina, lo cual, sumado a las condiciones ambientales y de uso, genera un aumento progresivo de fallas estructurales.

Desde hace algún tiempo en Carbones del Cerrejón, a través del Grupo de Inspecciones y Tecnología (GI&T) cuenta con un Índice de Condición Estructural (ICE) en donde se registran los valores de las grietas encontradas en las inspecciones estructurales y determinan su nivel de criticidad (Fig.1). Esta información es tenida en cuenta por los planeadores de flota para su mantenimiento.



Figura 1. Grieta de 1000 mm en U, camión C327 - puente delantero.
Fuente: Los autores

En el procedimiento seguido hasta ahora, la calidad de los datos encontrados en ICE, no refleja el verdadero nivel de criticidad de las fallas inspeccionadas, por eso se hace necesario un análisis del procedimiento empleado, con el fin de plantear una metodología que haga más confiable la toma de datos, en cualquier condición encontrada.

Para realizar la práctica empresarial se hace explícito el siguiente cuestionamiento, que es el que de alguna manera lleva a desarrollar la misma: ¿Cómo se puede generar un procedimiento basado en conocimiento estructurado de ingeniería que aproveche la información y la experiencia que tiene el GI&T del Cerrejón para mejorar el desempeño de los camiones Cat 240 en lo referente al diagnóstico, manejo y control de grietas en la estructura del chasis?

Las teorías utilizadas para el desarrollo de este trabajo, especialmente el uso de la velocidad de propagación de grietas por fatiga, sirven a los ingenieros y/o diseñadores, como una herramienta de evaluación para la selección de materiales, principalmente cuando éstos se emplean para soportar ciclos de carga y, por lo tanto, experimentan el crecimiento y la

propagación de grietas por fatiga.

3.2 Metodología desarrollada en la práctica empresarial

El plan de trabajo propuesto comprende las siguientes actividades:

- Recolectar la información histórica de las inspecciones estructurales de los equipos Cat240 durante los años 2016 y 2017.
- Revisar los datos históricos para identificar los componentes que están fallando con mayor frecuencia.
- Identificar grietas que hayan superado el límite de peligro establecido antes de la siguiente inspección programada.
- Conocer las diferentes configuraciones de grietas que se presenten en las estructuras.
- Analizar la información histórica, aplicando las teorías estadísticas.
- Identificar las zonas de máximos esfuerzos basados en el estudio de esfuerzos hechos en las estructuras de los mismos.
- Analizar la información histórica teniendo en cuenta los principios de mecánica de la fractura en ingeniería.
- Analizar los cambios registrados en la longitud de grieta en cada intervalo de inspección.
- Evaluar los límites de criticidad con las mayores longitudes de grieta encontradas, que no reporten falla catastrófica.
- Calcular la vida residual de los componentes para evaluar intervalos de inspección.
- Conocer la incidencia de las diferentes configuraciones de grietas dentro de la estructura.
- Relacionar los esfuerzos y las configuraciones de grietas presentadas en las estructuras.
- Crear patrones de cuantificación de grietas en la estructura.
- Verificar el modelo desarrollado a través de la comprobación con los datos históricos disponibles.
- Crear un procedimiento basado en mecánica de la fractura para el manejo de las grietas en los camiones CAT 240.
- Crear los formatos de manejo de la información.

Se realizó un análisis del registro histórico del ICE y de los reportes de inspección de los años 2016 y 2017 de los camiones Caterpillar Cat 240 series 793 B y C. Primero se depuró la información para identificar las partes de mayor crecimiento dentro del chasis del camión. Plenamente identificadas las partes se realizó un seguimiento en todos los equipos. Para la realización del proyecto fueron analizados 21 equipos. Esta muestra a estudiar se escogió teniendo en cuenta los equipos, que según ICE, mostraron crecimiento progresivo de grietas.

4 Resultados y discusión

4.1 Diagnóstico de la condición estructural

Para determinar el estado de las estructuras de los camiones CAT 240 (Fig. 2), se analizaron los datos históricos con los que cuenta el GI&T, registrados en el ICE. Los datos tomados como base para el estudio fueron los del año 2017, sin descartar los sucesos más importantes ocurridos durante los años anteriores.

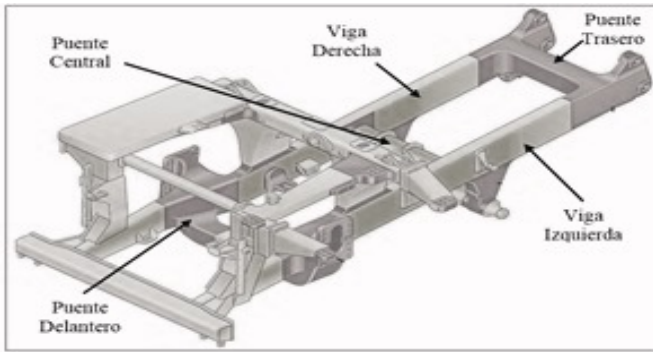


Figura 2. Partes principales del Chasis.
Fuente: adaptado de [3].

Se pudo identificar cuatro partes principales del chasis con sus respectivos subcomponentes donde se evidencian el crecimiento progresivo de grietas (Fig. 3).

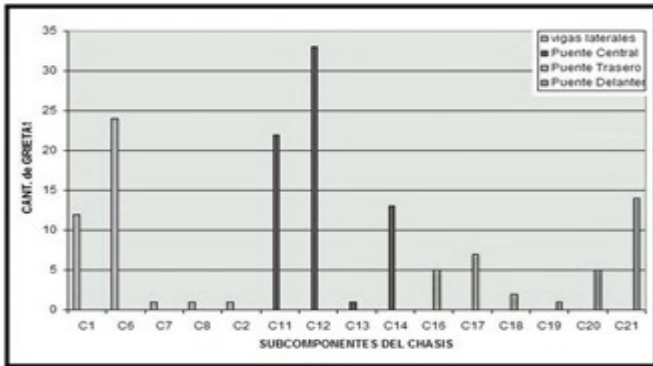


Figura 3. Subcomponentes del chasis Vs cantidad total de grietas en los 21 equipos de estudio.
Fuente: Los autores

Los componentes y subcomponentes que presentan mayor crecimiento de grietas son, con un porcentaje del 37%, el puente central C12 distribuidos así 15% casting izquierdo y 22% casting derecho, y las vigas que muestran un porcentaje del 25%, en la parte derecha C6 con un 17% y en la izquierda con un 8%. En menor cantidad de aparición se encuentra El puente trasero con un 9% y el delantero con un 15%, los demás subcomponentes no exceden el 19% del total de grietas que aparecieron en el chasis.

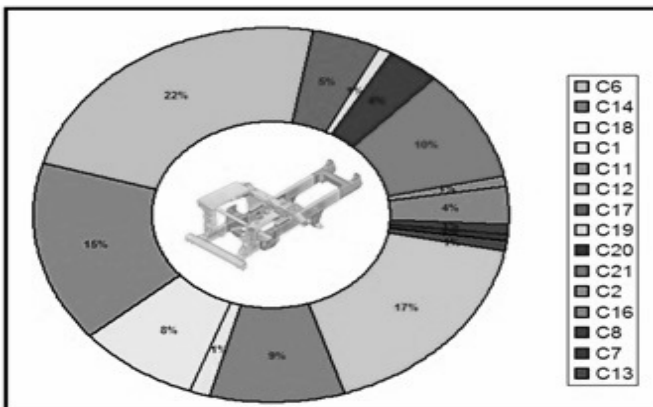


Figura 4. Porcentaje de aparición de grietas en el chasis.
Fuente: Los autores.

Durante la clasificación de cada una de las grietas encontradas en las zonas del chasis, se pudo notar que la zona derecha de la estructura tiene mayor aparición de grietas, por lo que se presume una mayor carga en este lado de la estructura (Fig. 5).

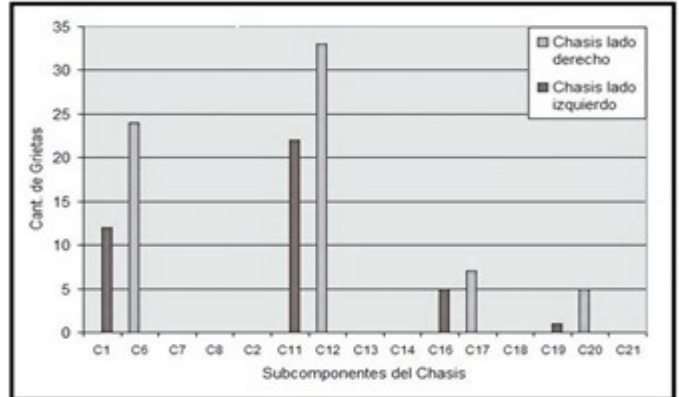


Figura 5. Comparación No. de grietas subcomponentes lado derecho e izquierdo del chasis.
Fuente: Loa autores.

4.2 Identificación de grietas que sobrepasan los límites

El ICE tiene unos límites que establecen la criticidad de la grieta encontrada, estos límites son llamados Warning y Danger.

La mayoría de las grietas, en los subcomponentes, a las que se les hizo seguimiento, sobrepasaron el límite permitido, siendo los castings del puente central, los subcomponentes con mayor número de grietas que superaron la longitud crítica. El casting derecho del puente central (C12) tiene un porcentaje de grietas que sobrepasaron los límites de 66.7% del total de las grietas encontradas en esta zona, el casting izquierdo (C11) tiene un 59.1% y en la viga izquierda de la placas laterales (C1) un 58.3% que sobrepasaron el límite. Los subcomponentes C6, C14, C17, C20 y C21 tienen un porcentaje de grietas que sobrepasan el límite de criticidad menor del 20% (Fig. 6).

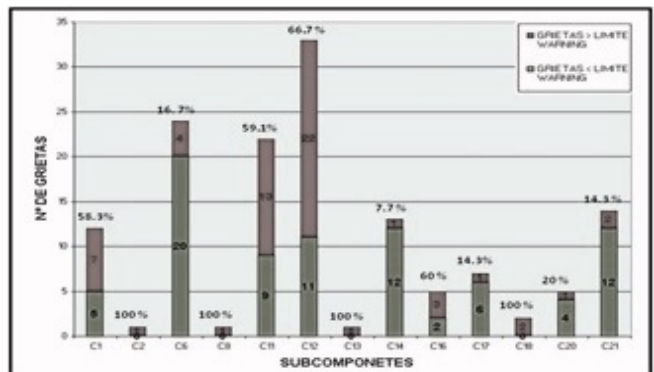


Figura 6. Proporción de grietas por encima y por debajo del Warning en el chasis.
Fuente: Los autores

Las grietas que aparecen en las diferentes partes que componen la estructura del chasis, presentan unas

características que fueron identificadas y ayudaron a definir el estado de las estructuras, las características son las siguientes:

- Grietas que presentan un crecimiento progresivo de inspección a inspección.
- Grietas que no presentan cambio alguno en su geometría.
- Grietas múltiples.
- Grietas próximas entre sí que tienden a unirse.

Estos aspectos se resaltan con el fin de identificar las zonas de la estructura donde se encuentran las grietas con mayor frecuencia y que determina el estado de la estructura, desde el punto de vista experimental (datos históricos). A pesar de que no se ha estudiado aún los esfuerzos a los que está sometida la estructura, debido al número de grietas que se encontró en el lado derecho (69 grietas, 63.3%) se infiere que este lado del chasis está más sometido a esfuerzo que el lado izquierdo (40 grietas, 36.7%).

4.3 Análisis del comportamiento de crecimiento de las grietas

Luego de analizar el estudio de elementos finitos hechos al chasis de los camiones [4], fue necesario realizar una división a los subcomponentes del chasis debido a que los esfuerzos dentro de la estructura no se presentan en forma homogénea, por lo que ciertas zonas del chasis se encuentran más cargadas. Además, la aparición de grietas se presenta de manera sectorizada. Las vigas se dividieron en tres zonas: Zona 1, Zona 2 y Zona 3 (Fig. 7). El puente central y delantero se dividieron en dos zonas (superior e inferior), el puente trasero se dividió en tres: superior, inferior y oreja. Las zonas de menor aparición de grieta no fue necesario hacerle una división

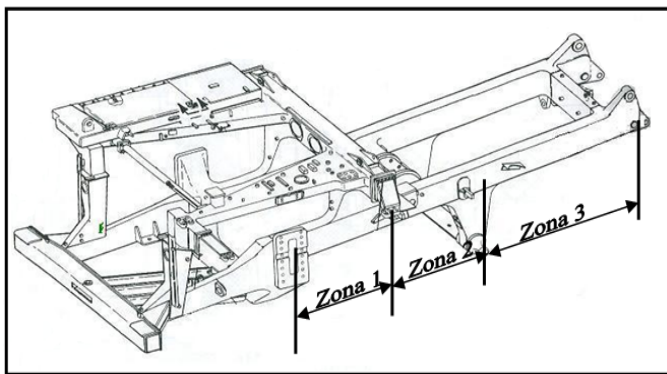


Figura 7. División por zonas de las vigas del chasis. Fuente: Los autores.

Se identificó la zona 1 de las vigas del chasis como el subcomponente que presenta mayores esfuerzos de flexión, por las cargas distribuidas sobre la viga por el peso de la tolva, ya que es sobre esta donde la tolva descansa y se apoyan los demás elementos (cilindros de levante, tanques hidráulicos y de combustible, entre otros). Además, se desarrollan en la parte inferior del puente esfuerzos de compresión que no contribuyen con el avance de las grietas y en la parte superior esfuerzos de tracción. El puente central es otro subcomponente sometido a altos valores de esfuerzo principalmente la parte inferior, como consecuencia de su función dentro de la estructura, que es la de

mantener el paralelismo de las vigas principales y sostener el A-Frame, este está sometido a torsión. El puente que sigue con los mayores esfuerzos es el delantero, este le da estabilidad al chasis y sirve de soporte de las suspensiones delanteras. Y por último el puente trasero, ayuda a sostener la tolva.

Para conocer el comportamiento de crecimiento de grieta se hace necesario calcular las velocidades teóricas y experimentales. De manera teórica, la velocidad de propagación de la grieta se calcula utilizando la ec.1 que relaciona la tasa de crecimiento de grieta por fatiga con el número de ciclos de esfuerzos, definiendo un ciclo de trabajo como el tiempo que transcurre entre el recorrido para su cargue y descargue (40 minutos aproximadamente).

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (1)$$

Donde, C y n son constantes experimentales que dependen del material, relación de esfuerzo, medio ambiente, temperatura y frecuencia de aplicación de esfuerzo y K es el factor de intensidad de esfuerzo. Para este estudio el acero es ferrítico – perlítico con valores de $C=6,9 \times 10^{-9}$ y $n=3$ [5].

Mientras que experimentalmente la velocidad de las grietas calculada teniendo en cuenta la longitud de la grieta y los tiempos transcurridos entre las inspecciones, son del orden de 10^{-5} mm/s y 10^{-6} mm/s en todos los subcomponentes analizados, mostrando que desde el punto de vista experimental la magnitud de los esfuerzos en realidad muestran si las grietas que allí nacen se propagarán sin que esto signifique mayores velocidades.

Los valores hallados de longitud de grieta crítica a través de la mecánica de la fractura [4], están en un 26% y 63% por encima de los límites de “Warning y Danger” establecido en el ICE por lo que se está siendo demasiado conservador con esta medida, tanto así que algunas grietas están superando esos límites hasta en un 216% en vigas y 460% en los castings del puente central y muchos otros están al límite.

Los nuevos límites planteados para el ICE (Tabla 1) tienen en cuenta la tenacidad de fractura del material en la zona donde se encuentra, es decir, se conoce el esfuerzo aplicado y las condiciones del material después de la aparición de una grieta a través de la longitud de grieta crítica para el límite de fluencia.

Tabla 1
Valores de grieta crítica actuales y propuestos.

Componente	Codificación	Long actual (mm)		Long propuesta (mm)	
		Warning	Danger	Warning	Danger
Viga placas laterales	C1/C6	210	300	343	490
Vigas placas superior e inferior	C2/C3/C7/C8	56	80		
Puente central casting	C11/C12	70	100	105	150
Puente central soporte nose cone	C14	175	250	175	250
Puente central tubo central	C13	175	250	175	250
Puente trasero casting	C16-C17	105	150	154	220
	C16-O/C17-O			84	120
Puente trasero	C18	140	200	140	200

tubo trasero					
Puente delantero soporte suspensión frontal	C19/C20	210	300	266	380
Puente delantero casting unión soporte suspensión delantera	C21	210	300	266	380

Fuente: Los autores

Aproximadamente un 39% de todas las grietas que se le realizaron seguimiento, están en los castings del puente central. Las grietas múltiples son características de las condiciones que se encuentran en este subcomponente, aunque estas no sean las que más se propaguen, porque esta es una zona de altos esfuerzos pero no todos de tensión y además de la presencia de esfuerzos residuales por el mismo proceso de soldadura.

4.4 Metodología para la cuantificación de grietas

Lo primero es tener claro la forma de recolección de los datos, conociendo de antemano que tipo de grieta se encontrará en cada zona de los diferentes subcomponentes y como tratarlas, ya sea una grieta en L, U, X, Y o grietas múltiples [7], para así lograr obtener el mejor diagnóstico de la real condición de la estructura. Para esto el inspector contará con ciertos formatos que le permitan tener una guía de que zona revisar, el tipo de grieta y la forma como esta aparezca en el componente. Además de los pasos a seguir al momento de ingresar las longitudes de grietas encontradas en el ICE.

4.4.1 Grietas múltiples

Las grietas múltiples es una de las configuraciones de grietas que se encuentra con más frecuencia en el chasis, específicamente en los castings del puente central. Este tipo de configuración es manipulada por el inspector sin seguir ningún parámetro técnico solo guiado por su experiencia, la cual en muchos casos no coincide con lo que en realidad está ocurriendo. Por tal motivo, se hace necesario realizar patrones que ayuden a mejorar la calidad de los datos.

Es importante conocer la ubicación donde se encuentra la grieta ya que no todas las zonas del chasis están sometidos al mismo tipo de esfuerzos. Por efecto de la aplicación de carga habrá zonas a compresión y/o tensión. La disposición indica que tan alineadas están las grietas para conocer la distancia a la que está una respecto a la otra y las distancias son la separación máxima a la que debe estar una grieta de la otra (Tabla 2).

Tabla 2
Distancia entre grietas alineadas en puente central casting

Componentes	Vigas Factor	P. Delantero Factor	P. Trasero Factor
Grieta en U	1,35	1,30	1,10
Grieta en I	1,175	1,10	1,05

Fuente: Los autores

4.4.2 Grietas únicas

Este tipo de grieta es la que prima en el resto de la estructura, es decir, las vigas principales y los puentes delantero y trasero. Este tipo de grietas puede tomar varias formas ya sea en L, U, X, Y, grietas horizontales y grietas verticales, entiéndase como grietas ramificadas a las grietas en forma de X o Y.

Las geometrías rectangulares dan lugar para que las grietas que allí aparecen tengan la posibilidad de no solo recorrer uno de sus lados sino tomar dos e inclusive tres lados de su geometría, lo cual incide en su criticidad en comparación a una grieta vertical u horizontal sobre cualquiera de sus caras. Una vez la grieta haya tocado dos caras de la estructura se le conocerá como grieta en L, y cuando esta haya alcanzado una tercera cara será, entonces, grieta en U (Fig. 8).

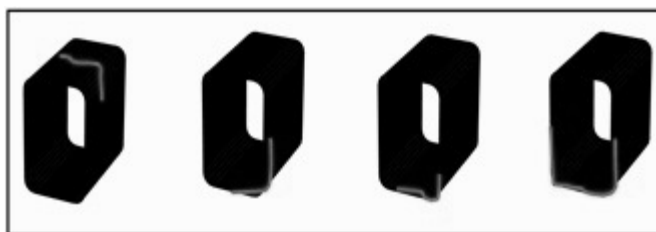


Figura 8. Configuración de grietas en L y U sobre componente rectangular
Fuente: Los autores

Debido que con este tipo de grietas, L y U, el área que quedaría soportando toda la carga distribuida en la estructura es menor que el área original, el tamaño de grieta crítica se reduciría en comparación con la longitud de grieta crítica para un área efectiva mayor. Este porcentaje de reducción de longitud, muestra el efecto que tiene esa grieta en la estructura. Por lo que servirá como un factor de criticidad para la longitud de la misma en el cálculo del ICE, la Tabla 3 muestra los factores para las diversas formas en los distintos subcomponentes y luego el valor de grieta a ingresar en el ICE será:

$$a_{rep} = a_{medida} * factor \quad (2)$$

Para grietas ramificadas en X o Y la longitud representativa de la grieta será la de mayor longitud entre sus extremos.

Tabla 3
Factores que representan el porcentaje de reducción de grieta crítica

seg	Velocidad (mm/seg)		Espacio a recorrer (mm)	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
C11	1,54E-0,5	1,63E-05	38,81	41,05
C12	8,95E-05	1,38E-05	22,54	34,85

Fuente: Los autores

5 Conclusiones

5.1 Respecto a la práctica empresarial

Luego de todo el análisis por Mecánica de Fractura de los datos que tenía el GI&T del Cerrejón de sus camiones CAT 240, se puede concluir que las zonas del chasis son las de mayor importancia para el estudio y seguimiento a fin de evitar o

prevenir una falla catastrófica que afectará la disponibilidad de la flota, la producción y la planeación del mantenimiento.

Los subcomponentes del chasis que están más afectados por aparición y crecimiento de grietas son: las vigas principales de la estructura, estos porque son ellas las que están soportando la mayor parte del peso de la tolva. El otro subcomponente es el puente central debido a las cargas combinadas de torsión y flexión a las que está sometida, además de los propios efectos residuales que están allí presentes por el proceso de soldadura de esta parte.

Otro aspecto que se pudo evaluar a través de este estudio fue la longitud crítica de grieta y el intervalo óptimo de inspección, para la longitud crítica a_c . Se evaluó a través de dos criterios, el primero evaluado por fatiga y el segundo por el criterio de resistencia residual. Se escogió la longitud de grieta para cada caso analizado. Cabe resaltar que las longitudes de grieta crítica dieron valores más altos de “Warning y Danger” establecidos para el ICE que son bastantes conservadores ya que en muchos casos las grietas han sobrepasado estos valores sin que haya habido falla, además, del tiempo excesivo que transcurrió entre las inspecciones

Se pudieron identificar los patrones necesarios para ayudar a cuantificar ciertos tipos de grietas que se presentan en la estructura, como son: grietas múltiples alineadas o no alineadas, características en geometrías circulares; grietas tipo U y L, características en geometrías rectangulares; grietas ramificadas o bifurcadas en X o Y. Toda esta información fue condensada en unos formatos que tienen en cuenta la ubicación específica de la grieta y su forma.

5.2 Conclusiones generales

Las prácticas empresariales implementadas en la Facultad de Ingeniería han permitido a los estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Atlántico tener en ella una de las opciones de grado que consigue generar una cultura hacia el trabajo colaborativo alrededor del quehacer ingenieril y una responsabilidad compartida de las necesarias transformaciones que exige el proceso de enseñanza en la actualidad. Por consiguiente, se integran los elementos teóricos fundamentales de este “enseñar y aprender haciendo” que son las prácticas empresariales.

Los estudiantes guiados por los tutores, afrontan la solución de problemas nuevos para ellos, a causa de lo cual aprenden a adquirir conocimientos de manera independiente, a emplear dichos conocimientos y a dominar la experiencia de la actividad creadora.

Las prácticas empresariales constituyen una excelente oportunidad para el desarrollo de aptitudes y habilidades para la ejecución del trabajo, y al mismo tiempo promueven la adquisición de competencias necesarias para desenvolverse con éxito en el entorno laboral.

Las competencias que más se fortalecieron durante la práctica empresarial, según los empleadores, fueron la capacidad de trabajar en equipo, la capacidad de identificar y resolver problemas y la capacidad para asumir responsabilidades y tomar decisiones

Los tutores desempeñan un papel fundamental, son ellos los encargados de dirigir el proceso pedagógico y es necesario que vinculen los currículos con la realidad de la sociedad.

Referencias

- [1] Resolución N°0001 del Consejo de Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico, Colombia. Febrero 24 de 2017.
- [2] Ortiz-Ocaña, A., Metodología de la enseñanza problémica en el aula de clases. Ediciones Asisca, Barranquilla-Colombia, 2012. ISBN 978-958-33-5918-7.
- [3] Manual 793C Mining Truck specifications Caterpillar. 2000
- [4] Constançon, C., Carbones del Cerrejón mining equipment fleet audit CAT793 FEA fatigue life assessment. WBM Canadá Inc., 2014.
- [5] Annual Book of ASTM Standars Vol-01.03. Steel-Plate, Sheet, Strip, Wire. Iron and steel products, 1996.
- [6] Hernández, A. y Espejo-M., E., Mecánica de fractura y análisis de falla. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2002.
- [7] Carpinteri, A., de Freitas, M. and Spagnoli, A., Biaxial/Multiaxial fatigue and fracture. Ed. Elsevier Science. 1st Edition, 2004. ISBN 9780080527819.

L. Vargas-Henríquez, recibió el título de Ing. Mecánico en 1999 de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, MSc. en Ingeniería: Materiales y Procesos en 2004 y candidato a Dr. en Ciencia y Tecnología de los Materiales (actualmente), ambos de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Se vinculó a la Universidad del Atlántico como docente tiempo completo ocasional desde el año 2005. Entre los años 2006 y 2014 fue coordinador del programa de Ingeniería Mecánica y actualmente es el líder de la línea de investigación en Manufactura Digital. Sus intereses investigativos incluyen: técnicas de prototipado rápido, calidad superficial en maquinado CNC, maquinado virtual.
ORCID: 0000-0002-0967-957X

A. Rodríguez-Peña, recibe el título de Ing. Mecánico en 1998, el título de MSc. en Ingeniería Mecánica en 2015, de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Ha trabajado en programas y proyectos del área de Biomecánica. Desde 2004 trabaja en la Universidad del Atlántico, Colombia como docente tiempo completo ocasional. Actualmente es el coordinador del Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELT), Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia
ORCID: 0000-0002-2928-6044

M. Milton-Coba, recibe el título de Ing. Mecánico en 2001 de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia y el título de Dr. en Ingeniería Mecánica en el 2012, de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Se vinculó a la Universidad del Atlántico en el año 2010 y es docente titular desde el año 2015. Actualmente es el director del grupo de investigación IMTEF, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
ORCID: 0000-0002-2436-5536