

Cortesía Astin – Sena

## ► Gestión de la Lubricación: Un Desafío para los Industriales Colombianos

Ralf Hross\*  
César Andrés Amaya Hoyos\*\*  
Juan Manuel González Carmona\*\*\*

**Manejo eficiente de corrosión y desgaste ahorraría \$750.000 millones anuales al país.**

*Los lubricantes se han convertido en un insumo crítico al proteger y disminuir los daños por desgaste en los componentes mecánicos; la meta es reducir costos y aumentar productividad. Colombia debe generar productos y servicios que le permitan a la industria, realizar un diagnóstico predictivo y preventivo eficaz.*

Hace poco más de un año, un grupo interdisciplinario conformado por la empresa Umaco & CIA SAS, el Centro de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN) del Sena en Cali y el Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, le está apostando a la articulación entre la academia-estado-industria, con el fin de crear un frente común para la investigación del desgaste y deterioro de las herramientas utilizadas en los procesos de manufactura en la industria nacional.

A partir de dicha iniciativa, los tres actores han logrado generar un proyecto encaminado a mejorar la gestión de la lubricación en las empresas colombianas, con el fin de aumentar su competitividad a través del incremento

de la vida útil de las herramientas y partes mecánicas empleadas en los procesos de producción, la disminución de costos de mantenimiento, paradas inesperadas y el ahorro energético.

El proyecto planteado por estas instituciones tiene varios frentes de trabajo que van desde la elaboración de un estudio de vigilancia tecnológica sobre las técnicas utilizadas para el análisis de lubricantes a nivel nacional, pasando por el diseño y construcción de un equipo prototipo de simulación del desgaste, hasta la producción de piezas con diferentes tipos de recubrimientos auto-lubricantes.

El trabajo de este equipo interinstitucional es digno de ser resaltado, no sólo por el alto nivel de Investigación-Desarrollo-Innovación (I+D+i), sino también por los excelentes resultados y el enfoque de transferencia a la industria en el que se enmarca. Así pues, en esta oportunidad, se quiere dar a conocer los avances de esta iniciativa, de gran interés para la industria y la academia colombiana.

## Investigaciones y Resultados

Uno de los primeros productos de esta interacción, consistió en la elaboración de un estudio de vigilancia tecnológica, a partir de la información existente sobre el tema en diferentes motores de búsqueda, que permitiese conocer los tipos de técnicas y equipos empleados por las entidades para realizar el análisis de lubricantes y grasas, con el fin de establecer el panorama actual que existe en el país para hacerle frente al problema del desgaste en la industria, identificando necesidades y capacidades generales de la región del Valle del Cauca y de Colombia.

Posteriormente, se dio inicio a una serie de capacitaciones para los investigadores involucrados en la propuesta, al participar en el entrenamiento: "Ingeniería de Confiabilidad y Mantenibilidad", ofrecido por

### Problemática del desgaste en la industria

Según una investigación del Centro de Desarrollo Tecnológico (ASTIN), en conjunto con el Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI) de la Universidad del Valle: "El desgaste y deterioro de las herramientas utilizadas en los procesos de manufactura en la industria colombiana, representa hasta el 30% de los costos de fabricación y repercuten desfavorablemente en el precio del producto final afectando la productividad y competitividad de las empresas".

En los países industrializados como el Reino Unido, se ha encontrado que una gestión eficiente en las áreas de corrosión y tribología, permitiría ahorrar anualmente alrededor del 1% del PIB. Utilizando este mismo criterio para evaluar la economía Colombiana, las cifras reflejarían un ahorro en aproximadamente \$750.000 millones anuales, sólo en el sector manufacturero (Banco de la República, 2011)<sup>2</sup>. Pero este tipo de informes, asociados a los problemas de desgaste, lubricación y corrosión, son inexistentes en el país, lo que hace aún más urgente la aplicación de políticas y la generación de conocimientos profundos en estas áreas, con el fin de reducir dichos costos y fomentar que la industria colombiana sea eficiente, limpia y competitiva.

Con el advenimiento de los tratados de libre comercio, para que la industria local permanezca vigente en el tablero del mercado mundial, es necesario adquirir nueva maquinaria e implementar planes de lubricación, ya que alrededor de un 70% de los programas de mantenimiento en la industria, están enfocados en el problema del desgaste de piezas en contacto con movimiento relativo <sup>3</sup> y <sup>4</sup>. Es en este escenario donde se hace necesario la revisión de competencias y creación de innovaciones en el área tecnológica y de gestión de lubricación, con el objetivo de ser competitivos ante la entrada de nuevos productos extranjeros al mercado nacional.

La industria requiere de una experiencia de lubricación de muchos años, combinada con conocimientos técnicos, para solucionar los problemas de desgaste que se presentan. Durante el continuo trabajo de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, se ha identificado, según información recopilada del centro de documentación de lubricación de la empresa Umaco3, una interacción con el área metalúrgica en más del 60% del total de los casos de asesoría técnica atendidos, lo cual es un claro indicador acerca de la necesidad de llevar paralelamente conocimientos en materiales, tribología y lubricación a este sector industrial; sin embargo, los conocimientos regularmente en las Mi-Pymes provienen de los talleres metalmecánicos informales y no son documentados adecuadamente, perdiéndose información de gran valor técnico e ingenieril que podrían aportar una mayor luz en la búsqueda de soluciones efectivas ante el problema del desgaste.

El desconocimiento técnico del mantenimiento preventivo y correctivo, puede llevar a paros costosos en la línea de producción, que sólo en la región del Valle del Cauca afecta a más de 400 empresas en diversos sectores de la industria<sup>3</sup>. Este nivel de responsabilidad actualmente obliga a la formación de equipos interdisciplinarios, con competencias tanto en ciencias básicas (como la física y la química) y ciencias aplicadas (como la ingeniería química, de materiales y mecánica), con apoyo de áreas administrativas en términos de gestión, control, gobernabilidad y sostenibilidad.

Cortesía: Umaco & CIA SAS - RDAI - Universidad del Valle.

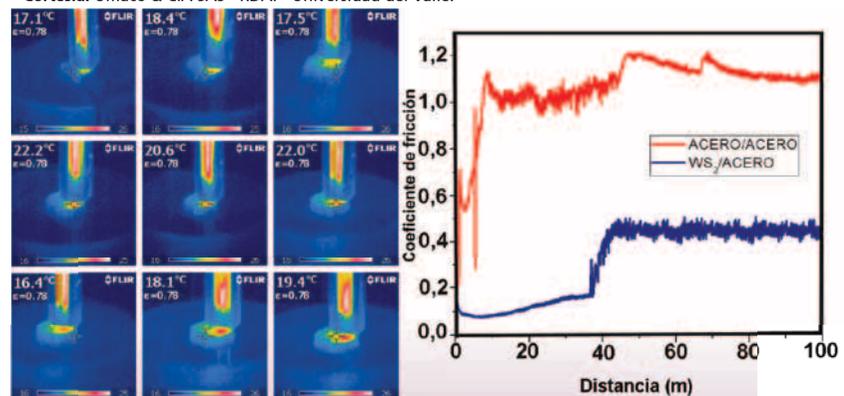


Imagen termográfica del ensayo de Pin en Disco como parte del estudio in situ por medio de termografía de superficies en procesos de desgaste y coeficiente de fricción de los pares acerolacero, acerobisulfuro de tungsteno (WS2).

Umaco y auspiciado por Shell Colombia. En esta etapa, los participantes obtuvieron herramientas para la realización de mantenimiento de tipo predictivo, preventivo y correctivo a maquinaria industrial, utilizando elementos como el análisis Weibull<sup>6</sup> y la recolección correcta y oportuna de información, además de conocer las experiencias de diferentes industrias que asistieron a dicho evento.

Así mismo, en el Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI) de la Universidad del Valle, se han realizado diferentes tipos de pruebas tales como la determinación por medio de termografía Infrarroja, de la temperatura generada durante el proceso de fricción en un ensayo de pin sobre disco, combinando dos técnicas de análisis para estudiar el desgaste desde diferentes enfoques y posteriormente se realizó la determinación del coeficiente de fricción de lubricantes sólidos, basados en recubrimientos de bisulfuro de tungsteno ( $WS_2$ ) y lubricantes líquidos sobre sustratos metálicos de uso industrial, con desarrollo para el país de la tecnología de lubricación sólida como alternativa para resolver problemas en la industria (Figura 2).

- *Equipo prototipo de simulación de desgaste*

Actualmente, el grupo diseñó un prototipo de simulación de procesos

de desgaste, presentes en superficies metálicas las cuales se encuentran en presencia de lubricantes líquidos convencionales y lubricantes sólidos basados en películas delgadas auto-lubricantes.

Básicamente, se trata de un motor con un eje rotativo, en el que se ubican diferentes tipos de piezas (piñones, ejes, rodamientos), los cuales están en contacto con una superficie o pieza de las mismas características, estos componentes se someten a un peso, que debe ser equivalente a la carga soportada en condiciones de trabajo. Con la versatilidad que puede utilizar diferentes tipos de lubricantes según la necesidad del proceso a simular, al medir la diferencia en el torque necesario para mover el motor sin carga y con carga, es posible obtener un valor dinámico del coeficiente de fricción.

Posteriormente y mediante la articulación de las capacidades del equipo interinstitucional, se determinan los procesos de desgaste que ocurren en la pieza durante el trabajo, a través de un estudio detallado y metódico de la superficie, incluyendo sus características finales, morfología y composición química, lo que finalmente se traduce en un diagnóstico temprano que permitirá tomar medidas más acertadas en la gestión de la lubricación y con el fin último de reducir costos por deterioro del equipo en servicio.

La iniciativa busca convertirse en una herramienta clave para optimizar los procesos de producción, ya que permite usar eficientemente la energía, reducir costos, incrementar calidad y competitividad, a través de la apropiación del conocimiento sobre los fenómenos de desgaste, lubricantes y las actuales técnicas de análisis que utiliza la industria.

Al simular y estudiar condiciones específicas de desgaste, es posible utilizar el prototipo para tomar decisiones en función del incremento de la calidad de los procesos y el ahorro de los costos. Se estima que, con la aplicación de esta herramienta, los industriales podrían obtener ahorros entre el 20 y 25 por ciento del consumo energético, cambio de piezas, lubricantes, y ahorros de tiempos de producción significativos.

El equipo de simulación a través de los datos que registra, brindará la oportunidad al usuario de establecer un periodo de tiempo en el cual, el lubricante debe ser reemplazado, pero no establece las razones de la presencia de partículas metálicas en el mismo, por lo cual se hace necesario que la información obtenida deba ser complementada, y es aquí donde el RDAI juega un papel fundamental con las técnicas de laboratorio existentes en sus instalaciones y a las cuales tiene acceso en la Universidad. Esta articulación, finalmente da como resultado un método completo con el que se puede conocer a fondo el fenómeno de desgaste para un proceso en particular.

Si se observa de esta manera, el equipo de simulación, sin las técnicas de laboratorio, se queda corto y viceversa; por lo cual, los investigadores proponen una alternativa para que los departamentos de mantenimiento y su personal se preparen y puedan hacerle frente a este tipo de problemas con más y mejores herramientas. (Ver recuadro: *Técnicas de laboratorio*).

*Equipo para ensayos pin sobre disco para pruebas de fricción y desgaste en recubrimientos de  $WS_2$ .*



Foto: Cortesía: RDAI - Universidad del Valle.

## Técnicas de laboratorio

El estudio de la fricción, desgaste, lubricación y corrosión, comprende diferentes áreas de la ciencia (como física y química) y la ingeniería (como la ingeniería física, química, mecánica y de materiales), debido a esto es posible obtener una gran cantidad de información sobre dichos procesos, al utilizar toda la gama de herramientas que poseen estos saberes. Se han detectado factores clave en la identificación de problemas relacionados con estas áreas, que son primordiales en el estudio de las superficies, tales como la observación superficial, ya sea utilizando microscopios convencionales o tecnología avanzada como la microscopía electrónica de barrido (SEM), o microscopía de barrido por sonda (SPM). La determinación de cambios en la química del material, permite determinar las reacciones producidas por procesos de desgaste y corrosión y explicar la mayoría de mecanismos que se presentan en estos escenarios. Es debido a esto que el uso de técnicas como la espectroscopia infrarroja (FTIR) y la espectroscopia por energía dispersada (EDS) se han convertido en herramientas comunes cuando se resuelven este tipo de problemas.

Todas estas, son herramientas fundamentales que hoy en día existen en varias de las universidades del país y que ya no pueden seguir siendo de uso exclusivo de las actividades de investigación básica. Poco a poco deben ser utilizadas por la industria.

Existen técnicas adicionales que permiten obtener otra serie de propiedades e información sobre las piezas estudiadas, algunas son:

- *Difracción de rayos X*: determinación de la estructura cristalina del material, observar cambios de fase o reacciones de oxidación con respecto a la temperatura.
- *Indentación*: Cuantificación de las propiedades mecánicas de una superficie a diferentes escalas (micro y nano). Detectar cambios de dureza con respecto a distancia de penetración, procesos de fatiga, adhesión de recubrimientos protectores.
- *Perfilometría*: Determinación de las características superficiales como rugosidad, áreas desgastadas y coeficientes de desgaste.
- *Potenciostatos*: Diferentes técnicas utilizadas para determinar la resistencia a la corrosión de las superficies expuestas en diferentes tipos de atmósferas.

La utilización de este tipo de técnicas para la medición del desgaste posterior al proceso de producción evita paradas costosas, reduce el costo del análisis del lubricante y el tiempo de asesoría para toma de decisiones de mantenimiento y producción. Sin embargo, la tecnología necesaria para el monitoreo en tiempo real de conteo de partículas es costosa, haciendo necesario capacitación especializada impartida por expertos extranjeros.

En la industria colombiana, es posible tener una idea del costo en recursos (tangibles e intangibles) empleados en el seguimiento de la gestión de la lubricación con los siguientes indicadores: el tiempo promedio de este proceso puede tardar semanas, con un promedio de 10 muestras semanales. Cada análisis cuesta alrededor de \$100.000 y cada análisis químico toma alrededor de 15 días, dentro de un plan de mantenimiento preventivo. Esto equivale a un costo de \$1.000.000, que es finalmente asumido por el proveedor o usuario de lubricantes. Como dato adicional, una gran empresa puede generar hasta 500 muestras por planta de producción anual<sup>3</sup>. Durante un proceso de análisis de falla, la metodología anterior no es la adecuada, debido al tiempo que debe transcurrir para obtener los resultados de las muestras necesarios para ejecutar las acciones correctivas y preventivas, e identificar las causas asociadas al daño, lo que conlleva a maquinaria sin funcionar por varios días, generando pérdidas financieras y desfase en el cronograma de producción, lo cual se debe evitar tomando acciones de fondo.

Por estas razones, es de suma importancia generar nuevos productos y servicios que permitan tanto al productor, comercializador y al cliente de lubricantes, realizar un diagnóstico predictivo y preventivo en elementos de maquinaria, que conlleve a un menor costo y en la cual se puedan probar los nuevos lubricantes desarrollados, tanto a escala de laboratorio como en la industria.

# CRYOGAS MEDIA

Así las cosas, en conjunto con técnicas de laboratorio, el prototipo permitirá anticiparse y dar solución a los problemas tribológicos en los procesos industriales, a través de la medición del coeficiente de fricción y el estudio de mecanismos de desgaste en piezas reales, tales como reductores, ejes y rodamientos; adicionalmente, determinar el comportamiento de la pieza en campo, hacer mantenimiento predictivo y preventivo, evitar el mantenimiento correctivo y capacitar al personal de las empresas en casos específicos de desgaste.

Inicialmente, el proyecto abarcará casos generales con el fin de realizar una tarea formativa, investigativa e innovadora, para posteriormente trasladarlo formalmente a los programas de formación técnica y tecnológica del Sena-Astin. Finalmente, se espera generar protocolos que permitan al Sena y a Umaco prestar servicios a la industria nacional.

Como se ha planteado el proyecto, la industria con el mayor impacto será la metalmecánica, pero dado que el desgaste está presente en cualquier proceso productivo que se pueda imaginar, se esperan aplicaciones en todos los sectores de la industria relacionados con procesos de transformación y generación de materias

primas: automotriz, fabricación de máquinas-herramientas, línea blanca, aeroespacial y en general, lo que apunta a la reducción y uso eficiente de la energía.

Este es un claro ejemplo de trabajo y cooperación entre la academia, el estado y la industria, donde el fin último es realizar una transferencia de conocimiento, desde los grupos de investigación e instituciones educativas hacia quienes, día a día, están inmersos en el mundo de la lubricación y el desgaste: las empresas y sus operarios.

Por ello, como se puede vislumbrar, el proyecto busca también concientizar y crear "cultura preventiva" en los industriales y, particularmente, en el usuario/operario, pues son ellos quienes finalmente toman las decisiones en el área de mantenimiento.

En este punto, la iniciativa toma gran valor, ya que involucra al personal de las empresas en el proceso, para ayudarles a comprender las razones y 'el por qué de las cosas', a través de una metodología fundamentada en conocimiento e infraestructura, hecho que adicionalmente familiariza y refuerza el sentido de pertenencia con los procesos en sí mismos y la empresa, para lograr mejores resultados, repetibilidad, calidad y ahorro.



Foto: Cortesía: Astin - Sena

*Planta semi-industrial del Centro Astin-Sena para el depósito de recubrimientos duros y auto-lubricantes sobre herramientas/ piezas metálicas utilizadas en diversos procesos industriales.*

- *Recubrimientos auto-lubricantes*

Finalmente, y como muestra del compromiso e interés de este trabajo de investigación entre las tres instituciones, se han aprobado trabajos, con el fin de iniciar la producción de piezas con diferentes tipos de recubrimientos auto-lubricantes nano-estructurados, propuestos por el Laboratorio RDAI, en la planta semi-industrial de recubrimientos duros del Sena - Astin y apoyados en la experiencia de más de tres décadas de la empresa Umaco, para ofrecerlos en el futuro como solución superficial y hacerle frente al problema del desgaste en la industria del país.

Este tipo de materiales, al obtenerlos en forma de recubrimiento, se encuentran en una etapa temprana de investigación en nuestro país; sin embargo, debido a las sobresalientes propiedades de dichos recubrimientos, en diferentes regímenes de temperatura y carga en procesos donde los lubricantes convencionales no pueden operar, se convierte en la principal motivación para estudiar y dar a conocer los materiales auto-lubricantes a nivel nacional, además

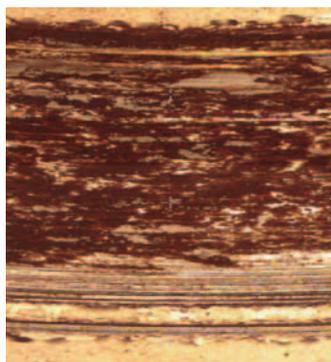
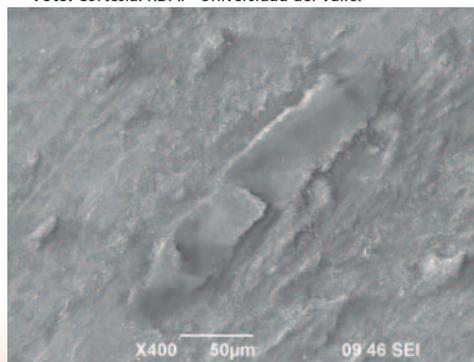


Foto: Cortesía: RDAI - Universidad del Valle.



*(Izquierda) Microscopía óptica (10X) de la superficie desgastada y (derecha) microscopía electrónica SEM (400X) mostrando una partícula de material lubricante en la superficie del recubrimiento desgastado.*

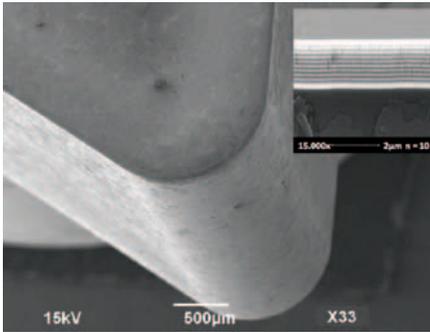


Foto: Cortesía: Astin -Sena

de proporcionarle herramientas a los industriales para que accedan a una nueva solución efectiva con el objetivo de hacerle frente al desgaste en sus procesos, cuando las condiciones de trabajo lo ameriten.

Se estima que el servicio de recubrimiento de piezas industriales con películas auto-lubricantes, puede estar listo a partir del último trimestre del 2013. Este tiempo es estimado, debido al nivel de complejidad que implica sintetizar materiales con los cuales no se ha trabajado antes en el laboratorio y su posterior caracterización.

Este tipo de cooperaciones, entre representantes de los estamentos más importantes en la sociedad, alrededor de un tema de común interés para la industria y la academia, como lo es la lubricación y el estudio del desgaste, junto con el acompañamiento de instituciones como el Sena, se convierte en una de las claves fundamentales para apalancar proyectos de I+D+i y a la cual las distintas regiones del país deben apuntar para hacerle frente a los importantes retos que se avecinan en materia de generación de empleo, competitividad y adaptabilidad de diversos procesos industriales en los próximos diez años. 

#### Citas

- 1) La Vigilancia Tecnológica en el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales. Informe de actividades - 2006. CENM – ASTIN.

#### Actores involucrados

**Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RAI).** El Grupo de investigación fue originado gracias a un proyecto con el mismo nombre, que se adelantó en la Universidad del Valle (Facultad de Ingeniería) en asocio con Colciencias y un grupo de industrias en el año 2003. Este grupo es dirigido por el Dr. Federico Sequeda Osorio y su propósito principal es la elaboración de nuevos materiales - Recubrimientos Duros. Las líneas de investigación son:

Fabricación de Recubrimientos utilizando técnicas de Deposición Física en fase de Vapor (PVD-Physical Vapor Deposition); caracterización química y estructural de recubrimientos; caracterización mecánica, tribológica y resistencia a la corrosión electroquímica de recubrimientos; simulación del proceso de deposición de recubrimientos duros, propiedades ópticas y electrónicas. Además, diagnóstico de plasmas utilizando técnicas de espectroscopia óptica de emisión y control "In Situ" de procesos PVD; aplicaciones industriales de recubrimientos: herramientas de corte, biocompatibilidad, lubricación sólida, resistencia a la corrosión, barreras de difusión entre otras.

**Umaco & CIA SAS.** Distribuidor de lubricantes con más de 35 años de experiencia atendiendo las necesidades de lubricación y asesoría técnica en los sectores industrial, agroindustrial y automotriz. Umaco como distribuidor es una empresa de 27 empleados que suministra 10000 galones mes en lubricantes con el soporte de 10 profesionales enfocados en la parte comercial e ingeniería industrial, mecánica y química, en las cuales trabajamos en proyectos de mejora en las áreas de mantenimiento y producción. Cuenta con 400 clientes en la industria nacional e internacional y actualmente está punto de culminar el proceso de certificación en ISO 9001.

**Centro Nacional de Asistencia Técnica a La Industria (CDT-ASTIN) del Sena.** Centro de formación perteneciente a la regional Valle del Sena, cuya misión es contribuir en forma activa al desarrollo económico y social de Colombia apoyando, impulsando y desarrollando el uso de tecnologías de diseño, materiales y sus procesos de transformación como herramientas de competitividad de su tejido empresarial, impartiendo formación profesional integral a nivel técnico y tecnológico y prestando servicios tecnológicos articulando con el sistema de innovación, ciencia y tecnología del país. Las áreas en las cuales el centro imparte formación son las siguientes: procesos de transformación de materiales poliméricos, diseño y fabricación de moldes y troqueles, química aplicada a la industria, mecanizado de productos metalmeccánicos, gestión de la producción industrial, análisis de materiales para la industria y aseguramiento metrológico.

Dentro de los servicios tecnológicos que el centro tiene a disposición para los industriales del Valle del Cauca y del resto del país se encuentran los siguientes:

Laboratorio de metalografía y espectrometría; laboratorio de ensayos mecánicos a materiales metálicos; laboratorio de ensayos químicos a polímeros; laboratorio de recubrimientos duros; Laboratorio de metrología dimensional; laboratorio de ensayos físicos a materiales poliméricos; prototipado rápido; diseño y desarrollo de productos; estudios de vigilancia tecnológica de mercados; formulación de proyectos; centro de mecanizado; inyectoras, sopladoras y extrusoras de capacidad industrial.

- 2) Banco de la República: [http://www.banrep.gov.co/series-estadisticas/see\\_prod\\_salar.htm](http://www.banrep.gov.co/series-estadisticas/see_prod_salar.htm). Consultado el 04 de junio de 2012.
- 3) Centro de documentación de lubricación, Umaco & Cia SAS. Cali-Colombia
- 4) "Microstructure and wear of materials", Karl-Heinz Zum Gahr. Elsevier 1987.
- 5) "Tribology in Machine Design", T. A. Stolarski. Butterworth-Heinemann 2000.
- 6) El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull descubierta por el sueco Walodi Weibull, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc.

#### Autores

- \* **Ralf Hross.** Ms.C. Electrical Engineering. subGerente Umaco & CIASAS. [rhross@umacosa.com](mailto:rhross@umacosa.com)
- \*\* **Cesar Andrés Amaya Hoyos.** Ms.C. Profesional 06 laboratorio de Recubrimientos Duros Centro ASTIN – Sena Regional Valle. [c\\_amaya@misena.edu.co](mailto:c_amaya@misena.edu.co)
- \*\*\* **Juan Manuel González Carmona.** Ms.C. Candidato a Doctor en Ingeniería, énfasis en Materiales, Universidad del Valle. [juanmgonzalez@gmail.com](mailto:juanmgonzalez@gmail.com).