Reserva de derecho INDAUTOR: **04-2010-012609475800-102**

JOURNAL DE INVESTIGACIÓN

DE LA ESCUELA DE GRADUADOS E INNOVACIÓN

La Escuela que construye el futuro

Julio-Diciembre

2010

TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS PUEBLA

Difusión autorizada únicamente en México

Puebla, Pue. Julio '10

Estimados alumnos, profesores, investigadores invitados y compañeros de la Escuela de Graduados e Innovación "EGI", del Tec de Monterrey Campus Puebla:

Este mes lanzamos el vigésimo sexto volumen del "Journal de Investigación de la "EGI", el cual mantiene la intención inicial con que partimos de difundir nuestras experiencias técnicas, académicas, de investigación y casos de éxito.

Es nuestro deseo que en cada trimestre contemos con más colaboradores, para que de esa manera, este esfuerzo se mantenga como un foro destinado a influir positivamente en los ámbitos económico, político y social de nuestra comunidad.

Atte.

Dr. Jaime Raúl Alejandro Romero Jiménez
Director de la Escuela de Graduados e Innovación
ITESM Campus Puebla
alejandro.romero@itesm.mx

Nuestra revista es una publicación sin fines de lucro; el único y exclusivo titular del derecho moral de los artículos son los autores.

Prohibida la reproducción parcial o total de estas obras, por cualquier medio o método, sin autorización por escrito del Autor. El único responsable de cada publicación es el autor; y por ende, se deslinda de toda responsabilidad al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Puebla.
Los autores pueden tener relaciones de consultoría u otros negocios con las empresas a que se refieran.

Si deseas que el Journal publique algún artículo de tu autoría, por favor escríbenos a: comiteditorial.pue@servicios.itesm.mx

Comité Editorial

Dr. Alejandro Romero
Dr. Claude Chalain
Mtra. Gabriela Kauffmann
Dr. Juan Carlos Gachúz
Dr. Jaime Contreras
Mtro. Alfredo García
Dr. Said Robles

INVITACIÓN

Se invita a la comunidad del ITESM Campus Puebla (estudiantes y profesores) a enviar sus propuestas de publicación para el Journal de Investigación de la Escuela de Graduados e Innovación. Esta publicación sin fines de lucro procura la divulgación sobre diversas líneas de investigación, incluyendo las que se han trazado como prioritarias para el Tecnológico de Monterrey.

Éstas áreas son las de Biotecnología (genómica, biofármacos, nutracéuticos); Medicina (células madre, ingeniería biomédica); Nanotecnología (materiales nano-estructurados, nano-electrónica, rayos láser adifraccionales); TIC's (dispositivos móviles, buscadores inteligentes, seguridad informática); Mecatrónica (diseño de productos y máquinas para la industria automotriz y aeronáutica); Medio Ambiente (energía eólica, calidad del aire y del agua, viviendas de bajo costo); Administración Pública (desarrollo regional, competitividad internacional, relaciones internacionales); Administración de Empresas (modelos de negocio, empresas familiares, ética, propiedad intelectual); y Educación (didáctica, uso de la tecnología, administración educativa).

La fecha límite de recepción de documentos es el día **25 *enero*** de manera que puedan ser considerados para publicación en la próxima edición. Les recordamos que los requisitos en formato son: formato Word, con letra Arial Narrow 11 a espacio sencillo, título en Helvética 12; si el trabajo requiere del uso de citas bibliográficas estas deberán usar el sistema MLA utilizando letra Helvética de 8 puntos. Las contribuciones podrán ser redactadas en inglés o español.

El Comité Editorial evaluará las propuestas de publicación de los artículos; estamos a sus órdenes en el correo: comiteditorial.pue@servicios.itesm.mx

Saludos cordiales,

Comité Editorial.

Contenido

INVITACIÓN…….....4

CONTENIDO……... 5

MATERIALES DEL MÉXICO ANTIGUO 6

CASOLCO, S., (PROFESOR CAMPUS PUEBLA), CUAXILOA ,D., VALDEZ, S.

VÁLVULAS PARA LA HIDROCEFALIA, "UNA NUEVA ALTERNATIVA PARALA SALUD" 13

CASOLCO, R.(PROFESOR CAMPUS PUEBLA), ALVAREZ, E, TAMAYO, A., MENDOZA,V,. SANTANA, C.

PELÍCULAS DELGADAS DE ALMGSICP CON POTENCIAL APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO.....28

CASOLCO, R.(PROFESOR CAMPUS PUEBLA), VALDEZ, S.

ZINAGIZADO: UNA ALTERNATIVA COMO PROCESO ANTICORROSIVO 39

CASOLCO, R.(PROFESOR CAMPUS PUEBLA), ZANATTA, A., VALDEZ, S.

DIRECTORIO ……...……..... ……...……45

.

Materiales del México Antiguo

Said R. Casolco[1] Daniel Cuaxiloa L.[1] S. Valdez[2]

[1]Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Puebla, Vía Atlixcáyotl 2301, C.P. 72800.
Puebla, Pue. México. srobles@itesm.mx
[2]Instituto de Ciencias Físicas. Universidad Nacional Autónoma de México,
Av. Universidad s/n, Col. Chamilpa, 062210.
Cuernavaca, Morelos, México. svaldez@fis.unam.mx

En el presente trabajo se busca dar a conocer los diversos materiales y técnicas con los cuales las antiguas civilizaciones de México satisfacían sus necesidades, desde su extracción hasta la manufactura de herramientas. Y de esta manera poner de manifiesto el grado tecnológico y el ingenio que poseían las antiguas culturas. Ya que al saber que los antiguos mexicanos desconocían el uso de diversos metales es interesante conocer que clases de materiales usaban; los cuales sustituían a metales tales como el hierro. Aun así se llego hacer uso de ciertos metales y minerales a los cuales se les dio diversos usos, se sabe esto último ya que se han encontrado minas en la región de Mesoamérica, y llama poderosamente la atención la forma de su extracción considerando que en aquella época solo se contaba con herramientas de madera para realizar dicha tarea. Después el material extraído era transformado por artesanos los cuales acumularon experiencia y técnica acumulada por sus antepasados, logrando los maravillosos vestigios con los que ahora contamos.

Obsidiana

Este vidrio volcánico es uno de los principales materiales que servía como punto de apoyo de las civilizaciones del México antiguo. Ya que con ella se fabricaban instrumentos de corte los cuales tenían su uso en el corte de fibras vegetales, maderas, plumas, raspadores.

A partir de la obsidiana se crearon otro tipo de herramientas cuya función estaba a destinada a trabajos más especializados como la cestería, carpintería, plumaria; así como herramientas para la agricultura y para la creación de productos textiles .También tenían una función ornamental con la que se hacían collares, orejeras e inclusive esculturas, las cuales se comercializaban o tenían alguna función ritual. Digno

Figura 1. Excentrico maya

de mencionar dentro de las esculturas de obsidiana son los llamados excéntricos que son piezas labradas con alguna forma muy característicos de la zona maya.

Figura 2. Macuahuitl o espada azteca

Este material era primordial en la guerra pues se ocupaba para la construcción del arsenal de las antiguas culturas, con él se construían lanzas, puntas de flechas, dardos, cuchillos y formaban las hojas de corte del conocido macuahuitl o "espada azteca". El cual es una macana de madera que tiene incrustado en sus costados obsidianas afiladas.

Para obtener las diferentes cuchillas de la obsidiana este al ser extraído de sus yacimientos se tomaban piezas llamadas núcleos, el cual facilitaba el transporte desde el punto de extracción hasta el lugar donde trabajaba el artesano. El núcleo debía tener una determinada forma que facilitara la obtención de la navaja o cuchilla.

Abrasivos

Una de las técnicas de manufactura que se usaban en el México antiguo era el uso de abrasivos con lo cual se hacía posible hacer grabados en piedra, desbastar, alisar y pulir piedras preciosas. Con esto se hacía posible desarrollar la lapidaria y las técnicas escultóricas. Dentro de los materiales que se usaban como abrasivos se encuentran: la arena, el corindón, crisoberilo, el topacio (que en su forma cristalina se utilizo como buril para grabar), pedernales, arenas negras, tierra diatomácea, hematita, y esmeriles (que sirve para desbastar chalchihuites[1]).

El uso de estos abrasivos lo comenta Geogre C. Vaillant **(Vaillant, 1979)** en su libro sobre la civilización azteca: *"Un pulimiento final, utilizando algún abrasivo como arena de agua completaba con frecuencia el proceso. Algunas piedras duras parecen haber sido desprendidas de su matriz aplicando un abrasivo y aserrando con una cuerda de cuero crudo o un instrumento de piedra más dura. Los mesoamericanos también usaron taladros tubulares de hueso y caña, y haciéndolos girar por medio de un arco y con la ayuda de un abrasivo, podían ahuecar vasos o perforar lugares que de otra manera eran inaccesibles a los torpes instrumentos de la época".* [1]

[1] El chalchihuite es una piedra semipreciosa de distintos colores.

Otras técnicas que hace usos de abrasivos se nos relata el artículo de Adolphus Langesheit **(Langesheit, 2006),** sobre los abrasivos en Mesoamérica: "*Algunos trabajos arqueológicos muestran que, durante el Preclásico Temprano (2500-1000 a.C), en Oaxaca ya se perforaban piezas de grava guijarros, que por su color, forma y tamaño resultaban atractivos para utilizarse como cuentas o pendientes para adorno personal. Esas piezas eran seleccionadas en los causes de arroyos y el trabajo de horadación y pulimiento pudo haberse realizado con esmeril o arena cuarzosa, frotada pacientemente mediante un movimiento giratorio contra la piedra con un trozo de caña o madera*". Otro uso que se le dio a los abrasivos fue para realizar trabajos de decoración en los dientes ya que se buscaba desgastar las piezas dentales con la finalidad de hacer una incrustación de una piedra preciosa. Este proceso se nos describe más a fondo en la siguiente cita **(Tiesler, Ramírez Salomon, Oliva, 2001)**: "Se piensa que para el limado prehispánico se empleaban piedras cortantes y abrasivas, tal como ya nos señala Fray Diego de Landa. Una representación del procedimiento se observa en un mural de Tepantitla, Teotihuacán, al que se designó el nombre del *Tlalocan*. La escena parece corroborar la observación del fraile al mostrar la introducción de una piedra en la boca del paciente… Una vez terminada la cavidad circular, se procedía a colocar los materiales a incrustar, un trabajo un tanto minucioso, ya que implicaba un ajuste preciso de la piedra que habría que incrustarse y la fijación de la misma con pegamentos. Naturalmente, todos estos procedimientos requerían un alto grado de destreza y conocimiento anatómico por parte de los practicantes, por lo que pensamos que estaban a cargo de artesanos altamente especializados, familiarizados con los trabajos de concha y de piedra semi-preciosa".

Figura 3. Escultura olmeca donde se muestra el uso de abrasivos para realizar los grabados en la piedra

Minería

Por lo general las herramientas de metal no se asocian con el México antiguo, con lo cual se considera que la minería es una actividad que se comenzó después del contacto que tuvieron las antiguas culturas con los europeos. Sin embargo hoy sabemos gracias a

descubrimientos arqueológicos que la minería en el continente americano lleva mucho más tiempo del que se piensa. Inclusive se tiene conocimiento de ello desde que tuvieron comienzo las investigaciones de Alejandro de Humboldt en nuestro país, quien comenta **(Portilla, 2003):** *"Mucho tiempo antes de la llegada de los españoles conocían los indígenas de México, así como los de Perú, el uso de varios metales… Emprendían también obras subterráneas para beneficiar las vetas; sabían abrir galerías y pozos o tiros de comunicación y ventilación y tenían instrumentos a propósito para cortar las rocas. Los pueblos aztecas sacaban antes de la conquista el plomo y estaño de las vetas de Taxco, al norte de Chilpancingo y en Ixmiquilpan; y el cinabrio, que servía de color a los pintores, de las minas de Chilapan. El cobre era el metal más comúnmente usado… y [procedía] de las montañas de Zacatollan y de Cohuixco…"* Y una de esas minas que se construyeron en aquel tiempo se encuentra en Soyatal en la sierra de Querétaro, en donde se iniciaron investigaciones arqueológicas en el año de 1969. En el libro Toltecayotl de Miguel León Portilla nos comenta este descubrimiento **(Portilla, 2003)** : *"Un primer reconocimiento arqueológico reveló ya que en una amplia zona de la cañada de Soyatal se localizaban varios centenares de antiguas bocaminas. Más precisas investigación confirmaron luego que se trataba de un área de intensa explotación minera de origen prehispánico. De esas minas se obtenía sobretodo cinabrio… en resumen, que pobladores prehispánicos habían excavado allí socavones, pozos galerías estrechas y aun grandes "salones" para obtener con instrumentos líticos el mencionando mineral de cinabrio (protosulfuro de mercurio) y probablemente otros como la calcita (carbonato cálcico). El estudio de fragmentos de cerámica y de objetos con material orgánico, procedentes de algunas de esas numerosas minas prehispánicas mostró, además, que los trabajos indígenas se habían proseguido allí a través de varios siglos. "Por una parte la presencia de cerámica negra olmecoide lleva a pensar en una etapa de iniciación minera a partir de los siglos III o IV a.C. Por otra, las muestras analizadas por el método de carbono 14 han sido datados con sus correspondientes márgenes de aproximación, desde los principios de la era cristiana hasta el siglo VI d.c."*

Figura 4. Ejemplo mina prehispánica

Este es un ejemplo de cómo los antiguos consiguieron metales como el oro y la plata cuyos nombres en lengua Náhuatl son teocuitaltl e

iztacteocuitatl respectivamente y cuyo curioso significado para el oro es "residuo de Dios" y para la plata "residuo blanco de Dios. "Con ello nos damos cuenta del respeto y admiración que tenían los antiguos pueblos tenían por sus dioses considerando cosa preciosa inclusive hasta sus desechos. Para la obtención de estos metales sabemos que utilizaban martillos de piedras o de diorita o de andesita los cuales tenían mangos de madera con lo cual creaban los pozos y las galerías. Y para desmenuzar las piedras se usaban diversos tipos de morteros de piedra, otras herramientas estaba hechas de huesos para obtener metales más puros; además de otras herramientas tales como herramientas de barro, navajones de obsidiana y cuñas de madera. Para la iluminación de las minas los trabajos arqueológicos demuestran que se usaban teas de ocote y fibras vegetales recubiertas de resina y para la extracción de los minerales fuera de la mina se utilizaban bateas de barro, canastos y cuerdas. Con todos estos elementos presentes característicos de la minería se pudo desarrollar después la metalurgia.

Metalurgia

Se dice que esta actividad comenzó en el siglo X durante la época de los toltecas probablemente traída de una región de Sudamérica. Los metales con los que trabajaban los antiguos mexicanos eran el oro, la plata, el cobre, el estaño, el plomo y el mercurio. Y citando nuevamente a George C. Vaillant **(Vaillant, 1979)** que describe como trabajaban estos metales en cuanto a su fundición: *"El cobre se batía en frío: el arte de las amalgamas para hacer bronce no había llegado a México desde el sur; pero los orfebres mexicanos usaron el dorado del cobre y la mezcla de este metal con el oro. El cobre se fundía en campanas y adornos siguiendo el procedimiento de la cera perdida, que también se usaba para el oro. La forma que se deseaba obtener se modelaba en arcilla sobre la cual se ponía polvo fino de carbón vegetal y después una capa uniforme de cera. Este revestimiento también era espolvoreado con carbón vegetal y todo ello se cubría de barro y se perforaba en la parte superior y en la base. El metal fundido se vaciaba por el agujero superior después de que se fundía la cera y que se tapaba el orificio inferior. Una vez frio el metal se rompía el se sacaba el objeto ya terminado… Los hornos de fundición se calentaban con carbón vegetal y se alimentaban con aire impelido por el hombre que soplaba el fuego a través de un tubo"*. Con el uso de de estos hornos las antiguas culturas fueron de capaces de lograr aleaciones, con la cuales creaban diversas herramientas este proceso nos lo describe Dorada Grinberg en su

artículo de la metalurgia en Mesoamérica **(Ginberg, 1993)**: *"En Mesoamérica hay culturas como la purépecha, que prefirieron fabricar los objetos utilitarios en metal. En estos casos es bien diferenciado el uso del cobre para la elaboración de objetos de adorno, mientras que preferían del bronce para fabricar herramientas. Algunas pinzas para depilar de esta zona, que frecuentemente se piensa que se fabricaban en plata, son de cobre de alto estaño. También encontramos, analizando trozos de alambre provenientes de las excavaciones de Tzin-Tzun-Tzan, que un alambre fue fabricado de una aleación cobre-cinc, cosa que era inusual. Sin embargo, revisándolos análisis disponibles de de otras partes de Mesoamérica, encontramos otros pocos casos en América del sur. Sin duda, los pobladores de Mesoamérica, en su conjunto, sabían elaborar una serie de aleaciones entre las que destacaban las aleaciones binarias de plata-cobre, cobre estaño (bronces al estaño), cobre-arsénico (bronces arsenicales), cobre- antimonio (bronces al antimonio), cobre-plomo (cobre al plomo) y cobre-cinc (latón), mientras que la aleación oro plata es una aleación que se encuentra en estado nativo. De las aleaciones ternarias conocían las de oro-plata-cobre (tumbagas) y de cobres-estaño-arsénico".*

Con lo aquí expuesto se puede comprobar la suma de conocimientos que lograron recabar las antiguas civilizaciones durante mucho tiempo atrás como se ha visto probablemente desde el año cuatro mil a.C. Que permiten ver con otros ojos el pasado mexicano y su vasto conocimiento sobre el comportamiento de los materiales ya aquí mencionados. Con ello se puede concluir que la historia da muchos ejemplos del ingenio de los antepasados mexicanos. Y es con ello, con la ayuda de la herencia de aquellos tiempos, que el trabajo mexicano es reconocido en todo el mundo.

Figura 5. Artesano realizando fundición

En la actualidad, el mexicano debe de valorar todas las herramientas que su país le proporciona, tanto los conocimientos en las diferentes áreas como la tecnología que ahí se produce y así poder impulsar el desarrollo de la ingeniería en sus diferentes ramas, como por ejemplo en la mecánica y la mecatrónica.

Bibliografía

Leon Portilla Miguel, ***"Toltecayotl aspectos de la cultura náhuatl"*** Ed. Fondo de Cultura Económica. Mexico 2003.

Vaillant C George. ***"La civilización azteca"*** Ed. Fondo de cultura económica. México 1977.

Pastrana Alejandro (2006) La obsidiana en Mesoamérica. ***Arqueología mexicana***, Vol. XIV, No. 80, p.49-54.

Langescheidt Adolphus, (2006) Los abrasivos en Mesoamérica. ***Arqueología mexicana***, Vol. XIV, No. 80, p.55-60.

Bibliografía electrónica

De Grinberg M.K Dora, (1993,29 enero) *"La metalurgia en Mesoamérica"*, http://www.ejournal.unam.mx/cns/no29/CNS02904.pdf

Tiesler Vera, Ramirez Solomon, Oliva Arias, (1990, 19 de junio) "*Técnicas de decoración dental peninsular antes y después de la conquista española. Una mirada transdisciplinaria"*
http://www.antropologia.uady.mx/arqueologia/mutilacion.html

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento aportado por los proyectos UNAM-PAPIIT INI05708 y CONACyT 89981 respectivamente, y al SNI-CONACyT. Así como la colaboración técnica de: A. L. Tamayo-Huerta. Por su apoyo en la edición a: Madeleine H. Luría y Miguel Toledo-Cervantes.

Válvulas para la Hidrocefalia, "Una Nueva Alternativa para la Salud"

Said R. Casolco. srobles@itesm.mx. Erick G. Álvarez G. tavo_gus7@hotmail.com
A. L. Tamayo Huerta ana_710dr@hotmail.com . Yenisey Mendoza Martínez ymmtz_0309@hotmail.com
Carlos Santana Velázquez racsol_15@hotmail.com
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Puebla, Vía Atlixcáyotl 2301, C.P. 72800.
Puebla, Pue. México. srobles@itesm.mx

Introducción

En la actualidad sabemos que la hidrocefalia en México se presenta en 1.4 casos de cada 1,000 nacimientos. (Valdés JM, Blanco ME, Kofman S. 1997. p. 17). Pero, ¿Qué es la hidrocefalia?, ¿Qué la causa?, ¿Cómo podemos contrarrestar el problema?, ¿Y la ciencia de los materiales que tiene que ver aquí?, ¿Cómo es que un ingeniero puede resolver un problema de salud como este?; estas y muchas preguntas más seguramente nos vienen a la mente y todas y cada una tiene una respuesta.

Para Comenzar…

La anatomía de cabeza es indispensable para poder entender cómo es que se da esta patología. Por tal motivo se dará una breve explicación de la misma.
La cabeza, articulada hacia abajo con la primera vértebra cervical, está constituida por dos partes: el neurocráneo, caja ósea que contiene y protege al encéfalo, y el viscerocráneo, que aloja la mayor parte de los órganos de los sentidos y brinda apoyo a los órganos de la masticación.
Para los fines perseguidos con la investigación sólo se describirán los hueso del neurocráneo; El neurocráneo está formado por ocho huesos, de los cuales cuatro son impares: el frontal, el etmoides, el esfenoides y el occipital y cuatro son pares: los parietales y los temporales. Estos huesos se denominan huesos planos. Están cubiertos por fuera por un periostio delgado tapizado por dentro por la duramadre (membrana meníngea). Están formados por dos láminas de tejido óseo compacto denominadas tablas externa e interna, entre las que se encuentra una capa de tejido esponjoso, de espesor variable, llamada diploe.

Descripción breve de huesos:

- **Hueso frontal**: Hueso único, mediano y simétrico que ocupa la parte más anterior del cráneo. Está situado por delante de los parietales, del etmoides y del esfenoides. Cierra la parte anterior de la cavidad craneal. Se articula por abajo con el etmoides, los huesos nasales, los huesos cigomáticos, los lagrimales y los maxilares.

  Contribuye a unir el esqueleto del neurocráneo con el viscerocráneo.
  Entre los 40 y 50 días de la vida intrauterina, aparecen dos puntos primitivos en las arcadas orbitarias que irradian hacia las porciones horizontal y vertical del hueso. En el nacimiento, el hueso se presenta dividido en dos porciones por la sutura metópica, que aproximadamente a la edad de 10 años desaparece por completo. Se describen además tres puntos de osificación secundarios para cada lado. El desarrollo de los senos frontales se produce siempre después del nacimiento y se relacionan con la función respiratoria.

- **Hueso parietal**: Hueso par, situado detrás del frontal, por encima de temporal y por delante del occipital. Ocupa la porción laterosuperior de la calbaria.

  Se efectúa a expensas del cráneo membranoso sin esbozo cartilaginoso. A partir del 45° día de vida intrauterina, aparece un punto de osificación que irradia en todos los sentidos y permanece separado de los puntos vecinos por los espacios membranosos, cada vez más exiguos, que en el nacimiento constituirán las fontanelas.

- **Hueso occipital**: Hueso único, mediano y simétrico, que corresponde a la parte posterior-inferior del cráneo.

La parte superior de la escama del occipital se desarrolla a partir de un esbozo membranoso. La parte inferior, por el contrario, posee un esbozo cartilaginoso en el cual aparecen los puntos de osificación que son:

1. El basioccipital, único y mediano, dispuesto alrededor del foramen magno.

2. Los exooccipitales, a ambos lados del foramen magno.

3. El supraoccipital, situado entre el basiooccipital y el esbozo membranoso, es el más precoz de los huesos del cráneo. La zona de unión con la porción membranosa permanece elástica durante bastante tiempo, con el cual favorece el parto de presentación cefálica.

4. El interparietal, par, se suelda rápidamente a la línea mediana, lateral en relación con el supraoccipital.

- **Hueso temporal**: Hueso par, situado en la parte lateral, media e inferior del cráneo, contiene el órgano vestibulococlear. Su forma varía con la edad. En el feto y en el recién nacido se pueden identificar tres piezas óseas diferentes: la porción escamosa, lámina delgada de contorno semicircular, que se encuentra por arriba y lateralmente; la porción timpánica, situada por debajo de la precedente con forma de semicanal abierto hacia arriba, y la porción petrosa, situada por detrás, abajo y medial a las otras dos y que se desarrolla hacia adelante y hacia la línea media en forma de pirámide, dirigida al centro de la base del cráneo.

  En cambio, en el adulto, estas tres partes se encuentran soldadas. El hueso forma un bloque único, con una parte intracraneal que contiene numerosos conductos y cavidades.
  El proceso general de osificación del hueso temporal comienza a nivel de 4 porciones diferentes:

  1. Porción escamosa: posee tres puntos de osificación que aparecen a partir de la cuarta semana.

  2. Porción petrosa: comienza su osificación a partir del 4° mes. No existe unanimidad de opiniones acerca del número de punto s de osificación, los que, según algunos autores, llegarían a ser diecisiete.

  3. Porción timpánica: este pequeño círculo óseo se osifica a partir del 5° mes por tres puntos dispuestos a los largo del semicírculo inicial.

  4. Apófisis estiloides: se desarrolla a expensas del 2° arco branquial, se osifica tarde, aproximadamente durante el 8° año de vida.

  La soldadura de estos diferentes puntos comienza antes del nacimiento y se encuentra muy avanzada hacia la edad de 1 o 2 años. La apófisis estiloides se suelda al resto del temporal a los 12 años.

- **Hueso esfenoides**: hueso impar, mediano y simétrico, situado como uan cuña en la base del cráneo, entre los huesos que lo rodean. Está formado por láminas de tejido compacto que limitan cavidades o senos esfenoidales. Situados por debajo de la silla turca y del surco prequiasmático, se encuentra separados entre si por el tabique intersinusal esfenoida; ambos senos se abren en el receso esfenoetmoidal de ambas cavidades nasales. El resto del hueso está formado por tejido compacto, excepto en la base de las apófisis pterigoideas y en la parte más espesa de las alas mayores, donde se encuentran trazas de tejido esponjoso.

Los centros de osificación aparecen entre el 3° y el 7° mes de la vida intrauterina. Primitivamente, el esfenoides está constituido por cuatro piezas: el preesfenoides, el basiesfenoides y dos conchas esfenoidales (cornetes de Bertin).

1. Preesfenoides: se origina a partir de cuatro puntos de osificación, dos para la parte anterior del cuerpo y dos para las alas menores.

2. Basiesfenoides: ocho puntos de osificación lo originan: dos para la parte posterior del cuerpo; otros dos, uno a cada lado, las alas mayores y las láminas laterales de las apófisis pterigoides, las láminas mediales de las apófisis pterogoides tienen su origen cada una por centro; por último, los canales carotideos se desarrollan por otros dos centros.

3. Conchas esfenoidales: se originan de dos centros anteriores; posteriormente, se sueldan a la parte anteroinferior del cuerpo. Algunos autores adicionan las conchas esfenoidales al hueso etmoides.

La fusión entre el preesfenoides y el basiesfenoides queda incompleta en la parte inferior del hueso, donde persiste un verdadero cartílago de conjunción. Atrás, el basiesfenoides permanece durante un tiempo separado del basioccipital por un cartílago de crecimiento.

- **Hueso etmoides**: hueso único, mediano, simétrico, se halla situado por delante del esfenoides y por detrás de la escotadura etmoidal del hueso frontal. Contribuye a la formación de las cavidades orbitarias y nasales.

El etmoides presenta cuatro puntos de osificación:

1. Dos laterales, para los laberintos etmoidales, a partir de los cuales emergen trabéculas óseas que van a circunscribir las celdillas etmoidales, desarrollándose los cornetes nasales.

2. Dos mediales, mucho más tardíos (en el momento del nacimiento), que invaden poco a poco la membrana fibrosa que une los laberintos etmoidales, se los encuentra en el origen de la apófisis crista galli, de la lámina cribosa y de la lámina perpendicular. Completamente osificado alrededor del 5° o 6° año, el etmoides permanece mucho tiempo separado del vómer por una lámina cartilaginosa.

Del mismo modo se tiene que entender la anatomía del Líquido Cefalorraquídeo y de los ventrículos del cerebro.

Ventrículos cerebrales

Los ventrículos cerebrales son cavidades del cerebro que representan los resabios de las vesículas cerebrales primitivas. Están tapizados por epéndimo y alojan a los plexos coroideos. Éstos constituyen la fuente del líquido cefalorraquídeo que se encuentra en los ventrículos del cerebro.

Existen tres ventrículos cerebrales: dos ventrículos laterales, uno en cada hemisferio cerebral, y un tercer ventrículo, medio. Cada ventrículo lateral se comunica con el tercer ventrículo por el foramen interventricular. El tercer ventrículo se comunica abajo y atrás, por medio del acueducto del mesencéfalo, con el cuarto ventrículo.

- **Ventrículos laterales**: Cada uno de ellos presenta tres prolongaciones o astas:

1. Asta frontal: es la porción del ventrículo lateral que se encuentra desde la rodilla del cuerpo calloso hasta el foramen interventricular. Por detrás de éste y hasta el extremo posterior del tálamo encontramos la porción central del ventrículo lateral.

2. Asta temporal: en el extremo posterior del tálamo, la cavidad ventricular cambia bruscamente de dirección y se dirige hacia abajo, en sentido lateral y hacia adelante para terminar en el polo anterior del lóbulo temporal. El ventrículo rodea al extremo posterior del tálamo y la cara inferior del núcleo caudado.

3. Asta occipital: la cavidad ventricular también envía hacia el polo posterior del hemisferio un divertículo horizontal y curvilíneo que parece prologar hacia atrás su dirección permitida.

Las tres porciones precedentes se reúnen en la parte posterior del tálamo en una región común: el atrio del ventrículo lateral. Los ventrículos laterales están situados a ambos lados de la línea mediana, pero su posición no es exactamente sagital, pues la parte anterior del asta frontal se dirige hacia abajo y medialmente hacia la línea anterior queda a unos 4 cm de la línea mediana.

- **Tercer ventrículo**: es la cavidad impar y mediana del diencéfalo, situado en el centro del cerebro entre ambos tálamos, por debajo del cuerpo calloso y de la tela coroidea superior y por encima de la región del hipotálamo.

  Alargado de adelante hacia atrás, se comunica arriba y adelante con los ventrículos laterales por intermedio de los forámenes interventriculares y atrás con el cuarto ventrículo por el acueducto del mesencéfalo. Es una cavidad infundibular muy estrecha.

Plexos coroideos de los ventrículos cerebrales

Son formaciones vasculares desarrolladas a expensas de la piamadre que se invagina, sea en el tercer ventrículo o en los ventrículos laterales. Existen formaciones análogas en el cuarto ventrículo. Los plexos coroideos de los ventrículos cerebrales aparecen en los lugares donde la piamadre y la membrana del epéndimo están en contacto, formando la tela coroidea. Son topográficamente intraventriculares, pero la membrana del epéndimo, que los tapiza, los separa siempre de la cavidad ventricular propiamente dicha.

Anatomía funcional del Líquido Cefalorraquídeo

El líquido cefalorraquídeo es un líquido claro ("cristal de roca"), contenido en los ventrículos encefálicos y en los espacios subaracnoideos, craneales y medulares. Se origina por un proceso de filtración a través de la membrana ependimaria de los ventrículos, a partir de los plexos coroideos.

Sale de los ventrículos por las aberturas lateral (de Luschka) y mediana (de Magendiel), situadas en la tela ependimaria del cuarto ventrículo.

Se expande por el conjunto de los espacios subaracnoideos, donde circula bajo la influencia del peso, de las pulsaciones de la masa encefálica, así como de la presión suscitada por su secreción.

En los espacios subaracnoides existe una presión de 20 a 30 cm de agua. Ésta se modifica por la altitud, el esfuerzo, la respiración, la presión venosa, etc.

El líquido cefalorraquídeo es reabsorbido por el sistema venoso, a nivel de las granulaciones aracnoideas (de Pachioni). Se estima que también filtra a lo largo de las vainas de los nervios craneales y espinales.

Hidrocefalia

El término hidrocefalia proviene del griego *"Hidro"* que significa agua y *"Céfalo"* que significa cabeza. (National Institute of Neoulogical Disorders and Strocke., 2010).

La hidrocefalia se caracteriza por un aumento del volumen del LCR (líquido cefalorraquídeo) con dilatación de los ventrículos cerebrales, esta dilatación ocasiona una presión potencialmente perjudicial en los tejidos del cerebro y a su vez sufrimiento para el mismo.

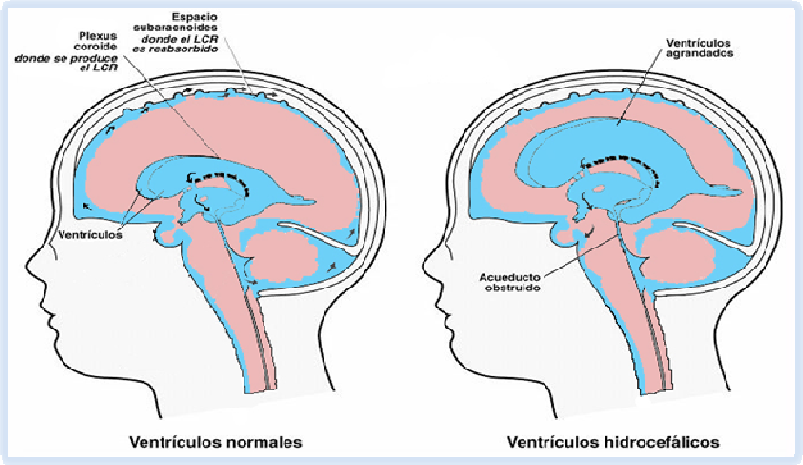


Figura 1. Ilustración de un cerebro con problema de hidrocefalia.

Figura 2. TAC cerebral. Marcada dilatación ventricular y ensanchamiento de los surcos corticales como expresión de una hidrocefalia *ex vacuo* en una mujer de 64 años con demencia

La hidrocefalia puede producirse: cuando la cantidad de **LCR** que se produce es mucha, cuando hay una obstrucción en la circulación del **LCR** y cuando no se "elimina" todo el líquido que se produce.

La lista que sigue ofrece una clasificación de los distintos tipos de hidrocefalia:

Hidrocefalia obstructiva
- Lesiones de masa
- Malformaciones congénitas
- Hidrocefalia postinflamatoria posthemorrágica

Hidrocefalia de presión normal

Hidrocefalia comunicante
- Hiperroducción de LCR
- Absorción defectuosa de LCR
- Drenaje venoso insuficiente

Hidrocefalia *ex vacuo*

Cuando no existen signos y síntomas clínicos de hipertensión intracraneal hablamos de hidrocefalia oculta.

La hidrocefalia es activa cuando el trastorno tiene un carácter progresivo se manifiesta un aumento de la presión intracraneal; por el contrario es etenida en aquellos casos en los que se interrumpe la dilatación ventricular.

Hidrocefalia obstructiva. La hidrocefalia obstructiva es la forma de hidrocefalia ejor conocida y más frecuente. Se produce tras la obstrucción de las vías intraventriculares o extraventriculares; n el primer

caso, el punto de la obstrucción determina una dilatación proximal con conservación del tamaño ventricular normal distalmente al bloqueo.
La obstrucción puede producirse en el agujero de Monro, en el tercer ventrículo, en el acueducto de Silvio, en el cuarto ventrículo o en la salida de los agujeros de Luschka o Magendie.
La hidrocefalia obstructiva se debe a malformaciones congénitas o lesiones del desarrollo, fibrosis postinflamatoria o posthemorrágicao lesiones de masa.

Malformaciones congénitas o lesiones del desarrollo. La hidrocefalia congénitase produce con uan incidencia de 0,5 a 1,8 casos por mil nacidos y puede responder a causas genéticas o no genéticas. Entre las causas no genéticas más frecuentes destacan la infección intrauterina la hemorragia intracraneal secundaria a traumas de parto o prematuridad y la meningitis. Genéticamente se ha descrito también una hidrocefalia ligada al cromosoma X. En la mayoría de esos casos se documenta por medio de radiografías, o en el curso de un estudio ecrópsico una estenosis acueductal, de la hidrocefalia de tipo anatómico no determinado del síndrome de Dandy-Walker.

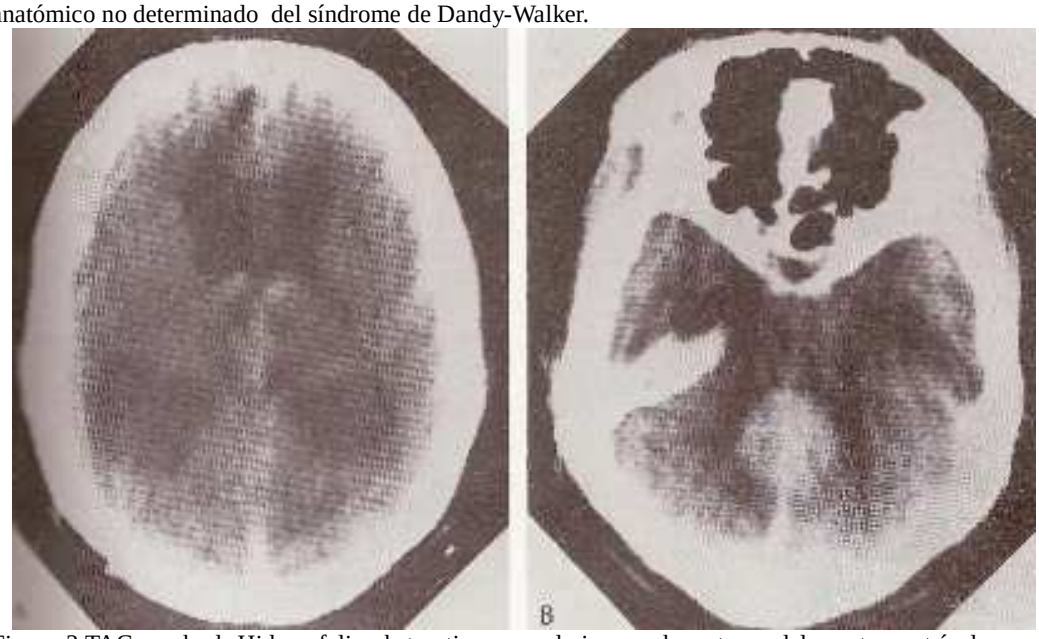


Figura 3.TAC cerebral. Hidrocefalia obstructiva secundaria a un hematoma del cuarto ventrículo en un mujer hipertensa de 79 años de edad.

Hidrocefalia comunicante. Cuando no puede documentarse una alteración del flujo de LCR intraventricular ni extraventricular hay que pensar en otros tres mecanismos capaces de producir hidrocefalia: la hipersecreción de LCR, la insuficiencia venosa y la absorción defectuosa de LCR por las vellosidades aracnoideas.
Cuando existe hipersecreción, la capacidad absortiva el espacio subaracnoideo se muestra aproximadamente tres veces superior a la tasa de formación normal de LCR que es de 0,35 ml/min; con tasas de formación superiores a 1ml/min, puede aparecer hidrocefalia.

Figura 4. TAC cerebral. Hidrocefalia comunicante en un niño de 7 meses de edad.

Hidrocefalia de presión normal. La HPN al ser una causa potencialmente tratable de demencia, ha suscitado un gran interés. Éste síndrome fue descrito por primera vez en 1964 como una forma oculta de hidrocefalia.

La ausencia de papiledema con presión normal en el LCR en la punción lumbar hizo que se acuñara un nuevo término: *hidrocefalia de presión normal*.
Ahora bien, existen varios tratamientos que pueden aplicarse a alguien con dicho padecimiento, todos ellos quirúrgicos. El primero de ellos consiste en derivaciones ventrículo peritoneales o ventrículo auriculares para drenar el exceso de **LRC** a la cavidad peritoneal donde se reabsorbe o a la aurícula derecha para su recirculación.

También son eficaces las derivaciones intra craneanas comunicando el tercer ventrículo a las cisternas de la base por endoscopia en hidrocefalias obstructivas, cada vez con mejores resultados.(National Institute of Neoulogical Disorders and Stroke., 2010).
En esta ocasión nos atiende la primera optativa, ya que es ahí donde entra el ingeniero. Cuando se lleva a cabo las derivaciones ventrículo peritoneales o ventrículo auriculares se debe hacer el inserto de una pequeña válvula que ayude a drenar el LRC.

Esta válvula debe de ser diseñada con estricto cuidado, ya que no solo se debe pensar en el óptimo funcionamiento del diseño, sino también en las limitaciones que se tienen para hacer el mismo, como lo es el tamaño y los materiales a utilizar entre otros.

El funcionamiento y la estructura de las válvulas que existen es básicamente el mismo. Cada válvula consta de 3 partes, como se muestra en la figura.

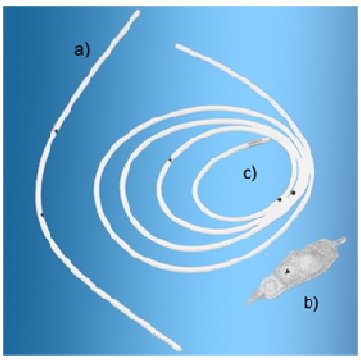


Figura 5. Partes esenciales de una válvula para hidrocefalia

a) Catéter ventricular: que es el que se coloca dentro del cerebro donde se presenta la obstrucción.
b) Reservorio o bomba: que es la encargada de drenar el líquido.
c) Catéter distal: que es el encargado de llevar este líquido desde el cerebro hasta la parte donde será absorbido.

Todas las piezas van al interior del cuerpo, ninguna esta por fuera. (Figura 6)

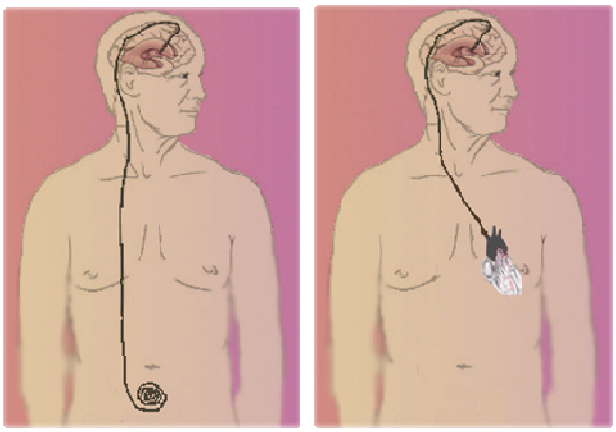
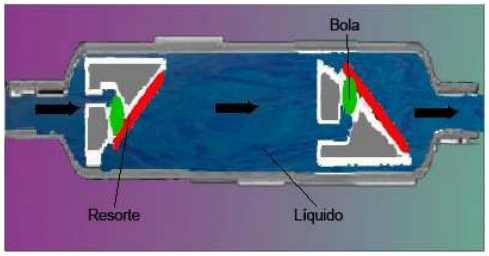


Figura 6. Esquema de las derivaciones ventrículo peritoneales y ventrículo auriculares.

Tipos de Válvulas

En la actualidad existen más de 200 válvulas, cada una con sus diferentes derivados. En esta ocasión haremos referencia a 9 válvulas, especificando su funcionamiento. Y nos centraremos en las características del último diseño por ser ésta un modelo propio.

1. Válvula de Cono-Bola.



Este dispositivo cuenta con dos puntos de regulación, un de entrada y otro de salida. En la figura en rojo se muestra un resorte que es le que presiona la bola en color verde, la fuerza que aplica el resorte sobre la pequeña bola se debe a la presión del líquido en la apertura. (figura 7)

)

Figura 7. Válvula de cono-bola

2. Válvula de Apertura Distal.

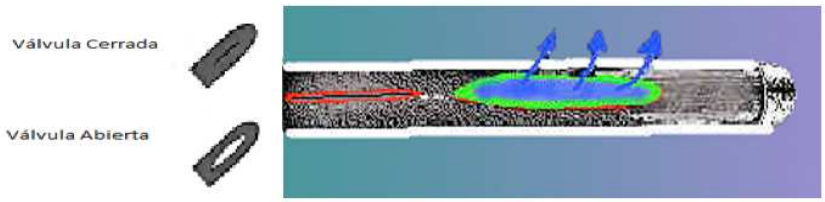


Figura 8. Válvula de apertura Distal

Este dispositivo contiene liquido de manera permanente, cuando esta se llena, la misma presión del líquido LCR hace que el pequeño corte lateral se expanda y permita la salida del mismo. Por otra parte el dispositivo permanecerá cerrado por falta de presión como se muestra en la figura 8.

3. Válvula de apertura proximal

Este tipo de membrana funciona de manera similar a la anterior. A una presión baja la salida de la válvula (1), se encuentra cerrada, pero al aumentar la presión esta se abre (2) permitiendo el paso de líquido. (figura 9)

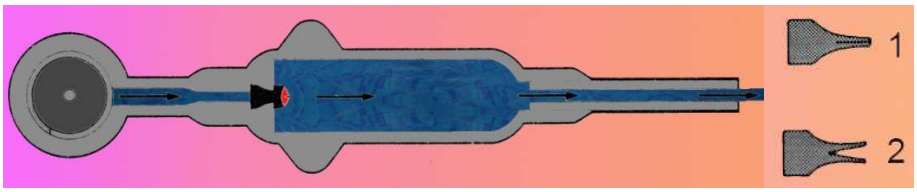


Figura 9. Válvula de apertura

La construcción de estas válvulas significo un gran avance para disminuir los efectos que ocasiona esta enfermedad pero el problema principal radica en el diseño, ya que estaban construidas sin tener en cuenta

la posición del cuerpo en el espacio, lo cual conducía al hiperdrenaje del líquido en bipedestación, que es lacapacidad de locomoción y el mantenerse parado en ambos pies, propia de los seres humanos y de algunos animales (Camargo, 2009) . Conociendo el problema principal de estas válvulas se comenzó con el desarrollo de las válvulas hidrostáticas con el fin de prevenir el efecto sifón que ocasionaban los primeros diseños de válvulas.

4. Válvula Gravitacional.

Este dispositivo se muestra en la figura 10a cuando el paciente está en posición vertical y el dispositivo está cerrado, mientras que en figura 10b se muestra al paciente en posición horizontal donde las esferas dejan pasar el líquido **LCR** y este se drena.

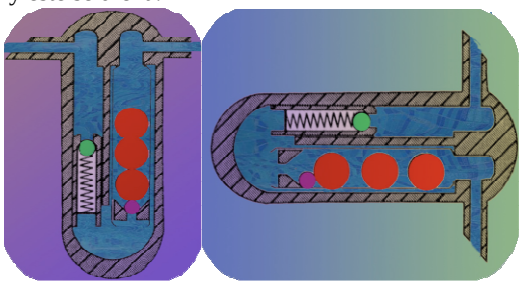
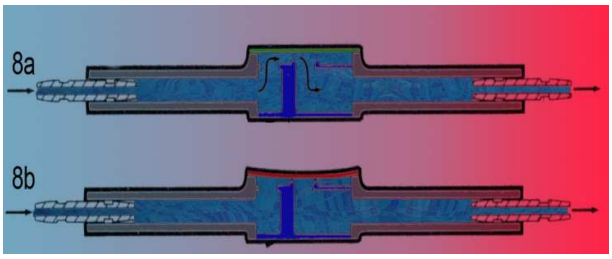


Figura 10a. Válvula gravitacional en posición vertical

Figura 10b. Válvula gravitacional en posición horizontal

5. Válvula Antisifón



Este dispositivo también funciona gracias a una membrana deformable y la presión del líquido LCR. Cuando este entra y la presión es suficiente como para deformar dicha membrana (figura 11a) esta se deforma y permite el paso del líquido para que este se drene. Cuando la presión no es suficiente esta permanecerá cerrado (figura 11b).

Figura 11. Válvula anti sifón

6. Válvulas de Membrana

Esta funciona principalmente por el aumento de la presión en la cabina principal. El sistema (figura 12) está dado por una membrana hecha de silicona, la cual es un polímero sintético, se caracteriza por su gran resistencia a la deformación por compresión y por sus propiedades elásticas. (Raholin SRL, 2010). Esta normalmente se encuentra en contacto temporal con el plástico e impide la circulación del líquido.
El paso del líquido se debe a que la membrana, a una determinada presión, se deforma (líneas punteadas) y permite el flujo del líquido.

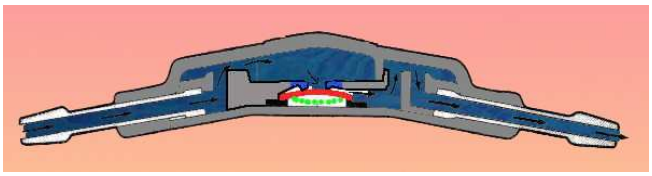


Figura 12. Válvula de Membrana

El problema con este tipo de válvula es que la silicona, con el tiempo, va perdiendo sus propiedades por las deformaciones a las que se encuentra sometida.

7. Válvulas Hidrostáticas Gravitacionales de Switch.

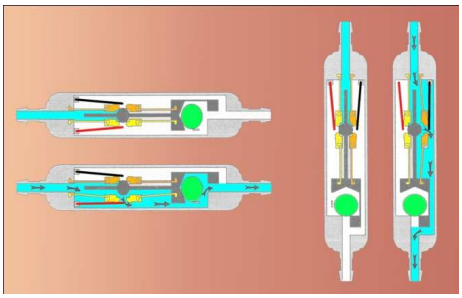
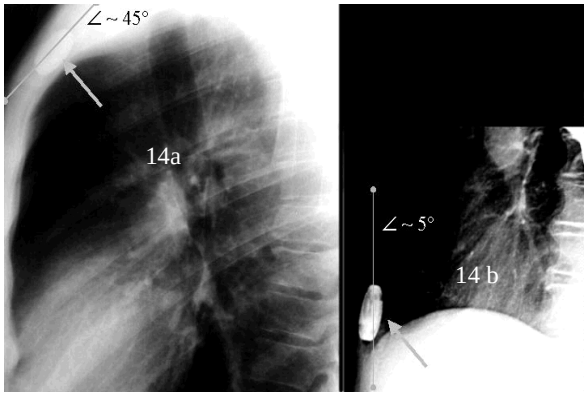


Figura 13. Válvula Hidrostatica gravitacional de switch

Figura 14. Diversas posiciones de la válvula de



Este tipo de válvulas funcionan de manera similar a las válvulas de membrana, ya que es por el aumento de presión que operan (figura 12). Para construir este diseño se tomaron en cuenta dos posiciones distintas, una horizontal y la otra vertical. En la figura 14a se muestra un implante a 45^0, con lo cual se obtiene un resultado no deseado, descartando esta posición. Mientras que en la figura 14b se muestran un posicionamiento casi ideal.

8. Válvulas programables

Este es un sistema que tiene la peculiaridad de ser programado dependiendo de las condiciones y necesidades de cada paciente.
Esta, a través de un campo magnético, puede variar la presión con la que el resorte (rojo) presiona la bola (Verde).

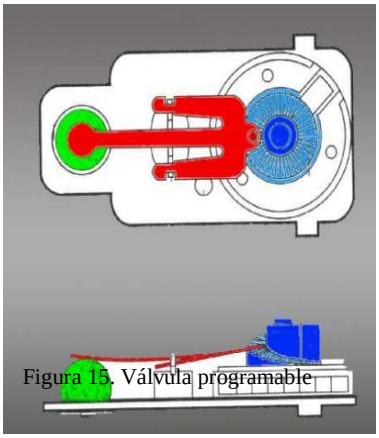


Figura 15. Válvula programable

Esta válvula (figura 12) requiere ser regulada para derivar el líquido necesario en cada paciente. Para ello se utilizan válvulas programables que suelen tener hasta 18 posiciones para ajustar la presión a la necesidad de cada paciente. Como se mencionó, este ajuste solía requerir otra cirugía, pero en la actualidad se realiza de forma no invasiva con las válvulas programables (Sales Llopis, 2010). El médico puede realizar el ajuste simplemente colocando un sistema especial con imanes sobre la cabeza del paciente y así proceder a la programación.

En nuestro país…

En nuestro país, México, existen dos patentes registradas de válvulas para combatir el problema de la hidrocefalia.
El primer caso son "***Las Mejoras a una válvula de derivación ventricular, para drenaje del liquido cefalorraquídeo en la hidrocefalia.***"(Patentes online, 2009).

Esta mejora fue realizada por Luis Sáenz Arrollo, en 1988. Esta mejora se enfoca en una válvula de derivación ventricular, para drenaje del líquido cefalorraquídeo en la hidrocefalia, formado por un dispositivo de retención que obstruye el orificio de succión del cerebro durante la impelencia y en cambio, permite el flujo del líquido cefalorraquídeo durante la succión, caracterizado porque comprende un dispositivo de retención unidireccional alojado en forma independiente en una cámara cilíndrica y protegido por una copa rígida la cual se aloja sobre una cúpula-base; la parte central de esta copa remata en una cámara en forma de casquillo cilíndrico atravesada por un orificio el cual comunica con una cámara superior; la parte inferior de esta cámara está en comunicación directa con el cerebro conteniendo una oblea de retención en su interior; alrededor del orificio descrito se proyectan hacia abajo tres dientes posicionados a 120° entre sí.

Por otra parte existe también "***El Dispositivo de derivación ventrículo-peritoneal para el tratamiento de la hidrocefalia."***

Este invento fue realizado por Julio Everardo Sotelo Morales, en 1997. Su invención se refiere a un dispositivo de derivación ventrículo-peritoneal para el tratamiento de la hidrocefalia en humanos, caracterizado por estar exento de mecanismo valvular y funcionar a base de flujo continuo. A través de un catéter en Tygon (grado médico) expresamente para este dispositivo con las siguientes dimensiones: Longitud 900 mm; diámetro interior de 0.432 mm. El extremo proximal de este catéter se encuentra insertado en el interior de un conector en forma de L que se conecta a un catéter ventricular con punta de teflón. (Patentes Online. 2009).

Ingeniería de los Materiales

Biomateriales

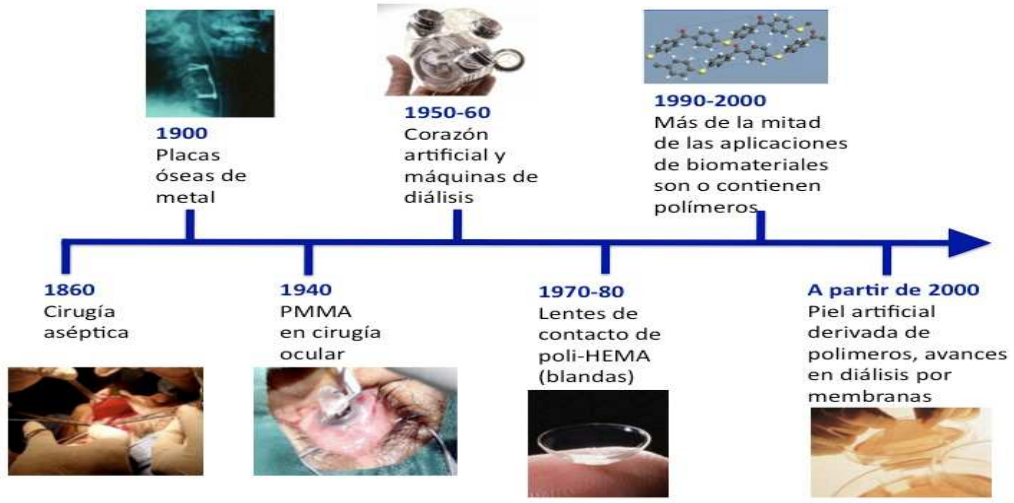
Un aspecto importante a considerar en el desarrollo de todo tipo de válvulas, prótesis, injertos entre otros, que van dentro de nuestro cuerpo o que de algún modo van asociados a este, son los materiales que se utilizan para su construcción o elaboración. Es por ello que se requiere de un minucioso análisis de los mismos.

Para introducirnos a este tema debemos concentrarnos en el concepto de *"biomateriales"*. *"Se define biomaterial como cualquier sustancia o combinación de sustancias, de origen natural o sintético, diseñadas para actuar interfacialmente con sistemas biológicos con el fin de evaluar, tratar, aumentar o sustituir algún tejido, órgano o función del organismo humano"*. Así lo refiere acertadamente la Universidad de Valladolid en su publicación *"Polímeros en la Medicina"*. (Issa Katime. 2004)

Ahora bien, una vez dicho esto, pasemos a una de sus clasificaciones. Por su origen los biomateriales pueden ser sintéticos o naturales; los primeros como su nombre lo indica se obtienen directamente de la naturaleza, son materiales complejos, heterogéneos y con procesos de caracterización complicados. Por otra parte los biomateriales sintéticos pueden ser metales, cerámicos y polímeros, comúnmente conocidos como materiales biomédicos.

Su Historia

Los biomateriales han tenido varias aplicaciones, las cuales han ido surgiendo conforme ha ido avanzando la tecnología como podemos ver en la siguiente línea del tiempo



Como lo mencionábamos anteriormente es necesario conocer dos aspectos importantes a considerar cuando se va a trabajar con biomateriales, los cuales son:

- El efecto del implante en el organismo
- El efecto del organismo sobre el implante

Con esto podemos decir que es importante que el material que se va a utilizar no deba incluir componentes solubles en el sistema vivo, a menos que esto tenga un fin específico. Así mismo el sistema vivo no debe degradar el implante a menos que la degradación sea intencionada. También es importante analizar si el material es incompatible, además de que el material debe ser esterilizado y libre de bacterias y endotoxinas que puedan dañar el organismo. (Issa Katime, 2004).

Existen muchas aplicaciones de los biomateriales en la medicina, algunas de ella se muestran en la siguiente tabla 1:

En la tabla 2 podemos ver algunos polímeros y sus aplicaciones de manera más específica:

Polímeros sintéticos no degradables	
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	Cemento óseo, dientes artificiales, lentes intraoculares
Fluorocarbonados	Injertos vasculares, catéteres y parches periodontales y abdominales
Hidrogeles	Catéteres y antiadhesivos
Poliacetales	Válvulas cardiacas, partes estructurales
Elastómeros de Poliamida	Catéteres y para tapar heridas
Policarbonatos	Membranas de oxigenación y hemodiálisis, conectores
Poliesteres	Injertos vasculares, globos para angioplastia, suturas y reparaciones para hernias
Elastómeros de poliéster	Catéteres
Poli (etercetonas)	Componentes estructurales y ortopedia
Poli (imidas)	Componentes estructurales, catéteres

Poli (metilpenteno)	Materiales protectores para dispositivos extracorporales
Poli(olefinas)	Suturas, globos de angioplastia, catéteres, jeringas
Elastómeros de poli(olefinas)	Tubos, corazones artificiales, catéteres
Películas de poliolefinas de alta cristalinidad	Globos de angioplastia
Poli(sulfonas)	Componentes estructurales y ortopedia
Poli(uretanos)	Catéteres, corazón artificial, prótesis vasculares, recubrimientos para heridas y revestimiento compatible con la sangre
Poli (cloruro de vinilo)	Tubos y bolsas de sangre
Siliconas	Implantes de cirugía plástica, catéteres, válvulas de corazón, membranas permeables al oxígeno, prótesis faciales y de la oreja
Polietileno de ultra alto peso molecular	Tejidos de alta resistencia

Biopolímeros	**Aplicaciones**
Macromoléculas bioderivadas	
Albúmina entrecruzada	Recubrimientos de injertos vasculares y agente para contraste de ultrasonidos
Acetatos de celulosa	Membranas de hemodiálisis
Celulosa cuproamonica	Membranas de hemodiálisis
Citosina	Recubrimientos y liberación controlada
Colágeno	Recubrimientos y órganos híbridos
Elastina	Recubrimientos
Gelatina entrecruzada	Recubrimiento para corazón artificial
Ácido hialuronico	Recubrimientos, antiadhesivo, antiinflamatorio ocular y articular
Fosfolípidos	Liposomas
Seda	Suturas, recubrimientos experimentales de proteínas tipo seda
Recubrimientos pasivos	
Albúmina	Tromboresistencia
Cadenas alquilicas	Adsorbe albúmina para la tromboresistencia
Fluorocarbonados	Reduce el rozamiento en catéteres
Hidrogeles	Reduce el rozamiento en catéteres
Siliconas libres de sílice	Tromboresistencia
Aceites de silicona	Lubricación para agujas y catéteres
Recubrimientos bioactivos	

Anticoagulantes (ej: heparina)	Tromboresistencia
Antimicrobianos	Resistencia a la infección
Peptidos de adhesión celular	Mejora adhesión celular
Proteínas de adhesión celular	Mejora adhesión celular
Adhesivos tisulares	
Cianoacrilatos	Microcirugía
Pegamento de fibrina	Recubrimiento para injertos vasculares y microcirugía

Como se puede observar en las tablas anteriores los biomateriales tienen distintos usos y aplicaciones en el área biomédica, entre estas destaca el uso de siliconas y biopolímeros para la construcción de las válvulas para la hidrocefalia. Mismas que han venido a revolucionar el mundo de la neurología ofreciendo nuevas alternativas para mejorar el estilo de vida de una gran cantidad de pacientes.

A lo largo de la investigación se pudo observar que la solución al problema de la hidrocefalia ha tenido grandes avances a lo largo de la historia. Todo ello es gracias al trabajo de miles de personas; médicos, ingenieros, los gobiernos de los diferentes países y las inversiones de algunos particulares. Cabe mencionar que orgullosamente nuestro país ha contribuido un poco con algunos avances, ya sea en investigación o en materializar el resultado de las mismas, incluso con algunas mejoras a los métodos de resolución ya existentes.(Patentes online, 2009).

En los últimos meses por mencionar un ejemplo, alumnos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey dieron a conocer uno de los prototipos de válvulas para contrarrestar la hidrocefalia neonatal más eficaces, este será instalado en el bebe cuando aun esta dentro del vientre materno. (ITESM Campus Puebla. 2010).Este como muchos otros avances marcan una gran diferencia en la calidad de vida de estos pacientes. Esto nos lleva a la conclusión de que nuestro país cuenta con grandes talentos y que es de suma importancia que se brinde apoyo a la comunidad científica en nuestro país, sobre todo a las universidades que son las encargadas de generar y potencializar a todos aquellos nuevos talentos en el mundo de la ciencia.

Agradecimientos

- Sistema Nacional de Investigadores. Por su apoyo y por hacer posible la realización de esta investigación.
- Por su colaboración en el proyecto a Javier Takeshi González Nagano, Francisco J. Hernandez Michicol., Adrianni Zanatta y Joan Manuel Guevara.
- LAD. Madeleine H. Luría. Por su trabajo en la edición de gráficos.

Referencias

Lewis, R. (1987). Tratado de neurología. Barcelona, España: Salvat Editores, S.A.

Latarjet, M, & Ruiz, A. (2007). *Anatomía humana*. Buenos Aires, Argentina: Panamericana.

"Diseñan válvula para tratar la hidrocefalia desde el vientre materno".Crónica Intercampus. ITESM Campus Puebla. Última Actualización: 5 de Marzo de 2010. Fecha de Recuperación: 25 de Marzo 2010. http://www.itesm.mx/cronicaintercampus/no_98/academica.html.

"Norma Oficial Mexicana NOM-098-SSA1".Especificaciones sanitarias de los equipos para derivación de líquido cefalorraquídeo. Francisco J. Higuera Ramírez. Última Actualización: 16 de Agosto de 1996. Fecha de Recuperación: 25 de Marzo de 2010. http://bibliotecas.salud.gob.mx/gsdl/collect/nomssa/index/assoc/HASH0143.dir/doc.pdf.

"Patentes Mexicanas" Patentes Online. Anónimo. Última Actualización: Febrero 2010. Fecha de Recuperación: 1 de abril, 2010 http://co.patentesonline.com/valvula-para-hidrocefalia-46221.html

"Sistema válvula para hidrocefalia". Anexa, Insumos Médicos y Equipos. Anónimo. Última Actualización: 2010. Fecha de Recuperación: 24 de Marzo 2010. http://www.aneqsaca.com/Detailed/Productos/Insumos/Generales/Sistema_V_lvula_para_hidrocefalia_chhabra_45.html.

Anonymous. (2008, July 22). Diario C. Retrieved March 25, 2010, from http://www.diarioc.com.ar/salud/Hidrocefalia_de_Presion_Normal/106931

Anonymous. (2009). Patentes Online. Retrieved Marzo 26, 2010, from http://www.patentesonline.com.mx/

Issa Katime, O. K. (2004, Septiembre). Universidad de Valladolid. Retrieved Marzo 26, 2010, from http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/biopolimeros.htm

Said R. Casolco, H. A.-M. (2010, Enero). Tecnologico de Monterrey. Retrieved Marzo 25, 2010, from http://web.pue.itesm.mx/investigacion/publicaciones/journals/Journal_Ene10.pdf

"Ingeniería Biomédica. Historia en construcción". Revista Ingeniería BiomédicaISSN 1909–9762, volumen 3, número 5, enero-junio 2009, págs. 28-30. Escuela de Ingeniería de Antioquia–Universidad CES, Medellín, Colombia. Articulo Online. Recuperado: 23 de Marzo, 2010.http://www.eia.edu.co/SITE/LinkClick.aspx?fileticket=gxrrzSFgo0U%3D&tabid=498&language=en-US.

"Derivación ventricular operitonial". Servicio de Neurocirugía del Hospital General Universitario de Alicante. Autor: Dr. J. Sales Llopis. Fecha de recuperación: 25 de Marzo, 2010.http://www.neurocirugia.com/intervenciones/dvp/dvp.htm

"Síndromes de hiperdrenaje de las válvulas en hidrocefalia infantil". Neurocirugía. J.F. Martínez-Lage; M.A. Pérez-Espejo; M.J. Almagro; J. Ros de San Pedro; F. López; C. Piqueras y J. Tortosa. Fecha de actualización: Abril,2005. Fecha de repecuración: 26 de Marzo de 2010.http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-14732005000200004

"Antecedentes históricos de la hidrocefalia y su tratamiento" Imbiómed. De la Mora López Luis Arturo. Última actualización: 2004. Fecha de recuperación: 22 de Marzo de 2010. http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_articulo=5447&id_seccion=582&id_ejemplar=593&id_revista=21

"Hidrocefalia". Medline Plus. Golden JA, Bönnemann CG.Última actualización: 11 de Febrero, 2010. Fecha de recuperación: 21 de Marzo de 2010. http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001571.htm

"Hidrocefalia". National Institute of Neurological Disorders and Stroke. National Institutes of Health. Última Actualización: 03 de Marzo, 2010. Fecha de Recuperacion: 21 de Marzo, 2010. http://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/la_hidrocefalia.htm

Valdés JM, Blanco ME, Kofman S. Defectos congénitos en el Hospital General de México. Frecuencia observada durante 10 años mediante el RYVEMCE. Rev Med Hosp Gen Méx 1997; 60:181-187.

"Hidrocefalia Congénita" Guia diagnostica de Neurología y Neurocirugía. Hospital General de México. Fecha de Actualización: 2005. Recuperado: 22 de Marzo, 2010. http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/descargas/pdf/area_medica/neuro/5hidrocefalia_congenita.pdf.

"Hidrocefalia". Diagnostico. Dr. Humberto Trejos. Fecha de Actualización: 2010. Recuperado: 23 de Marzo, 2010. http://www.diagnostico.com/Trejos/Hidrocefalia.stm

Camargo, B. (28 de Mayo de 2009). *Desarrollo humano*. Retrieved 29 de Marzo de 2010 from http://1desarrollohumano1.blogspot.com/

Raholin SRL. (2010). Retrieved 28 de Marzo de 2010 from http://www.raholin.com/pdf/silicona.pdf

Películas delgadas de AlMgSiCp con potencial aplicación como recubrimiento anticorrosivo

S.R. Casolco[1], Socorro Valdez[2]

[1]*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Puebla, Vía Atlixcáyotl 2301. Puebla, Pue. 2800, Méx.*

[2]*Instituto de Ciencias Físicas-Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos 062210, Méx.*

Palabras Clave: Compuesto AlMgSiCp, película delgada, corrosión

Resumen

Basados en la experiencia acumulada y la capacidad interdisciplinaria es factible proponer el estudio de películas delgadas nanoestructuradas obtenidas a partir de un material compuesto de matriz metálica, con la finalidad de llevar a cabo análisis sobre su efecto como protector ante la corrosión, mediante ensayos electroquímicos, tales como, polarización potenciodinámica, pérdida en peso y corrosión-erosión en sustratos de acero microaleado, cobre, aleaciones metálicas base aluminio y base titano.

La originalidad de la propuesta se basa en el tipo de película delgada a obtener. Si bien en la literatura se tienen trabajos sobre materiales compuestos de matriz metálica ricos en aluminio, su aplicación como películas delgadas aún son muy pocos y la investigación esta incipiente. Dado las grandes expectativas que se tienen puestas en estos materiales con estructura nanométrica, es de considerar que el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica con refuerzo de carburo de silicio, representa un opción en la búsqueda de propiedades de protección ante la corrosión.

1. Introducción

El rápido desarrollo de materiales nanoestructurados, ha propiciado la producción de películas delgadas, y una probable aplicación de éstas es como recubrimiento anticorrosivo, al actuar como barrera en contra de la corrosión. Las estructuras nanométricas, poseen por lo general mejor superficie y mejores propiedades ópticas, electrónicas magnéticas químicas y mecánicas con respecto a los materiales metálicos convencionales.

Pocas son las propiedades aun sin estudio en los materiales nanoestructurados, una de ellas es la corrosión, en donde aún no existe un fundamento que sugiera una mejora en la resistencia a la corrosión; por el contrario, se esperaría que la disminución de tamaño de grano

de lugar a una pérdida en la resistencia a la corrosión. Este efecto adverso se puede relacionar con la formación de la estructura homogénea termodinámicamente inestable.

Los nanomateriales y materiales nanoestructurados pueden ser obtenidos por tres grupos de métodos: la transformación de materiales a granel en nanocristales, la deposición de nanoestructuras en superficies de materiales convencionales, y la transformación de las capas superficiales en nanocapas. Algunas de las técnicas de fabricación son: la deformación plástica por deslizamiento, la compresión o extrusión, prensado y molido; infiltración; electrocristalización y nanocristallization de vidrio; descomposición química, erosión catódica (sputtering), deposición de plasma hipersónico; recocido, métodos sol-gel; condensación con un uso de microondas; sonoquímica.

La transformación de la capa superficial en nanoestructuras necesita la incubación de nuevos granos en condiciones opuestas a su crecimiento. Para ello, se propone la erosión de un electrodo del compósito AlMgSiCp, a partir de un flujo de oxígeno. La elección de los materiales de soporte, sobre todo los de carácter estructural, es muy importante. Entre esos materiales se puede considerar:

- aceros microaledos.
- las aleaciones de cobre sometido a la cavitación y la erosión por ejemplo, para hélices de los barcos de alta velocidad;
- materiales de peso ligero, como las aleaciones metálicas base Aluminio para motores de automóviles; y las aleaciones metálicas base Titanio utilizadas en implantes.
- vidrio y Cloruro de Sodio, para estudiar la película individualmente.

Una probable aplicación de las películas de AlMgSiCp es en contra de la corrosión, al actuar como recubrimientos protectores; toda vez que el aluminio tiene la propiedad de formar una película pasiva tomando como ventaja el recubrir a los aceros por ejemplo, a temperaturas inferiores a los 600ºC.

Bajo el mismo tenor, puede mencionarse que el aluminio ha sido utilizado en aceros y superaleaciones para mejorar su resistencia a la oxidación y sulfidizaciòn, a través del proceso conocido como aluminizado. Sin embargo, es posible aun, mejorar la adherencia y efectividad del recubrimiento a altas temperaturas, de ahí que se propone al material compuesto de matriz metálica Al-Mg reforzado con partículas de carburo de silicio, SiCp, de manera que la película formada posea propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.

Es bien sabido que el problema de la corrosión no puede ser totalmente evitado, los costos generados por la corrosión bien pueden ser reducidos mediante el desarrollo y uso de tecnologías que permitan un mejor control de los fenómenos de corrosión. El control de la corrosión, está basado en aumentar la resistencia de los materiales a los medios agresivos a través de diferentes medios, uno de ellos, es el uso de recubrimientos, o bien, mediante el

desarrollo de aleaciones más resistentes a la corrosión a través de la incorporación de elementos de aleación, uno más es el uso de inhibidores de corrosión, entre otros.

Con el desarrollo de estas películas para ser utilizadas como recubrimientos, se evitará la interacción entre el medio agresivo y el sustrato metálico; disminuyendo así, la difusión de especies agresivas como el oxígeno, nitrógeno, azufre hacia el sustrato. El campo de aplicación, es el sector industrial, mencionando a manera de ejemplo, la aeroespacial, refinerías, petroquímica, industria del papel, e incineradoras de residuos, las cuales, tienden a sufrir el proceso de oxidación a elevada temperatura, por la reacción directa del metal o aleación con el oxígeno, vapor de agua u otros medios agresivos.

Para el estudio de estas películas, es menester la determinación de las propiedades estructurales, químicas, cristalográficas, así como la interface película-sustrato; y primordialmente la identificación de las características electroquímicas a través de técnicas electroquímicas y el proceso de corrosión-erosión.

La propuesta, involucra tanto el desarrollo de materiales nanoestructurados con funciones específicas partiendo de un material compuesto de matriz metálica, la evolución estructural cristalina del sustrato y nanocristalina de las películas e interface, así como la caracterización electroquímica mediante curvas de polarización, ruido electroquímico y corrosión-erosión.

2. Antecedentes

2.1 Materiales compuestos de matriz metálica

Los materiales compuestos en general, son el mejor ejemplo de la integración de diversas propiedades halladas en el mismo material y en ellos puede observarse claramente el principio de sinergia. Representan la mejor asociación voluntaria de materiales no-miscibles o en parte miscibles que tienen diversas estructuras y que complementan sus características, para formar un material heterogéneo con características globales y desempeño superior al de los materiales originales. En general, están constituidos por una matriz dúctil, y un material duro usado como refuerzo, el cual distribuirse en forma de partículas o fibras.

Los materiales compuestos de matriz metálica han atraído un gran interés debido a sus buenas propiedades mecánicas y tribológicas. Preponderantemente, los ccompuestos de matriz metálica, basados en matrices de aleaciones ligeras, como es el caso del aluminio son de interés para diversos sectores. Por mencionar un ejemplo, se encuentra el sector automotriz, en donde las mejoras en el diseño y funcionalidad de partes de motores de rotación, proporcionan un aumento en su velocidad de rotación, reducción de peso, reducción de vibraciones y/o aumento en las temperaturas de operación. Algunos materiales compuestos ricos en aluminio se han utilizado en aplicaciones estructurales y funcionales de alta tecnología incluyendo el espacio aéreo, artículos de deporte, equipos de defensa, automotores, entre otros.

Dos características de los materiales base aluminio, son su afinidad con el oxígeno y la elevada estabilidad termodinámica del óxido formado. La capa de óxidos que se forma a partir

del aluminio, incrementa la resistencia a la corrosión de los materiales compuestos de matriz de aluminio.

2.l Aluminio y aleaciones base aluminio

El aluminio y sus aleaciones poseen una serie de propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas altamente valiosas. Sus aplicaciones recorren diferentes ámbitos, tales como el transporte, la construcción, la ingeniería eléctrica, así como el empaquetado. Además cuentan con una alto densidad de energía de 29 MJ/kg, por lo que también existe una creciente tendencia hacia el desarrollo de materiales con capacidad en el almacenamiento de energía. El aluminio, es además el metal más abundante en la corteza de la tierra, y puede ser completamente reciclado. Por lo tanto, el aluminio puede ser considerado como un metal viable en el ámbito de energía sostenible. Otra ventaja del aluminio es su peso ligero, con apenas una densidad de 2700 kg/m^3, el aluminio es el más ligero de entre los metales de uso común. La densidad de sus diferentes aleaciones está en el rango de 2600-2800 kg / m^3.Esta característica ayuda a llevar a una reducción significativa en el peso total de un sistema.

Tanto el aluminio como sus aleaciones, constituyen uno de los materiales comúnmente usados como matriz metálica en la manufactura de materiales compuestos. La extensión en su uso es debido a sus características como: baja densidad, fácil procesamiento, resistencia a la corrosión, resistencia mecánica moderada y la posibilidad de incrementarla mediante la adición de refuerzos y/o tratamientos térmicos.

Existe diversidad de trabajos sobre este material, por ejemplo: el análisis sobre la producción de materiales compuestos de matriz de aluminio usando pulvimetalurgia o el de refuerzos en partícula para matrices de aluminio o magnesio. En general, el desarrollo de un material compuesto con matriz de aluminio implica el uso de técnicas poco tradicionales de conformado, como sería el caso de la fundición; puesto que es un requisito preponderante el que exista una buena humedad entre el aluminio y los materiales de refuerzo.

Las partículas más comúnmente usadas como refuerzo son el carburo de silicio y la alúmina. Partículas cerámicas que permiten incrementar la resistencia al desgaste, característica principal en aplicaciones de rozamiento en seco. Por otro lado, existen estudios referentes a películas de aluminio reforzadas con nanodiamantes que reportan una considerable mejora en las características físicas, químicas y biológicas con aplicaciones para diferentes áreas.

2.3 Óxido de aluminio, Al_2O_3

La alúmina es el único óxido termodinámicamente estable del sistema Al-O, siendo posible encontrar varias formas alotrópicas de este óxido (δ-Al_2O_3,γ-Al_2O_3, θ-Al_2O_3 y α-Al_2O_3), aunque sólo la α-Al_2O_3 con estructura corindón es importante en los procesos de corrosión.

La fase α-Al_2O_3 se caracteriza porque posee buenas propiedades protectoras, debido a su estabilidad termodinámica y su lenta velocidad de crecimiento. La resistencia a la corrosión de estas capas de óxido es producto de la baja concentración y movilidad de los defectos iónicos y electrónicos de su estructura cristalina. A pesar de que la presencia de impurezas, tanto en la matriz como segregadas en los límites de grano de la α- Al_2O_3 es inevitable, las propiedades de

este óxido se mantienen. En la α-Al_2O_3, la concentración de los defectos iónicos y electrónicos, depende de los dopantes, así como de la presión parcial de oxígeno, aun cuando los primeros son predominantes frente a los segundos. Por otro lado, el proceso de crecimiento de la capa de Al_2O_3 está controlado por la difusión de adentro hacia afuera, de cationes metálicos a través de los límites de grano.

Para el caso del material compuesto AlMgSiCp, se sabe que el proceso de difusión de los átomos de Al es menor que el de los átomos de Si a temperaturas inferiores a los 1400 ^{0}C. Con respeto a los átomos de Mg, aun no existe evidencia de su proceso difusivo. La película de Al_2O_3 crecerá de forma más lenta que las películas de SiO_2. Además, los procesos de transporte en la capa de Al_2O_3 son significativamente lentos. Por esta razón, muchos de los componentes que operan en ambientes gaseosos con alta actividad de oxígeno son diseñados de manera que se forme una capa protectora de Al_2O_3. La mayor desventaja de las capas de Al_2O_3 es que éstas tienden a sufrir agrietamientos y desprendimientos, especialmente cuando se encuentran expuestas a ciclos térmicos. Sin embargo, la adición de elementos reactivos a las aleaciones puede tener un efecto benéfico en el comportamiento, debido a que mejoran la adherencia de las capas.

2.4 Proceso de erosión catódica (Magnetrón Sputtering)

El proceso se basa en la extracción de los átomos que se hallan en la superficie de un electrodo polarizado negativamente. El cual, se erosiona debido al bombardeo de partículas provenientes de un gas, que bien pueden ser iones y/o átomos que poseen una energía muy alta. El flujo de gas que contiene las partículas, al impactar con el sustrato, transforma la energía cinética de estas, en deformación plástica, en tensión y en calor, formando la película.

El proceso surge por una diferencia de potencial que se genera entre el electrodo y el sustrato, favoreciendo el intercambio de momento con las partículas de alta energía cinética provenientes de la formación del plasma que bombardea a los átomos del electrodo. La fuerza de impacto hace que los átomos de la superficie del electrodo sean arrancados y depositados sobre el sustrato.

Siendo posible depositar por erosión catódica materiales compuestos empleando electrodos elementales con diferentes gases reactivos. Así, se depositan óxidos y nitruros de metales en atmósferas reactivas de oxígeno y nitrógeno, respectivamente. La versatilidad de ésta técnica es una de las características relevantes, puesto que existen sistemas con geometría cónica, plana y cilíndrica, con las cuales, es posible depositar películas delgadas uniformes sobre una gran variedad de sustratos. Con un solo electrodo es posible depositar una variedad de películas empleando distintos gases.

Los primeros choques sobre la superficie activan el sustrato generan rugosidad y la consecuente adhesión sobre éste. Esta velocidad es dependiente de la temperatura, presión y peso molecular del gas de transporte, así como por el tamaño forma y densidad de partícula, principalmente.

2.5 Proceso de erosión y desgaste.

El análisis de las películas mediante el proceso de erosión y desgaste también conocido como corrosión-erosión, es considerado un estudio primordial, en virtud del sustrato de cobre propuesto, en primera instancia y sus implicaciones sobre las condiciones de uso; puesto que, las hélices de barcos, están sometidas al impacto por partículas suspendidas en el medio, pudiendo producir corrosión-erosión por la exposición prolongada a dicha acción.

El daño mecánico originado por el impacto del fluido origina degradación o desgaste en áreas del material por las fuerzas del impacto (F/A), acelerando la corrosión de tipo electroquímica por el constante movimiento del fluido corrosivo sobre la superficie de la película. Enunciados estadísticos y leyes físicas básicas confirman que la intensidad de la turbulencia en la superficie del material predispone a la posibilidad de un ataque corrosivo del tipo localizado. Algunas de las variables que intervienen en el proceso de corrosión por daño electroquímico y desgaste (remoción mecánica) son las partículas, burbujas de gas en el fluido; morfología y porosidad del material.

Las muestras tanto del sustrato, como las películas depositadas sobre ellos, pueden ser analizados en un ambiente corrosivo-erosivo en el cual se pueda evaluar cuanta cantidad de masa pierde frente al ataque directo de un fluido que además contiene partículas suspendidas, considerándose una presión y un caudal especifico, determinando también cuanta energía libera, que ángulo de aplicación del fluido afecta de manera más relevante la superficie a través del proceso de corrosión-erosión.

Con los resultados generados a partir del análisis de corrosión-erosión, será entonces factible correlacionar la influencia de la estructura nanométrica de la película, la composición de la misma a través del material compuesto de matriz metálica, así como las variables del proceso de erosión catódica sobre el espesor, cristaloquímica y porosidad de la película.

3. Investigación preliminar sobre Materiales compuestos de matriz metálica: Al-Mg-SiCp

Nuestros resultados preliminares, indican que es posible producir el material compuesto AlMg-SiCp, con una buena distribución de las partículas de carburo de silicio en la matriz metálica Al-Mg, una nula porosidad y mínima microporosidad en la estructura del material compuesto (Figura 1). A la vez, en nuestros estudios no se ha encontrado evidencia de la formación de precipitados Al_4C_3 y Si (Figura 2), los cuales, han sido reportados como consecuencia de la interacción entre las partículas reforzantes SiC, y la matriz rica en Al (ecs. 1, 2 y 3) en relación con el método de preparación. Y que tienden a disminuir las propiedades mecánicas del compuesto.

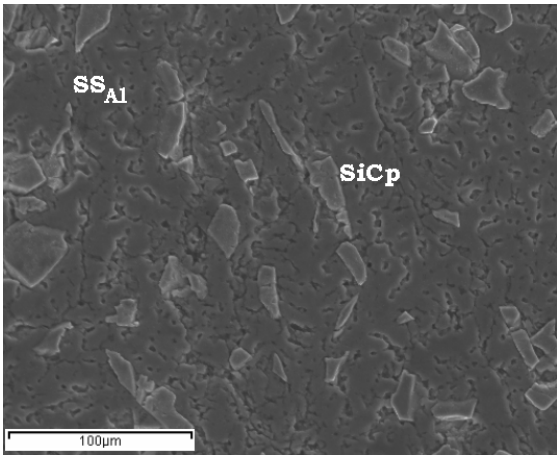


Fig. 1. Microestrutura del material compuesto Al-Mg-SiCp, formado la solución sólida (SS) rica en aluminio de estructura dendrítica

$$4Al_{(l)} + 3SiC_{(s)} \rightarrow Al_4C_{3\,(s)} + Si_{(s)} \quad (1)$$

$$2Mg_{(l)} + Si_{(s)} \rightarrow Mg_2Si_{(s)} \quad (2)$$

$$4Al_{(l)} + 3SiO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3\,(s)} + 3Si_{(s)} \quad (3)$$

El patrón de difracción de rayos X del compuestos AlMg-SiCp fabricados por el Método de Vórtex, así como el de la aleación de AlMg, muestra la intensidad de la difracción correspondiente a la fase α-aluminio, que es una solución sólida rica en aluminio (α-Al) de estructura cristalina cúbica centrada en las caras. La difracción de rayos X, revela que la intensidad principal (111) y (200) de la fase α, aparecen a 38.82º y 44.71º. El compuesto presenta tres picos de máxima intensidad a 2 θ = 35,7 º, 71,8 º y 60.0o, que corresponde al (111), (220) y (311) de carburo de silicio. De los difractogramas se puede deducir la cristalinidad de la aleación y del material compuesto

La ventaja principal fue la de no hallar evidencia de reacción química entre las partículas de carburo de silicio y los elementos de la matriz metálica, estos resultados están relacionados directamente con el proceso de síntesis, dada la baja temperatura (470ºC) utilizada en el método de vórtex. Temperaturas de 1100ºC, 800ºC y 750ºC en vacíos de 500 mmHg se encuentran reportadas en la literatura para la fabricación de compuestos Al-SiCp. Además, previas investigaciones, han reportado que la reacción de la interfase Al-SiCp se produce por arriba de 650ºC. De hecho, el diagrama de fase ternario Al-Si-C indica que la fase Al_4C_3 se forma cuando la relación Al:Si está por debajo de 4.5, lo que no corresponde a nuestro caso.

La síntesis del material compuesto AlMg-SiCp, se realizó mediante el Método de Vórtex. Este es un proceso simple y económico, que tiende a favorecer la incorporación del material de refuerzo (partículas cerámicas de SiCp) en la aleación matriz (AlMg). El método de vórtex, consiste en agitar vigorosamente la aleación (AlMg) calentada a una temperatura arriba

de la de líquidus, al mismo tiempo que las partículas de refuerzo (SiC) son adicionadas en el vórtex formado.

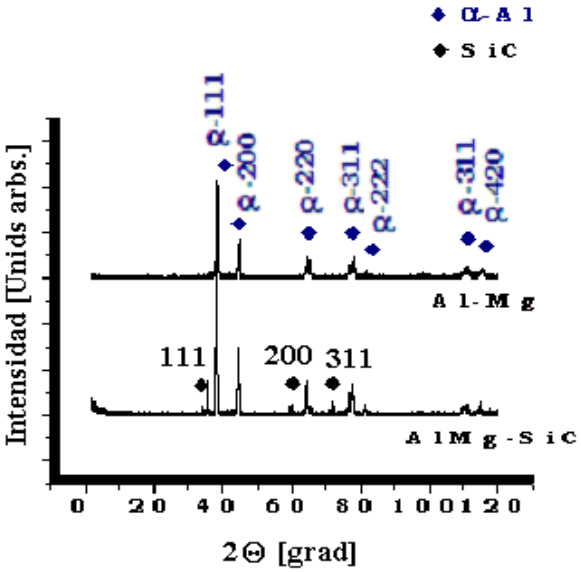


Fig. 2. Difractograma en donde se observan los picos base tanto del aluminio en la aleación maestra Al-Mg como los del SiC en el compuesto.

El material compuesto, fue preparado con una matriz de la aleación Al-9 at% Mg (Al 98.5% y Mg 99.9% de pureza). Los elementos Al (660°C) y Mg (650°C) fueron colocados en un crisol de alúmina, e introducidos al interior de un horno de resistencia a 700°C, previamente precalentado a 300ºC durante 15 mins. Se utilizó una mezcla de sales fundentes (KCl + NaCl en relación 1:1) para evitar el contacto con el ambiente y la oxidación de los elementos Al y Mg

Las partículas cerámicas de SiC fueron precalentadas a 870°C durante 15 minutos, y entonces adicionadas a la aleación maestra (Al-Mg) mediante el Método de Vórtex, esquematizado en la figura 3, a 1150 rpm, agitando el baño líquido durante 15 minutos para obtener una buena homogeneización. Se agregó como desescoriador 2% de NaF. El compuesto AlMg-SiCp fue desgasificado con el crisol dentro del horno. Se retiró la escoria mecánicamente y el baño líquido de AlMg-SiCp fue vertido en diferentes tipos de molde.

Para determinar las propiedades electroquímicas del material compuesto Al-Mg-SiCp, se han realizado ensayos electroquímicos de polarización tanto en la aleación maestra AlMg con en el material compuesto en 3.5 wt.% de NaCl. Se han obtenido curvas de polarización que indican las variaciones de la reacción de reducción del oxígeno, la que es modificada apreciablemente en el límite de la corriente catódica con una menor densidad de corriente en tiempos más largos de exposición. Este comportamiento muestra que las partículas de carburo de silicio disminuyen la velocidad de reducción del oxígeno, la que se acerca a un valor constante de corriente en -0,5 V (SCE).

Por otro lado el comportamiento anódico de las curvas indica un incremento constante en la disolución de corriente anódica en 24, 48 y 72 horas de inmersión. Pudiéndose proponer que la adición de SiCp actúa como un inhibidor catódico modificando el desempeño del brazo

catódico. En cuanto a la aleación matriz de AlMg, el comportamiento potenciodinámico arroja una polarización homogénea durante las 72 horas de inmersión. Con una rama catódica que alcanza una velocidad constante de reducción del oxígeno como consecuencia de la película de óxido no compacta y porosa. Para la rama anódica, se puede considerar que una capa de óxido inicial es formada originalmente en -0,71 V (SCE), la cual se disuelve fácilmente a potenciales anódicos mayores, lo que sugiere una pequeña resistencia de la capa y con pobres propiedades de adherencia al ánodo, por lo que la disolución del ánodo es progresiva.

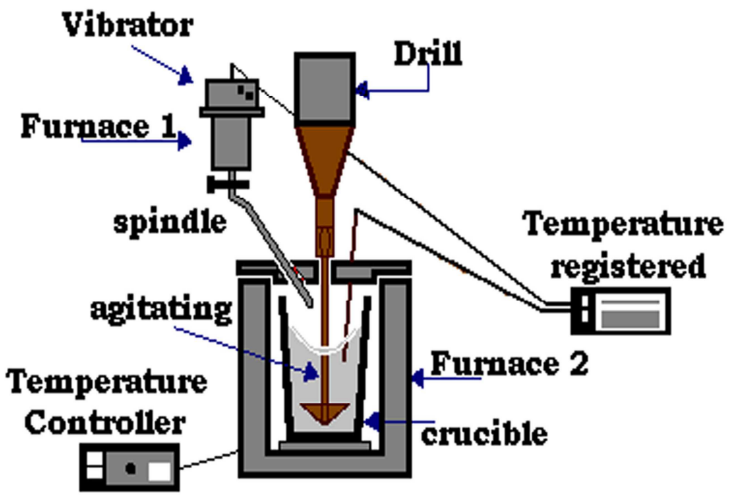


Fig. 3. Esquema del equipo utilizado para la síntesis del material compuesto, mediante el método de Vórtex

La clave en las propiedades del material compuesto Al-Mg-SiCp, se encuentra en la mejora de la estructura, la química y la naturaleza de la vinculación entre la interface matriz/cerámico del compuesto AlMg-SiCp. Ciertos elementos de aleación tales como el magnesio, son segregados en la interfase partícula-matriz, y se ha encontrado que mejoran la humectabilidad entre el cerámico y la matriz.

La velocidad de corrosión calculada durante 1800 horas de inmersión para ambas muestras, el corrobora que la adición de partículas de SiC retarda el proceso de degradación de la matriz metálica de AlMg. La velocidad de corrosión fue casi cuatro veces menor con respecto a la velocidad de corrosión de la aleación maestra Al-Mg. Esta resistencia a la corrosión por el material compuesto, es factor determinante en la consideración del material como probable recubrimiento anticorrosivo. Por lo que se pretende estudiar la factibilidad de generar películas delgadas con estructura nanométrica a través del proceso de erosión catódica para posteriormente analizar la evolución de la película sobre diferentes sustratos a partir de un análisis en la cristalografía, estructura, propiedades mecánicas y fundamentalmente electroquímicas. Estos últimos análisis serán determinantes para afirmar su potencial aplicación. Por lo que, los ensayos considerados parten de pruebas potenciodinámicas, voltametrías, así como ensayos de erosión y desgaste.

4. Conclusiones

- Los estudios planteados, son corresponde con la primicia de que las variables de análisis están intrínsicamente relacionadas con la funcionalidad anticorrosiva de las películas del material compuesto de matriz metálica.
- Por ello, se plantea un conocimiento extensivo de las propiedades químicas, físicas, mecánicas, y sobre todo electroquímicas; para identificar el parámetro vertebral relacionado con las condiciones de procesamiento, que se espera proporcione el espesor, adherencia, estructura y fases nanométricas funcionales para la aplicación como recubrimiento anticorrosivo en medios electrolíticos estáticos y dinámicos.
- Entre las propiedades de análisis y comparación, se encuentran: la dureza, la resistencia a la tensión, adherencia, velocidad y tipo de corrosión, critaloquímica, tamaño y morfología de las fases, entre otras; estas propiedades a su vez son influenciadas por las condiciones de procesamiento, la física o química del depósito, el espesor de la película, la estructura de la película y la porosidad.
- La respuesta anticorrosiva, se espera a raíz de la resistencia a la corrosión que presenta el aluminio cuyo potencial normal es -1.67 voltios, además de formar la película pasivante de óxido de aluminio con un espesor de entre 40 y 100Å, la cual es reforzada con la adición del carburo de silicio a la matriz de aluminio formando un material compuesto. Además, la estructura nanométrica, se espera mejore las condiciones de adherencia y porosidad, así como un reforzamiento ante el desgaste durante su actuación anticorrosiva.
- Se espera también que el análisis de las propiedades mecánicas y electroquímicas antes y después del depósito, permita identificar la influencia del fenómeno de interdifusión del aluminio-magnesio sobre la microdureza y protección ante la corrosión del sustrato

Bibliografía

[1]. S. Valdez, B. Campillo, R. Pérez, L. Martínez, A. García H. Mater. Letter, 62 (2008) 2623–2625.

[2]. Azevedo, A. F.; Corat, E. J.; Leite, N. F.; Ferreira, N. G.; Trava-Airoldi, V. J.; Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials 2003, 20-21, 753-757.

[3]. Coca P., Manual del Aluminio, 2da. Edición, Editorial Reverté S.A., Barcelona España (1992).

[4]. Deng CF, X.X. Zhang, Y.X. Ma, D.Z. Wang, Rare Metals 26, 450-455, 2007.

[5]. S. Valdez, R. García-García. Mem. IV Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Puebla Pue. 1 (2008) 952-957. 952-957. ISBN 978-968-9773-03-8.

[6]. Hutchings I.M., S. Wilson, A.T. Alpas, Comprensive Composite Materials, 3, 501-519 (2000).

[7]. Hunt, W.H., and T.J. Rodjom. 1992. Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. 9 :21-32

[8]. Liu Y.B., S.C. Lim, L. Lu y M.O. Lai, Journal of Materials science, 29 (8), 1999-2007 (1994).

[9]. S. Valdez, B. Campillo, R. Pérez, L. Martínez, A. García H. Supl Proc. TMS (2008).

[10]. Pradhan S.K., A. Datta, A. Chatterjee, M. De, D. Chakravorty; Bull. Mater. Sci. (India): 17 (6), 849-853 (1994).
[11]. Shee S.K., S.K. Pradhan, y M. De. Material Chemistry and Physics., 52(3), 228 (1998).
[12]. J.Hashim, J. of Mater. Process. Tech., 123 (2002) 251-257.
[13]. P.Rohatgi, J. Minerals. 43 (1991) 10-15.
[14]. S.R. Nutt, R.W. Carpenter, Mater. Sci. Eng. A 75 (1985) 169.
[15]. R. Mitra, V.S. Chalapathi Rao, R. Maiti, M. Chakraborty, Mater. Sci. and Eng. A379 (2004) 391-400.
[16]. C.G. Levi, G.J. Abbaschian, R. Mehrabian, Metall. Trans. 9 (1978) 697.
[17]. N.E. Bekheet, Maters and Design. 23 (2002) 153-159.
[18]. S.V. Nair, J.K. Tien, R.C. Bates, Int Met Rev. 6 (1985) 275-290.
[19]. G.H. Paulino and J.H. Kim, *J. Eng. Fract. Mech.* 71 (2004) 1907.
[20]. R. Warren, C.H. Anderson, Composite 15 (2) (1984) 101.
[21]. M. Gu, Z. Mei, Y. Jin, Z. Wu, Scripta Metall, 40 (9) (1999) 985.
[22]. M. Nathan, J. Mater. Sci. Lett. 8 (1999) 311.
[23]. H. Ribes, R. Da Silva, M. Suery, T. Bretheau, Mater. Sci. Technol. 6 (1990) 621.
[24]. G. Gonzalez, L. Salvo, M. Suery, G.L. Esperance, Scripta Metall. Mater. 33 (12) (1995) 1969.

ZINAGIZADO: UNA ALTERNATIVA COMO PROCESO ANTICORROSIVO

Said Robles Casolco, Adrianni Zanatta Alarcón, Socorro Valdez
srobles@itesm.mx

Resumen

El fenómeno químico conocido como corrosión es uno de los factores determinantes que hacen que un material metálico ceda a la fractura debido a que hace una reacción química espontánea entre el material y el medio haciendo que el material pierda o altere sus propiedades. En este trabajo hablaremos sobre los tratamientos superficiales existentes y de un nuevo proceso anticorrosivo que garantice el aumento de la vida útil de los metales a tratar siendo un proceso noble con el medio ambiente [1-2].

En la actualidad se espera que los materiales estructurares o para la fabricación de subproductos manufacturados a base de acero cumplan su función principal, pero también que tengan una larga vida útil antes de empezar a fatigarse, desgastarse o corroerse; estos fenómenos reducen considerablemente la duración de estos productos, lo que se ve reflejado directamente en la economía, perturbando los procesos industriales e incluso provocando daños a personas.

Por estas razones con el avance de la ciencia y la tecnología se buscan nuevos métodos de innovación tecnología para reducir el efecto de la corrosión, desgate y fatiga que sufren los productos manufacturados a base de acero, se requiere que estos procesos sean de bajo costo y sobre todo que no dañen al medio ambiente. El Zinc y Aluminio son uno de los mejores candidatos para mejorar la resistencia ante la corrosión. [3]

Introducción

En los últimos años se han producido pérdidas millonarias causadas por la corrosión de las tuberías que se encuentran sumergidas en un medio corrosivo, como es el ejemplo de las tuberías colocadas en el mar por las que fluye petróleo. El medio salino hace que la superficie de las tuberías se empiece a corroer y con el paso del tiempo se empiece a desgastar el material hasta que cede dejando fluir al mar miles de litros de combustible que contaminan nuestros mares, afectando de paso la economía del lugar.

Por estudios se sabe que los costos derivados de la corrosión equivalen a 3% del Producto Interno Bruto de un país, sumando el efecto de fatiga, que conociendo que el 80% de las fallas en el material ocurren por este fenómeno, aumenta considerablemente la inversión para sustituir o utilizar un tratamiento anticorrosivo de superficies[4]. Como se menciona en el texto una forma de solucionar los fenómenos de la corrosión, desgaste y fatiga es por tratamientos superficiales, donde existe una gran variedad de procedimientos para alargar la vida útil, disminuyendo el proceso de desgaste del material.

Procedimiento experimental

Un método o proceso de tratamiento de superficies es conocido como *cincado*, que consiste en que, por medio de una inmersión electrolítica, los iones metálicos que se distribuyen en la solución son adheridos al cátodo formando una capa protectora en la

superficie de aproximadamente 6 a 12 micras. Además de proveer de un recubrimiento protector le ofrece un acabado estético a la pieza.

También existen los procesos de galvanizado, niquelado, cromado electrolítico, el anodizado, el uso de diversos tipos de pinturas ó la aplicación de tratamientos termoquímicos tales como la carburización o la nitruración. Todos estos procesos cumplen con su objetivo principal, pero las condiciones climáticas y del medio cada vez son más destructivas y violentas, por lo cual hay que buscar nuevos métodos para combatir estos fenómenos que se presentan.

Además, un aspecto importante a considerar son las legislaciones ambientales que cada día buscan disminuir o erradicar completamente la utilización de tratamientos superficiales que causen daño a la ecología [5]. Es así que, en el presente trabajo, se habla sobre el método de *zinagizado electrolítico* como proceso de tratamiento superficial anticorrosivo para el recubrimiento de materiales de construcción.

El zinagizado electrolítico consiste en la inmersión en una solución de la aleación Zinag®. La composición ideal para fines anticorrosivos es una aleación base Zn 77% -Al 22% –Ag 1%, que presenta excelentes propiedades mecánicas, baja densidad, propiedades anticorrosivas, y bajo costo de manufactura debido a que la materia prima es de origen nacional. Entre sus propiedades físicas y mecánicas destaca un densidad de 5.62 gr/cm^3 y una dureza de 34RF, presentando propiedades superplásticas.

Por el proceso de zinagizado electrolítico se trasmite una carga positiva a la solución base ZINAG® que es el ánodo y se hace un intercambio de iones que por medio de cargas negativas se adhieren a la superficie del cátodo proporcionando un recubrimiento de <<10 µm que actúa como solución anticorrosiva aumentando la vida del material un 60%, lo que además brindará una mayor dureza.

Análisis del comportamiento de las aleaciones Zinag® en un medio corrosivo NaCl

El comportamiento electroquímico de corrosión de la aleacion Zinag® se analizó por el método de la extrapolación de Tafel (metodo para evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de inhibición sobre el deterioro del material, determinando la oxidación del mismo). Al exponer las aleaciones a la atmósfera existe una formación inherente de una capa de Al_2O_3 transparente y aislante que protege a las aleaciones de los mecanismos de la corrosión atmosférica, esto de acuerdo con lo descrito por M. Flores [6]. El efecto de la plata en cada composición de las aleaciones Zinag® contribuye a esta protección manteniendo a la aleación con una apariencia grisácea constante en función del tiempo semejante a la del aluminio, en contraste, este efecto no ocurre en aleaciones comerciales como la aleación Zn-Al-Cu debido a que su color su vuelve plomizo con el transcurso del tiempo [6].

Por otra parte, al introducir las muestras al electrolito, la capa protectora de Al_2O_3 tiende a perder sus propiedades generando picaduras. Este efecto se relaciona con el contenido de plata para cada ensayo. El comportamiento de la capa protectora funciona básicamente como en el principio permeable, donde inicia la corrosión de estas aleaciones en este medio corrosivo, esto debido a la habilidad del zinc para resistir a las soluciones salinas. En este punto, y de acuerdo con lo

experimentado, no existe un alto mecanismo de corrosión en condiciones de inmersión sin polarización, como sucede en la práctica.

La función del contenido de la plata en el ensayo de corrosión, determina que a mayor contenido de este tercer elemento, su comportamiento varia en comparación a la aleación base Zn-Al. La tendencia a la corrosión tiene un comportamiento menos noble como se observa en la figura 1. De esta forma se puede distinguir que todas las muestras inician la parte catódica (-1630mV) con una fuerte activación u oxidación. Pasado unos minutos, todas las aleaciones se pasiva en su superficie y se inicia la reducción de corriente conforme se hace más anódico el potencial.

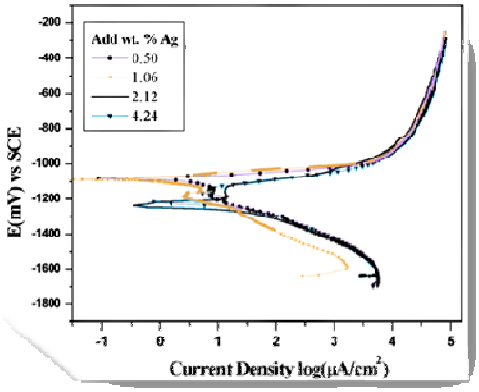


Figura 1 Curva de Tafel, para las aleaciones Zinag® a diferentes composiciones de Ag.
La aleación Zinag® presenta una menor corriente anódica, el potencial de corrosión de la aleación Zinag® (-1080mV) es más noble y es más cercano al potencial de reposo E_{rep} lo cual indica que hubo menos cambios superficiales durante la polarización anódica.

Resultados

En la tabla 1 se muestran las diferentes composiciones de Zinag® a ensayar.

En la región catódica de las aleaciones (de E_{corr} hacia potenciales menos negativos) se observa que las muestras Zinag® 1 y 2 tienen un comportamiento similar y alrededor de 3.16 μA de corriente de corrosión y por otra parte las aleaciones Zinag® 3 y 4 tienen los valores de 40 y 60 μA de corriente lo cual hace suponer que las muestras de menor cantidad de plata se corroen menos.

En la figura 2 se presentan la evolución temporal de libre potencial de corrosión de cada aleación en estudio, de esta forma se aprecia que el inicio del potencial se encuentra en el intervalo de –995 a –1005mV, a térmico de aproximadamente 60 minutos. Las aleaciones que mantienen más nobles son las aleaciones Zinag® 1 y 2, en contraste los potenciales de las aleaciones Zinag® 3 y 4 decrecen hasta alcanzar un valor de pasivación cercano a los –1015mV, para todos los casos la pasivación de las aleaciones no alcanza y regresa al valor de potencial de inicio.

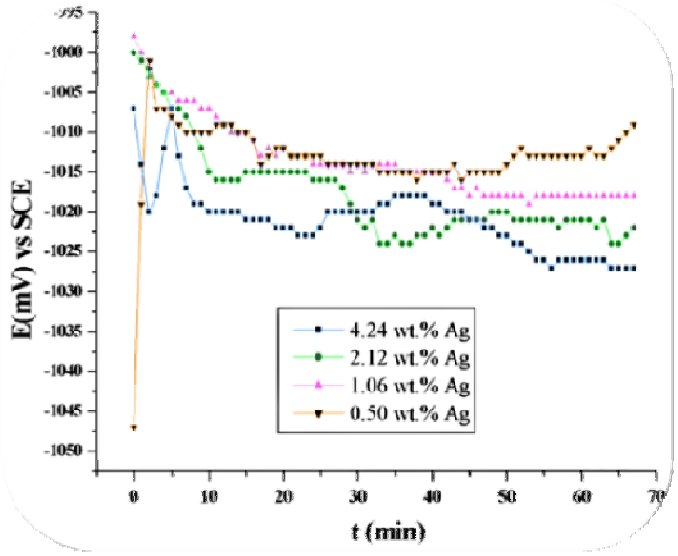
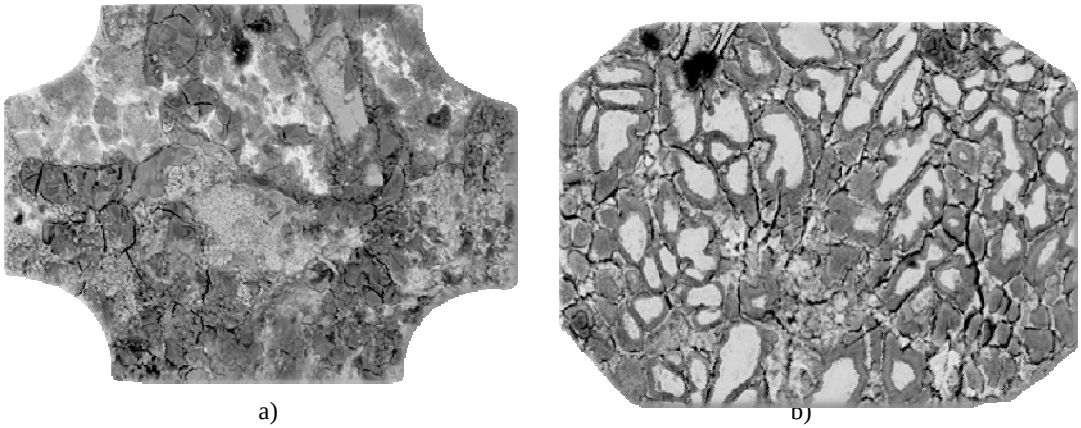


Figura 2 Cambio de potencial de corrosión de las aleaciones Zinag®

Para calcular la relación entre la velocidad de corrosión de las aleaciones es importante analizar la tabla 1 donde se presentan los principales parámetros obtenidos de la cinética electroquímica, es decir, la velocidad de corrosión es mayor en la aleación Zing-4 con mayor contenido de plata y este comportamiento va en disminución principalmente por la menor adición de la plata.

Esta velocidad de corrosión en la aleación Zinag-2 se estabiliza y esto por el efecto de la polarización de dicho material, por lo cual en esta composición el material tiene una resistencia importante en cuanto a las otras tres aleaciones en estudio. Es necesario tomar en cuenta este valor para futuras aplicaciones al ser utilizado como un material estructural en medios corrosivos. En consecuencia, la aleación Zinag-2 puede calificarse como una aleación con buena resistencia a la corrosión, si esta se compara con aleaciones Zn-Al-Cu, tomando en consideración que el valor investigado para una concentración de NaCl a 3% es de 0.15 y 0.30 mm/año [7]. Figura 3.



a) b)

Figura 3, Imágenes SEM de superficies de corrosión después de polarización en una solución salina 0.5M. a) ZnAlAg2.12% . b) ZnAlAg2.12% en otra zona.

Tabla 1 Resultados del análisis de la curva de Tafel.

	Zinag-1	Zinag-2	Zinag-3	Zinag-4	Densidad	Peso Atómico	n	Peso Eq.
Zn	77.43	77.04	76.17	74.54	7.14	65.37	2	32.85
Al	27.04	21.93	21.68	21.21	2.7	26.9815	3	8.9938
Ag	0.5	1	2.14	4.24	10.5	107.87	1	107.87
i_{corr} (A/cm^2)	1.00E-04	1.00E-05	3.16E-05	7.89E-03				
Densidad Teórica (gr/cm^3)	6.197766	6.248598	6.311082	6.340026				
Peso equivalente (PE)	13.943289	14.0189387	14.1528131	15.6907573				
N= Eq/mol	0.34536587	0.35624003	0.37044733	0.41652891				
Vel. Corrosión mm/año	0.62582081	0.21287893	2.28075905	138.116448				

Las aplicaciones de zinagizado recaen principalmente en los materiales estructurales destinados a la construcción como son: láminas, tubos, tornillos, clavos, herramientas, llaves y también en la aplicación de biomateriales.

Conclusiones

Considerando los resultados de tres análisis (MEB y Tafel) a las diferentes composiciones de las aleaciones Zn-Al-Ag, se observaron los efectos y mecanismos que son vitales para la puesta en operación de un material estructural que pueda estar trabajando en condiciones agresivas a medios corrosivos y también a un tiempo de vida efectivo. Es así, como se considera a la aleación Zinag-2, como la que tiene las mejores propiedades contra la corrosión dadas las siguiente consideraciones.

Las curvas de Tafel, dan como resultado los valores óptimos de la aleación Zinag-2, como la composición en la que la pasivación del material se mantiene más noble, y en la que la estabilización de la velocidad de la corrosión es más considerable. De igual forma, los valores de velocidad de corrosión a la cual cual el material se degrada por año está en el rango menor, por lo cual se afirma que estos resultados experimentales proporcionan confiabilidad para la operación en esta composición de la aleación.

Por otra parte, los resultados de la morfología del material presuponen que el mecanismo por el cual está caracterizada la picadura, se encuentra por la frontera del grano donde el material es más sensible a este efecto corrosivo. Este efecto también está relacionando con los resultados de microscopía de fuerza atómica el cual predice dicho comportamiento y asegura los valores a la composición del mecanismo a la picadura efectuado por el medio al que fue sometido [8].

Finalmente, el estudio de superficie determina una concepción más favorable para poder predecir que la aleación Zinag-2 es la que garantiza mayor confiabilidad en el material. Determinando que existe un decapado de la primera superficie mayoritariamente de alúmina en las aleaciones Zinag 1, 3 y 4, la cual sirve de capa protectora, por lo que a la composición de la aleación Zinag-2 esta es resistente, asumiendo que sin la primera capa protectora entonces se producirá la activación de la deszincificación, produciendo un fuerte desprendimiento de material y así la degradación de la misma aleación (Corrosión).

Agradecimientos

- Sistema Nacional de Investigadores.
- Por su apoyo y por hacer posible la realización de esta investigación, al financiamiento de los proyectos DGAPA-UNAM, PAPIIT-UNAM y CONACyT No. 155808
- LAD. Madeleine H. Luría y Miguel Toledo-Cervantes. Por su trabajo en la edición de gráficos.

Bibliografía

[1] L.C. Prasad, A. Mikula, Physica B 373 2006 (67–71).
[2] F. Abd El-Salam a, M.M. Mostafa a, L.A. Wahab b, M.T. Mostafa a, Sh.M. Abd El-Aziz, Work hardening characteristics in Al base alloys with 12.6 and 45 wt.% Zn, Materials Science and Engineering A 2007
[3] E. Plama, J.M. Puncta, M. Porcills, Corros. Sci. 40 (1998) 61.
[4]José Ramón San Cristóbal Mateo, María Victoria Biezma Moraleda, Análisis económico de la corrosión, Ingeniería química, ISSN 0210-2064, Nº. 418, 2004 , (93-96).
[5] O. Ruano, Rev. Metal. CENIM 18(1982) 275.
[6]Flores Martínez Martin, Recubrimientos de TiN/Ti depositados sobre Zinalco por espurreo. Tesis de Maestría –UNAM(1997).
[7] S. Valdez, M. Flores and S.R. Casolco, Microstructural effects on corrosion behavior of ZnAl alloy at different Ag addition., TMS (The Minerals, Metals & Materialzs Society), 2007.
[8] Said Robles Casolco, Caracterización mecánica del eutectoide Zn-Al, modificado con plata. Tesis Doctoral – UNAM (2004).

DIRECTORIO

Director de la Escuela de Graduados e Innovación
Dr. Alejandro Romero Jiménez
alejandro.romero@itesm.mx
Tel. (222) 303 2085

Dir. Centro para el Desarrollo de la Empresa Familiar y los Emprendedores
Dr. Alejandro Lagunes
llagunes@itesm.mx
Tel. (222) 303 2130

Dirección de EGADE
Dr. Juan Carlos Gachuz
jcgachuz@itesm.mx
Tel. (222) 303 2155

Desarrollo EGADE
Mtro. Juan Carlos Cabrera Camargo
cabrera.juan@itesm.mx
Tel. (222) 303 2086

Coordinación académica de Posgrados
Lic. Gabriela Kauffmann Torres
gkauffma@itesm.mx
Tel. (222) 303 2212

Desarrollo de Posgrados Universidad Virtual
Mtra.Cecilia Bedolla
cecilia.bedolla@itesm.mx
Tel. (222) 303 2213

Asesor de Seguimiento Universidad Virtual
Lic. Carlos Pozas Delgado
carlos.pozas@itesm.mx
Tel. (222) 303 2145

Servicios Escolares
L.I.Rodrigo González Rodríguez
rgonzalr@itesm.mx
Tel. (222) 303 2064

Director Administrativo
Ing. Ricardo Rodríguez Salazar
rirodrig@itesm.mx
Tel. (222) 303 2021

Biblioteca
Mtra. Cecilia Flores
cecilia.flores@itesm.mx
Tel. (222) 303 2045

Dirección del Centro de Idiomas
M.C.E. Karime Alle Arechavaleta
karime.alle@itesm.mx
Tel. (222) 303 2129

Coordinación de Desarrollo Profesional y Relación con Egresados
Mtra. Gisela Cante
Gisela_cante@itesm.mx
Tel. (222) 303 2196

Director de Servicios de Apoyo
Ing. Rafael Comonfort
rcomonfo@itesm.mx
Tel. (222) 303 2030

Dirección de Profesional
Dr. Asunción Zárate
azarate@itesm.mx Tel. (222) 303 2075

Dirección de Extensión y Vinculación
Dr. Bernardo Reyes Guerra
breyesg@itesm.mx
Tel. (222) 303 2062

Dirección del Centro de Competitividad y Desarrollo Sostenible
Ing. Leonel Guerra
lguerra@itesm.mx
Tél. (222) 303 2151

Dirección de Comunicación e Imagen
Mtro. Carlos Barradas García
cbarradas@itesm.mx
Tel. (222) 303 2004

Directora de Tesorería y Compras
Mtra. Gabriela Ugalde González
gugalde@itesm.mx
Tel. (222) 303 2023

ESCUELA DE GRADUADOS E INNOVACIÓN