

**ISSN 2594-1097**

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE PACHUCA

**SIMPOSIO IBEROAMERICANO  
MULTIDISCIPLINARIO DE  
CIENCIAS E INGENIERÍAS**



**SIMPOSIO IBEROAMERICANO  
MULTIDISCIPLINARIO DE  
CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**29 DE SEPTIEMBRE 2020**

**SIMPOSIO IBEROAMERICANO MULTIDISCIPLINARIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS.-** Año 8, No. 8. SEPTIEMBRE 2020. Es una publicación anual, editada por la Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20 Ex Hacienda de Santa Bárbara, Municipio de Zempoala, estado de Hidalgo, CP. 43830, Tel: 01-771-5477510, [www.upp.edu.mx](http://www.upp.edu.mx), [marcovera@upp.edu.mx](mailto:marcovera@upp.edu.mx)

Editor responsable UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA, Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2013-102511083900-203 e ISSN 2594-1097. Ambos otorgados por el INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR. Responsable de la última actualización de este número DR. FRANCISCO RAFAEL TREJO MACOTELA, Dirección de Investigación, Innovación y Posgrado de la Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20 Ex Hacienda de Santa Bárbara, Municipio de Zempoala estado de Hidalgo, CP. 43830, Tel 01-771-5477510. Fecha de última modificación 29 de septiembre de 2020. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Politécnica de Pachuca.

## **Directorio**

### **Directiva**

**LIC. ATILANO RODOLFO RODRÍGUEZ PÉREZ**

Secretario de Educación Pública de Hidalgo

**ING. JUAN BENITO RAMÍREZ ROMERO**

Subsecretario de Educación Superior y Media Superior

**DR. MARCO ANTONIO FLORES GONZÁLEZ**

Rector de la Universidad Politécnica de Pachuca

### **Editor**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA**

### **Comité Editorial**

**DR. FRANCISCO RAFAEL TREJO MACOTELA**

Responsable de la edición

[trejo\\_macotela@upp.edu.mx](mailto:trejo_macotela@upp.edu.mx)

### **Diseñador**

**DAVID PEÑA MENDOZA**

[davidpm@upp.edu.mx](mailto:davidpm@upp.edu.mx)

### **Compilador**

**MTRO. MARCO ANTONIO VERA JIMÉNEZ**

[averamarco@prodigy.net.mx](mailto:averamarco@prodigy.net.mx)

## **Comité Organizador**

**Dr. Francisco Rafael Trejo Macotela**

Presidente del Comité Organizador y Coordinador del área de Ciencias de la Ingeniería

**Dr. Alejandro Téllez Jurado**

Coordinador del área de Ciencias Biológicas y de la Salud

**Dr. Daniel Robles Camarillo**

Coordinador del área de Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas

**Dra. Reyna del Carmen Martínez Rodríguez**

Coordinadora del área de Ciencias de la Educación

## **Comité de Árbitros**

Dra. LBC

Dra. YMF

Dra. MRRV

Dra. RAG

Dra. BEJL

Dr. JBPF

Dr. GLR

Dr. FRTM

Dr. DRC

Dr. JCRF

Dr. JCSR

Dr. MAVJ

Dr. MAAR

Dr. ACR

Dr. ATJ

Mtra. RAJA

Mtra. LSO

Mtra. RMCA

Mtro. JHP

Mtro. JMLOP

*Universidad Politécnica de Pachuca, México.*

Dr. AIMP

Dr. EEVC

Dr. FMG

*Tecnológico Nacional de México, México.*

Dra. ICC

Dr. RVM

Dr. GSP

Dr. JSA

Dr. LNRO

Dr. EEH

Dr. AAJ

*Instituto Politécnico Nacional, México.*

Dr. RGMA

*Universidad Anáhuac Mayab, México.*

Mtra. OVCJ

*Escuela Normal Superior Pública del Estado de Hidalgo, México*

Dr. AGC

Dr. JIPG

*Universidad La Salle Pachuca, México*

## Presentación

El Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías (SIMCI) es un evento bianual organizado por la Universidad Politécnica de Pachuca y anual para la edición de su revista digital arbitrada. En esta octava edición del SIMCI, se incluye la presente revista digital que incluye los artículos científicos y tecnológicos en extenso. Para la edición de los trabajos en extenso se abrió una convocatoria nacional e internacional para el envío y posterior recepción y revisión de artículos de corte científico y tecnológico. Estos trabajos fueron revisados por investigadores nacionales e internacionales de reconocido prestigio haciendo énfasis en cuatro ejes temáticos: Ciencias Biológicas y de la Salud; Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas; Ciencias de la Ingeniería; y Ciencias de la Educación. En este documento final se presentan los trabajos que fueron revisados y aceptados para ser publicados en la presente REVISTA DIGITAL ARBITRADA SIMPOSIO IBEROAMERICANO MULTIDISCIPLINARIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS.

La presente edición de la revista digital de SIMCI, en la primera sección se presenta el artículo Daños Epiteliales en Estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca Posiblemente Asociados a la Alta Incidencia de Luz Ultravioleta Observada en los Valles Altos del Estado Mexicano de Hidalgo, por A. Ahumada-Medina, R.M. Chio-Austria, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la segunda sección se presenta el artículo Paraganglioma, por Ma. F. Trejo-Sierra, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la tercera sección se presenta el artículo Preprocesamiento y preparación de espectros Raman para la identificación de materiales, por J.C. Rojo-Méndez, E.G. Pérez-Pérez, P. Sobron, A. Silva-Castillo, G. Luis-Raya, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México e Impossible Sensing, St. Louis, MO, USA.; en la cuarta sección se presenta el artículo Prediagnóstico de Cáncer de mama mediante Lernmatrix con Transformada 9, por P. Reyes-León, M.M. Francisco-De la Cruz, J.C. Salgado-Ramírez, A.J. Argüelles-Cruz, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México y el Centro de Investigación en Computación del IPN, Ciudad de México, México; en la quinta sección se presenta el artículo Sistema de autenticación anónima por medio de criptografía no invertible, por J. C. Bautista-Tlamayanco, I.N Lucio-Morales, L.A Lizama-Perez, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la sexta sección se presenta el artículo Diseño de una máquina tribológica de una máquina tribológica de cuatro bolas, por J.F. Aparicio-Lozada, J.C. Ramos-Fernández, J. Hernández-Pérez, E.E. Vera-

Cárdenas, A.I. Martínez-Pérez, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México y el Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México; en la séptima sección se presenta el artículo Propuesta de obtención de un recubrimiento híbrido PMMA-TEOS para reducir el desgaste por erosión en el borde de ataque de las palas de aerogeneradores, por J.L. Reyes-Hernández, A.I. Martínez-Pérez, E.E. Vera-Cárdenas, M. Moreno-Ríos, E.O. Ávila-Dávila, con adscripción en el Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México; en la octava sección se presenta el artículo Prueba tribológica en acero AISI 1018 y aleación Al-Mg en un equipo perno cobre disco (ASTM G99), por D.A. Sánchez-Ramos, H.A. Martínez-Castañeda, E.E. Vera-Cárdenas, M. Moreno-Ríos, con adscripción en el Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México.

# Contenido

Artículo	Página
<b>EJE TEMÁTICO: CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD (CBS)</b>	
Daños Epiteliales en Estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca Posiblemente Asociados a la Alta Incidencia de Luz Ultravioleta Observada en los Valles Altos del Estado Mexicano de Hidalgo	1-5
Paraganglioma	6-12
<b>EJE TEMÁTICO: CIENCIAS COMPUTACIONALES, COMUNICACIONES Y FINANZAS (CCCF)</b>	
Preprocesamiento y preparación de espectros Raman para la identificación de materiales	13-18
Prediagnóstico de Cáncer de mama mediante Lernmatrix con Transformada 9	19-24
Sistema de autenticación anónima por medio de criptografía no invertible	25-34
<b>EJE TEMÁTICO: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA (CI)</b>	
Diseño de una máquina tribológica de una máquina tribológica de cuatro bolas	35-45
Propuesta de obtención de un recubrimiento híbrido PMMA-TEOS para reducir el desgaste por erosión en el borde de ataque de las palas de aerogeneradores	46-49
Prueba tribológica en acero AISI 1018 y aleación Al-Mg en un equipo perno cobre disco (ASTM G99)	50-54

*Formato para los Artículos del Simposio Iberoamericano  
Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2020*

# Daños Epiteliales en Estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca Posiblemente Asociados a la Alta Incidencia de Luz Ultravioleta Observada en los Valles Altos del Estado Mexicano de

A. Ahumada-Medina<sup>1</sup>, R. M. Chio-Austria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Cd. Sahagún, Km 20. Rancho Luna. Ex hacienda de Santa Bárbara. Zempoala, Hidalgo. México.

Recibido: Agosto 10, 2020; Aceptado: Septiembre 11, 2020.

## Resumen (CBS)

Por sus condiciones geográficas, la Universidad Politécnica de Pachuca (UPP) se caracteriza por estar localizada alrededor de los 20° de latitud norte a una altura sobre el nivel del mar de 2300 metros en los Valles Altos de Hidalgo. Esto permite que la radiación solar con todo su espectro llegue a su superficie poco amortiguada por la atmósfera. Estudios sobre la radiación ultravioleta (UV) que incide en esta Universidad generaron la inquietud de conocer que daños ocurren sobre la piel humana de su comunidad. Se practicó una encuesta a 522 alumnos para que estos se auto clasificaran dentro de los seis niveles de fototipos numéricos propuestos por Thomas B. Fitzpatrick en 1975, que va del I para la piel más clara, con poca capacidad de broncearse y susceptible a sufrir quemaduras, mientras el número VI se lo otorgó a la piel más obscura y resistente a quemaduras por UV; y asimismo manifestaran daños de piel por quemaduras, manchas o cáncer (diagnosticado).

Los resultados indican que la población conformada por aproximadamente un 75 % de mujeres mostró en su piel un 46.2 % de quemaduras, 68.8 de manchas y un 2.6 % de cáncer diagnosticado. Este último dato debe de tomarse en cuenta como punto de partida para investigar a fondo los problemas que generan la radiación UV en las poblaciones que habitan en estas regiones con exposiciones directas al sol y elevadas respecto al nivel del mar.

*Palabras clave:* Daños de piel, fototipos, radiación ultravioleta.

## Abstract (CBS)

Due to its geographical conditions, the Polytechnic University of Pachuca (UPP) is characterized by being located around 20 ° north latitude at a height above sea level of 2300 meters in the High Valleys of Hidalgo. This allows solar radiation with its entire spectrum to reach its surface, which is poorly damped by the atmosphere. Studies on ultraviolet (UV) radiation that affects this University generated the concern of knowing what damages occur on human skin in their community. A survey was carried out on 522 students so that they classified themselves within the six levels of numerical phototypes proposed by Thomas B. Fitzpatrick in 1975, which ranges from I for lighter skin, with little ability to tan and susceptible to burns., while the number VI gave it to the darker skin and resistant to UV burns; and they will also show skin damage from burns, spots or cancer (diagnosed).

The results indicate that the population made up of approximately 75% of women showed 46.2% of burns, 68.8 of spots and 2.6% of diagnosed cancer on their skin. This last piece of information should be taken into account as a starting point to thoroughly investigate the problems that UV radiation generates in the populations that inhabit these regions with direct exposures to the sun and elevated relative to sea level.

*Key words:* Phototypes, Skin damage, ultraviolet radiation.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue motivado por la observación de afecciones que se asocian al efecto de la radiación UV en la piel de la población joven adscrita a la UPP cuyo campus se sitúa en el municipio de Zempoala, Hidalgo. Este municipio forma parte de la región de los Valles Altos de

Hidalgo y sus coordenadas giran alrededor de los 20° de latitud norte y su altura está por arriba de los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), condición que favorece la llegada poco amortiguada de luz UV. Por otra parte, un grupo interdisciplinario de trabajo de la propia UPP, desde hace algunos años ha desarrollado investigaciones de medición de la radiación UV

"Ver tabla 2" para tratar de relacionar sus posibles efectos con quemaduras, manchas y cáncer de piel de la comunidad universitaria.

Dada la diversidad de tonos de piel, se manejo el concepto de fototipo propuesto en 1975 por Thomas B. Fitzpatrick de la Universidad de Harvard (Castanedo, 2003). Este concepto, se basa en la capacidad de la piel para reaccionar ante la radiación solar. Fitzpatrick propuso una clasificación numérica que va del I para la piel más clara, con poca capacidad de broncearse y susceptible a sufrir quemaduras, mientras el número VI se lo otorgó a la piel más obscura y resistente a quemaduras por UV. Posteriormente, la clasificación ha sido actualizada para soportar diferentes variantes de investigación dermatológica relacionadas con el color de la piel.

Cuando la radiación visible y UV alcanzan directamente la piel, una porción es reflejada, otra es absorbida y otra es transmitida a diferentes capas de células hasta que la energía se disipa. La porción absorbida a nivel molecular en los tejidos es la que puede ocasionar respuestas tisulares.

Comparadas con las radiaciones solares del espectro visible (400-800 nm), las de la UV tienen una longitud de onda más corta (200-400 nm) y menor penetrancia que la luz visible en la piel, pero su energía se absorbe tanto en la epidermis como en la dermis llegándoles a ocasionar modificaciones en el DNA. Ver "tabla 1". Las longitudes de onda que mayor carcinogenicidad provocan es en primer lugar la UVC cuya longitud de onda es la más corta (200-290 nm), continuando la UVB (290-320 nm) y en tercer lugar la UVA (320-400).

Los daños en el ADN ocurren cuando la UV es absorbida intensamente "Ver tabla 1" por los dobles enlaces conjugados de las pirimidinas, ocasionando que las biomoléculas se vuelvan reactivas o ionizándolas, al grado que a la piel humana puede ocasionarle quemaduras o hasta cáncer. Estas lesiones al genoma derivadas de la radiación UV suelen repararse mediante la supresión del nucleótido dañado con la intervención de la DNA nucleasa que reconoce y releva el segmento que contiene la lesión para que entonces, la DNA polimerasa inserte las bases correctas y la ligasa termine por unir las cadenas corregidas. Sin embargo, si las lesiones no reparadas se acumulan o el mecanismo de la reparación es defectuoso, puede llevar a la muerte celular (Díaz, 2011).

Los índices de radiación UV más altos que se registran en la región central de México, ocurren en los meses primaverales entre las 11:00 y las 15:00 horas, en contraste, disminuyen durante el verano debido a los nublados que suelen presentarse en la región a partir de las primeras horas de la tarde. En los meses de otoño e invierno, por la inclinación estacional propia del planeta, este fenómeno disminuye considerablemente "Ver tabla 2".

*Tabla 1. Efectos en la piel de la radiación ultravioleta y luz visible*

Tipo luz	Longitud de onda (nm)	% que llega a superficie terrestre	Nivel de penetrancia en piel	Nivel de penetrancia en vidrio	Eritrogenicidad*	Carcionogenicidad
UVC	200-290	0	Epidermis	-	+++	+++
UVB	290-320	1.7	Epidermis-dermis papilar	-	++	++
UVA	320-400	6.3	Dermis papilar-reticular	+	+	+
Visible	400-800	92	Dermis reticular subcutánea	+	-	-

\*: efecto escaso o sin efecto; +: efecto leve; ++ efecto moderado; +++: efecto severo

Los índices de radiación UV más altos que se registran en la región central de México, ocurren en los meses primaverales entre las 11:00 y las 15:00 horas, en contraste, disminuyen durante el verano debido a los nublados que suelen presentarse en la región a partir de las primeras horas de la tarde. En los meses de otoño e invierno, por la inclinación estacional propia del planeta, este fenómeno disminuye considerablemente "Ver tabla 3".

Los antecedentes de investigaciones previas en la UPP, en donde los índices de radiación UV entre los años 2011 al 2016 mostraron niveles preocupantes según los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, La Organización Meteorológica Mundial, la Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación no Ionizante, y la Oficina Federal Alemana para la Protección Contra la Radiación (Esteba, 2005). "Ver tabla 2"

Tabla 2. Protección requerida contra los diferentes IVU.

Índice de Radiación Ultravioleta	Protección requerida
1-2	No necesita protección
3-4,5,6 y 7	Se necesita protección. Mantenerse a la sombra durante las horas centrales del día. Usar camisa, crema de protección solar y sombrero
8,9,10,11 o más	Se debe evitar salir durante las horas centrales del día, mantenerse a la sombra. Es imprescindible usar camisa, crema de protección solar y sombrero.

Estudios realizados en la UPP entre los años 2011 al 2016 indican que de marzo a octubre de los 245 días que suman estos meses en 228 se registraron índices con IUV altos y extremadamente altos, lo que incentivo a continuar con trabajos que permitan cuantificar problemas que están afectando la salud de la piel de nuestros alumnos

La tabla 3 señala que son los meses de abril y mayo los que registran los índices con mayor incidencia de rayos UV, mientras que, a partir junio, los valores se mantienen elevados, pero seguramente amortiguados por los nublados propios de la época

Tabla 3. Promedio IVU acumulados de marzo a octubre. 2011-2016.

Mes	8-10	10-12	12-14	Total
Marzo (31)	15.1	6.1	1.6	22.8
Abril (30)	11	14.6	2.5	28.1
Mayo (31)	3.3	16.6	10.3	30.2
Junio (30)	2.8	10.5	13.8	27.1
Julio (31)	6.3	11	10.5	27.8
Agosto (31)	4.6	13.6	6.0	24.2
Septiembre (30)	8.1	10.5	4.5	23.1
Octubre (31)	12.3	11.3	0.8	24.4
Total anual	63.5	94.2	50.0	207.7

## MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó una encuesta a 522 alumnas y alumnos de la Licenciatura en Terapia Física de la Universidad Politécnica de Pachuca, a quienes compañeros previamente entrenados, les explicaron los problemas de la exposición a los rayos solares a una altura de más de 2000 msnm como ocurre en los Valles Altos de Hidalgo y su influencia en el desarrollo de problemas de piel, además se les informó sobre el estudio que se estaba realizando con la población estudiantil y las bases de la escala numérica de fototipos de

piel de Fitzpatrick "Ver tabla 4" (Castanedo, 2003) en el que toma que toma en cuenta la capacidad de cada fototipo para llegar a quemarse o broncearse como consecuencia de la exposición a la radiación UV.

Las boletas con el cuestionario tenían las siguientes preguntas

1. Criterio personal del fototipo de piel según la escala Fitzpatrick
2. Consideras que la exposición a la radiación solar te ha llegado a causar: a) quemaduras en el último año, b) manchas.
3. Has llegado a tener problemas graves con tu piel derivado de la exposición a sol. Con opinión médica. (Cáncer de piel).
4. No he tenido ningún problema.

Las boletas se seleccionaron en función de cada uno de los seis fototipos seleccionados por cada alumno para luego contarlas y obtener el porcentaje de casos reportados.

Tabla 4. Principales características de los fototipos de Fitzpatrick.

Fototipo	Piel	Cabello	Ojos	Bronceado	Quemaduras
I	Muy clara	Pelirrojo	Azules/verde claro	No	Siempre
II	Clara	Rubio	Azules/Verdes/ Marrón claro	Mínimo	Muy fácilmente
III	Ligeramente morena	Castaño	Verdes/Marrón claro	Gradual	Fácilmente
IV	Morena	Castaño	Marrones	Si	Ocasionalmente
V	Muy morena	Castaño oscuro/negro	Marrones/Negros	Intenso y rápido	Raramente
VI	Negra	Negro	Negros	Máximo	Difícil



## RESULTADOS

Para reportar el resultado del análisis de la encuesta se concentró en la tabla 5 en donde se observan los conjuntos de alumnos reunidos para cada fototipo, las afecciones que se reportan, así como los alumnos que no se consideran afectados y los porcentajes de

afectados y no afectados y el total de incidencias.

En la tabla 6 se resumen los porcentajes de fototipos de piel y su relación con los tipos de daños que investigamos. Para quemaduras (a) el porcentaje más elevado lo alcanzó V (58%), mientras que II reportó el valor inferior (32%); en cuanto a manchas de piel, III y IV reportan los máximos valores (77 y 68 %) y nuevamente III el mínimo (39 %); por otra parte, los casos

cáncer de piel diagnosticados no se observaron en las poblaciones de tez más clara como son los fototipos I y II como era de esperarse, sino que se presentaron seis casos en III, dos en IV y dos en V, que sumados los cuatro casos dan un valor de 1.4 % sobre la población total estudiada, pero también debe de tomarse en cuenta que las poblaciones de piel más clara representan apenas el 9 % de la población en estudio.

*Tabla 5. Resultado de la encuesta aplicada a estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca para determinar los posibles efectos de la radiación ultravioleta asociado a su fototipo de piel según la escala Fitzpatrick.*

Número de estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca encuestados: 522  
 Afectaciones en piel encuestadas

- a. Quemaduras
- b. Manchas
- c. Cáncer de piel

Fototipos	I 8 alumnos 1.53%			II 39 alumnos 7.47%			III 186 alumnos 35.67 %			IV 215 alumnos 41.18 %			V 74 alumnos 14.17 %			VI 0 alumnos 0 %		
Afectaciones en piel	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Alumnos afectados	4	5	0	12	15	0	96	145	6	87	148	3	43	45	2			
Alumnos no afectados	0			0			2			1			1			0		
Porcentaje Afectados piel por nivel	50	62	0	30	39	0	51	77	3.2	40	68	1.3	58	60	2.7			
Porcentaje de no afectados							1.07			0.46			1.35					
Total incidencias																611		

*Tabla 6. Relación de porcentajes de alumnos de la Universidad Politécnica de Pachuca con reportes de afecciones en su piel en función a sus fototipos.*

	a. Quemaduras	b. Manchas	c. Cáncer de piel
I	50	62	0
II	32	38	0
III	51	77	3.2
IV	40	68	1.3
V	58	60	2.7
VI	0	0	0
Porcentaje total de daños	45.8	61.0	1.4

## DISCUSIÓN

Las quemaduras de sol son un daño que en mayor o menor grado las personas lo han sufrido a lo largo de su vida, por ello se solicitó en la encuesta sobre este problema en el último año los resultados indican valores razonables, probablemente relacionados con el tipo de piel que prevale en la población, sin embargo, los valores resultan contradictorios debido a que es el fototipo V, el que alcanza tasas más elevadas (58 %), mientras que III 51 % es el que menor daño reporta. Por otra parte, se considera que estos daños aun cuando pueden curarse en poco tiempo, su acumulación a través de los años, puede ser precursora de problemas mayores.

En cuanto a las manchas los valores alcanzan hasta el 77% para el fototipo III y 68 % para IV, siendo este problema el que preocupa a la mayor parte de los encuestados y admiten del uso de bloqueadores solares. Para el fototipo I el valor de 65% es elevado, pero es probable que sea el que más cuidado tenga con su piel debido a la susceptibilidad a los problemas con la radiación solar en que han vivido. Esta afección aun cuando en la mayor parte de los encuestados lo atribuyen a la radiación UV, no obstante, su aparición puede derivar de variados factores

Sin duda es el cáncer de piel el que más atrae la atención debido a que la comunidad estudiantil reportó 11 casos de esta enfermedad diagnosticada; también es el daño más paradójico debido a que las pieles más claras como la I y II no reportaron ningún caso, pero paradójicamente, los fototipos con mayor resistencia a las radiaciones UV mostraron un mayor número de incidentes. El valor intermedio admitió seis situaciones positivas, V con tres y V con dos.

En nuestra opinión será necesario que el presente trabajo sea apenas una primera aproximación a un problema de salud comunal que es necesario atenderse a través de investigaciones más profundas no solo entre la población joven como lo fue este caso, sino que debe de investigarse a un mayor grupo de poblaciones.

## RECONOCIMIENTOS

Dr. Marco Antonio Flores González, Rector de la UPP.

Secretaría Académica, UPP.  
Dirección de Investigación, Innovación y Posgrado, UPP.  
Coordinación de Terapia Física, UPP.

## REFERENCIAS

- Ahumada, A., Sánchez, E., Vázquez, V., Chio, R., Cortés, S. & Subervier, L. (2017, Septiembre). Cuantificación de la Radiación ultravioleta solar observada en la Universidad Politécnica de Pachuca durante los años 2011 a 2016. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología, Vol 1, pp 1-5.
- Castanedo, J., et al. (2003). Dosis de radiación ultravioleta en escolares mexicanos. Salud Pública, 45 (6), 1
- Díaz, M., Peniche, A., Fierro, A. (2011). Cáncer de piel en menores de cuarenta años. Gaceta Médica de México, 147, 17-21.
- Esteva, E. (Mayo 2005). Fotoprotección. OFFARM, 24 (5), 64-72.
- Fajre, X. (2002). Exposición solar y fotointerpretación. Revista Chilena de Medicina, 3 (3), 113-118
- Fitzpatrick, T. (1975). Soleil et peau. J. Med. Esthét. (2), 33-34
- Organización Mundial de la salud. (2003). Índice UV Solar Mundial. Guía Práctica. 2017, de Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante Sitio web: <https://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>
- Vázquez, V., Chio, R., Sánchez, E., Ahumada, A., Cortés, S., Surbevier, L. (2017). Detección y prevención de fotoenvejecimiento en universitarios por exposición nociva a rayos ultravioleta. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología, 1 (1), 6-11.

# Paraganglioma

Ma. F. Trejo-Sierra

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Pachuca. Dirección, Zempoala, Hidalgo, México.

Recibido: Agosto 22, 2020; Aceptado: Septiembre 11, 2020.

## Resumen (CBS)

Esta investigación está fundamentada en hacer un análisis sobre las características morfológicas de un paraganglioma, reconociéndolo como una metástasis rara, debido a su baja prevalencia, se consideró relevante describir los patrones histológicos que permiten identificar esta neoplasia benigna, permitiendo integrar los componentes de esta neoplasia para un abordaje diagnóstico en el contexto de patología clínica mediante el reconocimiento del patrón en microscopio; la observación de estos aspectos morfológicos son cruciales en los diagnósticos diferenciales de este padecimiento. Para esta investigación, nos apoyamos en los libros “Patología Estructural y Funcional” (Robbins y Cotran); “Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello”; “Tratado de medicina interna”; referente a la metodología empleada como análisis de datos, mediante nivel empírico-teórico de investigación científica, que fueron base para sustentar el problema científico asumido, mientras que, a través de los teóricos, se concretó el proceso mental que posibilitó el análisis de esta neoplasia.

Palabras clave: Cuerpo carotídeo, Neoplasia benigna, Paraganglioma, Zellballen.

## Abstract (CBS)

This research is based on an analysis of the morphological characteristics of a paraganglioma, recognizing it as a rare metastasis, describing the characteristic histological patterns that allow the identification of this benign neoplasm, allowing the integration of the components of this neoplasm for a diagnostic approach in the context of clinical pathology, by the recognition of the pattern in microscopic that is crucial in the differential diagnosis of this condition. For this research we rely on a variety of references such as the books “Structural and Functional Pathology” (Robbins and Cotran); “Treatise on Otolaryngology and Head and Neck Surgery”; “Treatise on Internal Medicine”; the methodology used was data analysis, through empirical and theoretical level of scientific research, which were the basis for the scientific problem assumed, while through the theorists, the mental process that made possible the analysis of this neoplasm was concreted.

Keywords: Carotid body, Benign neoplasm, Paraganglioma, Zellballen.

## INTRODUCCIÓN

Un tumor es cualquier alteración de los tejidos que produzca un aumento de volumen anormal, pueden ser malignos o benignos. Todos los tumores, sin importar su malignidad, requieren de dos componentes: el parénquima (siendo células neoplásicas proliferantes) y el estroma (siendo el soporte, tejido conectivo y vasos sanguíneos).

En general los tumores benignos se designan añadiendo el sufijo *-oma*, incluyendo el paraganglioma. Algunos tienen el sufijo de la célula original, otros se basan en la célula de origen (ej. mieloma), según su arquitectura microscópica (Zellballen en este caso).

Un paraganglioma es considerado un feocromocitoma extrarrenal, por no estar en la región de la médula suprarrenal, sino que se encuentran aproximado a.

Un *paraganglioma* es una neoplasia *benigna* que se deriva de las células de los paraganglios del sistema nervioso simpático y parasimpático, estos como un conjunto de células originadas a partir de un tejido especializado (paraganglios), formado por un conglomerado de células cromafines dispersas por el organismo que derivan de la migración de las células de la cresta neural durante el desarrollo embrionario al inicio de la tercera semana, mediante el proceso de neurulación o formación del tubo neural; la neurosegmentación, que son mecanismos implicados en la segmentación

inicial del tubo neural y la segmentación del rombencéfalo y la médula espinal, que lleva a la evolución de las placodas sensitivas e inducciones secundarias en la región craneal. En la quinta semana de desarrollo embrionario, a partir de las células de la cresta neural de la región torácica, se originan las simpatogonias, y se van diferenciando en 3 tipos celulares: neuroblastos, simpatoblastos y feocromoblastos. Estos últimos aparecen en la séptima semana, y dan lugar a los feocromocitos adrenales y extraadrenales para los ganglios paraaórticos y paraganglios de los grandes vasos. Su proliferación tumoral da origen a los feocromocitomas y paragangliomas.

El 90 % de estos tumores tienen su origen en las glándulas adrenales, al ser depositarias de la más grande colección de células cromafines del organismo, y el resto, el 10 %, son extraadrenales y se originan en los paraganglios, con predominio de los paragangliomas solitarios. Presentan una incidencia del 0,012 % de todos los tumores del cuerpo humano. De cada 30 000 tumores de cabeza y cuello 1 es un paraganglioma, y tienen un patrón de herencia autosómico dominante.

Los paragangliomas no presentan ningún factor de riesgo ambiental, alimentario o de estilo de vida. En cuanto a su relación con el sexo, se calculan 2:1 relación hombre/mujer. La edad de predilección es en la cuarta década de la vida. Según su distribución anatómica, su inervación y su estructura microscópica pueden ser agrupados en: paraganglios branquioméricos, intravagales, aórtico-simpáticos y autonómicos-viscerales.

El tamaño de los paragangliomas varía de 2-12 cm, promedio de 5,4 cm. Macroscópicamente, son tumores sólidos y encapsulados; la superficie de corte es café rojiza, extremadamente vascularizada, homogénea y con fibrosis. Histológicamente, presentan el patrón organoide de Zellballen, con variedades como la trabecular, fusiforme o angiomatoide.

Los paragangliomas más frecuentes se encuentran en cabeza y cuello, siendo el carotideo el de mayor incidencia supone menos del 5% de todos los paragangliomas de cabeza y cuello. Representa aproximadamente el 10% de los tumores benignos que asientan en la fosa infra temporal.

El paraganglioma puede ser secretor o no secretor, y en el primer caso producen catecolaminas. Se estima que sólo del 1 al 3 por

ciento de los paragangliomas de cabeza y cuello secretan catecolaminas a partir de los gránulos citoplásmicos neurosecretores.

Las sustancias más frecuentemente producidas por estos tumores son: la adrenalina y la noradrenalina.

La adrenalina, agonista fuerte Beta 1 y débil Beta 2 se produce más frecuentemente en los tumores adrenales pequeños, y es la causante de taquicardia, la intolerancia hidrocarbonada y la HTA sistólica.

La noradrenalina, agonista Beta 1 y Beta 2, se secreta más frecuentemente en los tumores extraadrenales, paragangliomas y tumores adrenales de gran tamaño, y causa, con más frecuencia, hipotensión ortostática, bradicardia y HTA sistólica y diastólica.

La predisposición genética de estos tumores con expresión neuroendocrina a menudo es asociada con varios síndromes y afecciones familiares. El 20-25% de los pacientes con FEO/PG, son de origen genético, el 25% de todos los paragangliomas extrasuprarrenales se presenta en un entorno de síndrome hereditario. El 20% de los (PGL) son múltiples, pero no es fundamento para determinar que es maligno, se determina que es maligno solo cuando hay metástasis.

En el caso particular del paraganglioma, forma parte de los síndromes de paraganglioma hereditario, se presentan diversas variedades del síndrome de feocromocitoma-paraganglioma familiar, en dependencia de la mutación del gen que codifica subunidades de las enzimas succinato deshidrogenada (SDH).

En el 79% de los paragangliomas de cabeza y cuello se ha encontrado una mutación en la subunidad D del gen SDH. Es una enzima mitocondrial que participa tanto en el ciclo del ácido tricarboxílico como en la cadena de transporte de electrones (complejo mitocondrial II) contribuyendo a la formación de ATP por fosforilación oxidativa. En este complejo enzimático, el núcleo y principal dominio catalítico está formado por SDHA y SDHB, teniendo las SDHC y SDHD un rol en la transferencia de electrones y en el anclaje a la membrana.

Las mutaciones de la línea germinal en los genes del complejo mitocondrial II, SDHB, SDHC y SDHD, causan paraganglioma hereditario (PGL). Síndromes de paragangliomas familiares tipo 1, 3 y 4 (PGL 1, PGL3 y PGL 4) SDHB (PGL4) en el cromosoma 1p36, 44 SDHC (PGL3) en el

cromosoma 1q21, 45 y SDHD (PGL1) en el cromosoma 11q23 46 codifican tres subunidades del complejo mitocondrial II (succinato deshidrogenasa; succinato-ubiquinona oxidoreductasa), un complejo que está involucrado en la cadena aeróbica de transporte de electrones y en el ciclo de Krebs.

Los paragangliomas extra suprarrenales también se presentan en los 2 síndromes que son muy poco frecuentes: **Tríada de Carney**, el término tríada de Carney se refiere a la aparición de al menos dos de los tumores que consiste en un paraganglioma extra suprarrenal, tumor de estroma gastrointestinal (TEGI) y condroma pulmonar.

**Díada de Carney-Stratakis** que consiste en un paraganglioma y TEGI.

Los PGL también se han relacionado con un síndrome autosómico dominante caracterizado por paragangliomas y sarcomas del estroma gástrico y distinto de la tríada de Carney. Se observaron ocasionalmente en la enfermedad de von Hippel-Lindau (VHL), Neoplasia endocrina múltiple de tipo 2 (MEN2), y neurofibromatosis 1 (NF1).

Enfermedad de von Recklinghausen, NF1, es un defecto en el gen de neurofibromina en 17q11.2; la proteína es un gen supresor tumoral ampliamente expresado que regula negativamente la oncoproteína p21 RAS.

Clasificación topográfica, estadificación y criterios de malignidad

#### Clasificación según localización topográfica

1. Paragangliomas branquiomeros: hueso temporal (yugular y timpánico), cuerpo carotídeo, otras localizaciones de cabeza y cuello (órbita, laringe y nasal); y subclavios, aórticos, pulmonares.

2. Paraganglios extravagiales: mediastino superior.

3. Aórtico-simpáticos: retroperitoneales.

4. Viscerales: pélvicos, vagales y mesentéricos.

Tumores de paraganglios, independientemente de su ubicación son histológicamente similares, aunque reconocemos 2 categorías:

➔**Parasimpático:** surgen predominantemente en la cabeza y el cuello (ver Fig. 1); generalmente **no funcional**, cuando se le llama un tumor no funcional, significa que no hay secreción; una displasia se refiere al grado en que las células neoplásicas se asemejan a las células normales equivalentes, tanto morfológicamente como funcionalmente; al perder la diferenciación se le denomina

anaplasia, por lo que los tumores bien diferenciados poseen células que se asemejan a las células maduras de ese tejido.

➔**Simpático:** surgen en el retroperitoneo, el tórax y la pelvis; generalmente funcionales, es decir secretores.

#### Clasificación según malignidad

No hay un sistema de estadificación estándar del paraganglioma.

Se han dividido en 3 categorías: Enfermedad localizada, regional y metastásica.

Histológicamente, el paraganglioma se caracteriza por nidos bien definidos de células epiteloides. Específicamente, un estroma fibroso vascular que separa los nidos de las células, al cual se le conoce como patrón de Zellballen. Zellballen significa "bolas de células", porque histológicamente se ve como bolas separadas por ese estroma fibroso también denominado células sustentaculares. El tumor consiste en células poligonales o fusiformes dispuestas en pequeños nidos rodeados de células fibrovasculares, sus núcleos redondos con nucleolos muy grandes/prominentes, con "cromatina en sal y pimienta", claro que adquieren diversos patrones (clásico, organoide, alveolar, seudosarcomatoso, panal, etc.) aunque este es el clásico aspecto en células de nido de un paraganglioma.

#### DESARROLLO INCLUYE: MATERIAL Y MÉTODOS; RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Procedimiento:

Uso de tinciones, *Tricromo de Masson*, demuestra la cápsula y algunos haces de tejido fibroso en el tumor (las fibras de colágeno se tiñen de azul).

- **Reticulina:** la impregnación argéntica muestra que las bolas celulares estaban rodeadas por red de fibras reticulínicas, reticulina de los vasos, pero que no penetraba entre las células principales de cada lóbulo.

- **Inmunohistoquímica:** NSE Las células principales son positivas para lo que refleja el origen de estas células en la cresta neural. La positividad es citoplasmática.

La reacción destaca el patrón lobular del tumor contra la red vascular, que es

negativo. El aspecto histológico de las feocromocitomas y paragangliomas puede ser bastante variable (ver Fig. 2). El tumor consiste en células poligonales o fusiformes dispuestas en pequeños nidos (Zellballen) (ver Fig. 3) rodeados de células sustentaculares, los nidos están separados por un delicado estroma fibrovascular (ver Fig. 4). Los núcleos son redondos u ovalados y tienen nucleolos prominentes. (ver Fig. 5), (ver Figura 6).

**Características histomorfológicas de paragangliomas clásico:** se observan las bolas de células, es decir los nidos de células Zellballen, los septos fibrovasculares, el citoplasma finamente granular (cromatina de sal y pimienta).

En la terminología de los paragangliomas son nombrados según la ubicación en que surgen Cabeza y cuello: paraganglioma del cuerpo carotídeo, paraganglioma yugulotimpánicos (anteriormente llamado tumores glomus yugular), paraganglioma vagal, paraganglioma laríngeo. El quimiodectoma se refiere al paraganglioma del cuerpo carotídeo y aórtico tumores de paraganglios con una función quimiorreceptora.

**Epidemiología:** La edad promedio de los pacientes es la cuarta y quinta década.

La distribución por género es casi igual, relación 2:1, prevaleciente en hombres.

De acuerdo con la ubicación, se identifican con mayor frecuencia en la cabeza y el cuello, siendo más frecuentes en el cuerpo carotídeo, seguidos de paraganglios yugulotimpánicos, nervio vago y ganglio nodoso, así como paraganglios laríngeos.

Los paraganglios simpáticos incluyen las localizaciones siguientes: médula suprarrenal, órgano de Zuckerkandl, cerca de la bifurcación aórtica a lo largo de la distribución del sistema nervioso simpático.

Los paraganglios parasimpáticos incluyen las localizaciones siguientes: cuerpo carotídeo, a lo largo de las ramas cervicales y torácicas de los nervios vago y glosofaríngeo.

## RESULTADOS

Factores pronósticos: Se determina que es maligno solo cuando hay metástasis.

Según su sitio encontramos:

- Órgano de Zuckerkandl 22 - 50% maligno
- Glándula suprarrenal 10%

- Se ha aplicado al FEO/PG la "regla de los 10"
- 10% bilaterales
- 10% malignos
- 10% extraabdominales
- 10% extraadrenales
- 10% normotensos
- 10% de origen genético
- 

## Patología macroscópica

Los paragangliomas son gomosos, firmes y generalmente bien delimitados, con bordes expansivos. El borde comprimido del tejido conectivo que rodea el tumor se considera mejor como una pseudocápsula fibrosa.

Algunos tumores, como el JTP, pueden ser pequeños e irregulares o fragmentados, lo que dificulta el examen general.

En la sección transversal, estos tumores tienen un aspecto carnoso a marrón claro y, si se examinan detenidamente, pueden presentar marcas vasculares lineales que a menudo se retraen ligeramente debajo de la superficie de corte. (ver Fig. 9, 10).

## DISCUSIÓN

De acuerdo con las características clínicas los PGL pueden ser no sintomáticos y sintomáticos con HTA por compresión. El paraganglioma es un tumor neuroendocrino poco frecuente que puede desarrollarse en diversos sitios del organismo. Alrededor del 97% son benignos y se curan mediante la extirpación quirúrgica, el restante 3%, malignos, y provocan metástasis a distancia. Alrededor del 75% son esporádicos y el restante 25% son hereditarios.

## ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

JTP: yugulotimpánicos.

NSE , enolasa específica de neurona.

HTA hipertensión.

TEGI: tumor de estroma gastrointestinal.

## CONCLUSIÓN

El paraganglioma como neoplasia benigna, que tiene aspecto histológico específico, con células ovales o poligonales (células principales) con núcleos uniformes o pleomórficos, vesiculares o hiperchromáticos dispuestos en nidos de organoide rodeados por un estroma vascular, dándole el patrón clásico de paraganglioma (Zellballen), con células fusiformes, llamadas

células de soporte/sustentaculares que rodean a las células principales.

Puede haber pleomorfismo nuclear, lo cual no implica que sean malignos.

El interés continuo en los paragangliomas se debe a su atípico comportamiento, incluido el origen neurogénico, el potencial de desarrollo en todo el cuerpo, la actividad endocrina, la inducción por exposición hipóxica crónica, una alta proporción de casos hereditarios, patrón de transmisión familiar impresio y mitocondrias hereditarias.

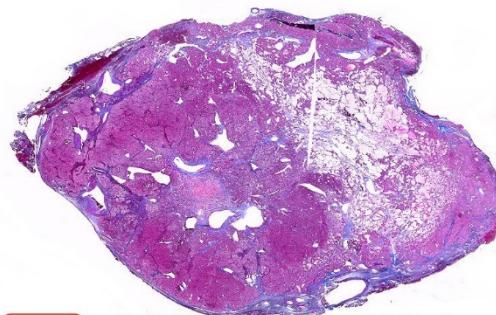
*Un paraganglioma no es maligno y la presencia de figuras mitóticas no implica malignidad. \*el diagnóstico definitivo de malignidad es por presencia de metástasis.*

## APÉNDICES

Tabla anexa. Diagnóstico inmunohistoquímico de paragangliomas	
Tinción	Paraganglioma
Sinaptofisina	+
Citoqueratinas	-
HMB-5	-
Antígeno ce carcinoma de células renales	-
Calcitonina	-
TF1	-
Rojo Congo amiloide	-

## REFERENCIAS

- Eumann HP, Sullivan M, Winter A, Malinoc A, Hoffmann MM, Boedeker CC, Bertz H, Walz MK, Moeller LC, Schmid KW, Eng C. Agosto de 2011, Mutaciones de la línea germinal del gen TMEM127 en pacientes con paraganglioma de cabeza y cuello y abdomen extraadrenal sitios. J Clin Endocrinol Metab. Vol. 96, pág. 1-6 (6) E1279-82. doi: 10.1210/jc.2011-0114. Epub 2011 25 de mayo.
- Opocher G, Schiavi F. (diciembre 24, 2010), Genética de feocromocitomas y paragangliomas. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab (6): 943-56.
- Qin Y, Buddavarapu K, Dahia PL. (septiembre de 2009); Feocromocitomas: de la diversidad genética a nuevos paradigmas. Horm Metab Res. 41 (9): 664
- Dr. Gonzalo Salgado Salgado, Dra. Diaba P. Marin Muentes,Dra. Katia E. Espinosa Peralta, Dr. José Luis, Ramírez Arias, 2009, Paragangliomas: Métodos de imagen y correlación histopatológica, Anales de Radiología México Vol 4, pág. 307-317.



T. Masson

Fig. 1. **Paraganglioma glómico T. Masson.**  
 (El tumor media aproximadamente 3.5 x 3 x 2 cm, marrón y suave. En cortes, aspecto heterogéneo, con zonas más oscuras, se observa una cápsula fibrosa delgada (azul en el tricromo de Masson y negativa en la NSE).

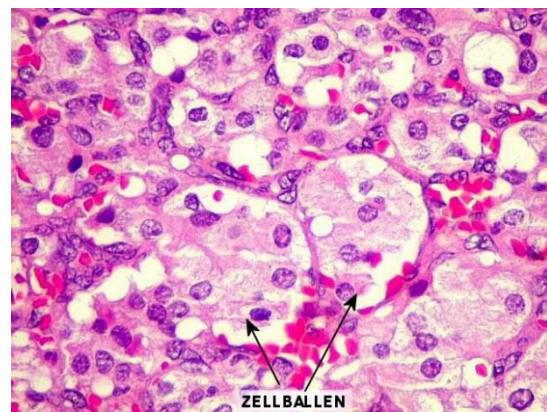


Fig. 2 Paraganglioma.  
 El tumor está formado por células más grandes, con un aspecto epitelial y un citoplasma claro y abundante, dispuestas en lóbulos pequeños (también llamados disposición alveolar).

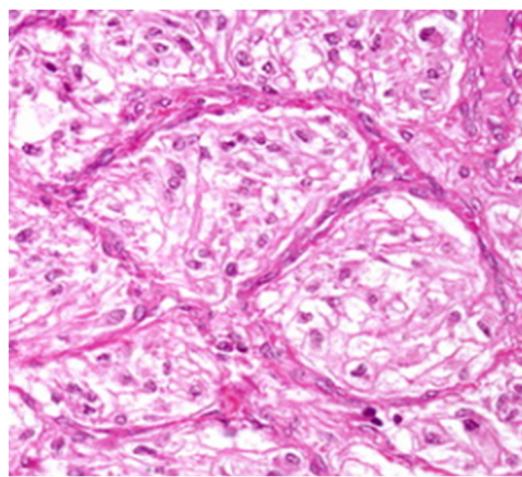


Fig. 3 Patrón de paraganglioma.

<i>Tabla 1. Localización de los parangangiomas</i>
Glándulas suprarrenales (feocromocitoma) 90%
Aorta (órgano de Zuckerkandl) 70%
En cualquier sitio de la cadena simpática 10%
Tórax 10%
Vejiga 10%
Base de cuello y cráneo 5%

<i>Tabla 2. Clasificación de parangangiomas de Glenner y Grimley</i>
I. Parangangioma branquioméricos
Hueso temporal
a) Timpánico
b) Yugular
Cuerpo carotideo
Cabeza y cuello
a. Orbita
b. Laringe
c. Nariz
II. Intravagal (mediastino superior)
III. Aorticosimpático (retroperitoneal)
IV. Visceral
a. Pélvico
b. Vagal
c. Mesentérico

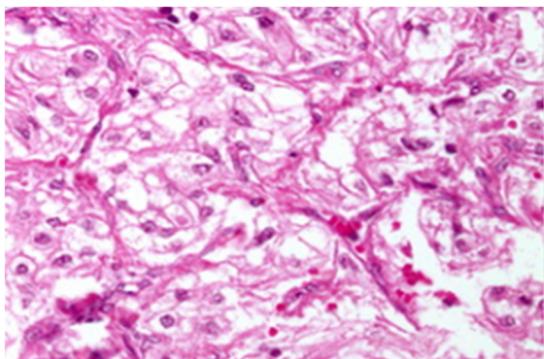


Fig. 4 Células sustentaculares.

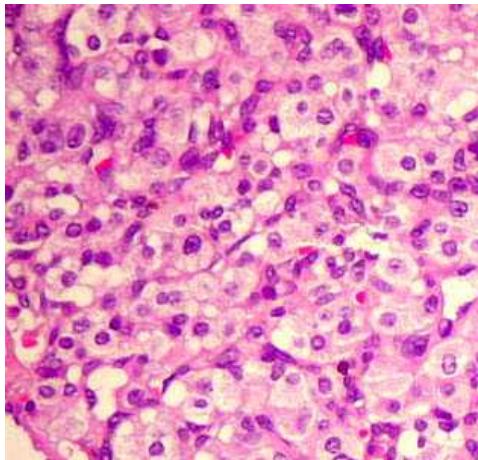


Fig. 5 Núcleos y nucleolos.

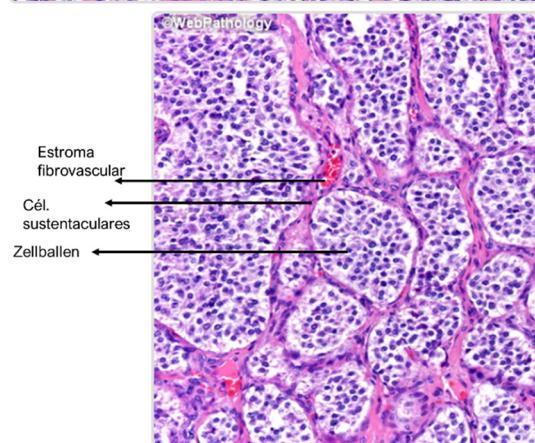
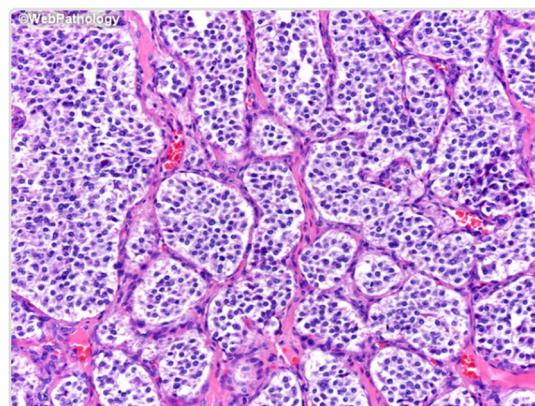


Fig. 6 Patón Zellballen.  
 Nótese los septos fibrosos, la cromatina en los núcleos en forma de sal y pimienta.

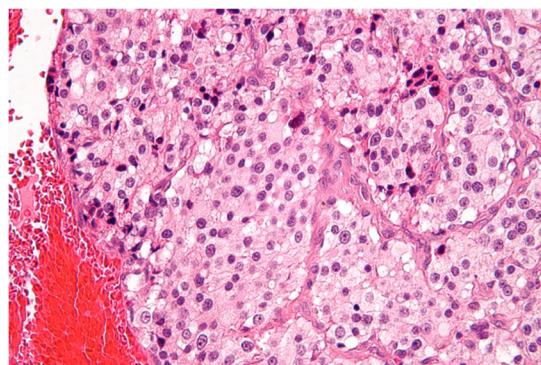


Fig. 7 Parangangioma cuerpo carotideo.

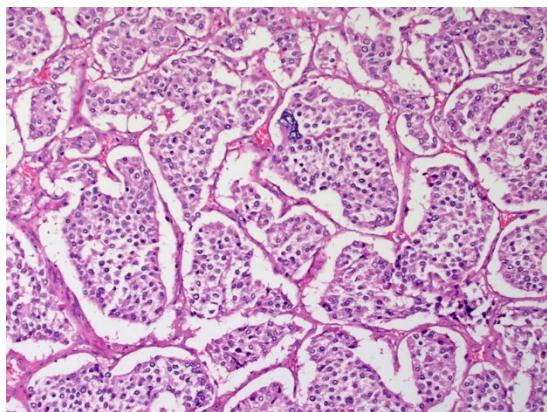


Fig. 8 Paraganglioma retroperitoneal.

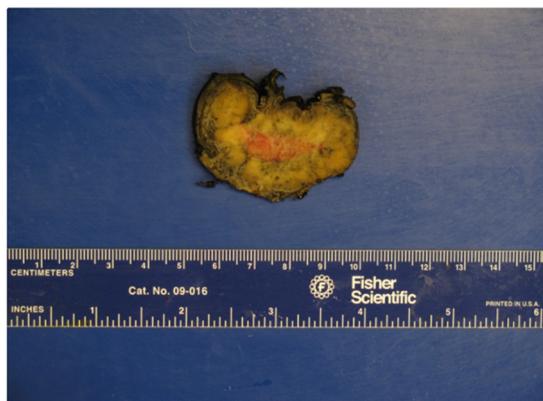


Fig. 9 Paraganglioma del cuerpo carotídeo.



Fig. 10 Paraganglioma retroperitoneal.  
(Gomoso, firme, puede tener pseudocápsula, superficie de corte marrón. Cicatriz central variable)

# Preprocesamiento y preparación de espectros Raman para la identificación de materiales

J.C. Rojo-Méndez<sup>1</sup>, E.G. Pérez-Pérez<sup>1</sup>, P. Sobron<sup>2</sup>, A. Silva-Castillo<sup>1</sup>, G. Luis-Raya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca - Cd. Sahagún km 20 Ex-Hacienda de Santa Bárbara, Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Impossible Sensing LLC, 3407 S Jefferson Ave, St. Louis, MO, USA.

Recibido: Agosto 10, 2020; Aceptado: Septiembre 9, 2020.

## Resumen (CCCF)

La espectroscopía es una herramienta poderosa utilizada en la caracterización de materiales por medio de esta es posible conocer la estructura atómica y molecular de casi cualquier tipo de material.

Dentro de esta perspectiva la espectroscopía es una técnica analítica experimental, muy usada en química y en física, que se basa en detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética de ciertas energías, y relacionar estas energías con los niveles de energía implicados en una transición cuántica.

Infortunadamente cuando se obtiene un espectro de una muestra dada este debe prepararse previamente de tal forma que la información contenida pueda ser analizada sin errores.

En este trabajo se muestra el proceso de preparación de espectros Raman para la identificación posterior de materiales, cabe destacar que este proceso involucra como primera actividad la eliminación de la fluorescencia del espectro; la segunda actividad consiste en ajustar el espectro a cero; posteriormente se realiza la normalización del espectro de tal forma que la intensidad se encuentre entre valores de 0 y 1; por último se realiza la aplicación de un filtro digital al espectro con la finalidad de eliminar los contaminantes adheridos en la adquisición de la señal.

**Palabras clave:** Espectroscopía, Normalización de espectro, Suavizado de espectro.

## Abstract (CCCF)

Spectroscopy is a powerful tool used to the characterization of materials through which it is possible to know the atomic and molecular structure of almost any type of material.

Within this perspective, spectroscopy is an experimental analytical technique, widely used in chemistry and physics, which is based on detecting the absorption or emission of electromagnetic radiation of certain energies and relating these energies to the energy levels involved in a quantum transition.

Unfortunately, when a spectrum is obtained from a given sample, it must be previously prepared in such a way that the information contained can be analyzed without errors.

In this work the process of preparing Raman spectra for the subsequent identification of materials is shown. It should be noted that this process involves the elimination of fluorescence from the spectrum as its first activity; the second activity consists of adjust the spectrum to zero; later, the spectrum is normalized in such a way that the intensity is between values of 0 and 1; finally, a digital filter is applied to the spectrum in order to eliminate the contaminants adhered to in the acquisition of the signal.

**Key words:** Spectroscopy, Spectrum normalization, Spectrum smoothing.

## INTRODUCCIÓN

La espectroscopía es la herramienta más poderosa disponible para el estudio de la estructura atómica y molecular y se utiliza en el análisis de la amplia gama de muestras (Sharma, 2002).

La espectroscopía Raman (RS por sus siglas en inglés Raman Spectroscopy) es una técnica

fotónica de alta resolución que en pocos segundos brinda información química y estructural para identificar casi cualquier material o compuesto orgánico y/o inorgánico. El análisis mediante espectroscopía Raman se basa en el examen de la luz dispersada por un material al incidir sobre él un haz de luz monocromático. Una pequeña porción de la luz es dispersada inelásticamente experimentando

ligeros cambios de frecuencia que son característicos del material analizado e independientes de la frecuencia de la luz incidente. Se trata de una técnica de análisis que se realiza directamente sobre el material a analizar sin necesitar éste ningún tipo de preparación especial y que no conlleva ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis, es decir, es no-destructiva.

La espectroscopia Raman tiene atenuaciones y distorsiones en la señal obtenida que son atribuidas a efectos de la luz ambiente, ruido cósmico asociado con la presencia de partículas gamma, errores de calibración, ruido térmico proveniente de los dispositivos electrónicos del equipo y la perdida de información en la discretización de la señal. El análisis de los espectros requiere la eliminación de señales espurias mediante la exposición de la muestra a largos tiempos de adquisición y al aumento de la potencia del láser. Además, existe una distorsión del espectro asociado con la emisión de luz de los materiales analizados y los procesos de luminiscencia en los que son emitidos fotones por parte de los materiales, debido a que sus moléculas se encuentran en un estado electrónico excitado. Este proceso se denomina fluorescencia y se manifiesta como la superposición de la línea base del espectro sobre una curva ancha que cubre parcial o completamente la información útil (Garzon-Ramos , Belalcazar-Bolanos, Orozco-Arroyave, Vargas-Bonilla, & Vargas-Hernandez, 2014).

La estimación y sustracción de la línea base de espectros para eliminar la fluorescencia, el ajuste a cero, la normalización y el suavizado del espectro, será el eje central de este trabajo.

## DESARROLLO:

### MATERIAL

Los espectros analizados en el presente trabajo fueron obtenidos por el instrumento DiSCO "Dual In-Situ Spectroscopy and Coring" (Sobron, 2019) el cual extrae espectros Raman, LIBS e imágenes UV de una muestra dada. el espectro de la muestra analizada es una muestra de suelo lunar denominada KB175 proporcionada por la NASA. Ambos elementos, instrumento y muestra pertenecen a los laboratorios de la empresa "Impossible Sensing", localizada en St. Louis Missouri USA.

Se obtuvieron varios espectros Raman de la muestra lunar denominada KB175 utilizando el

instrumento DiSCO. Para la experimentación del presente trabajo, se seleccionó el espectro obtenido con una resolución de 3000ms/1000hz, a la cual se le realizo el preprocesamiento y preparación para la identificación de materiales.

### METODOLOGÍA

En el presente trabajo se emplean cuatro etapas para la puesta a punto del espectro para la identificación de materiales. La primera etapa consiste en estimar la línea base del espectro y sustraerla del espectro original, obteniendo como resultado un nuevo espectro sin fluorescencia. La segunda etapa consiste en ajustar a cero el espectro resultante sin fluorescencia, con la finalidad de eliminar valores negativos que pudieran existir después del proceso de ajuste de la línea base. La tercera etapa consiste en la normalización del espectro, esto se realiza ajustando la intensidad máxima a la unidad de tal forma que los valores de intensidad relativa estén en el rango entre cero y uno. La última etapa consiste en el suavizado del espectro, el proceso consiste en aplicar un filtro con la finalidad de eliminar el ruido que aun pudiera existir en el espectro.

#### 1. ESTIMACIÓN Y SUSTRACCIÓN DE LÍNEA BASE.

##### 1.1. Estimación de línea base.

Para la automatización del proceso de estimación y sustracción de la línea base del espectro, se propone la utilización de las funciones de Huber simétrica y asimétrica, así como las funciones cuadráticas truncada simétrica y asimétrica.

Cuando el espectro de emisión y la fluorescencia son cercanos, pero tienen un crecimiento más lento que una función cuadrática más allá de un umbral "s", tal que los picos sean de menos influencia en la estimación de la línea base, se deben de utilizar las funciones cuadráticas simétricas de Huber y truncada (Mazet, Carteret, Brie, Idier, & Humbert, 2005) en las vecindades de cero, la ecuación (1) muestra la función simétrica de Huber, la ecuación (2) muestra la función cuadrática simétrica truncada.

$$\forall x \in \mathbb{R}, \phi(x) = \begin{cases} x^2, & \text{si } |x| < s, \\ 2s|x| - x^2, & \text{si } |x| \geq s. \end{cases} \quad (1)$$

$$\forall x \in \mathbb{R}, \phi(x) = \begin{cases} x^2, & \text{si } |x| < s, \\ s^2, & |x| \geq s. \end{cases} \quad (2)$$

Las funciones anteriores, se consideran simétricas, lo que implica un bajo costo para grandes valores positivos, pero también para grandes valores negativos. Esto es adecuado en el caso cuando los espectros se ubican en ambos sectores de la ordenada.

Para solucionar el caso en que los picos sean netamente positivos, se propone utilizar las correspondientes funciones asimétrica de Huber y asimétrica cuadrática truncada (Mazet, Carteret, Brie, Idier, & Humbert, 2005), la ecuación (3) muestra la función asimétrica de Huber, la ecuación (4) muestra la función cuadrática asimétrica truncada.

$$\forall x \in \mathbb{R}, \phi(x) = \begin{cases} x^2, & \text{si } |x| < s, \\ 2s|x| - x^2, & x \geq s. \end{cases} \quad (3)$$

$$\forall x \in \mathbb{R}, \phi(x) = \begin{cases} x^2, & \text{si } |x| < s, \\ s^2, & x \geq s. \end{cases} \quad (4)$$

## 1.2. Sustracción de línea base.

Es de suma importancia estimar el valor de la línea base debido a que este permite la reconstrucción del espectro sin fluorescencia.

La primera actividad para eliminar la fluorescencia del espectro consiste en calcular el estimado de la línea base lo cual se realiza al aplicar alguna de las funciones anteriores al espectro original según convenga, una vez que se obtiene el resultado el estimado de la línea base del espectro, este valor es sustraído al espectro original para con esta acción remover la fluorescencia que el espectro contiene, el proceso consiste en ir a cada valor de intensidad del espectro y restar el valor estimado para ese punto específico. La ecuación (5) muestra la operación de resta de la línea estimada al espectro original, donde: "y" representa la intensidad relativa en un punto dado y "est" representa el valor estimado de la línea base en un punto dado.

$$f(x) = y - est \quad (5)$$

La Figura 1 muestra la línea base estimada para el espectro utilizando la función asimétrica de Huber, con un umbral de 0.01 y un orden polinomial con valor 2.

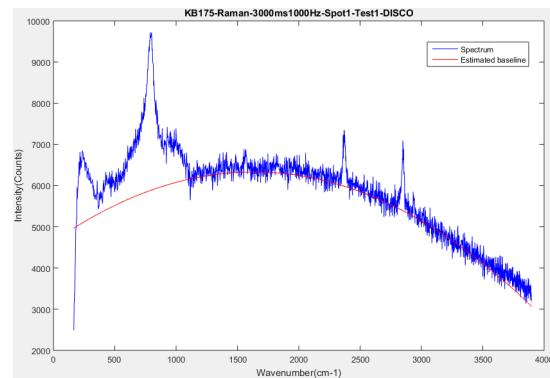


Fig. 1. Gráfica de la estimación de la línea base del espectro Raman de la muestra lunar KB175, resolución de 3000ms/1000hz.

La Figura 2 muestra el espectro resultante de la sustracción de la línea base al espectro original.

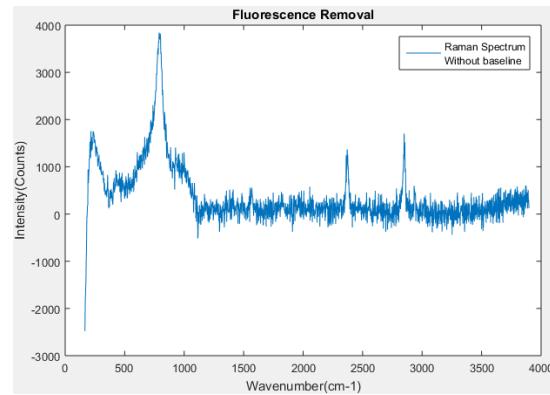


Fig. 2. Gráfica del espectro resultante de la substracción de la línea base (eliminación de fluorescencia).

Al hacer la comparativa entre la figura 1 y la figura 2, se observa claramente que la fluorescencia ha sido eliminada del espectro.

## 2. AJUSTE A CERO.

Una vez que la fluorescencia se ha removido del espectro original, el espectro resultante puede contener algunos valores negativos en la intensidad, resultado de las operaciones previas, ver figura 2. Por tal motivo es necesario ajustar el espectro de tal modo que solo contenga valores mayores o iguales a cero.

Para realizar el ajuste a cero en el espectro que se le ha sustraído la línea base, primeramente, se busca el valor menor en el espectro (valor negativo), en este caso específico se inicia del número de onda 200 debido a que a partir de este número de onda el instrumento DiSCO comienza a capturar espectros pertenecientes al material de la muestra; una vez obtenido el valor menor del espectro este se le suma como valor absoluto a cada intensidad del espectro,

permitiendo con esto que los valores negativos en el espectro sean desplazados a cero. La ecuación (6) muestra la suma del valor absoluto en la intensidad del espectro, donde: "y" representa la intensidad relativa en un punto dado y "min" representa el valor mínimo (negativo) de intensidad en el espectro. El espectro resultante solo contiene valores de intensidad mayores o iguales a cero.

$$f(x) = y + |min| \quad (6)$$

La Figura 3 muestra la comparativa del espectro ajustado a cero y del espectro sin ajuste a cero.

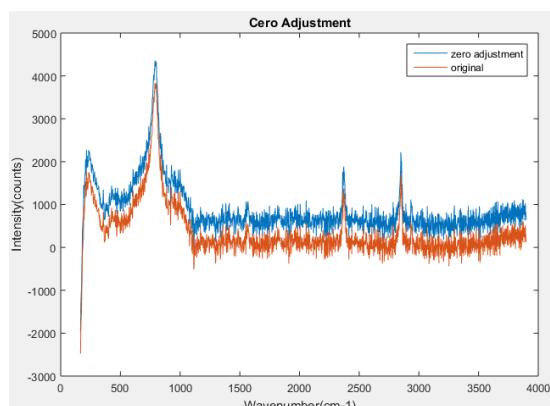


Fig. 3. Gráfica comparativa del espectro ajustado a cero y el original (no ajustado acero).

En la figura 3, se puede ver claramente como el espectro se ha desplazado n valores hacia arriba de tal forma que solo contiene valores positivos.

### 3. NORMALIZACIÓN DEL ESPECTRO.

La intensidad relativa del espectro puede variar de un espectro a otro en valores arbitrarios. Cada espectro dependiendo del instrumento con el que se obtenga mostrará intensidades relativas arbitrarias, por tal motivo con la finalidad de tratar a los espectros dentro de las mismas proporciones se realiza la normalización del espectro de tal forma que los valores mostrados en la intensidad relativa estén en el rango entre cero y uno.

El proceso para la normalización del espectro consiste en identificar el valor mayor en la intensidad relativa, una vez localizado este valor, se procede a dividir el valor de cada intensidad relativa del espectro entre el valor mayor de intensidad relativa identificado previamente. La ecuación (7) se refiere a la normalización del espectro, donde: "y" representa la intensidad relativa en un determinado número de onda y

"max" representa el valor máximo de intensidad relativa dentro del espectro.

$$f(x) = y/max \quad (7)$$

La Figura 4 muestra el espectro normalizado a la unidad. Puede apreciar con claridad que la intensidad relativa fluctúa entre valores mínimo de cero y máximo de uno.

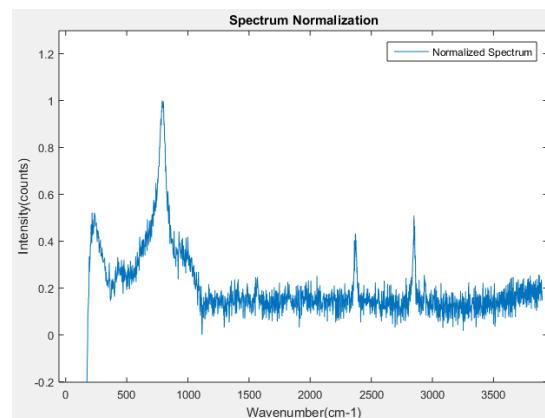


Fig. 4. Gráfica del espectro normalizado con valores entre 0 y 1.

Cabe recordar que normalizar un espectro significa dividir la intensidad a cada longitud de onda entre un número elegido arbitrariamente de acuerdo con la conveniencia de cada caso. En el presente trabajo, el espectro fue normalizado dividiendo la intensidad de cada longitud de onda entre el valor máximo de intensidad en el espectro.

### 4. SUAVIZADO DEL ESPECTRO.

El ruido es un contaminante que el espectro adquiere al momento de la adquisición y transmisión de este. Generalmente los dispositivos electrónicos del espectrofotómetro generan ruido electromagnético que al final es agregado al espectro resultante adquirido de la muestra. Generalmente el ruido puede ser apreciado a simple vista por el investigador, desafortunadamente para un método numérico no resultan tan obvios los elementos de ruido, por este motivo es importante el suavizado del espectro con la finalidad de eliminar todos aquellos contaminantes que fueron adjuntados al momento de adquirir la información de la muestra.

La eliminación del ruido que pudiera existir aun en el espectro se realiza por medio de la

aplicación de filtros al espectro, en este caso particular se realizó utilizando la función filter de Matlab la cual filtra los datos de entrada "x" utilizando una función de transferencia racional definida por los coeficientes del numerador y del denominador "b" y "a" respectivamente. La ecuación (8) muestra la función filter utilizada en este proceso.

$$f(x) = \text{filter}(b, a, x) \quad (8)$$

Debe advertirse, que suavizar un espectro tiene su costo ya que en muestras finitas puede generar sesgo en la estimación.

La figura 5 muestra el espectro sin suavizar, nótense que un espectro no suavizado muestra una serie de picos más cercano uno del otro, debido a que muchos de esos picos son ruido que contiene el espectro.

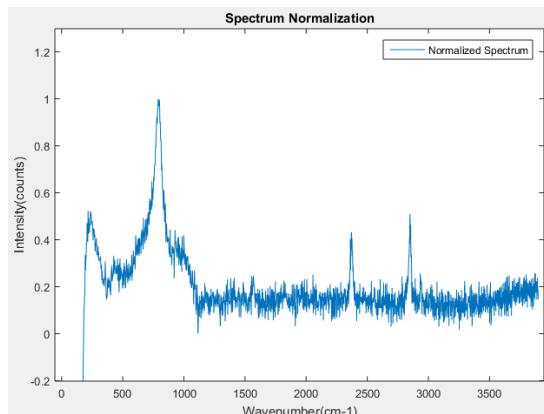


Fig. 5. Gráfica del espectro sin suavizar.

La Figura 6 muestra el espectro suavizado por medio de la aplicación del filtro, nótense que en esta figura el espectro se muestra con menos protuberancias o con picos dispersos dando un aspecto de un espectro fino (suavizado).

A simple vista se pueden comparar ambos espectros, la diferencia se nota claramente, la figura 5 muestra un espectro poblado por una gran cantidad de picos y la figura 6 se aprecia como esa cantidad de picos disminuye al momento de filtrar el espectro.

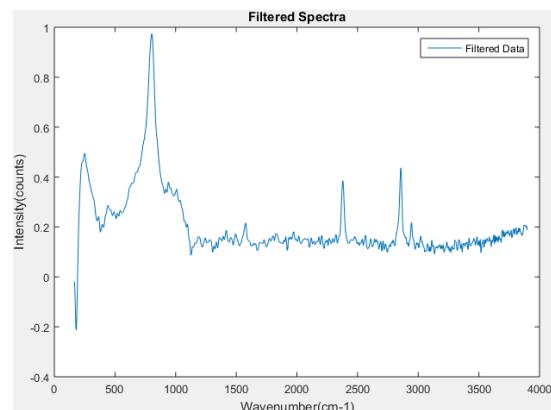


Fig. 6. Gráfica del espectro suavizado.

## 5. RESULTADOS.

El proceso de preprocessamiento y preparación del espectro para la identificación de materiales genera un espectro final similar al de la figura 6. A partir de este espectro que ha sido sometido a los procesos de eliminación de fluorescencia, ajuste a cero, normalización y suavizado, se procede a la búsqueda de picos con la finalidad de caracterizar los materiales que componen la muestra.

La figura 7 muestra la identificación de algunos de picos en el espectro final, con lo cual se comienza el proceso de identificación de materiales en una muestra dada.

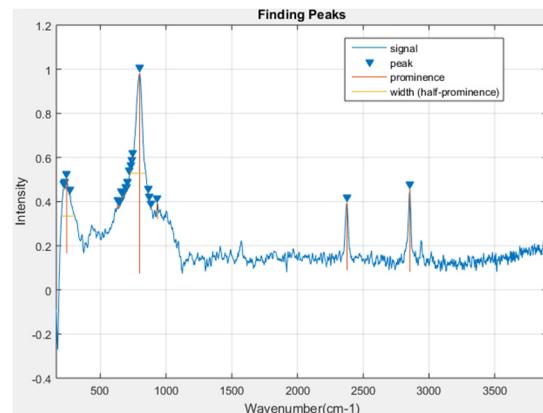


Fig. 7 Identificación de picos en espectro final.

## CONCLUSIÓN

El preprocessamiento y preparación de espectros es una tarea previa de suma importancia en la identificación de materiales, al aplicar un proceso de limpieza del espectro de la muestra, permitirá que el análisis del espectro arroje resultados fehacientes así mismo permite preparar el espectro para que la identificación

de materiales sea correcta. Cabe destacar que la preparación del espectro previo a la identificación de materiales se debe de realizar siempre independientemente si se trabaja con espectros Raman o LIBS.

## RECONOCIMIENTOS

El autor Juan Carlos Rojo Méndez agradece a CONACYT por haberlo beneficiado con una beca del programa Becas Nacionales y con una beca del programa Becas de movilidad internacional, también agradece al Dr. Pablo Sobron fundador de la empresa Impossible Sensing por las facilidades otorgadas para la realización de la presente investigación, así mismo extiende su agradecimiento al Dr. Eucario Gonzalo Pérez Pérez y al Dr. Gilgamesh Luis Raya por su contribución.

## REFERENCIAS

- Garzon-Ramos, D., Belalcazar-Bolanos, E., Orozco-Arroyave, J., Vargas-Bonilla, J., & Vargas-Hernandez, C. (2014). Raman Spectrum Reconstruction by Subtracting the Baseline Using Huber and Quadratic. Revista Colombiana de Física, 46(1).
- Mazet, V., Carteret, C., Brie, D., Idier, J., & Humbert, B. (2005). Background removal from spectra by designing and minimising a non-quadratic cost function. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 76(2), 121-133.
- Sharma, B. (2002). Spectroscopy (Comprehensively the UGC Syllabus). S. K. Rastogi for Krishna Prakashan media (P) Ltd.
- Sobron, P. (2019). In Situ Instruments/Technologies for Lunar and Planetary Science. St. Louis, MO.

# Prediagnóstico de Cáncer de mama mediante Lernmatrix con Transformada 9

P. Reyes-León<sup>1</sup>, M. M. Francisco-De la Cruz<sup>1</sup>, J.C. Salgado-Ramírez<sup>1</sup>, A.J. Argüelles-Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Ciudad Sahagún km 20, Ex -hacienda de Santa Bárbara, Zempoala, Hidalgo, México C.P. 43830.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional. Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México. C.P. 07738.

Recibido: Agosto 9, 2020; Aceptado: Septiembre 8, 2020.

## Resumen (CCCF)

El cáncer de mama es un problema de salud en todo el mundo, siendo este tipo de cáncer el causante de millones de muertes en mujeres. En este artículo utilizó el clasificador de tipo asociativo Lernmatrix con transformada 9 (LMT9), para realizar el prediagnóstico de cáncer de mama, y se comparó el rendimiento obtenido con el de los algoritmos de clasificación más comunes en el estado del arte. Analizando un conjunto de datos de pacientes que sobrevivieron a una cirugía por cáncer de mama, el cual está estrechamente relacionado con este padecimiento. Se obtuvieron buenos resultados respecto a la métrica de rendimiento de sensibilidad, colocando a la LMT9 en el tercer lugar de los nueve algoritmos contra los que se comparó.

Palabras clave: Cáncer de mama, Prediagnóstico, Ciencia de datos.

## Abstract (CCCF)

Breast cancer is a health problem throughout the world, causing millions of deaths mainly in women. In this article, the Lernmatrix associative type classifier with transform 9 is used to perform a prediagnosis of breast cancer, the outcome obtained was compared with the most common in the state-of-the-art algorithms. Analyzing a dataset of patients who survived breast cancer surgery, which is closely related to this condition. Optimal results were obtained with respect to the sensitivity performance metrics, placing the Lernmatrix with transform 9 in third place out of the nine algorithms which whom it was compared against.

Keywords: Breast cancer, Prediagnosis, Data science.

## 1. INTRODUCCIÓN

La habilidad humana de reconocer eventos, objetos y situaciones cotidianas ha sido clave para su supervivencia, ya que, con el conocimiento previo de su entorno, es capaz de tomar ciertas decisiones que le permiten enfrentarse las adversidades de su existencia. Durante décadas se han propuesto diversos enfoques que pretenden simular esta habilidad humana para el reconocimiento de objetos (Uriarte-Arcia, López-Yáñez, and Yáñez-Márquez 2014). El reconocimiento de patrones es un área de la ciencia computacional que pretende proponer algoritmos que permitan identificar situaciones cotidianas y reconocer objetos o eventos, que el ser humano reconoce fácilmente, esta tarea ha sido un reto hasta la

actualidad, ya que se han propuesto diversos modelos (Velázquez-Rodríguez et al. 2020).

Los algoritmos inteligentes de clasificación aplicados a la medicina, son un área de interés en la investigación con un crecimiento cada vez mayor, el desarrollo de herramientas que permitan a los profesionales de la salud, analizar bancos de datos con la finalidad de obtener información sobre el estado de salud de los pacientes, es cada vez más frecuente, y tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de las personas, haciendo un prediagnóstico de alguna enfermedad, dando así la oportunidad de brindar un tratamiento adecuado desde una etapa temprana (Abdar et al. 2019).

El cáncer de mama es un problema de salud a nivel mundial, siendo este tipo de cáncer uno de

los más comunes y causante de 1.7 millones de muertes en 2012, y se diagnosticaron casi 5 millones de casos más, se prevé que esta cifra aumente aún más en 2030 (González-Patiño et al. 2019)

Existen diversos estudios del prediagnóstico de cáncer de mama mediante procesamiento de imágenes con mamografías (Sharma and Manjhi 2016), mediante técnicas computacionales (Dayanara Alanis-Tamez, Villuendas-Rey, and Yáñez-Márquez n.d.), algoritmos bio inspirados (González-Patiño et al. 2019), entre otros, con la finalidad de brindar herramientas para el profesional de la salud.

En este artículo se presenta una comparativa de rendimiento en la clasificación correcta de patrones usando un banco de datos con información de pacientes que sobrevivieron a una cirugía de cáncer de mama, obtenido del repositorio de KEEL (Anon n.d.), entre la Lernmatrix con transformada 9 (LMT9), (Velázquez-Rodríguez et al. 2020) y los algoritmos KNN, Máquinas de Soporte Vectorial, Naive Bayes, Regresión Logística Multilayer Perceptron, Árbol de decisión, Random Tree y Random Forest, que son los más usados en la literatura. Esperando que los resultados obtenidos de la LMT9, demuestren que es un clasificador que, a pesar de ser sencillo en su implementación, es confiable para la clasificación de patrones de enfermedades crónicas como el cáncer de mama, siendo esto una aportación al estado del arte dado que dichos resultados no existen.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

En el área de reconocimiento de patrones mediante el paradigma del aprendizaje supervisado, se debe contar con un conjunto de datos relacionados al tema de interés, existen repositorios que cuentan con colecciones de bancos de datos para distintas aplicaciones, El repositorio Keel en España (Anon n.d.) es la fuente de donde se obtuvo el banco de datos de este artículo, para ejemplificar el contenido de un dataset se muestra un resumen en la Tabla 1 en la que se observan, en las filas la información de un caso de estudio, en este ejemplo se observa el dataset de Haberman (Anon n.d.), el objetivo de este dataset es determinar si un paciente sobrevivió, después de haberse

sometido a una cirugía por cáncer de mama, cada fila representa a un paciente diferente con un total de 306 patrones o instancias.

Tabla 1 Dataset Haberman (Anon n.d.)

Instancia #	Edad	Año	Positivo	Clase
1	30	64	1	1
2	30	62	3	1
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
306	83	58	2	2

En las columnas se observan los atributos, que son las características que describen a los casos de estudio, como se observa, se puede encontrar atributos numéricos: Edad (refiriéndose a la edad del paciente), Año (en que se sometió a cirugía, Año - 1900) y Positivo el cual se refiere al número de ganglios positivos detectados. La clase también llamada columna objetivo se encuentra en última columna de la derecha, en ella se observa la clase a la que pertenece cada patrón, para este ejemplo, se cuenta con 2 clases (El paciente sobrevivió = 1, o El paciente murió = 2).

A pesar de que algunos algoritmos funcionan con datos nominales, es conveniente convertir los datos nominales a numéricos, además de imputar los datos faltantes, a este proceso se le conoce como preprocessamiento (Raja and Thangavel 2020). Sin embargo, a pesar de haber realizado el preprocessamiento, cuando se analizan conjuntos de datos de problemas de la vida real, como en el caso de enfermedades, no son perfectos debido a que presentan un mayor número de patrones de una clase que de otro. Es decir, se tienen más instancias de personas sanas que enfermas, a estos dataset se le conoce como dataset desbalanceado, el desbalance se determina a través de la razón de desbalance o *imbalance ratio* (IR) y se calcula con la siguiente formula (Fernández et al. 2013a):

$$IR = \frac{\text{Clase mayoritaria}}{\text{Clase minoritaria}} \quad (1)$$

Si IR es mayor a 1.5 el dataset es considerado como desbalanceado. Las métricas para evaluar el rendimiento de algoritmo se obtienen a partir

de la matriz de confusión, en la que se observa cómo es que el algoritmo realizó la clasificación de los patrones. Mostrando los valores correspondientes a Verdaderos Negativos (VN), Verdaderos Positivos (VP), Falsos Positivos (FP) y Falsos Negativos (FN), ver figura 1.

		Predicción	
		Positivos	Negativos
Observación	Positivos	Verdaderos Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Negativos	Falsos Positivos (FP)	Verdaderos Negativos (VN)

Figura 1 Matriz de confusión

La exactitud o accuracy, es la métrica de rendimiento más común, sin embargo esta métrica no se recomienda para bancos de datos desbalanceados (Fernández et al. 2013b), por lo que se sugiere utilizar la tasa de verdaderos positivos o sensibilidad representada como sigue:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (2)$$

Además de la tasa de verdaderos negativos o especificidad calculada como muestra la siguiente ecuación:

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN + FP} \quad (3)$$

La exactitud balanceada o balanced accuracy (BA), es un referente si se desea obtener la exactitud de un dataset desbalanceado, representada de la siguiente manera:

$$BA = \frac{\text{Sensibilidad} + \text{Especificidad}}{2} \quad (4)$$

Cuando se busca evaluar a un clasificador con las métricas de rendimiento, se espera obtener buenos resultados, sin embargo, no es posible contar con un clasificador que no cometa errores de clasificación, debido al teorema de No-Free-Lunch, establecido inicialmente para problemas de optimización, pero adaptado posteriormente para la clasificación de patrones, por lo que el teorema establece que el clasificador ideal no existe, y esta afirmación es válida para todos los modelos de clasificación (Adam et al. 2019).

El método de validación recomendado para un dataset con desbalance según (Fernández et al. 2013a), es el 5 fold cross validation. O validación cruzada de 5 hojas, el cual consiste en dividir el dataset de manera aleatoria en 5 subconjuntos de hojas o folds y utilizar cuatro de los fold para el entrenamiento del algoritmo y el fold restante para las pruebas, y se realiza este proceso 5 veces tomando folds distintos para las pruebas en cada iteración.

#### Herramientas de Minería.

Para realizar la comparación de performance de los algoritmos de clasificación se utilizó la herramienta de minería de datos Weka, la cual cuenta con un compendio de algoritmos de clasificación, entre otras herramientas de aprendizaje supervisado, en una computadora personal con sistema operativo Windows 10, con un procesador Intel (R) Core (TM) i5-7300HQ CPU a 2.4 GHz y RAM de 8 GB. Se eligieron los algoritmos más significativos en el estado del arte para la clasificación de patrones (Velázquez-Rodríguez et al. 2020), entre los cuales se incluyen Naive Bayes, Regresión Logística (RL), Maquinas de Soporte Vectorial (MSV), Multi Layer Perceptron (MLP), Árbol de Decisión (J48), K vecinos más cercanos con k=1 y k=3 (KNN) y Random Forest(RF) y Random Tree (RT).

#### Conjunto de datos

Se analiza el dataset de supervivencia de Haberman, el cual contiene casos de un estudio que se realizó entre 1958 y 1970 en el Hospital Billings de la Universidad de Chicago sobre la supervivencia de pacientes que se habían sometido a una cirugía por cáncer de mama. El objetivo es determinar si el paciente sobrevivió 5 años o más (1) o si el paciente murió dentro de los 5 años (2) y no tiene datos faltantes, el dataset se obtuvo del repositorio de Keel mencionado anteriormente. Se decidió utilizar este dataset ya que está directamente relacionado con el cáncer de mama, además de presentar un IR de 2.78, lo cual lo hace un dataset desafiante para los clasificadores que se utilizan en este estudio.

#### Lernmatrix con transformada nueve

La Lernmatrix propuesta por Karl Steinbuch (Steinbuch 1961) es la primer memoria asociativa, la cual funciona como se muestra en la figura 2



Figura 2 Memoria asociativa

Se tiene dos fases en el algoritmo de la memoria asociativa, la primera fase consiste en el aprendizaje, en la que se entrena a  $M$  conocida como matriz entrenada, y se hace con patrones binarios de entrada  $X^\mu \in A^n, A = \{0,1\}$  y generando como salida  $y^\mu \in A^m$  el cual corresponde a un número de clases distintas  $m$ , además se cumple que cada valor correspondiente de  $m_{ij}$  de  $M$  de la Lernmatrix tiene un valor inicial de 0, y se actualiza siguiendo la siguiente regla  $m_{ij} + \Delta m_{ij}$ , donde (Uriarte-Arcia et al. 2014):

$$\Delta m_{ij} = \begin{cases} +\varepsilon & \text{si } y_i^\mu = 1 = x_j^\mu \\ -\varepsilon & \text{si } y_i^\mu = 0 \text{ y } x_j^\mu = 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (5)$$

donde  $\varepsilon=1$

La segunda fase llamada recuperación o recuerdo consiste en recuperar la clase a la que pertenece un patrón dado  $x^\omega \in A^n$ , lo cual significa encontrar las coordenadas del patrón  $y^\omega$  que corresponden al patrón  $x^\omega$ , para encontrar dichas coordenadas se sigue la siguiente expresión (Uriarte-Arcia et al. 2014):

$$y_i^\omega = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_{i=1}^n m_{ij} x_i^\omega = \text{MAX} \left[ \sum_{j=1}^n m_{hj} x_j^\omega \right] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (6)$$

La Lernmatrix puede funcionar como clasificador, sin embargo, su rendimiento no resulta competitivo si se compara con otros clasificadores, por lo que el grupo de investigación Alfa-Beta del Instituto Politécnico Nacional, propone realizar una transformación matemática simple T9 (Velázquez-Rodríguez et al. 2020), a los patrones de aprendizaje y de prueba, binarizando primeramente los patrones mediante la transformada rápida de Johnson Möbius (JM) (Papadomanolakis et al. n.d.), como muestra el ejemplo 1.

**Ejemplo 1.** Transformar el siguiente dataset 2.3, 1.5, -0.2 y 0.7 con JM.

Se suma el elemento más pequeño a cada elemento del dataset: 2.5, 1.7, 0.0 y 0.9.

Se truncan los decimales multiplicando por una potencia de 10 adecuada: 25, 17, 0 y 9.

Se concatena con unos y ceros tomando como referencia el elemento más grande del dataset,

ahora se muestra cómo quedan transformados los elementos 2.3 y 1.5 del dataset.

2.3 = 11111111111111111111111111111111

1.5 = 00000000111111111111111111111111

Posteriormente aplicar la transformada 9 (T9) a las cadenas de números binarios del ejemplo 1 colocando (1, 0) en caso de que se trate de un uno y (0, 1) en caso de un cero. Por lo que el elemento 1.5 del dataset queda transformado como sigue:

010101010101010110101010101010101010  
1010101010101010

De esta manera es que se implementa la transformación de datos para la LMT9.

### 3. RESULTADOS

A continuación, en la tabla 2 se observan los resultados de la clasificación realizada por los algoritmos y herramientas mencionados en la sección 2.

Tabla 2 Rendimiento de algoritmos

Algoritmo	Sensibilidad	Especificidad	BA
LMT9	0.3162	0.7072	0.5117
Naive Bayes	0.1975	0.9511	0.5743
MSV	0	1	0.5
RL	0.1358	0.96	0.5479
MLP	0.2592	0.9022	0.5807
J48	0.2592	0.8888	0.574
RF	0.2962	0.8177	0.557
RT	0.4074	0.7688	0.5881
1NN	<b>0.439</b>	0.8488	<b>0.6439</b>
3NN	0.2592	0.8444	0.5518

Se puede observar en la tabla anterior que, si bien la LMT9 no obtiene el puntaje más alto en las tres métricas, muestra un buen rendimiento para sensibilidad que se refiere a la capacidad del algoritmo de clasificar de manera correcta la clase de interés que son los pacientes sobrevivientes, obteniendo un 31.62%, superando en esta métrica a Naive Bayes que obtuvo 19.75%, MSV con 0%, Regresión logística obtuvo 13.58%, Multi Layer Perceptron un

25.92%, Árbol de decisión (J48) 25.92%, Random Forest con 29.62% y KNN con k=3 un 25.92%, ver figura 3.

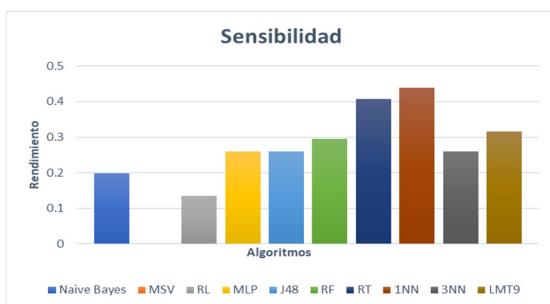


Figura 3 Gráfica de Sensibilidad y Especificidad

Haber superado a seis de los nueve clasificadores considerados clásicos en la literatura para tratar este tipo de problemas, posiciona a la LMT9 como un algoritmo competente para abordar problemas del mundo real en el área de la salud, resultados importantes que aportan al estado del arte.

Se observa que el clasificador MSV, obtuvo un rendimiento de 1 en especificidad, lo cual indica que está recuperando un 100% de patrones negativos, sin embargo el teorema de No-Free-Lunch menciona que no existe un clasificador que obtenga un 100% de patrones clasificados correctamente (Adam et al. 2019), por lo que el resultado de MSV en sensibilidad tan alto se debe al desbalance del dataset, lo que indica que el clasificador solo fue capaz de reconocer patrones negativos, así que ese resultado no debe ser considerado como correcto ya que solo clasificó a una clase.

#### 4. CONCLUSIONES

Se observa que la LMT9 tiene un buen rendimiento en la clasificación de patrones respecto a la métrica de verdaderos positivos, que en este dataset corresponden a los casos sobrevivientes, siendo el tercer mejor algoritmo en esta métrica, esto implica que para un profesional de la salud es importante reconocer los patrones que caracterizan a estos pacientes. La LMT9 no obtuvo un rendimiento superior en especificidad y BA comparada con los dos algoritmos que la superaron, debido a que se trata de un dataset desbalanceado, por lo que es de esperar que esto suceda, por la falta de patrones de una clase. Sin embargo, los resultados de sensibilidad muestran que el algoritmo es competente para clasificar a las

personas que sobrevivieron, destacando que la LMT9 puede ser tomada en cuenta para la clasificación de patrones en este tipo de enfermedades crónicas. La LMT9 resulta competente para clasificar dataset desbalanceados comparado con los algoritmos más importantes en la literatura, lo cual lo convierte en una herramienta importante para clasificación. Fue el tercer mejor algoritmo para recuperar verdaderos positivos solo por debajo de Random Tree y KNN con n=1, por lo que este algoritmo tiene el potencial de utilizarse para clasificación de datos del mundo real, no solo en medicina. Actualmente la LMT9 no está considerada en la lista de algoritmos clásicos, sin embargo, el rendimiento observado demuestra que puede ser un buen competidor para la clasificación de patrones.

En resumen, la LMT9 demostró ser un clasificador confiable y los resultados obtenidos en este artículo demuestran que debe ser tomado en cuenta en la clasificación de patrones de enfermedades crónicas como la de cáncer de mama de la vida real.

#### 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a la Universidad Politécnica de Pachuca y al CONACYT por su apoyo en la realización de esta investigación.

#### 6. REFERENCIAS

- Abdar, Moloud, Mariam Zomorodi-Moghadam, Resul Das, and I. Hsien Ting. 2019. "Corrigendum to 'Performance Analysis of Classification Algorithms on Early Detection of Liver Disease' (Expert Systems with Applications (2017) 67 (239–251)." *Expert Systems with Applications* 125:442–43.
- Adam, Stavros P., Stamatios-Aggelos N. Alexandropoulos, Panos M. Pardalos, and Michael N. Vrahatis. 2019. "No Free Lunch Theorem: A Review."
- Anon. n.d. "KEEL: A Software Tool to Assess Evolutionary Algorithms for Data Mining Problems (Regression, Classification, Clustering, Pattern Mining and so On)." Retrieved August 7, 2020a (<https://sci2s.ugr.es/keel/dataset.php?cod=157>)
- Dayanara Alanis-Tamez, Mariana, Yenny Villuendas-Rey, and Cornelio Yáñez-Márquez. n.d. *Computational Intelligence Algorithms Applied to the Pre-Diagnosis of Chronic Diseases*.

- Fernández, Alberto, Victoria López, Mikel Galar, María José Del Jesus, and Francisco Herrera. 2013a. "Analysing the Classification of Imbalanced Data-Sets with Multiple Classes: Binarization Techniques and Ad-Hoc Approaches." *Knowledge-Based Systems* 42:97–110.
- Fernández, Alberto, Victoria López, Mikel Galar, María José Del Jesus, and Francisco Herrera. 2013b. "Analysing the Classification of Imbalanced Data-Sets with Multiple Classes: Binarization Techniques and Ad-Hoc Approaches." *Knowledge-Based Systems* 42:97–110.
- González-Patiño, Villuendas-Rey, Argüelles-Cruz, and Karray. 2019. "A Novel Bio-Inspired Method for Early Diagnosis of Breast Cancer through Mammographic Image Analysis." *Applied Sciences* 9(21):4492.
- Papadomanolakis, K., A. Kakarountas, N. Sklavos, and C. E. Goutis. n.d. *A Fast Johnson-Mobius Encoding Scheme for Fault Secure Binary Counters*.
- Raja, P. S., and K. Thangavel. 2020. "Missing Value Imputation Using Unsupervised Machine Learning Techniques." *Soft Computing* 24(6):4361–92.
- Sharma, Dr Neha, and Dr Jayanand Manjhi. 2016. "Detection of Malignant Tissue in Mammography Image Using Morphology Based Segmentation Technique." *International Journal of Medical Research and Review* 4(4):635–40.
- Steinbuch, K. 1961. "Die Lernmatrix." *Kybernetik* 1(1):36–45.
- Uriarte-Arcia, Abril Valeria, Itzamá López-Yáñez, and Cornelio Yáñez-Márquez. 2014. "One-Hot Vector Hybrid Associative Classifier for Medical Data Classification" edited by A. R. Dalby. *PLoS ONE* 9(4):e95715.
- Velázquez-Rodríguez, José-Luis, Yenny Villuendas-Rey, Oscar Camacho-Nieto, and Cornelio Yáñez-Márquez. 2020. "A Novel and Simple Mathematical Transform Improves the Performance of Lernmatrix in Pattern Classification." *Mathematics* 8(5):732.

# Sistema de autenticación anónima por medio de criptografía no invertible

I.N. Lucio-Morales<sup>1</sup>, L.A Lizama-Perez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sección de Posgrado de la Universidad Politécnica de Pachuca, Ex-Hacienda de Santa Bárbara, 43830 Pachuca, México.

Recibido: Agosto 9, 2020; Aceptado: Septiembre 8, 2020.

## Resumen (CCCF)

Las redes anónimas son plataformas tecnológicas que tienen como objetivo garantizar a los usuarios una comunicación privada, anónima y sin censura a través de Internet. En este artículo se presenta el diseño de un sistema de autenticación anónima utilizando criptografía no invertible. Este diseño se basa en cómo Tor (The Onion Routing) establece una llave secreta entre dos entidades utilizando el algoritmo KEP (Key Exchange Protocol). Se presenta una comparación entre la creación de un circuito Tor y un circuito KEP. Finalmente, se presenta un breve análisis de seguridad basado en el ataque de hombre en medio (MIMT).

*Palabras clave:* *No-invertible, circuito, criptografía, Tor, redes anónimas.*

## Abstract (CCCF)

Anonymous networks are technological platforms that aim to guarantee users private, anonymous and uncensored communication over the Internet. This article presents the design of an anonymous authentication system using non-invertible cryptography. This design is based on how Tor (The Onion Routing) establishes a secret key between two entities using the KEP (Key Exchange Protocol) algorithm. A comparison between creating a Tor circuit and a KEP circuit is presented. Finally, a brief security analysis based on man in the middle attack is presented.

*Key words:* *Non-invertible, circuit, cryptography, Tor, anonymous networks.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Internet es la principal herramienta de comunicación y transferencia de información entre los usuarios. Cuando los usuarios comparten información importante optan por cifrarla para mantener la confidencialidad e integridad de la misma. Sin embargo, cada uno de los usuarios tiene un identificador de red, la dirección IP. Si un adversario analiza el tráfico de datos entre ellos, puede obtener este identificador, de esta manera conocer la ubicación geográfica y algunas veces la identidad del usuario.

Estas son algunas de las razones por la que muchos usuarios están optando por utilizar redes anónimas, las cuales tienen como objetivo principal brindar privacidad y anonimato a los usuarios. Sin embargo, al brindar anonimato, los usuarios pueden buscar y descargar contenidos

ilegales. No obstante, en el ámbito periodístico, se puede proteger a los informantes y en cuanto a derechos humanos, se puede publicar abusos y evitar la vigilancia ilegal.

En cuanto al ámbito legal en México para el uso de este tipo de redes, podemos consultar los artículos 145 y 146 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión que establecen el principio de neutralidad tecnológica; por lo que ningún proveedor de servicios de acceso a Internet está facultado para bloquear el acceso a ninguna red, esto incluye la red anónima TOR.

En cuanto a determinar si existen elementos suficientes para afirmar que una herramienta tecnológica, como es el caso de TOR, es utilizada por un usuario de Internet con fines ilícitos existe en nuestro país la Policía Federal, que es la autoridad encargada de realizar esta investigación.

A partir de la idea básica de Chaum (1981) sobre las técnicas de comunicación anónima se han diseñado varios sistemas a partir de entonces. Los sistemas actuales pueden clasificarse en dos categorías: técnicas basadas en mensajes (de alta latencia) y técnicas basadas en flujos (de baja latencia) (Wang et al., 2011). The Onion Router (Tor), el Proyecto de Internet Invisible (I2P) y JonDonym son las más populares (Montieri et al., 2017).

Tor es un servicio de comunicación anónima basado en circuitos de baja latencia (Dingledine et al., 2004). El objetivo de este proyecto es que los usuarios puedan navegar a través de internet teniendo privacidad y evitando la censura. Este sistema utiliza el enrutamiento de cebolla, en inglés onion routing, que tiene como objetivo hacer más difícil el análisis del tráfico de datos para un adversario (Danezis and Diaz., 2008). Se estima que Tor cuenta con un promedio de 6 mil nodos y 2 millones de usuarios al día (The Tor Project, s. f.).

I2P también es una red de comunicación anónima de baja latencia pero a diferencia de Tor, esta red está basada en mensajes y en la comunicación entre pares (Conrad and Shirazi, 2014). I2P presenta una capa simple que las aplicaciones pueden usar para enviar mensajes entre si de forma anónima y segura (Red anónima I2P, s. f.). Toda comunicación está cifrada de extremo a extremo. I2P utiliza el enrutamiento de ajo, en inglés garlic routing, el cual se inspiró en el enrutamiento de cebolla (Zantout et al., 2011). JonDo (JonDonym) es un cliente proxy, el cual se encarga de reenviar el tráfico de las aplicaciones de Internet encriptadas en cascadas Mix, por lo que ocultará la dirección IP (JonDonym - the anonymisation service, s. f.). Además de Tor, I2P y JonDonym existen otros sistemas anónimos como: Freenet (Freenet, s. f.), MorphMix (Rennhard and Plattner, 2002), Tarzan (Freedman and Morris, 2002), MUTE (MUTE: Simple, Anonymous File Sharing, s. f.), AntsP2P (ANts P2P, s. f.), Mixminion (Mixminion: a Type III anonymous remailer, s. f.), Mixmaster (Mixmaster, s. f.).

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Antecedentes Tor

Tor es un sistema de software libre que fue desarrollado en 2002 por el Laboratorio de

Investigación Naval de Estados Unidos. Tor es un servicio de comunicación anónima basado en circuitos de baja latencia (Dingledine et al., 2004).

El principal objetivo de este sistema es proteger el anonimato de los usuarios retransmitiendo el tráfico a través de una red de nodos superpuestos dirigidos por voluntarios. También proporciona servicios ocultos dentro de internet como navegadores web, mensajería instantánea, acceso remoto (ssh), alojamiento web (.onion), comunicación VoIP y recursos compartidos.

La red Tor está formada por nodos, conocidos como enruteadores de cebolla (ORs), los cuales se comunican entre sí utilizando el protocolo TLS, ya que todas las conexiones de la red Tor están cifradas. También los clientes (OPs) utilizan este protocolo para comunicarse con los ORs. Tor ocupa un cifrado en capas y el tráfico de los usuarios se transmite a través de circuitos. Por defecto, los circuitos están formados por tres nodos: nodo de entrada, nodo intermedio y nodo de salida.

Durante la construcción del circuito, el OP establece una llave secreta con cada uno de los ORs que ha elegido para crear el circuito. Después, el cliente utiliza estas llaves para cifrar los mensajes transmitidos en múltiples capas de cifrado, comenzando con la llave pública del "OR" de salida.

Para descifrar los mensajes, el primer OR quita una capa de cifrado, luego reenvía el mensaje al siguiente OR, este proceso se repite hasta llegar al OR de salida. El OR de salida descifra la última capa de cifrado, que revela el mensaje original del usuario y lo reenvía a su destino a través de internet. De esta manera, si el tráfico es interceptado por un adversario, no pueden determinar el origen o destino.

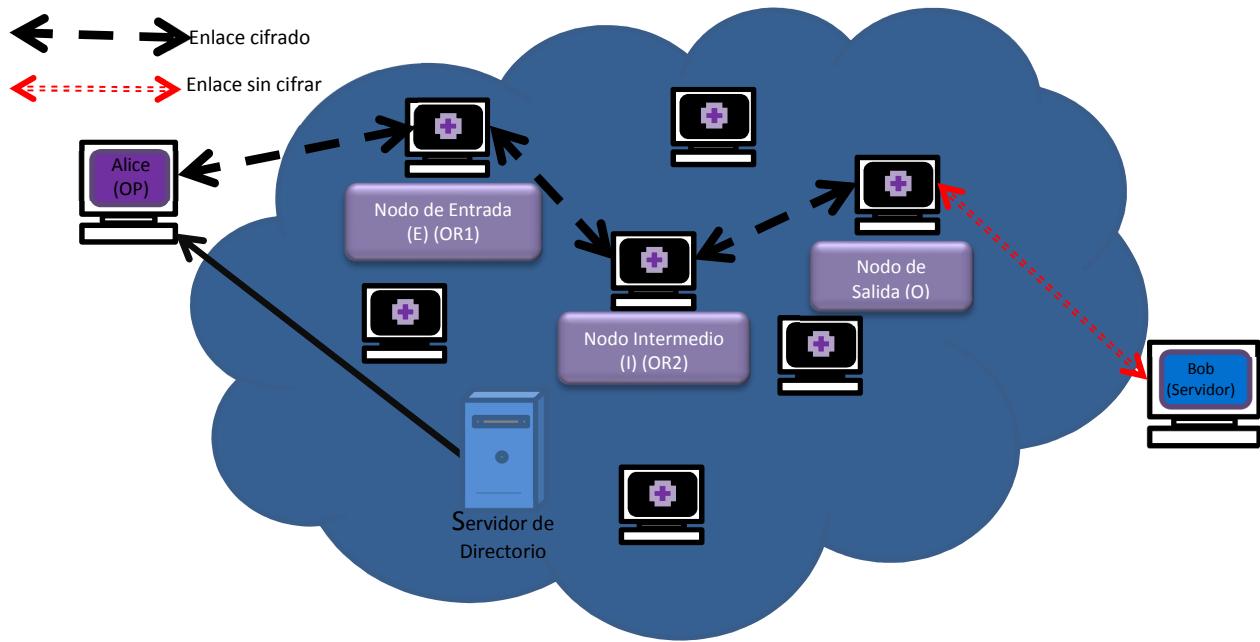


Figura 1. Pasos para la comunicación a través de Tor

La figura 1 representa la comunicación entre Alice y Bob a través de Tor. La cual se puede describir de la siguiente manera:

1. Alice consulta el servidor de directorio para obtener una lista de ORs disponibles.
2. Alice selecciona tres ORs para crear un circuito Tor. Por defecto, un circuito se crea usando tres ORs.
3. Alice crea una conexión con su OR de entrada.

Después, el tráfico es reenviado a través de los siguientes ORs. Finalmente, el OR de salida se comunica por medio de internet con Bob y entrega el mensaje. Los ORs de salida de Tor están configurados para permitir el reenvío de tráfico sólo para un pequeño conjunto de servicios TCP. Los servicios soportados son definidos por el operador de la salida a través de la especificación de una política de salida (Chakravarty et al., 2015).

## 2.2 Construcción de un circuito

Tor utiliza algoritmos como el cifrado de llave pública RSA de 1024 bits. El cifrado de clave privada AES de 128 bits y el algoritmo de hash, SHA-1. Para el intercambio de llaves utiliza el

algoritmo de cifrado Diffie-Hellman (Dingledine et al., 2004).

Tor usa un formato especial llamado celda para todos los mensajes que son enviados a través de la red. Esta celda es de 512 bytes y consiste de una cabecera (header) y carga útil (payload). Hay dos tipos de celdas, de control y de transmisión (relay) (Conrad and Shirazi, 2014).

La figura 2 representa el establecimiento de un circuito Tor. La creación del circuito comienza cuando Alice envía una celda de creación  $CreateC_1, RSA(k_{OR1}, g^{x_1})$  al OR1. La celda contiene la primera parte de la llave  $g^{x_1}$  para el establecimiento de un secreto compartido mediante el protocolo Diffie-Hellman, la cual se cifra con la llave pública  $k_{OR1}$ , también conocida como llave de cebolla del OR1 por medio del algoritmo RSA.

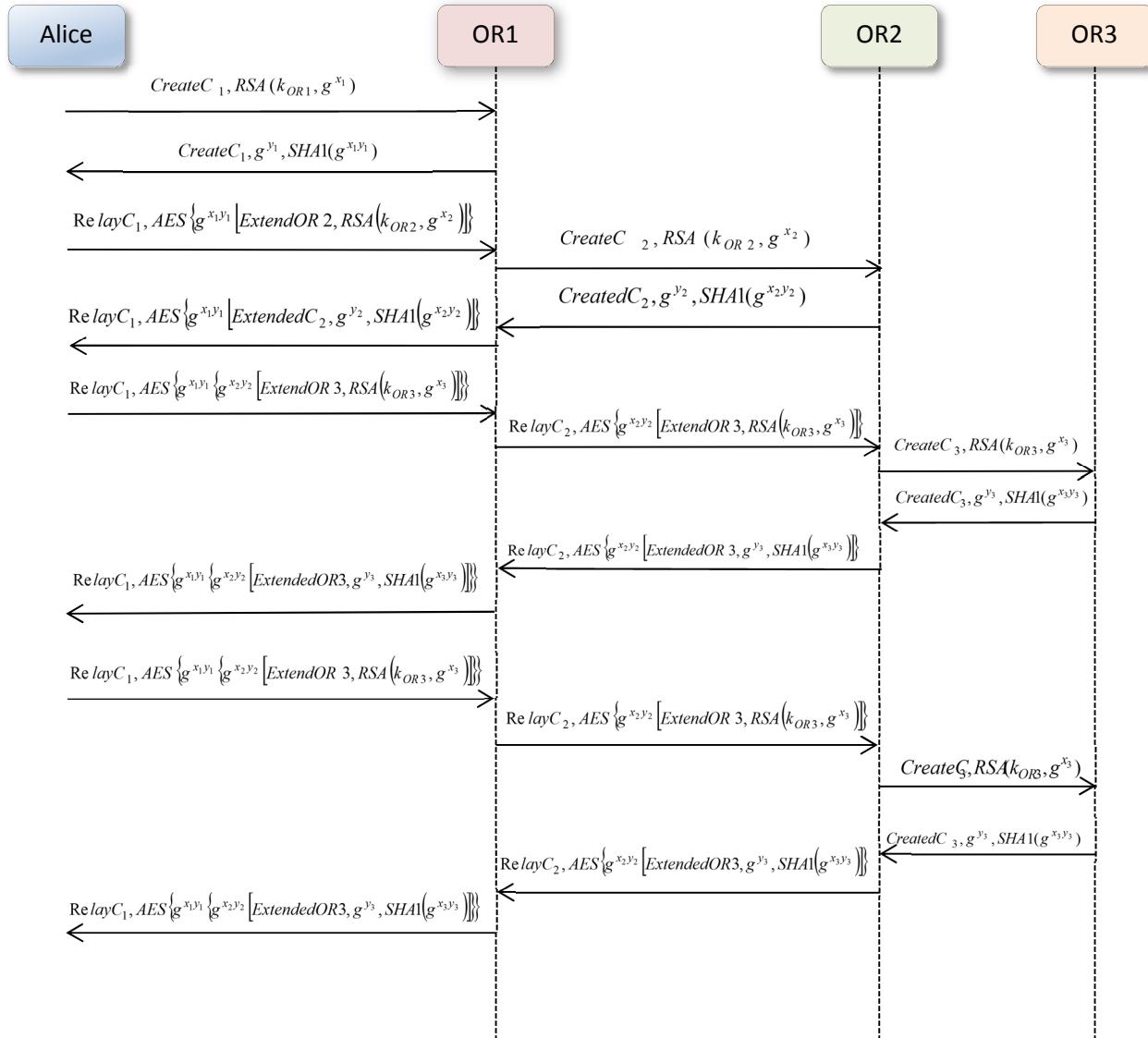


Figura 2. Construcción de un circuito Tor

El OR1 contesta a Alice con una celda creada  $CreateC_1, g^{y_1}, SHA1(g^{x_1y_1})$  que contiene la llave  $g^{y_1}$  junto con un hash de la llave negociada  $g^{x_1y_1}$ .

De esta manera el OR1 indica a Alice que el circuito se ha establecido correctamente. Una vez establecido el circuito entre Alice y el OR1, pueden enviarse celdas de retransmisión cifradas con la llave negociada.

Para extender el circuito, Alice envía una celda de extensión de retransmisión al OR1

$RelayC_1, AES\{g^{x_1y_1} [ExtendOR2, RSA(k_{OR2}, g^{x_2})]\}$ , especificando la dirección del próximo OR y una llave  $g^{x_2}$  cifrada para el OR2. Ahora, el OR1 copia la carga  $RSA(k_{OR2}, g^{x_2})$  en una celda de creación, y se la envía al OR2 para extender el circuito.

Cuando el OR2 responde con una celda creada  $CreatedC_2, g^{y_2}, SHA1(g^{x_2y_2})$ , el OR1 envuelve la carga en una celda extendida de retransmisión y se la pasa a Alice. Ahora el circuito se ha

extendido al OR2 y Alice y el OR2 comparten una clave común  $g^{x_2y_2}$ .

Para extender el circuito a un tercer OR, Alice realiza el mismo proceso, siempre diciéndole al último OR del circuito que se extenderá un OR más.

### 2.3 Criptografía no invertible, protocolo KEP

La criptografía de llave pública desde su origen a finales de los años 70, ha sido una de las principales herramientas de seguridad para firmas y servicios electrónicos de Internet. Los algoritmos más utilizados para los servicios de firma electrónica son RSA y Curva Elíptica (ECC).

Sin embargo, debido al avance de la computación cuántica, la seguridad de estos algoritmos ha sido amenazada por el algoritmo de Shor que resuelve, al menos en teoría, los problemas computacionales en los que reside la seguridad de estos criptosistemas, como son la factorización de números enteros y el logaritmo discreto, respectivamente.

De hecho, la mayoría de los criptosistemas de llave pública utilizados hoy en día se volverán obsoletos en el futuro previsible porque se romperán por medio de las computadoras cuánticas (Barreno, 2002).

El protocolo de intercambio de criptografía No-Invertible KEP (Key Exchange Protocol), fue presentado por el Dr. Luis Adrián Lizama Pérez en Abril de 2020. Algunas de las propiedades importantes de este algoritmo son: es un protocolo de llave pública, permite el establecimiento de una clave secreta y realiza comunicación secreta entre dos partes remotas (Lizama-Perez, 2020).

La propiedad más notable del protocolo KEP es que no basa su seguridad en los problemas computacionales como la factorización de números enteros y el logaritmo discreto. Por esta razón, No-Invertible KEP se convierte en un candidato prometedor para la era cuántica.

El protocolo No-invertible KEP es una generalización de RSA, Diffie-Hellman (DH) y ElGamal. El funcionamiento de KEP inicia con la generación de un número compuesto  $n$  que es el resultado del producto de tres números

primos,  $p$ ,  $q$  y  $r$ , por lo tanto  $n = 4r$ . Se define  $p = q = 2$  para garantizar la indistinguibilidad del texto cifrado y la llave pública. El número  $r$  se elige de tal manera que 2 sea una raíz primitiva de  $r$ , esta condición produce llaves de longitudes aceptables.

Es decir, si elegimos un número entero primo tal que  $r = 1024$  bits, se puede usar una llave  $x = 512$  bits y  $k = 512$  bits. Por lo tanto, el tamaño de la llave privada  $\{x, k\}$  alcanza los 1536 bits, mientras que la llave pública tendría 2056 bits.

Después, Alice y Bob seleccionan las llaves privadas  $x$ ,  $y$  y  $K$ . Donde,  $K$  debe ser un número invertible en  $n$ . Alice obtiene  $x_a$ ,  $y_a$  y  $K_a$  y Bob  $x_b$ ,  $y_b$  y  $K_b$ . Como se verá enseguida es necesario que los números  $x$  y  $y$  se ajusten al teorema de Euclides, por lo que se deben elegir los números secretos de modo que:  $x + y = \phi(n) + 1$  donde,  $\phi(n) = \phi(4r) = 2r - 2$ .

Para lograr la secrecía en la era cuántica, se debe considerar  $x \geq 256$  y  $k \geq 256$  para resistir un ataque por búsqueda exhaustiva por medio del algoritmo cuántico de Grover (Grover, 1996).

Después se procede a generar las dos llaves públicas. Alice genera las llaves (1) y (2):

$$Pu_{ap} = p^{2x_a} K_a \bmod n \quad (1)$$

$$Pu_{aq} = q^{y_a} K_a \bmod n \quad (2)$$

Bob genera las llaves públicas (3) y (4):

$$Pu_{bp} = p^{2x_b} K_b \bmod n \quad (3)$$

$$Pu_{bq} = q^{y_b} K_b \bmod n \quad (4)$$

Para obtener el secreto compartido, Alice y Bob realizan las siguientes operaciones de exponentiación y multiplicación que se representan en las ecuaciones (5) y (6):

$$(p^{2x_b} K_b \bmod n)^{x_a} (q^{y_b} K_b \bmod n)^{y_a} \quad (5)$$

$$p^{2x_b x_a} q^{y_b y_a} K_b \bmod n \quad (6)$$

Alice envía este resultado a Bob por el canal público. A su vez, Bob envía a Alice el resultado de la operación que corresponde a la ecuación (7):

$$p^{2x_b x_a} q^{y_b y_a} K_a \bmod n \quad (7)$$

De cada lado se pueden eliminar los valores de  $K_a$  y  $K_b$  por medio de los inversos multiplicativos  $K_a^{-1}$  y  $K_b^{-1}$  para llegar al valor secreto compartido correspondiente a la ecuación (8).

$$K_s = p^{2x_b x_a} q^{y_b y_a} \bmod n \quad (8)$$

La figura 3 representa gráficamente el protocolo basado en criptografía no invertible, KEP. En este diagrama se puede observar como dos usuarios, Alice y Bob, a través del protocolo KEP, establecen un secreto compartido  $K_s$ .

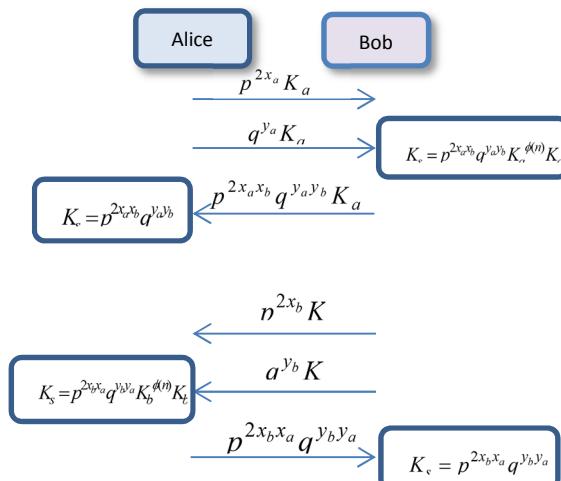


Figura 3. Protocolo de criptografía no invertible, KEP

#### 2.4 Construcción de un circuito-KEP

El protocolo de Lizama muestra la indistinguibilidad de las llaves públicas y los textos cifrados. Requiere un tiempo mínimo para el cifrado/descifrado cuando se compara con los principales algoritmos de llave pública como Diffie Hellman, ElGamal o RSA. Otra ventaja de este sistema es la base teórica, la cual es

perfectamente entendible cuando se compara con otros algoritmos de la era cuántica (Lizama-Perez, 2020).

La red anónima Tor es la más utilizada a nivel global, se estima que cuenta con un promedio de 6 mil nodos y 2 millones de usuarios al día (The Tor Project, s. f.).

I2P también es una red de comunicación anónima de baja latencia pero a diferencia de Tor, esta red está basada en mensajes y en la comunicación entre pares (Conrad and Shirazi, 2014).

Adicional a esto, es importante mencionar que Tor es la base para la construcción de otras redes anónimas como I2P. I2P utiliza el enrutamiento de ajo, en inglés garlic routing, el cual se inspiró en el enrutamiento de cebolla (Zantout et al., 2011).

El término garlic routing, fue acuñado por Michael J. Freedman en la Master's thesis de Roger Dingledine en Free Haven, derivado de Onion Routing. Como concepto general es idéntico a onion routing.

Con base a lo anterior se consideró utilizar el protocolo No-Invertible KEP para construir un circuito tipo Tor. Lo cual permitirá construir las bases para una red anónima en la era cuántica.

Se propone el siguiente diseño para el establecimiento de un circuito utilizando este protocolo.

En la figura 4 se representa el establecimiento de un circuito utilizando el protocolo de criptografía no invertible KEP. Inicialmente, Alice envía una celda de creación al OR1, donde envía sus llaves públicas  $(Pp_a, Pq_a)$ . El OR1 contesta a Alice con una celda creada, que contiene las llaves públicas del OR1  $(Pp_{or1}, Pq_{or1})$ . Alice envía una segunda celda de creación al OR1, donde envía parte de la llave  $K_s_{or1}$  que utilizará el OR1 para el establecimiento de un secreto compartido.

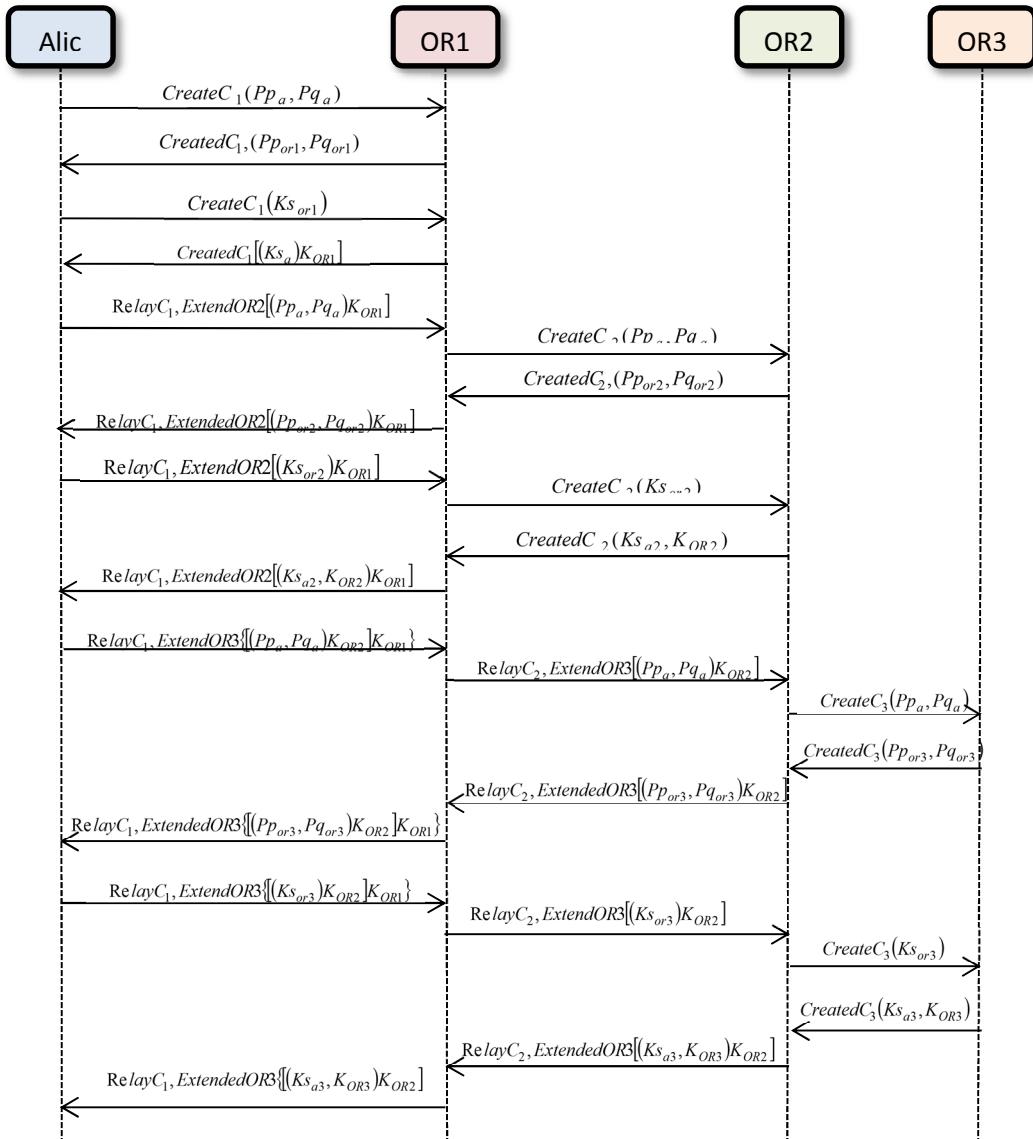


Figura 4. Construcción de un circuito KEP.

Finalmente, el OR1 contesta con una celda creada a Alice la cual contiene la llave  $K_{S_a}$  junto con la llave negociada  $K_{OR1}$ . Alice, utiliza la llave para generar el secreto compartido y hacer la validación con la llave negociada, de esta manera puede confirmar que el circuito se ha establecido correctamente.

Una vez establecido el circuito entre Alice y el OR1, pueden enviarse celdas de retransmisión cifradas con la llave negociada  $K_{or1}$ . Para extender el circuito, Alice envía una celda de extensión de retransmisión  $RelayC_1$ ,  $ExtendOR2[(Pp_a, Pq_a)K_{OR1}]$ , al OR1

especificando la dirección del próximo OR y compartiendo las llaves públicas ( $Pp_a, Pq_a$ ) las cuales están cifradas con la llave negociada, para entregarlas al OR2.

Ahora, el OR1 copia la carga ( $Pp_a, Pq_a$ ) en una celda de creación, y se la envía al OR2 para extender el circuito. Cuando el OR2 responde con una celda creada  $CreatedC_2, (Pp_{or2}, Pq_{or2})$ , el OR1 envuelve la carga ( $Pp_{or2}, Pq_{or2}$ ) y la cifra con la llave negociada en una celda extendida de retransmisión y se la pasa a Alice.

Nuevamente, Alice envía una celda  $RelayC_1, ExtendOR2[(Ks_{or2})K_{OR1}]$  de extensión de retransmisión al OR1, especificando la dirección del próximo OR y compartiendo la llave  $Ks_{or2}$  la cual está cifrada con la llave negociada, para entregarla al OR2. Ahora, el OR1 copia la carga  $Ks_{or2}$  en una celda de creación, y se la envía al OR2 para extender el circuito.

Cuando el OR2 responde con una celda creada  $CreatedC_2(Ks_{a2}, K_{OR2})$ , el OR1 envuelve la carga  $(Ks_{a2}, K_{OR2})$  y la cifra con la llave negociada en una celda extendida de retransmisión y se la pasa a Alice.

Ahora el circuito se ha extendido al OR2 y Alice y el OR2 comparten una clave común  $K_{OR2}$ .

Para extender el circuito a un tercer OR, Alice realiza el mismo proceso, siempre diciéndole al último OR del circuito que se extenderá un OR más.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Comparativa entre los circuitos Tor y KEP

Para poder llevar a cabo la comparativa entre el establecimiento de un circuito Tor contra el establecimiento de un circuito-KEP. Se utilizó el lenguaje de programación Python 3.7.6. El código de ambos diseños se pueden consultar en la siguiente liga <https://github.com/natalita84/KEP-TOR-Circuit>.

Las características del equipo de cómputo dónde se realizaron las pruebas son: fabricante ASUS, Procesador de séptima generación de APU AMD Serie A10, memoria RAM de 8 GB, Sistema Operativo Windows 10 y almacenamiento 500GB SSD.

Ambas simulaciones de circuitos se basan en los diagramas de las figuras 2 y 4. Para la simulación del circuito Tor, se utilizaron los algoritmos de llave pública RSA, el cifrado de clave privada AES, el algoritmo de hash SHA-1 y para el intercambio de llaves se utilizó el algoritmo Diffie-Hellman.

Para la simulación del circuito KEP, se realizó primero la programación del protocolo y después se implementó en la simulación del

establecimiento del circuito utilizando criptografía no invertible.

En ambas simulaciones, se midieron los siguientes parámetros: generación de llaves públicas, generación de llaves privadas y generación del circuito. Los resultados que se obtuvieron es en milisegundos. Con base a los resultados se realizó la tabla comparativa de ambos circuitos, los cuales se muestran en la tabla 1 y de forma gráfica en la figura 5.

Tabla 1. Resultado de la comparativa de creación de un circuito Tor y un circuito KEP

Circuito	Generación de llaves públicas	Generación de llaves privadas	Generación del Circuito	Tiempo total
Tor	0.11798	0	0.61702	0.62882
KEP	0.09406	0.00688	1.26706	1.36801

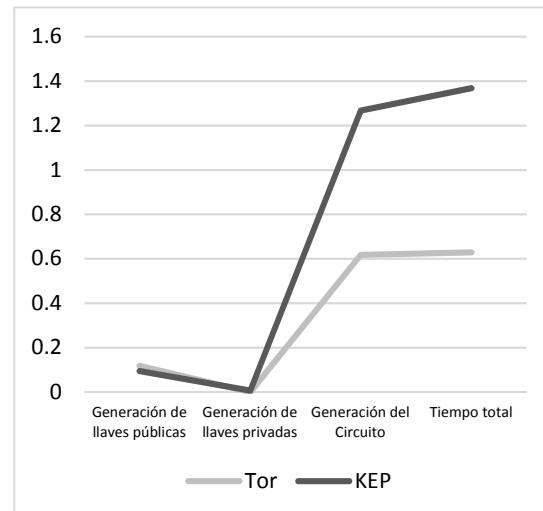


Figura 5. Resultado de la comparativa de la construcción de un circuito Tor y un circuito KEP

#### 3.2 Análisis de seguridad basado en el ataque de hombre en medio (MITM).

Una de las características de la red Tor es que es ampliamente escalable ya que puede ser extendida por cualquier usuario que quiera formar parte de la red, sin embargo, esta característica también la hace vulnerable al ataque de hombre en medio (MIMT), sobre todo si un adversario controla un nodo de salida y la comunicación con el servidor no está encriptada (Manils et al., 2010).

Recordemos que al final de los circuitos Tor se encuentra el nodo de salida y desde allí, el tráfico

del usuario viaja por la Internet abierta hasta su destino final. Los nodos de salida pueden ver el tráfico a medida que lo envía un usuario Tor, su función es delicada en comparación con los nodos de entrada y los nodos intermedios; porque el tráfico suele carecer de cifrado de extremo a extremo. Por su diseño, los nodos de salida actúan como un atacante entre un usuario y el destino.

Por lo tanto, los ataques de hombre de en medio pueden ocurrir entre el nodo de salida y el servidor destino. Debido a que el diseño del circuito KEP presentado, está basado en cómo se construye un circuito en la red Tor, podemos concluir que este diseño también es vulnerable al ataque de hombre de en medio.

## CONCLUSIÓN

Es posible construir un circuito basado en el diseño de un circuito Tor, utilizando criptografía no invertible, KEP. Como se puede visualizar en los resultados obtenidos, el tiempo de generación de un circuito KEP, tarda aproximadamente el doble de tiempo que la generación de un circuito Tor, esto debido al número de pasos que se deben seguir en el algoritmo KEP para establecer una llave entre el usuario y el destino.

En cuanto al análisis de seguridad realizado, podemos decir que el circuito KEP, es vulnerable al ataque de hombre de en medio (MIMT), ya que el diseño de creación del circuito está basado en Tor.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo de Conacyt otorgado a través de la beca de posgrado a Ignacia Nataly Lucio Morales.

## REFERENCIAS

- ANts P2P. (s. f.). Recuperado 25 de marzo de 2020, de <http://antsp2p.sourceforge.net/>  
ANts P2P. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <http://antsp2p.sourceforge.net/>  
Barreno, M. A. (2002). The future of cryptography under quantum computers. Dartmouth College Computer Science Technical Reports.

- Chakravarty, S., Portokalidis, G., Polychronakis, M., & Keromytis, A. D. (2015). Detection and analysis of eavesdropping in anonymous communication networks. International Journal of Information Security, 14(3), 205-220.  
Chaum, D. L. (1981). Untraceable electronic mail, return addresses, and digital pseudonyms. Communications of the ACM, 24(2), 84-90.  
Dingledine, R., Mathewson, N., & Syverson, P. (2004). Tor: The second-generation onion router. Naval Research Lab Washington DC.  
Conrad, B., & Shirazi, F. (2014, July). A Survey on Tor and I2P. In Ninth International Conference on Internet Monitoring and Protection (ICIMP2014) (pp. 22-28).  
Danezis, G., & Diaz, C. (2008). A survey of anonymous communication channels (Vol. 27, p. 30). Technical Report MSR-TR-2008-35, Microsoft Research.  
Freedman, M. J., & Morris, R. (2002, November). Tarzan: A peer-to-peer anonymizing network layer. In Proceedings of the 9th ACM conference on Computer and communications security (pp. 193-206).  
Freenet. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <https://freenetproject.org/>  
Grover, L. K. (1996, July). A fast quantum mechanical algorithm for database search. In Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing (pp. 212-219).  
JonDonym - the anonymisation. (s. f.) (28 de marzo de 2020). <https://anonymous-proxy-servers.net/>  
Lizama-Perez, L. A. (2020, April). Non-invertible key exchange protocol. Springer  
Manils, P., Abdelberri, C., Blond, S. L., Kaafar, M. A., Castelluccia, C., Legout, A., & Dabbous, W. (2010). Compromising Tor anonymity exploiting P2P information leakage. arXiv preprint arXiv:1004.1461.  
Mixmaster. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <http://mixmaster.sourceforge.net/>  
Mixminion: a Type III anonymous remailer. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <https://www.mixminion.net/>  
Montieri, A., Ciuonzo, D., Aceto, G., & Pescapé, A. (2017, September). Anonymity services tor, i2p, jondonym: Classifying in the dark. In 2017 29th international teletraffic congress (ITC 29) (Vol. 1, pp. 81-89). IEEE.  
MUTE: Simple, Anonymous File Sharing. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <http://mute-net.sourceforge.net>  
Red anónima I2P. (s. f.) (25 de marzo de 2020). <https://geti2p.net/es/>  
Rennhard, M., & Plattner, B. (2002, November). Introducing MorphMix: peer-to-peer based anonymous Internet usage with collusion detection. In Proceedings of the 2002 ACM workshop on Privacy in the Electronic Society (pp. 91-102).

- Syverson, P., Dingledine, R., & Mathewson, N. (2004).  
Tor: The second generation onion router. In Usenix Security (pp. 303-320).
- The Tor Project. (s. f.) (23 de octubre de 2020).  
<https://www.torproject.org/>
- Wang, X., Luo, J., Yang, M., & Ling, Z. (2011). A potential HTTP-based application-level attack against Tor. Future Generation Computer Systems, 27(1), 67-77.
- Zantout, B., & Haraty, R. (2011, January). I2P data communication system. In Proceedings of ICN (pp. 401-409).

# Diseño de una máquina tribológica de una máquina tribológica de cuatro bolas

J.F. Aparicio-Lozada<sup>1</sup>, J.C. Ramos-Fernández<sup>1</sup>, J. Hernández-Pérez<sup>1</sup>, E.E. Vera-Cárdenas<sup>2</sup>, A.I. Martínez-Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún km 20 Ex-Hacienda de Santa Bárbara, CP-43830, Zempoala, Hidalgo México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca. Carretera México-Pachuca Km. 87.5, C. P. 42080, Col. Venta Prieta, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Recibido: Agosto 27, 2020; Aceptado: Septiembre 10, 2020.

## Resumen (CI)

En este trabajo se presenta el proceso de diseño de una máquina tribológica de cuatro bolas, la cual nos permitirá evaluar el comportamiento físico de diversos tipos de lubricantes y grasas bajo determinadas condiciones de presión, velocidad y temperatura con base a las normas ASTM D2266, D2596 y D2783. La metodología de diseño aplicada fue la de Despliegue de Función de la Calidad (o QFD, por sus siglas en inglés), que permitió traducir en metas de diseño plenamente medibles los requerimientos y expectativas. También se realizaron análisis numéricos con software especializado para validar la propuesta de diseño.

Palabras clave: Cuatro bolas, lubricantes, QFD, análisis numérico.

## Abstract (CI)

This work presents the design process of a four-ball tribological machine, which will allow us to evaluate the physical behavior of various types of lubricants and greases under certain conditions of pressure, speed and temperature based on ASTM D2266, D2596 and D2783 standards. The applied design methodology was the Quality Function Deployment (QFD), which allowed the requirements and expectations to be translated into fully measurable design goals. Numerical analyzes were also performed with specialized software to validate the design proposal.

Key words: four-ball, lubricants, QFD, Numerical analyzes.

## INTRODUCCIÓN

La tribología es el estudio de la ciencia y la Ingeniería de las superficies que interactúan en movimiento relativo y en algunos casos su interacción con agentes lubricantes como es el caso de la máquina de cuatro bolas, usualmente se utiliza para pruebas donde un lubricante es puesto a prueba en parámetros como presión y desgaste, algunas de las pruebas son dentro de la industria automotriz ya que los aceites o grasas, están presentes en motores, cajas de engranajes entre otros. La calidad y el estado de los lubricantes influye en el rendimiento de las piezas de los mecanismos antes mencionadas a través de propiedades, como: resistencia a alta presión, viscosidad, índice de viscosidad, anti-desgaste y anticorrosión [1].

En este trabajo se presenta la metodología diseño, así como la propuesta de instrumentación y control de una máquina de cuatro bolas, la cual tenga la capacidad de realizar análisis físicos y pruebas de rendimiento a diversos lubricantes y grasas. El funcionamiento general de la máquina se compone de una bola de acero fijada en un sistema giratorio que se presiona contra tres bolas libres y sumergidas en el lubricante que se encuentre bajo evaluación. En esta máquina se considera el ajuste de los parámetros de carga o presión real, las RPM y la temperatura, así como la lectura del par de fricción durante la prueba bajo las normas ASTM D2266, D2596 y D2783 [2-4].

Para llevar a cabo el proceso de diseño de la maquina tribológica de 4 bolas se aplicó la

metodología QFD, la cual a partir de una serie de pasos a seguir y con la sugerencia de los elementos que aporten el mejor rendimiento posible se plantea una propuesta de diseño pertinente y factible. También se propone el control e instrumentación de cada uno de los elementos que la componen junto una interfaz de usuario para establecer los parámetros y realizar la lectura del par de fricción durante la prueba.

## METODOLOGÍA DE DISEÑO

En la ingeniería actual es necesario integrar el diseño de productos, lo cual involucra utilizar un método o proceso de diseño que proporcione los rubros necesarios para una correcta orientación, mediante el uso de subsecciones que permitan desarrollar con detalle las características necesarias para el diseño de un producto, como son diseño conceptual, funcional y de detalle; todo esto con la finalidad de que se tenga en cuenta los requerimientos, funciones y todo aquello que oriente el proceso a un diseño cercano a la realidad y concretar las ideas planteadas o propuestas.

Tabla 1. Análisis FODA.

Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
No hay producto mexicano similar	No hay posicionamiento en el mercado	En el país no hay empresas, universidades o centros de investigación que fabriquen la máquina con las mismas especificaciones.	Competencia Extranjera.
El costo de fabricación será mucho menor comparado con las comerciales.	No hay planes de realizar publicidad masiva	Entrar en el mercado por no tener competencia	Tiempo de diseño y manufactura
Incluye tecnologías actuales	No se conoce la demanda del producto	Las empresas mexicanas de lubricantes realizan pruebas fisicoquímicas, pero no físicas de sus productos	copia de la maquina
Diseño compacto			

Con base en lo anterior se realizó un análisis FODA y PRO-CON como complemento de la metodología QFD. El análisis FODA de la máquina de cuatro bolas (Tabla 1) permitió hacer frente a situaciones estratégicas complejas de

una manera muy sencilla y rápida. En esta sección y acorde al área temática, es muy importante describir las metodologías, procedimientos, reactivos y equipos utilizados en el trabajo.

El análisis Pro-Con consiste en la representación de las ventajas del proyecto y las desventajas (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis PRO-CON.

Ventajas	Desventajas
Poca competencia en el país.	Se desconoce la aceptación de la máquina en la industria de los lubricantes
Se cuenta con los conocimientos para desarrollo de la máquina.	
Se cuenta con la infraestructura para el desarrollo de la máquina	Competencia extrajera.
Múltiples aplicaciones mecánicas	
Amplio mercado.	
Uso de tecnologías multiplataforma	Gran consumo eléctrico

El objetivo de la metodología QFD es planificar el proceso de diseño eslabonando al cliente con las empresas. Los datos iniciales del proceso de diseño son los requerimientos y expectativas de los clientes, los cuales deben traducirse en metas de diseño plenamente medibles. Para esto se debe considerar la determinación de los requerimientos, la importancia relativa y ponderación de los requerimientos, el estudio comparativo del producto con algunos similares, la traducción de los requerimientos en términos medibles y el establecimiento de las metas de diseño.

La determinación de los requerimientos del cliente es un proceso que asegura que las necesidades de los clientes sean traducidas en características técnicas [5]. El objetivo central es utilizar un método gráfico en el que se despliegue la relación entre requerimientos de los clientes y atributos del diseño.

En la Tabla 3 se desglosaron aquellos requisitos y expectativas generales que se esperan de la máquina de cuatro bolas, por lo que, se agruparon según el tipo. Esto permitió definir con mayor exactitud los requerimientos obligatorios durante el diseño.

Tabla 3. Requisitos y expectativas.

Requerimientos y expectativas sobre la máquina de cuatro bolas	
A	Fácil de utilizar
B	Que ahorre luz
C	Que sea moderno
D	Fácil de limpiar
E	Sea de costo económico
F	Sea seguro
G	Que tenga un menú
H	Fácil de instalar
I	Sus dispositivos, accesorios y repuestos sean económicos
J	Exactitud en la medición
K	Sirva para diferentes tipos de lubricantes
L	La fabricación y el ensamblaje sean fáciles
M	Tenga tiempo mínimo de fabricación, ensamblaje y prueba
N	Tenga fuentes de energía suficiente
Ñ	Tenga estabilidad (centro de masa)
O	Fácil de reparar
P	Use una interfase eléctrica
Q	Use una interfaz mecánica
R	Que sea ergonómica
S	Que los materiales sean resistentes
T	Que cuente con una prueba de calibración
U	Tenga agarre para la 4 bola
V	Sea resistente a la corrosión
W	Tenga una vida útil elevada
X	Tenga un rango de temperatura elevado
Y	Tenga un rango de velocidad elevado

Para determinar cuáles son los requerimientos con mayor importancia, fueron separarlos para identificar cuáles son los requerimientos deseados y cuáles son los obligatorios (Tabla 4), así como para definir a la subsección a la que pertenecen.

Tabla 4. Clasificación de los requerimientos.

Requerimientos de calidad(R)		Obligatorio(O)	Deseado(D)	Clave de identificación
Desempeño funcional	Integridad estructural	Sirva para diferentes tipos de lubricantes	X	RD1
		Fácil de utilizar	X	RO1
		Tenga agarre para la 4 bola	X	RO2
		Sea seguro	X	RO3
	Atributos	Exactitud en la medición	X	RO4
		Tenga un rango de temperatura elevado	X	RO5
		Tenga un rango de velocidad elevado	X	RO6
	Interfaz con el producto	Use una interfase mecánica	X	RO7
		Que tenga un menú	X	RO8
		Use una interfase eléctrica.	X	RO9

Límite de espacio	Que sea moderno	X	RD2
	Que sea ergonómica	X	RD3
	Fácil de instalar	X	RD4
	Tenga fuentes de energía suficiente	X	RO10
Conservación	Fácil de limpiar	X	RD5
	Fácil de reparar	X	RD6
	Que los materiales sean resistentes	X	RD7
	Tenga una vida útil elevada	X	RD8
	Sea resistente a la corrosión	X	RD9
Tiempo	Que cuente con una prueba de calibración	X	RD10
	Tenga tiempo mínimo de fabricación, ensamblaje y prueba	X	RO11
Costo	Sea de costo económico	X	RD11
	Sus dispositivos, accesorios y repuestos sean económicos	X	RD12
	Que ahorre luz	X	RD13
Manufactura	La fabricación y el ensamblaje sean fáciles	X	RO12
	Tenga estabilidad (centro de mesa)	X	RO13

Una vez definidos los requerimientos obligatorios y deseables, se cuantificaron los requerimientos considerados como deseables con base a la importancia relativa ( $Ir$ ) entre ellos a partir de la ecuación (1) y (2), donde  $C$  es la cantidad total de comparación ,  $N$  el número de requerimiento y  $\sum (+)$  el total de del comparativo de los requerimientos.

$$C = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1)$$

$$Ir = \frac{\sum (+)}{C} * 100 \quad (2)$$

Se compararon los resultados de la evaluación de cada uno de los requerimientos deseables para construir la Tabla 5, la cual permitió asignar el orden de importancia de cada uno de los requerimientos. Se utilizó "1" para representar que el requerimiento es más importante que los demás y "0" para los que son menos importante comparado con los demás.

Con base en los requerimientos del cliente se realizó el desglose o establecimiento de requerimientos de Ingeniería, se muestra en la Fig. 1 el requerimiento fácil de utilizar. Este proceso se lleva a cabo para todos los requerimientos, debido al número de requerimiento solo presentamos este desglose.

Tabla 5. Importancia relativa.

Requerimientos deseables	RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7	RD8	RD9	RD10	RD11	RD12	RD13	Importancia relativa		Orden
														$\Sigma(+)$	Ir (%)	
RD1	X	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10	12.82	1
RD2	1	X	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	6	7.69	4
RD3	1	1	X	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	7	8.97	5
RD4	1	1	1	X	1	1	0	0	0	1	0	0	0	6	7.69	4
RD5	1	0	1	0	X	0	1	0	1	0	1	1	0	6	7.69	4
RD6	1	1	0	1	1	X	1	1	1	0	0	1	0	8	10.26	3
RD7	1	0	0	0	0	1	X	1	1	0	0	0	0	4	5.13	3
RD8	1	0	0	0	1	0	1	X	1	0	0	0	0	4	5.13	3
RD9	0	0	0	0	0	0	1	1	X	0	0	0	0	2	2.56	5
RD10	1	1	1	1	0	1	0	1	0	X	1	1	1	9	11.54	2
RD11	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	X	1	1	5	6.41	4
RD12	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	X	1	7	8.97	4
RD13	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	X	4	5.13	5
Total										78	100.0	0				

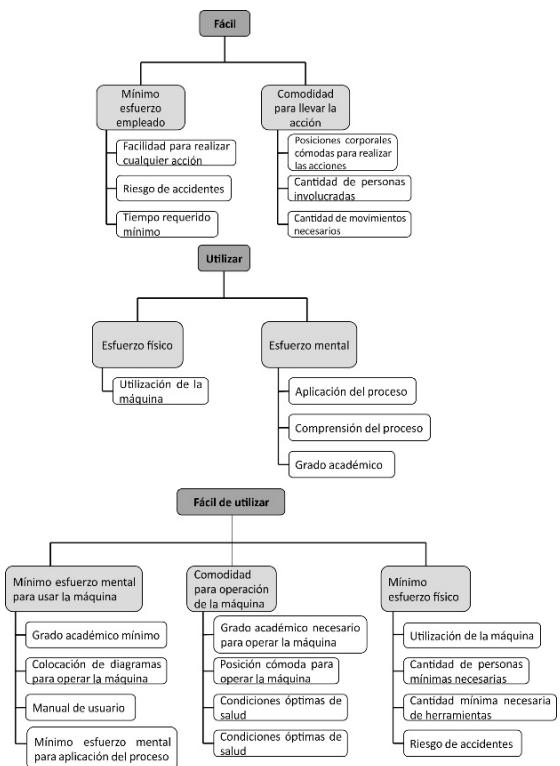


Fig. 1. Desglose de requerimientos.

Una vez finalizado el proceso de desglose de los requerimientos, se realizó la traducción de los requerimientos en términos de ingeniería u objetivos técnicos, la cual es una de las etapas fundamentales del QFD, donde se clasifican por prioridad e importancia, lo cual posteriormente se presenta en un diagrama denominado la casa de la calidad o matriz [6]. Los requerimientos de ingeniería obtenidos se muestran a continuación:

- Dimensiones del objeto
- Cantidad de lubricante

- Peso máximo del objeto
- Tiempo necesario de adiestramiento
- Grado académico mínimo
- Cantidad de personas necesarias para transportar
- Riesgo de accidentes durante la transportación
- Herramientas necesarias para realizar la medición
- Cantidad de movimientos corporales necesarios
- Cantidad de botones
- Dimensión del botón
- Peso máximo del botón
- Cantidad de personas necesarias para utilizar la máquina
- Riesgo de accidentes durante la utilización de la máquina
- Cantidad de botones a presionar
- Riesgo de accidente durante la limpieza
- Tiempo necesario para limpiar
- Número de elementos a limpiar
- Cantidad de líquidos necesarios a utilizar
- Precio
- Cantidad de personas necesarias para instalar
- Riesgo de accidentes durante la instalación
- Tiempo necesario para la instalación
- Cantidad de elementos a instalar
- Cantidad de elementos que componen al objeto
- Precio de sus accesorios
- Precio de repuestos
- Riesgo de accidentes durante ensamblaje
- Cantidad de personas necesarias para ensamblar
- Tiempo de ensamblaje
- Cantidad de elementos a ensamblar
- Riesgo de accidentes durante la fabricación
- Cantidad de personas necesarias para fabricar
- Tiempo de fabricación
- Cantidad de elementos a fabricar
- Precio de ensamblaje
- Precio de fabricación
- Consumo de energía
- Cantidad de energía requerida
- Cantidad de elementos a energizar
- Cantidad de personas necesarias para reparar

- Riesgo de accidentes durante la reparación
- Tiempo necesario para reparar
- Cantidad de elementos a reparar
- Cantidad de repuestos necesarios
- Cantidad de elementos reciclables
- Cantidad de herramientas necesarias para utilizarla
- Número de componentes de bajo consumo
- Número de pruebas a realizar al mismo tiempo
- Porcentaje de error permitido

Los requerimientos que plantea el cliente presentan una relación con los de ingeniería, puesto que a partir de ellos se obtuvieron. Debido al número de requerimientos de ingeniería solo se muestran algunas relaciones entre los requerimientos dentro de la matriz (Fig. 2).

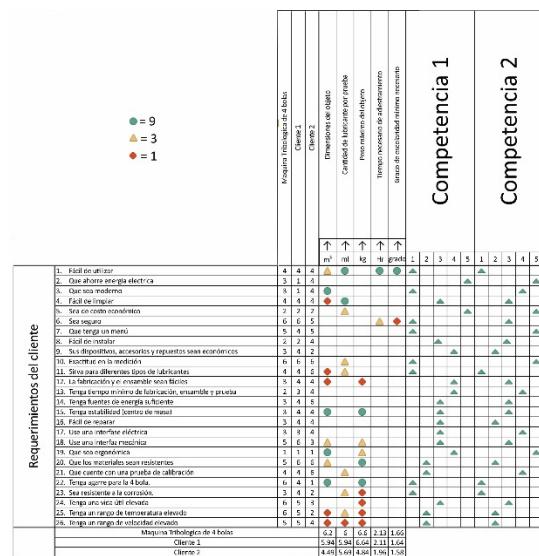


Fig. 2. Matriz QFD.

El cliente asignó valores de importancia a sus requerimientos que van de 0 a 6, siendo 0 el menos importante y 6 el más importante, poniendo como límite que la suma total de como resultado un valor de 100. La consideración de la relación entre los requerimientos del cliente y los de ingeniería se representan con símbolos a los cuales se les asignó el siguiente valor numérico circulo verde=9 (relación fuerte), triángulo amarillo=3 (relación media) y rombo rojo=1 (poca relación). La importancia de los requerimientos se calcula al multiplicar el valor que representa cada símbolo por la ponderación

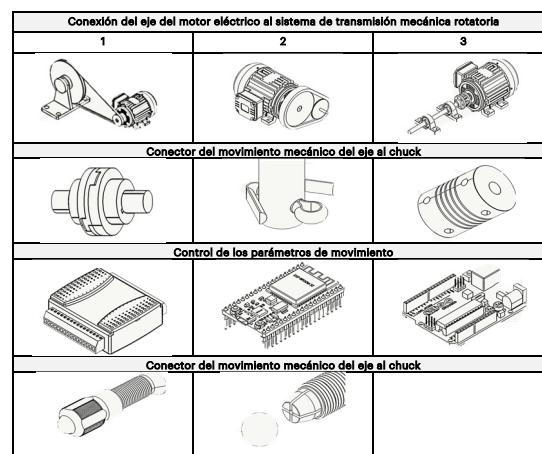
que dio cada uno de los clientes y se suma por columna. También se consideró los requerimientos del cliente para evaluar a las máquinas existente en el mercado, en este caso solo se consideraron a dos máquinas de la competencia, a las cuales se evaluó con respecto a un nivel de satisfacción de 1 a 5, siendo 1 excelente y 5 malo.

Una vez estructurada la matriz QFD se siguió con el desglose de las funciones principales de la máquina para realizar y lograr los requerimientos del cliente y de ingeniería. Para ello es necesario partir de la función global del sistema (Fig. 3), posteriormente y conforme se requiera se desarrollan los niveles de desglose hasta obtener cada subsistema y la función principal que se desempeña.



Fig. 3. Función global del sistema.

Con el desglose de funciones fue necesario presentar alternativas en lo que se conoce como caja morfológica (Fig. 4), las cuales permitirán orientar el proceso hacia las mejores soluciones para llevar a cabo las funciones principales que realiza la máquina.



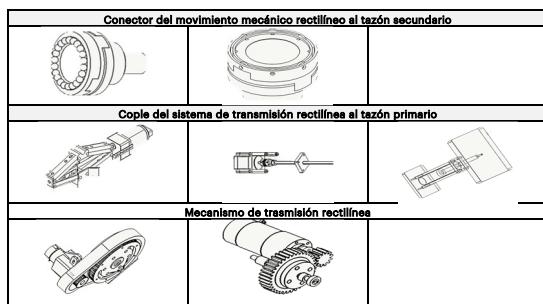


Figura 4. Caja morfológica.

Para evaluar las alternativas se empleó la Tabla 6 comparativa para cada sub-función con base a criterios del diseñador, considerando cada una de las cualidades que posee cada alternativa de solución. La ponderación para las evaluaciones fue de 5 a 10, siendo 5 la menor calificación y 10 la mayor.

Vaso principal con rosca interna	7	6	8	7	6	7	6	47
Vaso principal con rosca externa	9	10	8	9	10	9	10	65
Criterios de evaluación								
Mecanismo de transmisión rectilínea	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Mantenimient o	Impacto ambiental
Gato de tijera	9	10	9	8	10	9	10	65
Tornillo sin fin	7	7	7	7	5	6	7	46
Pletón	7	6	6	7	6	7	6	45

Con base a los resultados de las etapas de la metodología de diseño QFD, se inició el proceso de diseño conceptual con los mecanismos y elementos seleccionados, esta etapa sirve de referencia para el diseño a detalle. En la Fig. 5 se muestra la maquina en general con una configuración que podrá realizar los requerimientos del cliente.

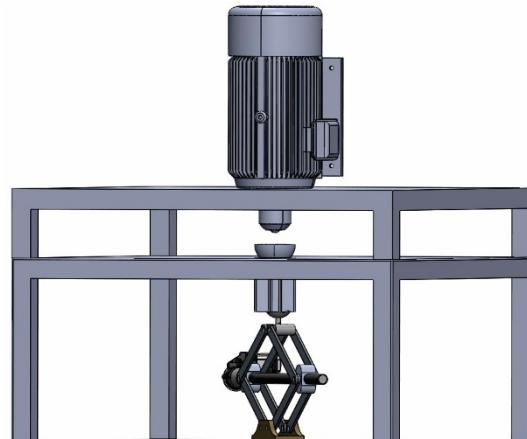


Fig. 5. Diseño conceptual.

Conexión del eje del motor eléctrico al sistema de transmisión mecánica rotatoria	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	
Poleas	7	6	7	6	5	6	7	44
Engranajes	7	7	5	6	7	6	7	45
Cople	9	9	8	10	9	9	9	63
Conector del movimiento mecánico del eje al chuck	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	
Cufia	7	6	7	6	7	6	7	46
Chabeta	8	9	8	9	8	9	9	60
Cople flexible	7	7	7	6	7	6	6	46
Control de los parámetros de movimiento	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	
Tarjeta NI	7	5	6	7	6	7	7	45
ESP 32	9	8	10	9	9	8	10	63
Arduino mega	7	6	7	5	6	7	8	46
Conector de movimiento mecánico del eje al chuck	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	
Sistema de agarre con rosca	9	8	9	8	9	9	9	61
Sistema de agarre con boquilla	7	7	6	7	7	6	7	47
Conector del movimiento mecánico rectilíneo al tazón secundario	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	
Vaso secundario con ballestas	7	7	6	7	7	6	6	46
Vaso secundario con ballestas	9	8	8	9	9	9	8	60
Cople del sistema de transmisión rectilínea al tazón primario	Criterios de evaluación							Resultados
	Seguridad	Costo	Manufactur a	Funcional	Fácil de operar	Mantenimient o	Impacto ambiental	

Una vez que se obtuvieron los detalles del diseño conceptual y requerimientos se desarrolla a detalle cada uno de los mecanismos que se van a requerir, los cuales deben cumplir las normas ASTM D2266, D2596 y D2783. A partir de estas normas se determinaron los parámetros máximos que se podrán aplicar en las pruebas, los cuales se presentan a continuación:

- Temperatura Máxima: 120 °C a ± 2 °C.
- Velocidad: 1770rpm ± 60rpm.
- Carga máxima aplicada: 750 kg ± 2kg.

Algunos otros parámetros que las normas nos especifican para inicial el diseño son los siguientes (Fig. 6):

- Las 3 bolas deberán medir ½ in de diámetro.

- Las 3 bolas inferiores se encuentran contacto relativo, y cubiertas con una película de lubricante.
- Las 3 bolas inferiores no deben presentar desplazamiento.
- La cuarta bola debe estar ubicada por la parte superior sujetada al chuck o sujetador para rotar libremente en su propio eje sobre las otras 3 bolas para formar un arreglo tetraédrico.

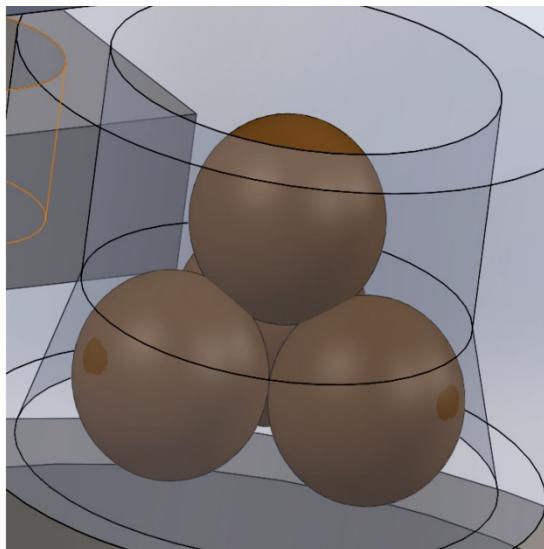


Fig. 6. Distribución de las 4 bolas.

El sistema que contiene a las 3 bolas inferiores lo nombramos vaso principal, el cual está constituido de diferentes elementos que permiten mantener la posición de las 4 bolas (Fig. 7).

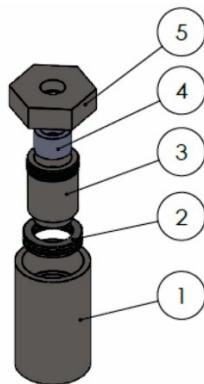


Fig. 7. Elementos que constituyen al vaso principal 1) flecha, 2) balero axial, 3) vaso principal, 4) cono de sujeción y 5) tuerca de sujeción del cono.

Para la aplicación de la carga se propuso un mecanismo de tijera, para un buen control en su accionar se consideró acoplar un motor a este mecanismo, para una aplicación correcta en las cargas requeridas por las normas. Este sistema se acopló al vaso principal que contiene las 3 bolas inferiores y que tendrá un desplazamiento vertical (Fig. 8).



Fig. 8. Mecanismo de aplicación de carga acoplado al vaso principal, 1) Base metálica, 2) Mecanismo de tijera, 3) Celda de carga, 4) Flecha y Vaso secundario y 5) Vaso principal.

La cuarta bola o bola superior debe presentar un movimiento libre para girar en su propio eje contra las tres bolas restantes, por ello se realizó el diseño de un mecanismo de sujeción al que se denominara chuck, el cual debe estar acoplado a la flecha y al motor trifásico por medio de un cople flexible para soportar la carga aplicada por el mecanismo de tijera (Fig. 9).

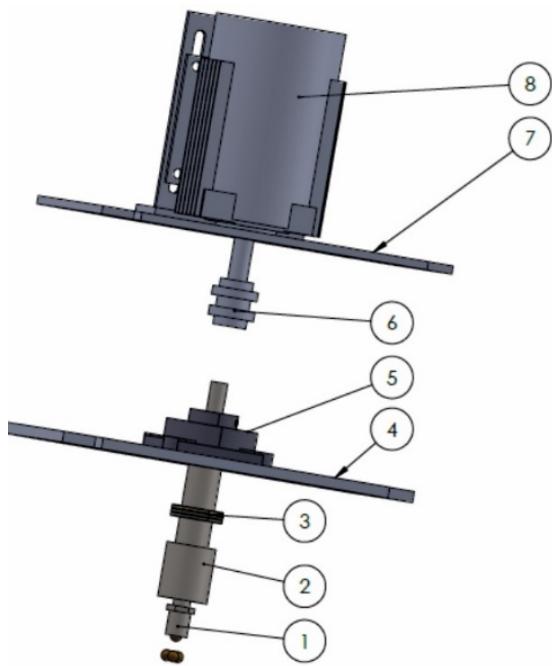


Fig. 9. Sistema de sujeción de la cuarta bola (chuck): 1) chuck, 2) flecha, 3) balero axial, 4) placa de soporte, 5) chumacera de piso, 6) cople flexible, 7) placa de soporte para el motor y 8) motor trifásico.

El sistema de sujeción de la cuarta bola o chuck esta a su vez constituido por tres elementos básicos los cuales se muestran en la Figura 10.

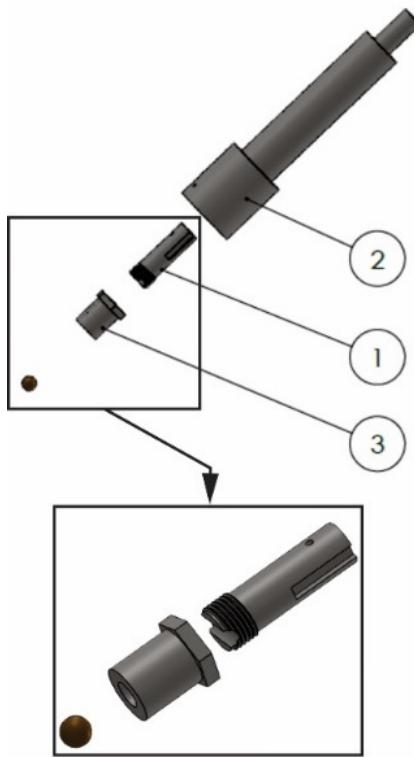


Figura 10. Chuck: 1) chuck inferior, 2) sujeción de chuck y 3) Flecha.

El ensamble completo de los sistemas mencionados requiere estar soportados sobre una estructura, la cual debe de resistir los esfuerzos debidos a las cargas axiales y radial de los mecanismos, por ello se procedió a realizar una estructura determinando los puntos de soporte de cada uno de los subsistemas (Fig. 11).

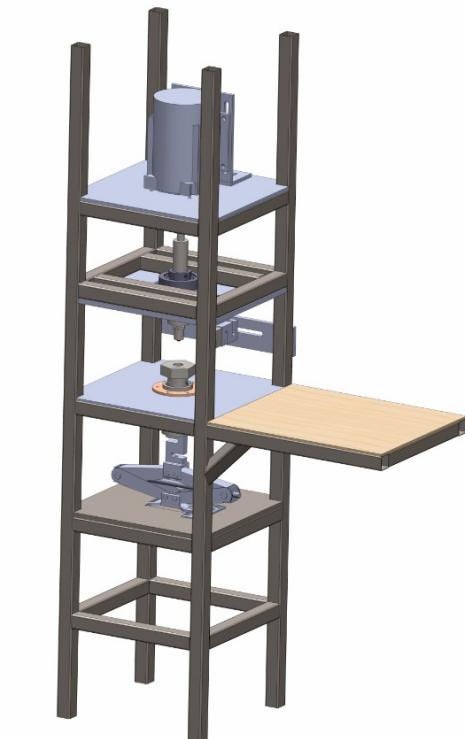
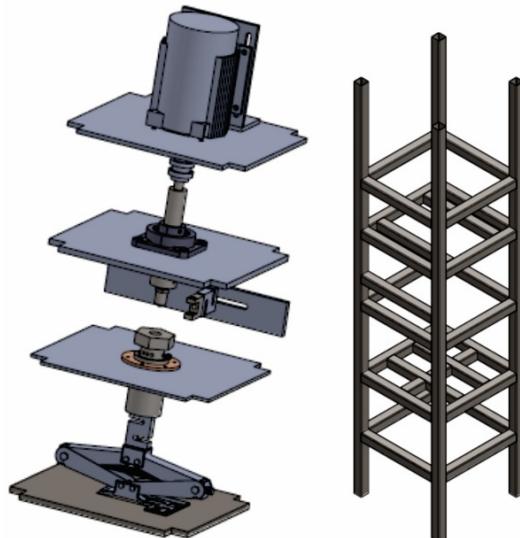


Figura 11. Estructura de la máquina de 4 bolas.

Para validar los elementos que presentaran esfuerzos se realizaron análisis numéricos mediante el software especializado Solid Works. Inicialmente se realizó el análisis a la estructura con base a las normas de la prueba tomando las magnitudes mayores de carga, se consideró una magnitud de fuerza aplicada de 1 tonelada (9800 N) generada por el sistema de tijera. En la Fig. 12 se puede observar que no se presentó ninguna región que excediera los límites del material que en este caso fue ASTM A36 Steel (Resistencia de fluencia 250 MPa), por lo que la estructura soporta sin problema las cargas experimentales que se puedan aplicar durante los ensayos.

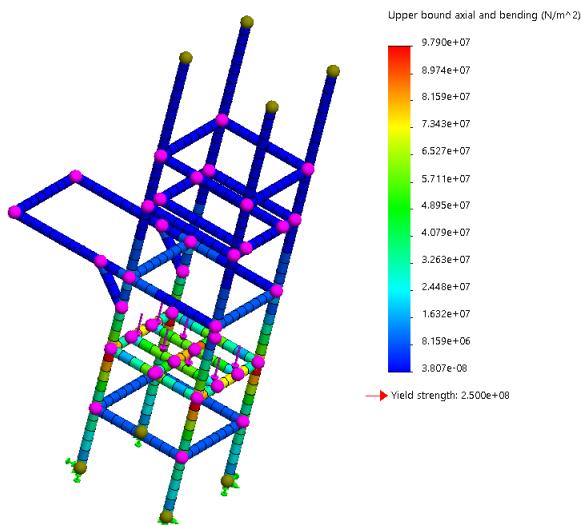


Fig. 12. Análisis de esfuerzos de la estructura.

El factor de seguridad calculado bajo las mismas condiciones fue de 2.6 como se observa en la Fig. 13, esto confirma que la estructura propuesta soportara los esfuerzos generados cuando sean aplicadas las máximas cargas durante las pruebas.

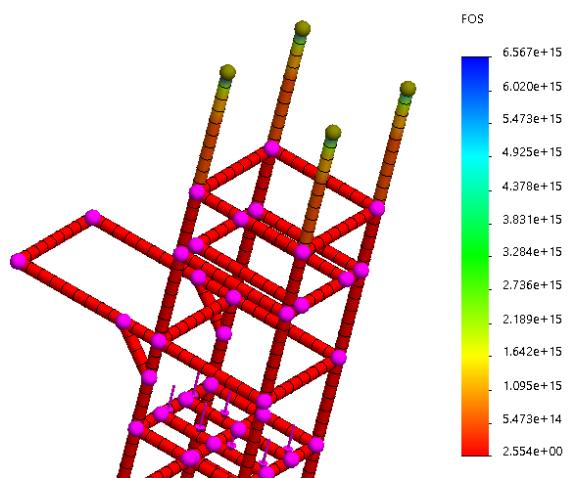


Fig. 13. Factor de seguridad de la estructura.

Se realizó el análisis en la flecha que contiene al chuck que soporta a la 4ta bola (Fig. 14 y 15), se consideró un material AISI 1020 (Resistencia a la fluencia 356.6 MPa), y la carga la de 1 tonelada que es la considerada como máxima aplicada por el sistema de tijera durante una prueba, los resultados presentaron un esfuerzo máximo de 26 MPa y un factor de seguridad de 13, por lo que este elemento soporta sin problema los esfuerzos generados.

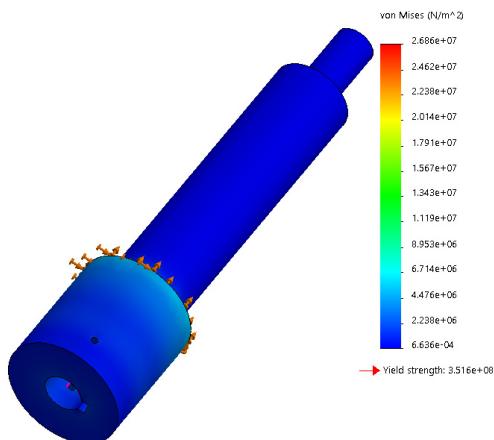


Fig. 15. Análisis de esfuerzos de la flecha.

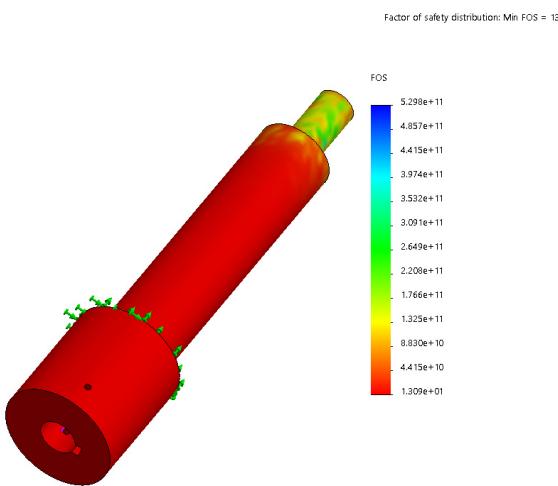


Fig. 16. Análisis numérico del factor de seguridad de la flecha.

En el análisis realizado al chuck se observa en la Fig. 16 Y 17, que la magnitud máxima que se genera bajo las mismas condiciones de carga que los análisis anteriores fue de 197.5 MPa y el material utilizado presenta una resistencia a la fluencia de 351.6 MPa. El factor de seguridad fue de 1.8, por lo que se asegura que no existe una falla en este elemento.

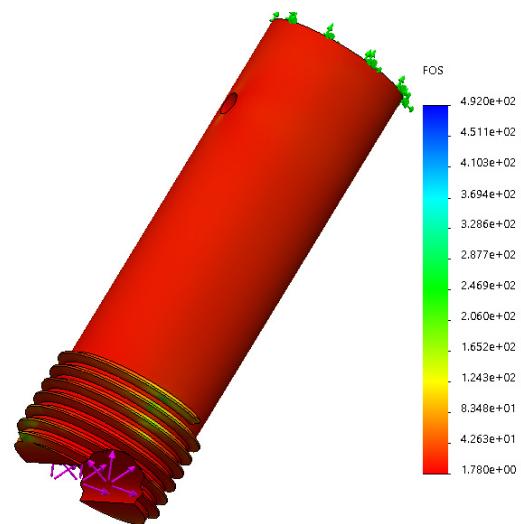


Fig. 17. Análisis numérico del del factor de seguridad chuck.

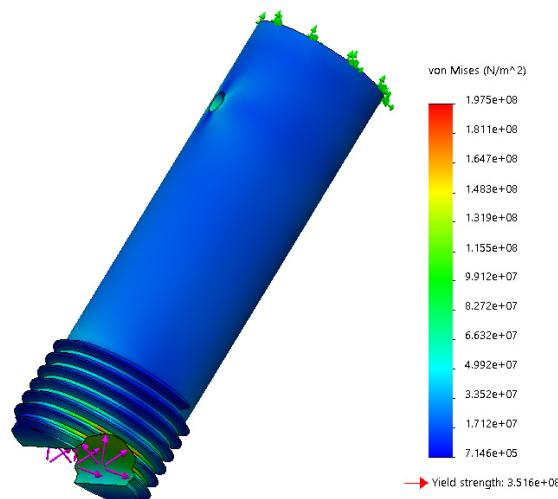


Fig. 16. Análisis numérico del chuck

## CONCLUSIÓN

El aplicar una metodología de diseño como el QFD permite plantear un diseño conceptual para atender los requerimientos y necesidades del cliente de una manera estructurada y ordenada, además de considerar las mejores alternativas que permitan el funcionamiento de la máquina de 4 bolas cumpliendo con las especificaciones planteadas.

Los análisis numéricos realizados con el software especializado Solid Works validan que los requerimientos de Ingeniería que se obtuvieron a partir de la metodología QFD se ven cubiertos en los elementos seleccionados por la caja morfológica y que soportan las condiciones de operación de la máquina cuando se realicen pruebas a los lubricantes.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Laboratorio Nacional en Vehículos Autónomos y Exosqueletos (LANAVEX N299146) UPPachuca-CONACYTH- CINVESTAV, por su participación y por el acceso a sus instalaciones y equipos.

## REFERENCIAS

- [1] M. I. Nazare, V. Paleu, S. Bhaumik, G. Ianus, and D. N. Olaru, "Performances of automotive lubricants - Tests on four ball machine," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 444, no. 2, 2018.

- [2] Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Grease (Four-Ball Method), ASTM D2266-01, 2015.
- [3] Standard Test Method for Measurement of Extreme-Pressure Properties of Lubricating Grease (Four-Ball Method), ASTM D2596.
- [4] Standard test method for measurement of extreme-pressure properties of lubricating fluids (Four-ballmethod). ASTM D 2783-88, 2002.
- [5] D. De and R. C. Calva, "Despliegue de la función de calidad, QFD," p. 1, 2011.
- [6] Evans P. R. (2005). EE.UU. Patente N°. 6,840,082 B2. Washington, DC: U.S. Patent.

# Propuesta de obtención de un recubrimiento híbrido PMMA-TEOS para reducir el desgaste por erosión en el borde de ataque de las palas de aerogeneradores

J.L. Reyes-Hernández<sup>1</sup>, A.I. Martínez-Pérez<sup>1</sup>, E.E. Vera-Cárdenas<sup>1</sup>, M. Moreno-Ríos<sup>1</sup>, E.O. Ávila-Dávila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca. Carretera México-Pachuca Km. 87.5, C. P. 42080, Col. Venta Prieta, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Recibido: Agosto 27, 2020; Aceptado: Septiembre 10, 2020.

## Resumen (CI)

Los materiales utilizados para la fabricación de las palas de los aerogeneradores presentan desgaste por erosión de forma localizada en el borde de ataque, principalmente las de fibra de carbono y fibra de vidrio, que son las más utilizadas en esta industria, por lo que, se busca reducir el daño e incrementar su tiempo de vida útil, aplicando un recubrimiento híbrido resistente al desgaste por erosión. En el presente trabajo se propone un material híbrido por sus excelentes propiedades mecánicas a base de Polimetilmethacrilato (PMMA) y Tetraetilortosilicato (TEOS), a través de la ruta de síntesis sol-gel. El cual se aplicará para obtener un recubrimiento en el borde de ataque de las palas de los aerogeneradores esperando reducir su desgaste por erosión. Este recubrimiento busca modificar las características de la superficie de la pala del aerogenerador, con el objetivo de mejorar las propiedades del conjunto.

**Palabras clave:** Recubrimiento híbrido, erosión, borde de ataque

## Abstract (CI)

In this research work, the obtaining from the Sol-Gel chemical route is reported, as well as the chemical, optical, structural, thermal and morphological characterization of a hybrid coating based on Polymethylmethacrylate (PMMA) and Tetraortosilicate (TEOS), which will be applied on fiberglass and carbon fiber substrates by the immersion method. This in order for this hybrid coating to be applied on the leading edge of a wind turbine blade to reduce its wear, therefore, the tribological study of the coating against erosion was carried out, using an erosive test platform by impact of solid particles under different operating conditions. Additionally, the design and manufacture of an immersion equipment is reported, which allows vertical movements to be made at different speeds in order to obtain different thickness of the coating.

**Key words:** Hybrid coating, erosion, leading edge.

## INTRODUCCIÓN

Las palas son consideradas unos de los elementos más importantes de un generador eólico o aerogenerador, ya que son las encargadas de aprovechar la energía del viento para convertir el movimiento lineal en un movimiento de rotación [1]. Los materiales que tradicionalmente se han utilizado en la fabricación de las palas se han visto desplazados por la utilización de plásticos y resinas, la fibra de vidrio se aplica al 99% de los grandes generadores eólicos. Existe una tendencia clara hacia el uso de epoxi reforzado de fibra de vidrio o carbono, en cuanto a las turbinas pequeñas, igualmente el 99% usan materiales plásticos,

solo algún fabricante usa madera, la mayoría son de materiales plásticos inyectados. Durante su funcionamiento los generadores eólicos están expuestos al clima local, por lo que las palas se erosionan debido a los impactos con el agua de la lluvia, el granizo, o están contaminados con insectos [2]. Debido a la velocidad del aire y a la velocidad de rotación, el desgaste por erosión ocurre principalmente en la región del borde de ataque. Al reducir la erosión podrían disminuir fallas estructurales, así como, tener una buena eficiencia de generación e incrementar la rentabilidad económica de este sistema sustentable. Es posible instalar una protección en el borde de ataque, que se puede aplicar a las palas una vez instaladas [3].

Actualmente existe reportado en la literatura un recubrimiento a base de resina de poliéster, el cual es un material de protección que se puede aplicar en las palas cuando están instaladas [4]. Este recubrimiento solo protege las palas de la degradación por los rayos UV, ya que tiene un mal rendimiento ante la erosión [5]. Pero existen otras alternativas que no han sido exploradas para reducir el desgaste por erosión en palas, una de ellas es el uso de materiales híbridos a base de Polimetilmelacrilato (PMMA) y Tetraetilortosilicato (TEOS), los cuales han sido ampliamente utilizados como inhibidores de corrosión, en microfiltros en medicina y en refuerzos de superficies para reducir el rayado [4]. Hasta el momento existe poca información reportada en aplicaciones de estos materiales al ser aplicados como recubrimientos en energías renovables y en específico en palas de generadores eólicos como protector de erosión. Otras propiedades que presentan estos materiales híbridos de PMMA-TEOS al ser aplicados como recubrimientos son la adaptabilidad de forma, estabilidad térmica, transparencia, resistencia a la corrosión, excelente adherencia y se puede aplicar a grandes áreas en solución [6]. La obtención de estos materiales híbridos es por la vía síntesis sol-gel, que es la incorporación de grupos orgánicos utilizando silicatos modificados orgánicamente [7].

En este trabajo se propone la obtención de un material híbrido PMMA/TEOS para ser aplicado como recubrimiento sobre el borde de ataque de las palas de fibra de vidrio y fibra carbono, con el objetivo de reducir el desgaste por erosión e incrementar el tiempo de vida de los materiales utilizados.

## METODOLOGÍA

Para la obtención del recubrimiento híbrido se utilizará Tetraetilortosilicato (TEOS) Sigma-Aldrich. Polimetilmelacrilato (PMMA-BP) de bajo peso molecular ( $M_w=350,000$ ) y Polimetilmelacrilato (PMMA-AP) de alto peso molecular ( $M_w=996,000$ ) ambos Aldrich. Disolventes variados como etanol, acetona, DMF, THF y cloroformo. Adicionalmente se utilizarán placas de fibra de vidrio bidireccional y fibra de carbono bidireccional con una matriz polimérica de resina epólica para depositar el compuesto obtenido.

La síntesis se llevará a cabo por la ruta sol-gel en temperatura ambiente, utilizando al TEOS como precursor inorgánico y el PMMA como precursor orgánico, cloroformo ( $CHCl_3$ ) como disolvente y ácido clorhídrico como catalizador para llevar a cabo la hidrólisis y la condensación del TEOS para la obtención del material híbrido. Se realizaron 2 disoluciones con cloroformo al 10 % en peso, una con PMMA-BP y otra con PMMA-AP. Adicionalmente se llevó a cabo una solución de TEOS:  $H_2O$  1:4 +HCl (0.15M). Se prepararon las siguientes relaciones por volumen de PMMA-BP/TEOS=100/0, 80/20, 50/50, 20/80 (v/v) y las mismas relaciones con PMMA-AP. La adición de la solución del TEOS en la Solución del PMMA se llevará a cabo de forma gradual y en agitación continua durante 10 min. Posteriormente se verificará visualmente la obtención de una solución homogénea. En la Fig. 1 se representa de forma esquemática la síntesis del PMMA/TEOS.

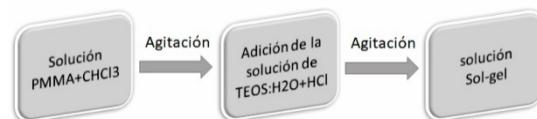


Fig. 1. Esquema de la síntesis Sol-gel.

Para determinar la composición química del compuesto híbrido obtenido, se utilizará un espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) modelo Spectrum GX de marca Perkin Elmer, con Reflectancia Totalmente Atenuada (ATR) con punta de Diamante y Selenuro de Zinc (ZnSe). La medición será realizada directamente sobre el recubrimiento por la técnica de FTIR aplicando ATR. El tiempo de análisis para obtener el espectro fue aproximadamente de 1 minuto.

Las propiedades ópticas se obtendrán por espectroscopía UV-vis en recubrimiento, para determinar la región del espectro de luz visible y UV que absorbe el material híbrido, así como la transmitancia o la cantidad de luz que permite pasar.

Se utilizará un perfilómetro Mitutoyo J200 para determinar los espesores de los recubrimientos depositados sobre la fibra de vidrio y fibra de carbono, además de obtener la rugosidad del recubrimiento.

La aplicación del recubrimiento PMMA/TEOS sobre el substrato de fibra de vidrio y de carbono se llevará a cabo por la técnica de dip coating o inmersión a una velocidad constante de 50 mm/min (Fig. 2). Durante este proceso se espera durante 5 minutos a que la solución híbrida se adhiera a la superficie del material compuesto. Se harán emergir los substratos a la misma velocidad de inmersión, posteriormente este substrato ya con el recubrimiento se someterá a un tratamiento de secado dentro de un horno a 50 °C. Estos recubrimientos serán evaluados para su caracterización térmica y tribológica.

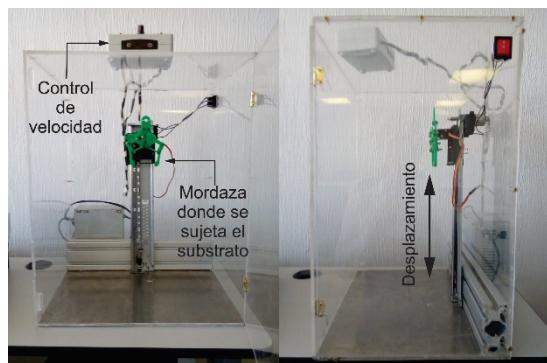


Fig. 2. Sistema de dip coating o inmersión.

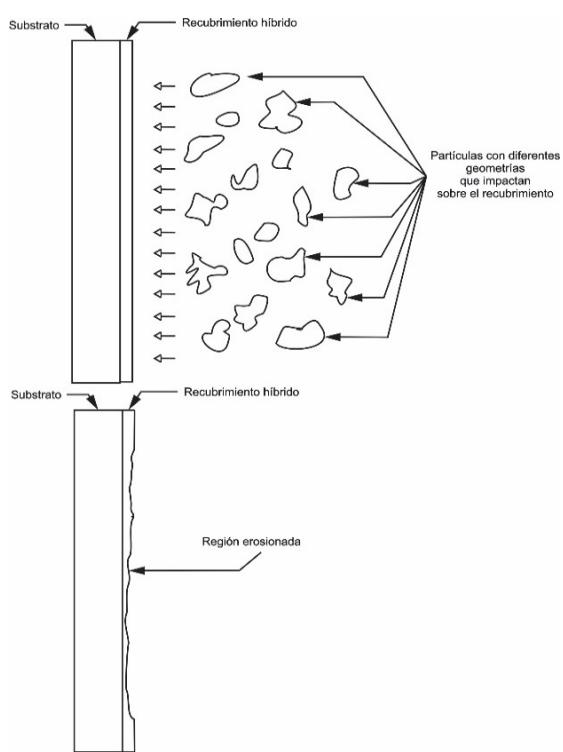


Fig. 3. Recubrimiento e impacto de partículas.

Una vez obtenidos los recubrimientos se someterán a la prueba de erosión por partícula sólida, utilizando como material de erosión arena de playa, para simular lo más cercano posible las condiciones a las cuales están expuestos los recubrimientos (Fig. 3). Esperando que presente solo daño el recubrimiento y no el substrato de fibra de vidrio o de carbono.

## CONCLUSIÓN

El obtener un recubrimiento que presente resistencia ante la erosión, permitirá ampliar el tiempo de vida de las palas utilizadas en los generadores eólicos, en este caso la propuesta de la síntesis de un recubrimiento híbrido a base de PMMA/TEOS es una alternativa viable, además existe amplia información que valida sus excelentes propiedades mecánicas. A pesar de ser ampliamente aplicado este tipo de materiales en diversas áreas, no hay reportes acerca de su uso en la industria de la energía eólica, por lo que se espera que este trabajo impacte en la tecnología de los generadores eólicos.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Laboratorio Nacional en Vehículos Autónomos y Exosqueletos (LANAVEX N299146) UPPachuca-CONACYTH- CINVESTAV, por su participación y por el acceso a sus instalaciones y equipos.

## REFERENCIAS

- [1] Premkumar, P. S., Nadaraja Pillai, S., Arunvinthan, S., Sivaraja, S., Vinayagamurthy Ganesan, V., Peradotto, E... Damiani, R. (2015). Uncertainty and Risk Assessment in the Design Process for Wind. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 9(February), V07AT30A013. <https://doi.org/10.3390/en5093425>
- [2] Schramm, M., Rahimi, H., Stoevesandt, B., & Tangager, K. (2017). The Influence of Eroded Blades on Wind Turbine Performance Using Numerical Simulations. Energies, 10(9), 1420. Doi: 10.3390/en10091420
- [3] Thomas, L., & Ramachandra, M. (2018). Advanced materials for wind turbine blade- A Review. Materials Today: Proceedings, 5(1), 2635–2640. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.043>
- [4] Mammeri, F., Le Bourhis, E., Rozes, L., & Sanchez, C. (2006). Elaboration and mechanical characterization of nanocomposites thin films. Part I: Determination of the mechanical properties of

- thin films prepared by in situ polymerisation of tetraethoxysilane in poly (methyl methacrylate). Journal of the European Ceramic Society, 26(3), 259–266.  
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.11.013>
- [5] Mendoza Mendoza, J.C., Vera Cardenas, E. E., Martinez Perez, A.I., Ledesma Ledesma, S. and Vite Torres, M. (2020). Materials Research Express, 1-11.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ab69c3/meta>
- [6] Zulfikar MA, Wahab Mohammad A, Hilal N. Preparation and characterization of novel porous PMMA-SiO<sub>2</sub> hybrid membranes. Desalination 2006; 192:262–70.  
doi:10.1016/j.desal.2005.09.022.
- [7] Kickelbick, G. (2007). Hybrid Materials; Synthesis, Characterization and Applications. Hybrid Materials; Synthesis, Characterization and Applications. Wiley.

# Prueba tribológica en acero AISI 1018 y aleación Al-Mg en un equipo perno cobre disco (ASTM G99)

D.A. Sánchez-Ramos<sup>1</sup>, H.A. Martínez-Castañeda<sup>1</sup>, E.E. Vera-Cárdenas<sup>1</sup>, M. Moreno-Ríos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca. Carretera México-Pachuca Km. 87.5, C. P. 42080, Col. Venta Prieta, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Recibido: Agosto 27, 2020; Aceptado: Septiembre 10, 2020.

## Resumen (CI)

Se presenta el ensayo tribológico en una máquina del tipo perno sobre disco (Pin on disc, en inglés), la cual está basada en la Norma ASTM G99. Dos diferentes materiales son evaluados, una aleación Al-Mg para el perno y un acero AISI 1018 para el disco. El estudio realizado permitió evaluar el coeficiente de fricción en condición seca, la perdida de volumen de ambos materiales, coeficiente de desgaste y distancia de profundidad, así como los mecanismos de desgaste. Con base en los resultados obtenidos se puede determinar que la aleación tuvo mayor desgaste, presentó abrasión y deformación plástica, mientras que el acero, tuvo desprendimiento de material y abrasión. La razón de realizar pruebas tribológicas con diferentes materiales es para encontrar el coeficiente de fricción y el coeficiente de desgaste que hay entre dichos materiales ya que los coeficientes antes mencionados serán diferentes dependiendo de los dos materiales en contacto.

Palabras clave: Acero, Aleación, Desgaste, Fricción, Norma.

## Abstract (CI)

A tribological test is presented in a pin on disc machine, the test is based on the ASTM G99 standard. Two different materials are evaluated, an Al-Mg alloy for the pin and an AISI 1018 steel for the disc. The study carried out evaluated the dry friction coefficient, the volume loss of both materials, the wear coefficient, the depth distance, and the wear mechanisms. Based on the results obtained, it can be determined that the alloy had greater wear and presented abrasion and plastic deformation, while the steel had material loss and abrasion. The reason for performing tribological tests with different materials is to find the coefficient of friction and the coefficient of wear that exist between the materials, the coefficients will be different according to the two materials in contact.

Key words: Alloy, Friction, Standard, Steel, Wear.

## INTRODUCCIÓN

Las aleaciones aluminio-magnesio tienen un amplio rango de aplicaciones debido a sus buenas propiedades mecánicas (Starke, 2001). Generalmente contienen de 8-9% de aluminio con 2% de zinc para incrementar tenacidad y un 0.3% de magnesio para incrementar la resistencia a la corrosión (Kro'l, 2017). El magnesio hace que el aluminio sea más anódico lo que lo hace resistente en ambientes salinos y alcalinos. Por ello son materiales ampliamente usados en aplicaciones en estos ambientes además que su rango de aplicación es amplio, especialmente en la industria automotriz y marítima (Martín, 2006).

Además de su capacidad de fundición relativamente buena y distinguirse por su resistencia a la corrosión estas aleaciones también son idóneas como material para componentes estructurales donde se requiere alta resistencia y altas elongaciones adecuadas (Starke, 2001).

El desgaste corrosivo es un ataque a una superficie de un material dentro de su entorno de trabajo. El desgaste corrosivo puede ser húmedo o seco, dependiendo del tipo de ambiente (Ram K. Upadhyay, 2018).

En el desgaste por corrosión, ambos son dos mecanismos independientes; si éstos ocurren por separado, la condición puede ser más crítica

que el efecto combinado de ambos. (Ram K. Upadhyay, 2018).

El acero AISI 1018 es el más común de los aceros rolados en frío, tiene buena resistencia mecánica y ductilidad. Las principales aplicaciones del acero con bajo contenido de carbono son componentes automotrices, secciones estructurales y láminas que se utilizan en puentes, tuberías y edificios. El trabajo en frío es un proceso importante en el acero ya que mejora las propiedades mecánicas o para obtener diferentes formas (Salman, 2019).

La prueba de desgaste deslizante perno sobre disco es una técnica de caracterización tribológica de uso común para estimar el coeficiente de fricción y los mecanismos de desgaste de las superficies de materiales. El estudio de las propiedades de desgaste y fricción deslizantes es de gran importancia práctica y se pueden evaluar de forma rápida y simple en este tipo de configuración.

Este trabajo se enfoca en el desgaste que mostraron dos diferentes materiales, ya que puede haber varias etapas como: transferencia de un material a otro, formación de una capa relativamente gruesa de material transferido, transformaciones mecánicas o fisicoquímicas y la regeneración permanente de dicha capa que provoca la formación de partículas de desgaste (Bhushan, 2013).

## DESARROLLO

### Material

Para las pruebas tribológicas se manufacturó el perno con la aleación Al-Mg y el disco se realizó de una barra de acero AISI 1018. Las dimensiones se muestran en las figs. 1 y 2.

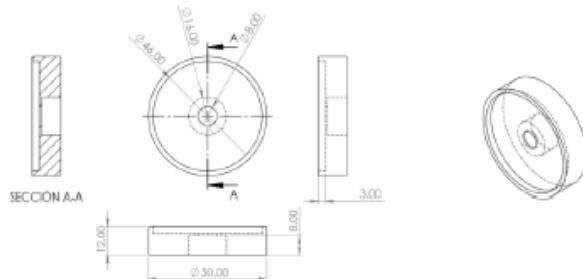


Fig. 1. Especificaciones del disco.

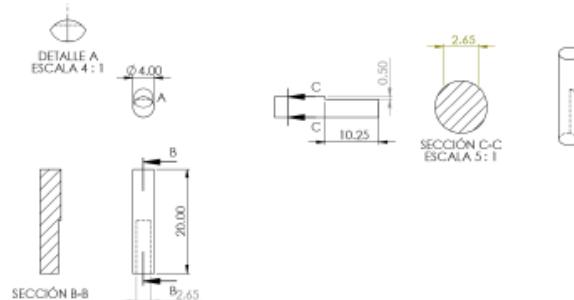


Fig. 2. Especificaciones del perno.

Las superficies de contacto del perno y del disco se pulieron con lijas de carburo de silicio P240, P400, P600, P800, P1000 y P1200, para finalizar con alúmina de 3 $\mu$ m. La rugosidad de ambas probetas fue medida con un equipo Surftest SJ-410 Mitutotoyo.

Los valores de dureza y rugosidad de ambos materiales se muestran en la tabla 1.

Tabla 3. Propiedades de las probetas.

Probeta	Material	Dureza	Rugosidad Ra
Perno	Aleación Al-Mg	186.1HV 1.825 GPa	0.80 $\mu$ m
Disco	Acero AISI 1018	209 HV 2.05 GPa	0.20 $\mu$ m

### Pruebas de desgaste

Las pruebas se realizaron en una máquina perno sobre disco bajo norma ASTM G99. El equipo consiste en un brazo de palanca (1) que sujet a el perno (2) manteniéndolo en contacto con el disco (3), la carga (4) se puede variar al aplicar peso hasta de 1 kg al final del brazo. El disco, se sujeta por medio de un tornillo y el movimiento se aplica por medio de un motor de velocidad variable (5). La fuerza de fricción que se genera entre el disco y el perno se mide y registra mediante una celda de carga (6) y un programa de adquisición de datos. Ver fig. 3.

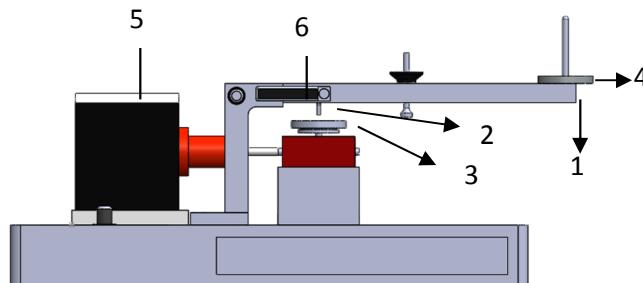


Fig. 3. Máquina tribológica perno sobre disco.

Las pruebas se realizaron dentro de un rango de 3-5m/s (100 RMP) durante 10 minutos lo que equivale aproximadamente a 22 m de deslizamiento. La fuerza de fricción fue monitoreada y registrada durante toda la prueba. La carga aplicada entre el perno y el disco fue de 15.62 N. Ambas probetas se lavaron en tina de ultrasonido en una mezcla de acetona y alcohol antes de las pruebas. Se realizaron 3 ensayos, donde se reemplazaron las probetas de perno y disco para cada ensayo, humedad y temperatura ambiente fueron monitoreadas durante las pruebas, con valores de 32 % y 22.5 °C, respectivamente. Posterior a las pruebas las probetas se limpiaron con acetona y aire comprimido.

#### Caracterización de desgaste

El peso del perno fue medido antes y después de las pruebas, con una balanza analítica de precisión de 0.1 mg para determinar la pérdida de masa.

La morfología de las superficies desgastadas del perno y del disco fue observada en un Microscopio óptico invertido Axiovert 25, Marca ZEISS, en modo campo claro.

Mediante un perfilómetro Surftest SJ-410 Mitutotoyo se recorrió la zona de desgaste para obtener la gráfica de las diferentes profundidades que se encuentran en ésta.

El volumen desgastado, el coeficiente de desgaste y la distancia penetrada fueron calculados utilizando (1), (2) y (3) respectivamente (Bhushan, 2013), en (2) se utilizan los valores de dureza en GPa.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

Donde:

V= volumen desgastado ( $m^3$ ).

M=masa perdida (grs).

$\rho$ = Densidad ( $\frac{g}{m^3}$ ).

$$K = \frac{V \cdot H}{W \cdot X} \quad (2)$$

Donde:

K= Coeficiente de desgaste (adimensional).

V= Volumen desgastado ( $m^3$ ).

H= Dureza (GPa).

W= Carga (Newtons).

X= Distancia de deslizamiento (m).

$$d = \frac{V}{A} \quad (3)$$

Donde:

d= Distancia de perforación de partícula (m).

V= Volumen desgastado ( $m^3$ ).

A= área de contacto ( $m^2$ ).

## RESULTADOS

### Coeficiente de fricción

La fig.4 muestra el coeficiente de fricción promedio de las pruebas, donde se observa que durante los primeros segundos de la prueba de 0 a 153 segundos se tiene un comportamiento muy abrupto, debido a que se debe superar la fuerza de fricción estática, la cual se genera por la adhesión entre contactos de las asperezas de ambos materiales, por el movimiento, estos contactos se rompen y posteriormente se estabiliza la prueba donde se puede ver un coeficiente de fricción promedio en un rango de 0.4 a 0.51.

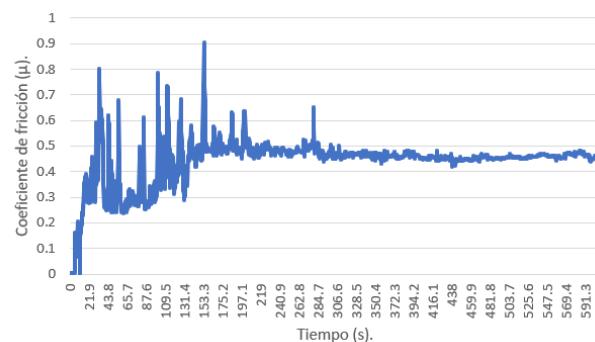


Fig. 4. Coeficiente de fricción.

### Análisis de la huella de desgaste.

En las imágenes del perno, se muestra desgaste por abrasión, principalmente ploughing en la zona de contacto como se señala en las fig. 5 y hay desprendimiento de material como se

muestra en la fig. 6. Debido a la ductilidad del material del disco, la huella de desgaste en el disco presenta deformación plástica y ploughing a lo largo de las líneas de abrasión, ver fig. 7. Este comportamiento ya se ha reportado en trabajos previos (Espinoza, 2016). También hubo desprendimiento de material, como se muestra en la fig. 8.

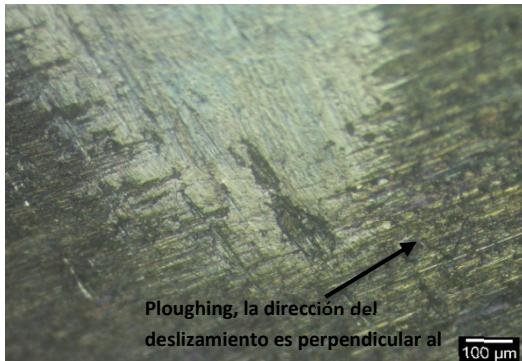


Fig. 5. Huella de desgaste del perno de Al-Mg.

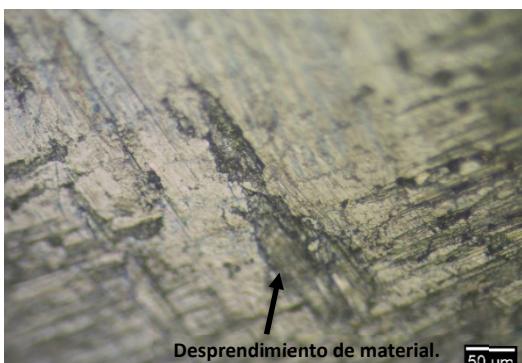


Fig. 6. Desgaste perno Al-Mg.



Fig. 7. Desgaste en disco de acero AISI 1018.

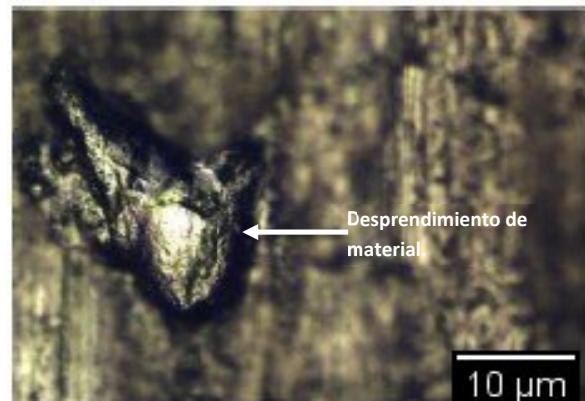


Fig. 8 Desprendimiento de material del disco acero AISI 1018.

#### Perfilometría de la huella de desgaste en el disco

La huella generada en el disco después de la prueba se muestra en la fig. 9.



Fig. 9. Disco después de la prueba de desgaste.

Debido a que el disco es de un material más duro, se desgasta menos que el perno, en consecuencia, la penetración de partícula es menor en el disco, la perfilometría de la fig. 10 muestra la profundidad de la huella.

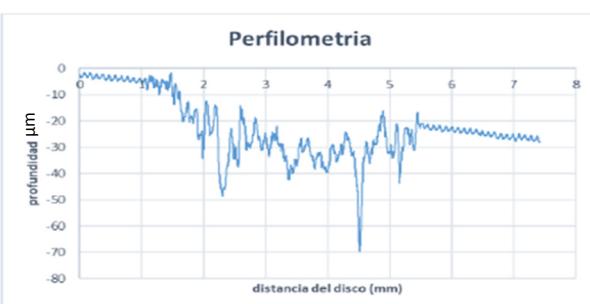


Fig.10. Gráfico del perfil de huella de desgaste del disco.

En la tabla 2 se muestran los resultados de las ecuaciones (1), (2) y (3).

Tabla 4. Resultados de parámetros de desgaste.

Probetas	Peso inicial (grs)	Pérdida de masa promedio (grs)	V ( $m^3$ )	K	d (m)
Perno	0.9	0.2	$7.87 \times 10^{-8}$	0.312	$5.9605 \times 10^{-3}$
Disco	135.1	0.1	$1.27 \times 10^{-8}$	0.059	$6.4683 \times 10^{-6}$

## CONCLUSIONES

Se caracterizó el desgaste del perno de aleación Al-Mg y disco de acero AISI 1018. Se pudo observar que la aleación del perno tuvo más desgaste y mayor pérdida de masa en comparación con el disco como se muestra en la tabla 2. En las imágenes se puede observar cómo se desprendió material en ambas probetas, los principales mecanismos de desgaste observados son: ploughing y deformación plástica.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo técnico de: Ing. Ana María García Mercado del IT Pachuca, Ing. Julio Bautista de la UPP, Dr. José Reyes Gasga y Técnico Pablo López del Instituto de Física de la UNAM. Daniel Agustín Sánchez Ramos agradece el apoyo económico de CONACYT.

## REFERENCIAS

- Bhushan, B. (2013). *INTRODUCTION TO TRIBOLOGY*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
- Espinoza, C. et al. (2016). Tribological behavior of borided AISI 1019 steel under linear reciprocating sliding conditions. *WEAR*, 362-363, 1-7.
- Kro'l, M. et al. (2017). Structure and properties of aluminium-magnesium casting alloy after heat treatment. *J Therm Anal Calorim*(127), 299-238. doi:10.1007/s10973-016-5845-4

Martin, J. W. (2006). Metals and alloys. In J. W. Martin, *Materials for Engineering* (pp. 71-132). Woodhead Publishing.

Ram K. Upadhyay, L. A. (2018). Bearing failure issues and corrective measures through surface engineering. In M. A. Abdel Salam Hamdy Makhlouf, *Handbook of Materials Failure Analysis* (pp. 209-233). Butterworth-Heinemann.

Salman, K. D. (2019). Microstructure and Mechanical Properties of Cold Rolled AISI 1018 Low Carbon Steel. *IOP conference series. Materials Science and Engineering*, 551, 12007. doi:10.1088/1757-899X/551/1/012007

Starke, E. A. (2001). Aluminum: Alloying. In R. W. K.H. Jürgen Buschow, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, (pp. 101-106). Elsevier.

# Formato para los Artículos del Simposio Iberoamericano

## Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2020 (Graphik Regular 14 centrado)

A. ApellidoPat-ApellidoMat<sup>1</sup>, B. ApellidoPat-ApellidoMat<sup>2</sup>  
(texto centrado: Graphik Regular 10)

<sup>1</sup>Institución de Procedencia del autor. Dirección, Municipio, Estado, País.

<sup>2</sup>Institución de Procedencia del Coautor. Dirección, Municipio, Estado, País. (texto centrado: Graphik Regular 9)

Recibido: Fecha; Aceptado: Fecha. (texto centrado: Graphik Regular 8. Uso exclusivo para la Universidad Politécnica de Pachuca)

### Resumen (ÁREA TEMÁTICA: CBS, CCCF, CI)

El presente formato en Word es una guía básica para preparar los artículos para su publicación en la revista digital Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2020. Los trabajos como artículos en extenso deberán tener una extensión máxima de 5 cuartillas. El resumen no debe exceder las 250 palabras y tiene que dar a conocer los objetivos de la investigación, la metodología empleada, los resultados resumidos y la conclusión principal. El idioma oficial es el español, pero también serán aceptados trabajos en inglés. Incluya en su resumen, las palabras clave en orden alfabético y separado por comas. No se utilicen acrónimos ni se citen referencias en el resumen. Para todo el documento utilizar margen izquierdo de 25 mm, derecho de 20 mm, superior de 25 mm e inferior de 20 mm. Utilice la fuente Graphik Regular tamaño 9 para el resumen y para el texto principal. Se deberá indicar el área temática a la que pertenece la contribución, entre paréntesis y posterior a la palabra "Resumen" de la siguiente manera: (CBS) cuando el área sea Ciencias Biológicas y de la Salud; (CCCF) correspondiente a Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas; (CI) si pertenece a Ciencias de la Ingeniería, (CE) para Ciencias de la Educación.

Palabras clave: Proporcione de 3 a 5 palabras o frases clave, en orden alfabético, separadas con una coma.

### Abstract (AREA)

These instructions give you guidelines for preparing paper for the digital journal Multidisciplinary Iberoamerican Symposium on Sciences and Engineering 2020. Use this document as a template if you are using Microsoft Word 6.0 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. Be careful, because the electronic file of your paper will appear as you finally presented it. Define all symbols used in the abstract. Do not cite references in the abstract. This abstract does not have to exceed 250 words and must state the principal objectives of the investigation, describe the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions. Please include appropriate key words in your abstract, in alphabetical order, separated by commas. You must indicate the thematic area into parenthesis next to the word "Abstract" as is indicated: (CBS) for Biologic and Health Science; (CCCF) corresponding to Computing Sciences, Communications and Finances; (CI) if it belongs to Engineering Science, (CE) for Education Science.

Key words: About three to five key words or phrases in alphabetical order, separated by commas.

### INTRODUCCIÓN

En esta primera parte de su artículo haga una breve introducción a su trabajo, sin extenderse en conceptos bien conocidos por todos. Para preparar su artículo se recomienda seguir fielmente estas instrucciones, pues su archivo electrónico aparecerá tal como usted lo presente.

Para enfatizar utilice *ítálicas*, no subraye. Defina todos los símbolos usados en la base de esta

primera columna. Es muy importante incluir el artículo del trabajo en esta sección.

### DESARROLLO INCLUYE: MATERIAL Y MÉTODOS; RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección y acorde al área temática, es muy importante describir las metodologías, procedimientos, reactivos y equipos utilizados en el trabajo.

Esta parte de desarrollo, también incluye la sección de Resultados y Discusión, las cuales

pueden venir en una sola sección o separadas según convenga a los autores.

## Figuras y Tablas

Asegúrese de que sus tablas y figuras sean claramente legibles y no sacrifique su tamaño, de ser necesario éste puede ocupar ambas columnas. El título o descripción de la tabla debe colocarse centrado, por arriba y en itálicas. (ver tabla 1). No abrevie "Tab.". Las tablas serán numeradas con números arábigos. Dé un espacio anterior y posterior de 3 puntos a los textos interiores. Respecto a las figuras: coloque su título o descripción por debajo (ver fig. 1), no incluya descripciones como parte de ellas, no coloque descripciones en "cajas de texto" ligadas a las figuras, no ponga marcos alrededor de ellas.

Puede usar la abreviación "Fig." aún al iniciar una frase. Verifique que las tablas y figuras que usted menciona realmente estén incluidas en el trabajo, y colóquelas al inicio o al final de la columna.

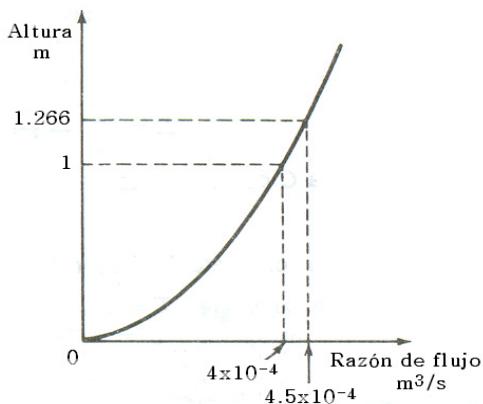


Fig. 1. Gráfica de un sistema de nivel de líquido.  
(Note el centrado de esta descripción de la figura).

Tabla 1. Tamaño y estilo de fuente para los artículos.

Tamaño de letras (puntos)	Estilo de fuente		
	Normal	Negritas	Itálica
8	Subíndices y superíndices, referencias, pies de página.		Descripción de tablas y figuras (Arial)
10		Resumen, Abstract	
10	Texto principal, ecuaciones.	ENCABEZADOS Sub-encabezados	
11	Nombres de autores.		
16		Título del Artículo	

## Abreviaciones y Acrónimos

Defina las abreviaciones y los acrónimos desde la primera vez que se utilizan en el texto, aún después de que han sido definidos en el resumen. No use abreviaciones en el título a menos que sea inevitable.

## Ecuaciones

Utilice el Editor de ecuaciones de Microsoft Word o el MathType (<http://www.mathtype.com>).

Numere las ecuaciones consecutivamente en paréntesis normal, en el margen derecho como en (1). Para escribir la ecuación, utilice el editor de ecuaciones (Clic izquierdo en barra de Herramientas| Personalizar | Comandos | Insertar | y arrastrar editor de ecuaciones a la barra de herramientas). Entonces seleccione el estilo de marcador "Ecuación". Presione la tecla tabuladora y escriba el número de la ecuación entre paréntesis. Utilice paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Puntualice las ecuaciones cuando forman parte de una frase: "En la ecuación (1) se describe..."

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (1)$$

Asegúrese de que los símbolos de su ecuación han sido definidos antes o inmediatamente después de que aparece la ecuación. Refiérase a "(1)," no "Eq. (1)" o "ecuación (1)," exceptuando al iniciar una frase: "Ecuación (1) es....".

## Unidades

Use el Sistema Internacional de Unidades SI. Puede utilizar unidades inglesas como unidades secundarias (entre paréntesis). Por ejemplo se puede escribir "15 Gb/cm<sup>2</sup> (100 Gb/in<sup>2</sup>)"; una excepción es cuando las unidades inglesas se usan para designar comercialmente un producto, tal como disquete de 3½", Pantalla LCD de 2.0", etc.

## Otras Recomendaciones

Deje un espacio después de puntos y comas. Evite palabras inespecíficas tales como "Usando (1), fue calculado el potencial". [No queda claro quién o que fue usado (1)]. Escriba en su lugar,

"El potencial fue calculado utilizando (1)," o "Usando (1), calculamos el potencial."

Use un cero antes del punto decimal: "0.25," no ".25." Use "cm<sup>3</sup>," no "cc." Indicar dimensiones en cada cifra como "0.1 cm. × 0.2 cm.," no "0.1 × 0.2 cm<sup>2</sup>." La abreviación para segundos es "s," no "seg." No mezcle palabras completas con abreviaciones de unidades.

Si usted lo desea, puede escribir en la primera persona de singular o plural y utilizar la voz activa ("observé que..." u "observamos que..." en vez de "Se observó que..."). Cuide su ortografía.

## CONCLUSIÓN

Una conclusión debe enfatizar los puntos principales del artículo. No repita el resumen como la conclusión. Una conclusión puede resaltar la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones y trabajos complementarios.

## APÉNDICES

Los apéndices, cuando sean necesarios, van antes de los reconocimientos.

## RECONOCIMIENTOS

Use un solo encabezado para todos los reconocimientos. Evite expresiones tales como "Uno de los autores desea agradecer..." mejor escriba "Tal Autor agradece...."

## REFERENCIAS

Para las citas a lo largo del documento, basarse en el estilo APA sexta edición, así como para colocar las diferentes fuentes de información en esta sección con tipo de letra Graphik Regular tamaño 8.

Apellidos paterno, Inicial(es) del nombre (en caso de dos o más autores, separar con coma los nombres). (Año). *Título del libro*. Edición. Editorial. Ciudad. Páginas.

Apellidos del autor, Inicial del nombre (en caso de dos o más autores, separar con punto y coma los nombres). (Año de publicación). "Título del artículo". *Titulo de la revista*. Volumen (No.) (ejemplo: Vol. 3(5). Páginas en las cuales está descrito el artículo (ejemplo: pp. 131-139).

Apellido del Autor, Inicial del nombre. (Año) (Fecha exacta de la consulta). *Dirección electrónica de la página Web*. Fecha de la consulta.

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE PACHUCA

SEPTIEMBRE 2020

**Daños Epiteliales en Estudiantes de la Universidad Politécnica de Pachuca Posiblemente Asociados a la Alta Incidencia de Luz Ultravioleta Observada en los Valles Altos del Estado Mexicano de Hidalgo.**

Ahumada-Medina, R.M. Chio-Austria.

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

**Paraganglioma.**

Ma. F. Trejo-Sierra

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

**Preprocesamiento y preparación de espectros Raman para la identificación de materiales.**

J.C. Rojo-Méndez, E.G. Pérez-Pérez, P. Sobron, A. Silva-Castillo, G. Luis-Raya.

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Impossible Sensing, St. Louis, MO, USA.

**Prediagnóstico de Cáncer de mama mediante Lernmatrix con Transformada 9.**

P. Reyes-León, M.M. Francisco-De la Cruz, J.C. Salgado-Ramírez, A.J. Argüelles-Cruz.

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Centro de Investigación en Computación del IPN, Ciudad de México, México.

**Sistema de autenticación anónima por medio de criptografía no invertible.**

J. C. Bautista-Tlamayanco, I.N Lucio- Morales, L.A Lizama-Perez.

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

**Diseño de una máquina tribológica de una máquina tribológica de cuatro bolas.**

J.F. Aparicio-Lozada, J.C. Ramos-Fernández, J. Hernández-Pérez, E.E. Vera-Cárdenas, A.I. Martínez-Pérez.

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México.

**Propuesta de obtención de un recubrimiento híbrido PMMA-TEOS para reducir el desgaste por erosión en el borde de ataque de las palas de aerogeneradores.**

J.L. Reyes-Hernández, A.I. Martínez-Pérez, E.E. Vera-Cárdenas, M. Moreno-Ríos, E.O. Ávila-Dávila.

Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México.

**Prueba tribológica en acero AISI 1018 y aleación Al-Mg en un equipo perno cobre disco (ASTM G99).**

D.A. Sánchez-Ramos, H.A. Martínez-Castañeda, E.E. Vera-Cárdenas, M. Moreno-Ríos.

Tecnológico Nacional de México/I.T. Pachuca, Hidalgo, México.