

**Memoria del coloquio  
académico por la  
equidad de género en la  
FI, 2018:  
Docencia, investigación  
y desarrollo  
tecnológico**

**Programa 3. Mejoramiento del  
impacto y la productividad de la  
investigación y el desarrollo  
tecnológico en la Facultad de  
Ingeniería. Secretaría de  
Posgrado e Investigación**

---



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**Dr. Enrique Graue Wiechers**

Rector

**Dr. Leonardo Lomelí Venegas**

Secretario General

### FACULTAD DE INGENIERÍA

**Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval**

Director

**Ing. Gonzalo López de Haro**

Secretario General

**Dr. Armando Ortiz Prado**

Secretario de Posgrado e Investigación

### COMITÉ ORGANIZADOR

**Dr. Gilberto Silva Romo**

Responsable

### Participantes

M. en I. María de Lourdes Arellano Bolio

M. en C. Sandra Juárez Zúñiga

Ing. Nallely López García

M. en C. Osvaldo Ruiz Cervantes



## PRESENTACIÓN



## PARTE 1. ARTÍCULOS

### CONTENIDO

#### PARTE 1. ARTÍCULOS

ACTUALIZACIÓN DEL CUESTIONARIO DE OPINIÓN DEL DESEMPEÑO ACADÉMICO DEL PROFESOR Y DEL ALUMNO (CODAPA) .....	1
RESUMEN .....	1
1. Introducción .....	2
2. Método .....	2
3. Resultados .....	4
4. Productos.....	5
5. Perspectivas.....	5
Referencias.....	6
Anexo 1 .....	7
DIAGNÓSTICO MULTIDISCIPLINARIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE AGUA EN CONCEPCIÓN BUENAVISTA, OAXACA.....	11
1. Introducción .....	11
2. Trabajo colaborativo y multidisciplinar .....	11
3. Descripción de la zona de estudio .....	12
4. Desarrollo metodológico .....	12
5. Resultados y discusión .....	14
6. Conclusiones .....	17
Referencias.....	18
ESTUDIO DE FACTORES CRÍTICOS PARA ACABADO SUPERFICIAL Y CONSUMO ENERGÉTICO EN OPERACIONES DE FRESADO CNC .....	19
RESUMEN .....	19
ABSTRACT .....	19
1. Introducción .....	20
2. Desarrollo.....	21
3. Resultados .....	23
4. Discusión de resultados.....	23
5. Conclusión .....	24
Agradecimientos .....	24
Referencias.....	24



MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS MEDIANTE HERRAMIENTAS DIGITALES .....	26
RESUMEN .....	26
1. Introducción .....	26
2. Metodología .....	27
3. Resultados y Discusión .....	29
4. Conclusiones .....	30
Agradecimientos .....	30
Referencias.....	30
MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO CILINDRO PARABÓLICO .....	31
RESUMEN .....	31
1. Introducción .....	31
2. Modelo matemático.....	32
3. Resultados .....	36
4. Resumen y discusión.....	38
5. Conclusiones .....	38
Referencias.....	38
OPINIÓN DE LOS PROFESORES DE TERMODINÁMICA SOBRE LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA.....	40
RESUMEN .....	40
1. Introducción .....	40
2. Resultados .....	41
3. Conclusiones .....	42
Referencias.....	43
RESULTADOS DEL PROYECTO IT102615 ROBOTS NO CONVENCIONALES PARA TAREAS DE EXPLORACIÓN Y BÚSQUEDA.....	44
RESUMEN .....	44
ABSTRACT .....	45
1. Introducción .....	45
2. Resultados .....	46
3. Discusión de los resultados .....	48
4. Conclusiones .....	49
Agradecimientos .....	49
Referencias.....	49



RETOS DEL PROYECTO PE111218 DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA FORTALECER EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS MATEMÁTICOS EN CIENCIAS BÁSICAS.....	51
RESUMEN .....	51
ABSTRACT .....	51
1. Introducción .....	53
2. Desarrollo.....	53
3. Resultados .....	55
4. Discusión de resultados.....	57
5. Conclusiones .....	57
Agradecimientos .....	58
Referencias.....	58

## PARTE 2. CARTELES

Dr. Aldo Ramos Rosique .....	60
Ing. Alfredo Victoria Morales <sup>1</sup> .....	62
Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar .....	64
Dra. Ana Paulina Gómora Figueroa.....	66
Dra. Berenice Hernández Cruz .....	68
M.C. Francisco Sánchez Pérez.....	70
M.I. Gloria Mata Hernández .....	72
M. I. Carlos Castillo <sup>1</sup> , Dr. Armando Ortiz <sup>1</sup> , Dr. Rafael Schouwenaars R <sup>2</sup> , Dr. Fernando Velázquez F. <sup>2</sup> .....	74
M.C. Juan Armando Ortiz Valera <sup>a</sup> .....	76
Dra. Laura Mori* .....	78
Dr. Luis Antonio García Villanueva .....	80
Dr. Martín Cárdenas Soto <sup>1</sup> , Dr. Josué Tago Pacheco <sup>2</sup> , M.C. José Piña Flores, Ing. Thalía Reyes Pimentel <sup>3</sup> , Ing Pablo Aguirre Díaz <sup>3</sup> , Delma Díaz Alcántara <sup>4</sup> , Manuel de Jesús Aguilar <sup>4</sup> .....	82
D. en C. Michelín Álvarez Camacho <sup>1</sup> , D. en C. Ivett Quiñones Uriostegui <sup>2</sup> , Dra. Marina Morales García <sup>3</sup> , D. en I. Francisco Sánchez Arévalo <sup>4</sup> .....	84
M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose* .....	88
M. C. Yoalli Hernández Marmolejo .....	90
M. C. Yuri Eduardo Oropesa Rodríguez <sup>1</sup> , Dr. Armando Ortiz Prado <sup>2</sup> , Dr. Raide Alfonso González Carbonell <sup>3</sup> , Dr. Rafael Schouwenaars Franssens <sup>4</sup> , Dr. Fernando Velázquez Villegas <sup>5</sup> .....	92

**PARTE I**  
**ARTÍCULOS**

---



## ACTUALIZACIÓN DEL CUESTIONARIO DE OPINIÓN DEL DESEMPEÑO ACADÉMICO DEL PROFESOR Y DEL ALUMNO (CODAPA)

**Francisco Barrera García**

Depto. de Matemáticas, División de Ciencias Básicas

**Leopoldo González González**

Depto. de Mecánica, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Pablo Medina Mora Escalante**

Coordinación de Evaluación Educativa, Secretaría de Apoyo a la Docencia

**Griselda Núñez Núñez**

Coordinación de Evaluación Educativa, Secretaría de Apoyo a la Docencia

**Isabel Reyes Lagunes**

División de Estudios de Posgrado, Facultad de Psicología

**José Enrique Santos Jallath**

Depto. de Ingeniería de Minas y Metalurgia, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

### RESUMEN

Este artículo versa sobre el *Cuestionario de opinión del desempeño académico del profesor y del alumno* (CODAPA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, y ha sido elaborado con un doble propósito, el de contribuir al debate sobre la evaluación del desempeño docente en nuestro contexto y el de presentar los productos logrados en el proyecto de *Actualización del cuestionario* que forma parte Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME). El documento consta de cinco partes: introducción, método, resultados, productos y perspectivas. En la introducción se brinda información relativa a la evolución y situación actual del CODAPA, se identifican las evidencias que apuntan a la necesidad de revisarlo y se delinea la fundamentación teórica para su actualización. En la parte del método se describen brevemente los pasos realizados: especificación de necesidades, elaboración de la tabla de especificaciones, elaboración de reactivos, validación de contenido, estructuración de un cuestionario preliminar, aplicación piloto, análisis factorial exploratorio, estructuración del cuestionario final y análisis factorial confirmatorio. En la sección de resultados se presenta la estructura factorial del cuestionario actualizado, así como sus propiedades psicométricas, en particular la confiabilidad y validez de sus resultados. En el apartado de productos se describen concretamente los tres productos alcanzados mediante este proyecto: banco de reactivos, cuestionario actualizado y manual de procedimientos. Y finalmente, en el segmento de perspectivas se formulan algunas interrogantes acerca del porvenir de este valioso cuestionario, particularmente en lo que atañe a su diseño, aplicación y usos.



## 1. Introducción

El presente trabajo versa sobre el *Cuestionario de Opinión sobre el Desempeño Académico del Profesor y del Alumno (CODAPA)* de la Facultad de Ingeniería (FI) y que comúnmente se conoce como “la encuesta de opinión de los alumnos”.

En el año de 2016 se formuló el proyecto PAPIME PE102517 *Actualización del Cuestionario de Opinión del Desempeño Académico del Profesor y del Alumno*, con la finalidad de revisar y renovar dicho cuestionario.

El proyecto fue secundado por la Secretaría de Apoyo a la Docencia de la FI, que lo impulsó como una de sus líneas de acción vinculadas a los programas y proyectos del Plan de Desarrollo de la FI 2015-2019.

Para su ejecución se conformó un equipo interdisciplinario, con ingenieros profesores y profesionales de la educación, que laboró durante 2017 y 2018 hasta la presentación, para su aprobación, de una versión renovada del CODAPA.

### Justificación

En un reciente estudio diagnóstico sobre las prácticas de evaluación de la docencia de la FI, en relación con la “encuesta de opinión de los alumnos”, se observó que (FI UNAM, 2013):

- Los profesores, en distinto grado y con reservas, confieren importancia a sus resultados.
- Aprecian, sobre todo, los comentarios y sugerencias de los alumnos y el carácter anónimo de las respuestas.
- Y señalan entre sus limitaciones su subjetividad, la demora en la entrega de resultados y algunos de los usos que se dan.

Así, en una de las conclusiones de dicho estudio diagnóstico se formuló que:

*“El mecanismo institucional para evaluar el desempeño docente más extendido en la FI es la encuesta de opinión de los alumnos, de inigualable valor institucional, que luego de varias décadas de operación, muestra claros signos de desgaste y obsolescencia” (FI UNAM, 2013, p 21).*

A este desgaste, principalmente en sus contenidos, procedimientos y usos, hay que agregar que durante

más de 25 años no se ha emprendido una revisión de la confiabilidad y validez de sus resultados.

La encuesta surgió, en la FI, en los años setenta del siglo pasado; en sus primeros 20 años se afinó gradualmente, incorporando certeras innovaciones, en sus siguientes 25 ha permanecido prácticamente igual, con ajustes muy limitados.

En esos 25 han cambiado las condiciones y medios para el ejercicio de la docencia, así como los marcos de referencia que disponen los alumnos para formar sus opiniones

Siguiendo el modelo de Theodore Levitt que define cuatro etapas del ciclo de vida de un producto: introducción, crecimiento, madurez y declive (Sánchez, 2015), se puede afirmar que el CODAPA está en la etapa de declive.

El CODAPA se ha desgastado, su interés ha disminuido, en algunas áreas han caído en el desuso, sus resultados se desaprovechan, y –como su costo es alto– la relación costo-beneficio es cada vez más desfavorable.

El objetivo de este Proyecto PAPIME PE102517 es “revisar, fortalecer y renovar el CODAPA, para que éste aporte información confiable, válida y útil, que contribuya a evaluar y mejorar la función docente en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

## 2. Método

Para la revisión y actualización del CODAPA el grupo de trabajo del proyecto PAPIME PE102517 siguió la metodología de la investigación social y psicometría aplicada, en las siguientes fases:

- Especificación de necesidades
- Definición de contenido
- Elaboración de tabla de especificaciones
- Elaboración de reactivos
- Validación de contenido
- Estructuración de un cuestionario preliminar
- Aplicación piloto y análisis exploratorio
- Estructuración del cuestionario final
- Análisis confirmatorio

### Especificación de necesidades



Además del *Estudio diagnóstico sobre las prácticas de evaluación de la docencia en la Facultad de Ingeniería* concluido en el 2014, al que se aludió en la introducción de este *Manual*, se realizaron cinco actividades de especificación de necesidades:

- Identificación de objetivos, características y usos del CODAPA
- Análisis FODA
- Entrevistas a profesores
- Grupos de enfoque con alumnos
- Redes semánticas de profesores y alumnos

### Definición de contenido

Se definieron los dos constructos: «percepción» y «desempeño docente»; este último se definió en términos de diez competencias docentes propuestas por Zabalza (2005) y se agregó el atributo de responsabilidad, como lo propone Arbesú y Reyes (2015).

1. Planificar el proceso de enseñanza y el de aprendizaje
2. Seleccionar y preparar los contenidos disciplinares.
3. Ofrecer informaciones y explicaciones comprensibles y bien organizadas
4. Manejo de las nuevas tecnologías
5. Diseñar la metodología y organizar las actividades
6. Comunicarse-relacionarse con los alumnos.
7. Tutorizar
8. Evaluar
9. Reflexionar e investigar sobre la enseñanza
10. Identificarse con la institución y trabajar en equipo
11. Responsabilidad y sentido ético

### Elaboración de tabla de especificaciones

Se definieron las características del cuestionario a proponer, el tipo y el número de reactivos por competencia o categoría.

### Elaboración de reactivos

Se identificaron las principales conductas por cada competencia, se definieron las pautas para la redacción de reactivos y se elaboró un banco de reactivos.

### Validación de contenido

Este banco se sometió a un proceso de evaluación interjueces, con 5 expertos en educación y 6 profesores de la Facultad de Ingeniería de reconocido prestigio.

### Estructuración de un cuestionario preliminar

Se conformó un cuestionario de 50 reactivos validados distribuidos por categoría, considerando el doble de los establecidos en la tabla de especificaciones.

### Aplicación piloto

Se aplicó el cuestionario a 121 grupos seleccionados aleatoriamente de una población de 3,493 grupos asignatura programados en el semestre 2018-1. El número de alumnos encuestados ascendió a 2,480.

### Análisis de resultados

Como resultado de la aplicación se observó una confiabilidad de .974 (Alfa de Cronbach) y se delimitaron 7 factores que explican el 67.107% de la varianza.

**Tabla 1.** Distribución de frecuencia y frecuencia relativa de los grupos y alumnos de la muestra para la aplicación piloto, por división de estudios profesionales.

División	Grupos		Alumnos	
	f	%	f	%
División de Ingenierías Civil y Geomática	12	9.9	235	9.5
División de Ingeniería Eléctrica	31	25.6	368	14.8
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra	15	12.4	353	14.2
División de Ciencias Básicas	32	26.4	1079	43.5
División de Ciencias Sociales y Humanidades	6	5.0	140	5.6
División de Ingeniería Mecánica e Industrial	25	20.7	305	12.3
	121		2480	



### Estructuración del cuestionario final

Se elaboró el cuestionario final a partir de los siete factores identificados, seleccionando reactivos con altos niveles de aportación a la confiabilidad y validez del cuestionario.

### Análisis confirmatorio

Se realizó la aplicación del cuestionario final a una muestra representativa de 130 grupos (2,815 alumnos) del semestre 2018-2 y mediante el análisis basado en ecuaciones estructurales se confirmaron los siete factores previamente identificados.

## 3. Resultados

Diversos resultados se han obtenido mediante este proyecto, devenidos de las redes semánticas naturales, entrevistas a profesores y grupos de enfoque con alumnos, así como los producidos por los análisis de resultados del cuestionario vigente y de las aplicaciones del cuestionario piloto y el cuestionario actualizado. A continuación, en este espacio, se presentan únicamente los resultados de los análisis factoriales exploratorio y confirmatorio.

Para la aplicación piloto se elaboró un cuestionario con 50 reactivos, 40 «sobre el profesor» y 10 «sobre el alumno», obtenidos del banco de reactivos, previamente validado, en cuanto a su contenido.

Para determinar el tamaño de la muestra se hizo un análisis de potencia estadística, siguiendo el procedimiento propuesto por MacCallum, Browne y Sugawara (1996), que arrojó la necesidad de 121 grupos.

Se seleccionó la muestra mediante un procedimiento aleatorio simple de grupos del semestre 2018-1, pero en el proceso de aplicación se realizaron diversos ajustes, buscando la mayor accesibilidad de

los profesores.

La muestra ajustada quedó conformada por 121 grupos, lo que representó un total de 2,480 alumnos encuestados, cuya distribución por división, en términos de frecuencia absoluta y relativa, se observa en la Tabla 1.

Como resultado del análisis factorial de estos resultados se delimitaron los 7 factores, que explican el 67.107% de la varianza, como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Porcentaje de la varianza explicada por cada uno de los factores identificados en el CODAPA.

Factor	Porcentaje de la varianza	Porcentaje de la varianza acumulada
F1	46.189	46.189
F2	5.504	51.692
F3	4.115	55.807
F4	3.750	59.557
F5	2.842	62.399
F6	2.448	64.847
F7	2.260	67.107

El coeficiente de confiabilidad de los resultados del cuestionario piloto, obtenido al estimar el alfa de Cronbach mediante del programa SPSS, asciende a 0.974; y los coeficientes de confiabilidad por factor se presentan en la Tabla 3.

A partir de estos resultados se seleccionaron 27 reactivos, 21 sobre el profesor y 6 sobre el alumno, para conformar el cuestionario actualizado, que se aplicó a una nueva muestra de grupos del semestre 2018-2 con fines confirmatorios. Esta aplicación se efectuó en una muestra de 130 grupos, que incluyeron 2,815 alumnos, cuya distribución por división en términos de frecuencias absolutas y relativas se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Coeficientes de confiabilidad alfa de Cronbach de cada uno de los factores del CODAPA

Factor	Coefficiente alfa
F1	.956
F2	.780
F3	.866
F4	.937
F5	.868
F6	.861
F7	.818



**Tabla 4.** Distribución de frecuencia y frecuencia relativa de los grupos y alumnos de la muestra para el análisis confirmatorio, por división de estudios profesionales.

División	Grupos		Alumnos	
	f	%	f	%
División de Ingenierías Civil y Geomática	21	16.2	418	14.8
División de Ingeniería Eléctrica	36	27.7	665	23.6
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra	24	18.5	472	16.7
División de Ciencias Básicas	17	13.1	496	17.6
División de Ciencias Sociales y Humanidades	7	5.4	247	8.8
División de Ingeniería Mecánica e Industrial	24	18.5	515	18.3
No identificada	1	0.8	7	0.2
	130		2815	

Los resultados de esta aplicación se examinaron mediante un análisis factorial confirmatorio que concluyó –con un mínimo ajuste- a favor del modelo de los siete factores previamente establecido.

En el Anexo 1 se presenta el Cuestionario actualizado, el cual consta de 27 reactivos, 21 reactivos “sobre el profesor” y 6 “sobre el alumno. De estos 27 reactivos 23 forman parte de alguno de los factores que se identifican en la Tabla 5, los otros 4 reactivos se conservan en la versión actualizada a manera de indicadores.

#### 4. Productos

Los productos de este proyecto son tres:

1. Un banco de reactivos (ítems o preguntas estructuradas), compuesto con más de 100 reactivos documentados, clasificados y evaluados.
2. El cuestionario actualizado, con altos niveles

de confiabilidad y validez, que presenta nuevos elementos que podrán incentivar su interés y reactivar su aprovechamiento. Entre sus ventajas se cuentan:

- Al estar estructurado por competencias, permite retroalimentaciones más precisas y una mejor vinculación con los programas de formación docente.
- Al estar soportado por bancos de reactivos validados por cada factor tiene una mayor

flexibilidad y la posibilidad de elaborar cuestionarios paralelos.

- Se responde con mayor agilidad y en menos tiempo, al reducirse el número de preguntas y la variedad de opciones de respuesta.

**Tabla 5.** Denominación de los factores del CODAPA.

F1	Comprensibilidad.
F2	Responsabilidad del alumno
F3	Uso de variados recursos didácticos
F4	Ambiente favorable para el aprendizaje
F5	Responsabilidad del profesor
F6	Motivación y aprendizaje
F7	Evaluación

3. Un manual que brinda a las audiencias del CODAPA -profesores, alumnos, funcionarios, personal de apoyo y evaluadores- información necesaria para la interpretación y uso de sus resultados, con el siguiente índice:

Introducción

Sección 1. Conceptos generales

Sección 2. Ficha técnica

Sección 3. Proceso de revisión y actualización

Sección 4. Objetivo, características y estructura

Sección 5. Confiabilidad y Validez

Sección 6. Aplicación

Sección 7. Calificación

Sección 8. Interpretación y usos

Referencias

Anexos

#### 5. Perspectivas

La evaluación de la docencia ha entrado a una renovada era de análisis y discusión. En torno al CODAPA hay varias decisiones en puerta, una de ellas atañe a su aplicación, la que definitivamente debe ser más práctica, moderna y económica.

Otra tiene que ver los usos de sus resultados, los cuales se han extendido significativamente. Como instrumento de medición el CODAPA debe apearse a estándares tales como el que se declara en Standards for Educational and Psychological Testing (AERA, APA y NCME, 2014):

Estándar 4.24

Las características del instrumento deben revisarse o modificarse cuando nuevos datos de



investigación, cambios significativos en la variable que se mide o nuevos requerimientos respecto a su uso, puedan reducir la validez de las interpretaciones de los resultados (p 24).

¡Cuidemos este instrumento!

## Referencias

- American Psychological Association, American Educational Research Association, & National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for educational & psychological tests*. American Psychological Association.
- García, M. I. A., & Hernández, L. R. (2015). La eficacia docente: Representaciones Sociales de estudiantes universitarios. *Observar. Revista electrónica de didáctica de las artes*, (9), 37-57.
- Ingeniería, F. (2019). Coordinación de Planeación y Desarrollo. Retrieved 11 September 2019, from <http://www.ingenieria.unam.mx/planeacion/eg/pla n1114.php>
- MacCallum, R. C., Browne, M. W., & Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological methods*, 1(2), 130.
- Hernando, E. S. (2015). Ciclo de vida de producto. Modelos y utilidad para el marketing. vol, 21, 207-227.
- Zabalza, M. Á., & Beraza, M. Á. Z. (2003). *Competencias docentes del profesorado universitario: calidad y desarrollo profesional* (Vol. 4). Narcea ediciones.



## Anexo 1

### Cuestionario actualizado



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO PAPIME PE102517

CUESTIONARIO DE OPINIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO  
DEL PROFESOR Y DEL ALUMNO  
(CODAPA)

Nombre del profesor \_\_\_\_\_

Asignatura \_\_\_\_\_ Semestre \_\_\_\_\_

Clave de asignatura			
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9

Grupo			
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9

Tipo de Clase	
Teoría	<input type="radio"/>
Laboratorio	<input checked="" type="radio"/>
Práctica	<input type="radio"/>

No. de Profesor
<input type="checkbox"/>

**Estimado alumno:**

Con objeto de mejorar la calidad académica de nuestra Facultad, periódicamente se realiza la evaluación del proceso enseñanza-aprendizaje. Para este propósito, el punto de vista de los alumnos, acerca del desempeño de sus profesores y del suyo propio, constituye un factor muy importante.

Analice los enunciados que a continuación se presentan y para cada uno seleccione la respuesta que considere más adecuada. Le agradecemos conteste todas las preguntas y que al final escriba comentarios y sugerencias al profesor respecto a la impartición de la asignatura.

Indicaciones para el llenado



**Instrucciones:**

Responda las preguntas 1 y 2 mediante “sí” o “no” y las preguntas 3 a 27, de acuerdo con su opinión, considerando la siguiente escala:

Totalmente en desacuerdo	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo	Totalmente de acuerdo
0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0

**a) Sobre el profesor**

	Sí	No
1.- Al inicio del curso el profesor dio a conocer el programa de la asignatura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.- Al inicio del curso el profesor dio a conocer la forma de evaluación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	0	1	2	3	4	5
3.- El profesor muestra interés en que los alumnos aprendan	<input type="radio"/>					
4.- Los conocimientos del profesor sobre la asignatura son excelentes	<input type="radio"/>					
5.- El profesor explica con claridad los contenidos del curso	<input type="radio"/>					
6.- Al definir principios o conceptos se presentan ejemplos que facilitan la comprensión	<input type="radio"/>					
7.- El profesor propicia que los alumnos razonen sobre los temas que expone	<input type="radio"/>					
8.- El profesor promueve un ambiente de respeto en clase	<input type="radio"/>					
9.- El profesor promueve un ambiente de confianza	<input type="radio"/>					
10.- El profesor atiende y aclara las dudas	<input type="radio"/>					
11.- El profesor utiliza las tecnologías de la información y la comunicación para facilitar el aprendizaje	<input type="radio"/>					



12.- El profesor fomenta la colaboración entre los compañeros del grupo	<input type="radio"/>					
13.- El profesor propicia que los alumnos amplíen por su cuenta sus conocimientos sobre la asignatura	<input type="radio"/>					
14.- El profesor inicia puntualmente la clase	<input type="radio"/>					
15.- El profesor asiste siempre a clases	<input type="radio"/>					
16.- El profesor termina puntualmente la clase	<input type="radio"/>					
17.- Los aspectos que el profesor considera para la evaluación del curso son adecuados	<input type="radio"/>					
18.- Su forma de evaluar es consistente con lo establecido al iniciar el curso	<input type="radio"/>					
19.- El profesor entrega oportunamente las calificaciones	<input type="radio"/>					
20.- En el desarrollo del curso se está cumpliendo el programa de la asignatura	<input type="radio"/>					
21.- En caso de tener la oportunidad, ¿volvería a tomar clases con el profesor?	<input type="radio"/>					

**b ) Sobre el alumno**

	0	1	2	3	4	5
22.- Estoy motivado para estudiar la asignatura	<input type="radio"/>					
23.- Llego puntual a clase	<input type="radio"/>					
24.- Asisto siempre a clase	<input type="radio"/>					
25.- Cumplo con las tareas	<input type="radio"/>					
26.- Participo en clase (preguntando, respondiendo preguntas, etc.)	<input type="radio"/>					
27.- Mi aprendizaje en esta asignatura ha sido excelente	<input type="radio"/>					





## DIAGNÓSTICO MULTIDISCIPLINARIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE AGUA EN CONCEPCIÓN BUENAVISTA, OAXACA

**Ana Beatriz Carrera Aguilar**

Depto. de Ingeniería de Sistemas, Planeación y Transporte, División de Ingeniería Civil y Geomática

**Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose**

Depto. de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, División de Ingeniería Civil y Geomática

**Martín Carlos Vidal García**

Depto. de Geología, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**David Escobedo Zenil**

Depto. de Geofísica, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**Marisol Alfonso Romero**

Depto. de Ingeniería de Sistemas, Planeación y Transporte, División de Ingeniería Civil y Geomática

### 1. Introducción

En 2017 se realiza una visita de reconocimiento al municipio de Concepción Buenavista, Oaxaca, gestándose una experiencia compartida entre pares académicos y estudiantes en pro de soluciones a la problemática de acceso a agua que aqueja a la comunidad. A la fecha, se han realizado cuatro visitas de campo compuestas por brigadas de estudiantes y profesores, estos últimos con líneas de generación de conocimiento que van desde el análisis de la calidad del agua, la caracterización socioeconómica de la población y la prospección geológica (Alaniz, 1994) y geofísica (Chávez et al., 2018) en sitios seleccionados para extracción del agua subterránea (Stevanović, 2015). En ese sentido, el objetivo de este trabajo se centra en el logro de un diagnóstico multidisciplinario por medio de técnicas de investigación orientadas a los enfoques mixtos. Se presentan los resultados parciales del trabajo de campo realizado a lo largo de un año: estudio de la calidad del agua de las principales fuentes alimentadoras, análisis de la percepción de la problemática desde los hogares y, la exploración geológica y geofísica de las fuentes probables de agua.

### 2. Trabajo colaborativo y multidisciplinar

El diagnóstico colaborativo y multidisciplinar se apega a la aplicación de diferentes técnicas, por campo disciplinario, que busquen resolver una problemática por medio de un lenguaje de investigación sistemático cuantitativo y cualitativo, y así, garantizar un resultado

óptimo en la investigación (Hernández et al., 2006). Diversos autores señalan que los diseños mixtos permiten combinar paradigmas para optar por mejores oportunidades de acercarse a soluciones abstractas (Pereira, 2011).

Los diseños de método y modelo mixto iniciaron como una propuesta de estudios e investigaciones, en donde, al mezclar enfoques cualitativos y cuantitativos daría un nuevo estilo de investigación al incorporar encuestas que facilitarían algunos aspectos fundamentales para el desarrollo de este (Sieber, 1973). Para definir los dos diseños en cuestión, Johnson y Onwuegbuzie plantearon las siguientes definiciones; con el modelo mixto se combinan en una misma etapa o fase de investigación los métodos cuantitativos y cualitativos, mientras que el método mixto no permite la mezcla, sino que éstos tendrán su propia etapa (Onwuegbuzie y Leech, 2006).

Por lo que, en este trabajo colaborativo, se dividió la investigación multidisciplinaria, en primera instancia como métodos mixtos, y posteriormente como modelos mixtos, esto con la finalidad de obtener los instrumentos para la obtención de información confirmatoria y exploratoria de datos cualitativos y cuantitativos para realizar, posteriormente, un análisis estadístico para ambos casos. Dado que se trata de un trabajo que, aunque se realizó por área de estudio, los estudios de investigación y de campo se realizaron en conjunto, por simplicidad de tiempo y recursos para las visitas al sitio. Este trabajo consta entonces, de un



apartado de bienestar y otro técnico. En el apartado de bienestar se involucran aspectos socioeconómicos y de percepción por parte de la comunidad sobre la infraestructura, acciones del gobierno, así como los usos y costumbres alrededor del agua; mientras que el apartado técnico involucra aspectos sobre abasto, servicio y análisis de calidad del agua, reconocimientos geohidrológicos y geofísicos, que en conjunto buscan brindar un panorama vasto para tomar decisiones sobre la exploración de nuevas fuentes de abasto de agua y de revisar los impactos que la población ha resentido desde que la escasez del líquido inició en la localidad.

### 3. Descripción de la zona de estudio

El municipio de Concepción Buenavista, Oaxaca se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur; dentro de la subprovincia de la Mixteca Alta (INEGI, 2001) y se encuentra inmersa en la zona hidrológica No.28 Papaloapan, el clima predominante es templado semiseco con base a la clasificación de Enriqueta García y la precipitación es del orden de 400 a 700 mm de acuerdo con la información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

### 4. Desarrollo metodológico

Para la obtención de información y la generación de resultados, se opta por un enfoque mixto de investigación, que consiste en la integración sistemática de los métodos cualitativos y cuantitativos. La metodología empleada se describe a continuación:

#### I. Instrumentos para datos cualitativos

Los instrumentos para la obtención de datos cualitativos fueron, en primera instancia, el levantamiento de datos por hogar a través de encuestas, esta herramienta permitió conocer de primera mano la problemática al ser ésta contada de forma directa por los pobladores del municipio. Cabe mencionar que, con base en la información previa a la primera visita, el conocimiento sobre estas condiciones de vida era prácticamente nulo; no se encontraron antecedentes claros o por lo menos suficientes para abordar este tipo de circunstancias. El equipo de trabajo realiza una visita reconocimiento como primer acercamiento al problema donde se identificaron diferentes inconvenientes asociados al desabasto de agua: la

afectación de las actividades económicas de los pobladores, la crisis de permanencia en el municipio que origina un alto índice de migración, la marginación y problemas de salud. He aquí la pauta para orientar los esfuerzos en el estudio de parámetros enfocados en caracterizar a la población: obtención de datos socioeconómicos de la población, indagar sobre la aceptación social ante los proyectos de mejoramiento del abasto de agua potable, conocer las condiciones de vida de los pobladores sobre consumo y uso doméstico del agua, y averiguar sobre el impacto de la escasez del agua en la realización de las actividades económicas de la población.

El instrumento utilizado fue un cuestionario compuesto de 63 preguntas dividido en secciones:

- a) perfil sociodemográfico
- b) fuentes de acceso al agua potable
- c) infraestructura, saneamiento y calidad del agua
- d) acciones del gobierno y sus habitantes
- e) percepción e importancia del servicio y
- f) cultura del agua. Instrumentos para datos cuantitativos.

Para la obtención de información cuantitativa, se realizaron dos tipos de levantamiento por área disciplinaria:

a) toma de muestras y levantamiento de información de las características físicas de fuentes de abastecimiento y puntos de muestreo, en donde, los puntos para la obtención de información cuantitativa fueron:

i) obtención de muestras simples para identificar la calidad del agua con la que se cuenta tanto en tomas domiciliarias como en fuentes de abastecimiento, y

ii) determinación de las características físicas y organolépticas in situ; y

b) levantamiento en dos sitios seleccionados: Llano Grande y El Sauce en la localidad de Concepción Buenavista; para el estudio geofísico y la selección de una fuente de abastecimiento.

Para la obtención de información cuantitativa se requirió:

i) reconocimiento geológico para determinar la estratigrafía y visita de aprovechamientos subterráneos para determinar el marco geohidrológico y

ii) realización de líneas de Tomografía Eléctrica



Resistiva (TRE) y Tendidos de Refracción Sísmica (RS) para determinar zonas saturadas a una profundidad de investigación de 50 m.

## II. Secuencia en recolección y análisis de los datos

De forma general, los puntos para la obtención de información, procesamiento y análisis de resultados son los siguientes: a) caracterización del sitio, b) encuestas y obtención de información cualitativa, c) toma de muestras y levantamiento de información de las características físicas de fuentes de abastecimiento y puntos de muestreo, d) levantamiento de información geofísica de los actuales y posibles puntos de abastecimientos, e) estudio socioeconómico, f) estudio de calidad del agua y g) estudio geofísico y geohidrológico.

## III. Métodos de análisis para cada proceso y etapa

### Estudio socioeconómico y de percepción:

Para la realización del estudio socioeconómico, los alumnos de la carrera de Ingeniería Civil, de ambos departamentos colaboradores, se encargaron del levantamiento en campo, realizando un total de 73 encuestas<sup>1</sup>, que se dividieron en obtención de información socioeconómica y recopilación de información sobre el servicio de agua potable y saneamiento. Se procesó en gabinete la información y como producto se obtuvo análisis y reporte estadístico descriptivo.

### Estudio de calidad del agua:

Para la realización del estudio de calidad del agua se tomaron muestras simples, con ayuda de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, y se hizo la caracterización de los parámetros organolépticos y/o físicos que deben obtenerse in situ, según la norma NOM 127-SSA1-1994 que establece los límites

permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización<sup>2</sup>. Para la obtención de muestras se dividió al municipio en cinco zonas geográficas (NE, NO, SO, SE y Centro), tomando tres puntos de muestreo por zona y dos muestras simples por cada punto. Cabe mencionar que se tomaron dos muestras simples en los puntos de abastecimiento.

Por otra parte, por normatividad, es indispensable realizar un análisis de laboratorio para realizar los estudios bacteriológicos<sup>3</sup> y los estudios químicos<sup>4</sup>. En el caso de los estudios bacteriológicos se realizan dos pruebas, una para determinar los coliformes fecales y otra para los totales. En el caso de los estudios de agentes químicos, sólo se tomaron algunos parámetros que establece la norma, los cuales fueron: cloro residual libre (CRL), su límite permisible es de 0.2-1.5 mg/l; Nitritos, límite máximo permisible (LMP) 1 mg/l; Nitratos, LMP 10 mg/l, y; sólidos disueltos totales (SDT), LMP 1000 mg/l. En el caso de los estudios de laboratorio, se realizaron dos pruebas bacteriológicas por campo, es decir, dos pruebas para coliformes fecales y dos para coliformes totales, esto con la finalidad de verificar que los resultados sean precisos o reducir el error humano en las pruebas.

### Estudio geológico y geofísico:

Fueron realizados por académicos y estudiantes, en el estudio geológico se delimitaron dos unidades de roca; la primera es una secuencia de rocas carbonatadas predominantemente calizas de la formación San Juan Tieta de edad Cretácico y una andesita de la formación Teotongo perteneciente al Oligoceno expuesta en forma de mesetas y lomeríos. En el valle y arroyos aflora una capa de aluvión; constituida por sedimentos del tamaño de arena, grava y conglomerado de edad reciente. Por otra parte, se visitaron las captaciones subterráneas con las cuales se abastecen los habitantes (Tabla 1), determinando el marco geohidrológico, el caudal y calidad del agua que

1. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda, INEGI 2010 el municipio de Concepción, Buenavista cuenta con 834 habitantes. De acuerdo con esta cifra, si se realiza cálculo de la muestra para poblaciones finitas con grado de confianza del 95%, margen de error del 5% y la detección de un 60% de la población con la característica de ser afectada por el desabasto de agua (detección realizado a través de sondeo verbal en la visita de reconocimiento realizada en marzo de 2017), se obtiene un tamaño de muestra de 311. Una vez en campo se observó que el número de habitantes era inferior a lo reportado por INEGI, las autoridades argumentaron los frecuentes movimientos migratorios, así como una población mayor de mujeres y ancianos, esto debido a que los hombres en edad productiva buscan oportunidades en ciudades aledañas o en su defecto, desplazarse hacia Estados Unidos. La aplicación de la encuesta se efectuó, entonces, en los hogares que estaban disponibles en el momento del levantamiento, N=73. La unidad de análisis es el hogar y en su mayoría fue respondida por jefas de familia.
2. Los cuales son: color, en unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto (UC Pt-Co) teniendo como límite permisible 10 UC Pt-Co; turbiedad, en unidades de turbiedad nefelométricas (UTN), teniendo como límite permisible 20 UTN y; olor y sabor, que no tiene unidades, pero se reporta como "agradable o no agradable a los sentidos".
3. Por normatividad, deberán ser no detectables o cero, en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml) o UFC/100 ml (unidades formadas de colonias por 100 ml).
4. Tendrán como límite permisible 2 NMP/100 ml o 2 UFC/100 ml.



proporcionan a la población. Mediante los levantamientos geofísicos se realizó la caracterización del subsuelo en donde se encuentra el acuífero en Concepción Buenavista, se seleccionaron los sitios El Sauce y Llano Grande; en cada sitio se realizaron líneas de Tomografía Eléctrica Resistiva (TRE) y Tendidos de Refracción Sísmica (RS), con el objetivo de conocer la distribución y geometría de las unidades de roca en el subsuelo y determinar las zonas saturadas hasta una profundidad de 50 m, para seleccionar la localización de un sitio para la perforación de un pozo de agua.

## 5. Resultados y discusión

### Estudio socioeconómico y de percepción del servicio de agua:

Se hicieron 3 preguntas de opción múltiple para la determinación y obtención de información básica de las familias que habitan en el municipio de Concepción Buenavista. De los resultados se obtuvo que en promedio las personas económicamente activas por hogar son de 1 a 2 personas, de éstas, las actividades económicas practicadas se dividen en 36% para sector primario, 26% para sector secundario, 21% sector terciario, el resto no se dedica a ninguno de los anteriores. Para el sector primario se practica la agricultura para el autoconsumo en un 76% y el resto lo produce para venta. Los productos que se siembran son maíz (54%), frijol (20%), trigo (14%) y otros (11%); jitomate, amaranto, alfalfa y avena. Otra fuente de ingresos, son los apoyos que da el gobierno: pensión para adultos mayores, 21%; PROSPERA, 21%; PROCAMPO 2%; y, apoyos particulares; de familiares que trabajan fuera del municipio, 8% y jubilación, 8%. En promedio, los habitantes tienen un ingreso mensual de \$3,467.95. Sobre estos datos se puede apreciar que el ingreso que reportan los pobladores es superior al salario mínimo vigente para 2017 (\$80.04 diarios<sup>5</sup>), esto se debe a que reciben dinero de familiares que se encuentran trabajando en ciudades cercanas o incluso en el extranjero (Estados Unidos, principalmente) y, que dentro de sus estilos de vida está la actividad agrícola como una de las fuentes de ingreso principal, incluso cuando dedican parte de su ingreso a la adquisición de líquido para sostener las cosechas.

**Tabla 1.** Aprovechamientos subterráneos en el municipio de Concepción Buenavista. Elaboración propia.

Aprovechamiento	Localización	Coordenadas	UTM	Caudal	Nivel Estático	Observaciones
	x	y	z	l/s	m	
Subterráneo						
Manantial el pirul	865,073	1,980,537	2,263	0.2		El agua se condice a una cisterna
Pozo el sauce	869,138	1,976,888	2,076	1.3	3.09	La calidad del agua no es apta para consumo humano.
Pozo llano grande	869,376	1,985,891	2,074	1	2.90	La calidad del agua no es apta para consumo humano.

También se pudo distinguir entre las diferentes fuentes de abastecimiento (Tabla 2) que se tienen en el municipio, y dadas las condiciones de desabasto, recurrir a la compra de garrafones para consumo humano y llenar tinacos por medio de pipas, lo que resulta muy costoso. En la misma encuesta se recopiló información del gasto de los dos suministros mencionados y, en promedio se gastan \$477.12 mensuales para satisfacer las necesidades básicas, esto no incluye los costos inherentes al desarrollo de sus actividades económicas, entonces, la mayoría de la población se encuentra desempleada por falta del líquido.

**Tabla 2.** Resultado de encuestas para determinar las características del suministro de agua. Elaboración propia.

Fuente de obtención	Obtención del suministro (%)	USO DOMÉSTICO					Obtención del suministro (%)	CONSUMO HUMANO						
		Calidad (%)						Tratamiento (%)	Calidad (%)					Tratamiento (%)
		M	R	B	E	M			R	B	E			
Toma domiciliaria	66	5	68	24	3	Hervir (8) Cloración (5) S/T (86)	13	0	57	29	14	Hervir (71) Cloración (0) S/T (29)		
Río	7	50	0	50	0	Hervir (25) Cloración (25) S/T (50)	4	0	50	50	0	Hervir (100)		
Cisterna del ayuntamiento	7	0	0	100	0	S/T (100)	69	3	23	60	14	Hervir (66) Cloración (11) S/T (23)		
Pipa	11	0	50	50	0	Cloración (17) S/T (83)	4	0	0	50	50	S/T (100)		
Garrafón	0	N/A					N/A	10	0	0	20	80	S/T (100)	
Pozo particular	4	0	50	50	0	S/T (100)	0	N/A					N/A	
Agua de lluvia	5	0	100	0	0	S/T (100)	0	N/A					N/A	

En donde M: Mala, R: Regular, B: Buena y E: Excelente  
S/T: Sin tratamiento; N/A: No aplica

### Estudio de calidad del agua:

Se analizaron las dos muestras tomadas en campo, por punto de muestreo, para precisar los resultados que se obtendrían. Éstos se dividieron en tres resultados; características físicas y organolépticas, características bacteriológicas (Tabla 3) y características químicas

5. Consultado en <http://salariominimo.com.mx/salario-minimo-2017/>



(Tabla 4).

Para el caso de los parámetros físicos, el límite máximo permisible para: el color es de 20 UC (Unidades de Color); la turbiedad es de 5 UTN (Unidades de Turbiedad Nefelométricas); los coliformes fecales tiene que ser no detectable, en UFC; y para los coliformes totales deberá ser menor a 2 UFC.

Los resultados presentados en las tablas 3 y 4 muestran que del estudio físico no se presenta problema alguno, dado que todos los parámetros están cumpliendo la NOM 127 SSA1-1994; en el caso de los resultados bacteriológicos, el cumplimiento de la norma no ocurre, y finalmente, los parámetros químicos cumplen con la norma a excepción del cloro residual libre.

**Estudio geohidrológico.** Mediante el análisis hidrogeológico se definieron las Unidades Geohidrológicas en función de la litología, posición estratigráfica, fracturamiento, y límites en el subsuelo. La Unidad Geohidrológica 1 es un acuífero granular; constituido por sedimentos aluviales de arenas, gravas, limos de origen volcánico y fragmentos de calizas, los cuales son producto de la erosión y transporte de sedimentos provenientes de las sierras y lomeríos aledaños a Concepción Buenavista. Los espesores de la Unidad Geohidrológica 1 varían de 3 a 8 m, y funciona como un acuífero de tipo libre. La Unidad Geohidrológica 2 está constituido por rocas carbonatadas compactas con espesores mayores de 80 metros en el subsuelo; la porosidad detectada es de tipo secundario originada por el fracturamiento presente en las rocas carbonatadas que funciona como un acuífero libre.

**Estudio geofísico: Llano Grande.** Los resultados de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE-2D), se observan en la Fig. 1, en los cuales se presenta una distribución de resistividades para tres horizontes geoelectricos: a) Horizonte A: con un rango de resistividades aparentes altas de 30-80 (Ohm-m), asociado al suelo y sedimentos aluviales en los primeros 8m; que corresponde capa somera de baja velocidad, la cual presenta un rango de velocidad 350 a 450 m/s asociado al acuífero granular; b) Horizonte B: con un rango de resistividades aparentes de 10-20 (Ohm-m), asociado a roca carbonatada consolidada a una profundidad entre los 8m a 20 m, que corresponde a una capa intermedia con velocidades del orden de 1,000 a 1,800m/s, y c) Horizonte C: con un rango de

resistividades aparentes bajos de 3-9 (Ohm-m), asociado a un medio totalmente saturado en el acuífero granular somero y en el acuífero de rocas carbonatadas fracturadas; en donde existe una zona de mayor velocidad cuyo rango se encuentra entre los 2,000 a 2,800 m/s.

**Tabla 3.** Resultado de las pruebas físicas organolépticas y bacteriológicas. Elaboración propia.

Cuadrante	N° Muestra	Parámetros Físicos				Parámetros bacteriológicos					
		Color	NOM	Turbiedad	NOM	Coliformes Fecales				Col. Totales	
						P1	NOM	P2	NOM	P1/P2	NOM
NE	1	10	C	0.703	C	1	NC	1	NC	>50	NC
	2	10	C	0.626	C	1	NC	0	C	>50	NC
	3	10	C	0.880	C	1	NC	3	NC	>50	NC
NO	4	10	C	0.786	C	0	C	2	NC	>50	NC
	5	10	C	0.970	C	2	NC	1	NC	>50	NC
	6	5	C	0.620	C	0	C	2	NC	>50	NC
SO	7	10	C	0.590	C	2	NC	2	NC	>50	NC
	11	5	C	0.650	C	>5	NC	>5	NC	>50	NC
	12	10	C	0.708	C	1	NC	1	NC	>50	NC
SE	8	5	C	0.675	C	2	NC	2	NC	>50	NC
	9	5	C	0.503	C	2	NC	>5	NC	>50	NC
	10	5	C	0.520	C	1	NC	4	NC	>50	NC
Centro	13	10	C	0.282	C	>5	NC	>5	NC	>50	NC

Donde NC: No cumple; C: Cumple  
P1: Prueba 1, P2: Prueba 2; referente a los dos exámenes bacteriológicos realizados en laboratorio para asegurar los resultados.

**Tabla 4.** Resultado de las pruebas químicas. Elaboración propia.

Cuadrante	N° Muestra	CRL	NOM	Nitritos	NOM	Nitros	NOM	SDT	NOM
NE	1	0.03	NC	0.009	C	1.1	C	348	C
	2	0.02	NC	0.008	C	1.2	C		
	3								
NO	4	0.01	NC	0.008	C	0.7	C	402	C
	5			0.008	C	1.1	C		
	6	0.06	NC						
SO	7	0.02	NC	0.004	C	1	C		
	11	0.03	NC	0.007	C	1.2	C		
	12	0.02	NC	0.009	C	1.3	C	368	C
SE	8	0.02	NC	0.005	C	1.5	C	370	C
	9	0.03	NC	0.007	C	1.7	C		
	10								
Centro	13	0	C	0.008	C	1.1	C	198	C

Donde NC: No cumple; C: Cumple  
CRL: Cloro residual libre; NOM: Comparación con la NOM 127-SSA1-1994; SDT: Sólidos Disueltos Totales.

**El Sauce.** Los resultados de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE-2D) se muestran en la Fig. 2, se conserva la distribución de resistividades aparentes asociada a tres horizontes geoelectricos; esto

se debe a que es el mismo acuífero separado a una distancia de 854 metros entre ambos sitios. a) Horizonte A: presenta valores resistivos aparentes altos de 40-80 (Ohm-m); se le asocia con una capa de baja velocidad de 400 m/s, la cual presenta un espesor entre 4 a 7 m que corresponde al acuífero granular, b) Horizonte B: con rango de resistividades aparentes de 25 a 12 (Ohm-m) y espesor variable entre 40 m y 25 m; se le asocia a una capa de rocas carbonatadas con presencia de fracturas en los cadenamientos 50 m, 100 m, 270 m y 360 m en las líneas 3 y 4 respectivamente y c) Horizonte C: con rangos de resistividades

aparentes bajos de 3 a 10 (Ohm-m); asociado a un medio saturado en el acuífero granular somero y en el acuífero de rocas carbonatadas; que corresponde a una capa de alta velocidad con rango entre los 2200 a 3400 m/s, que corresponde al acuífero libre en las rocas carbonatadas, existiendo un incremento en el espesor del horizonte C; en el cadenamiento 240 m correspondiente a las líneas 3 y 4 como se muestra en la Fig. 2.

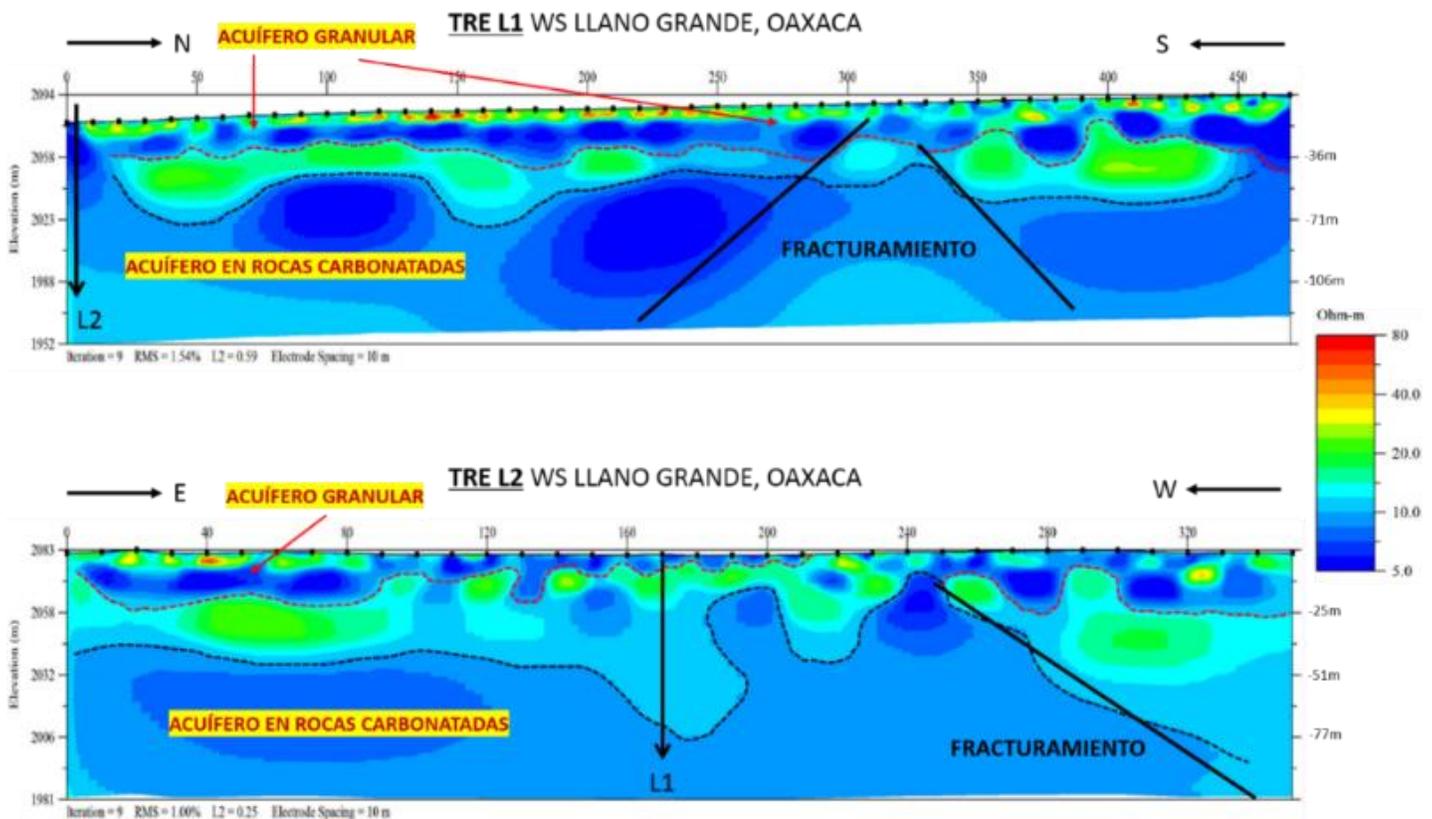


Figura 1. Secciones de Tomografía Eléctrica Resistiva de las líneas L1 y L2.

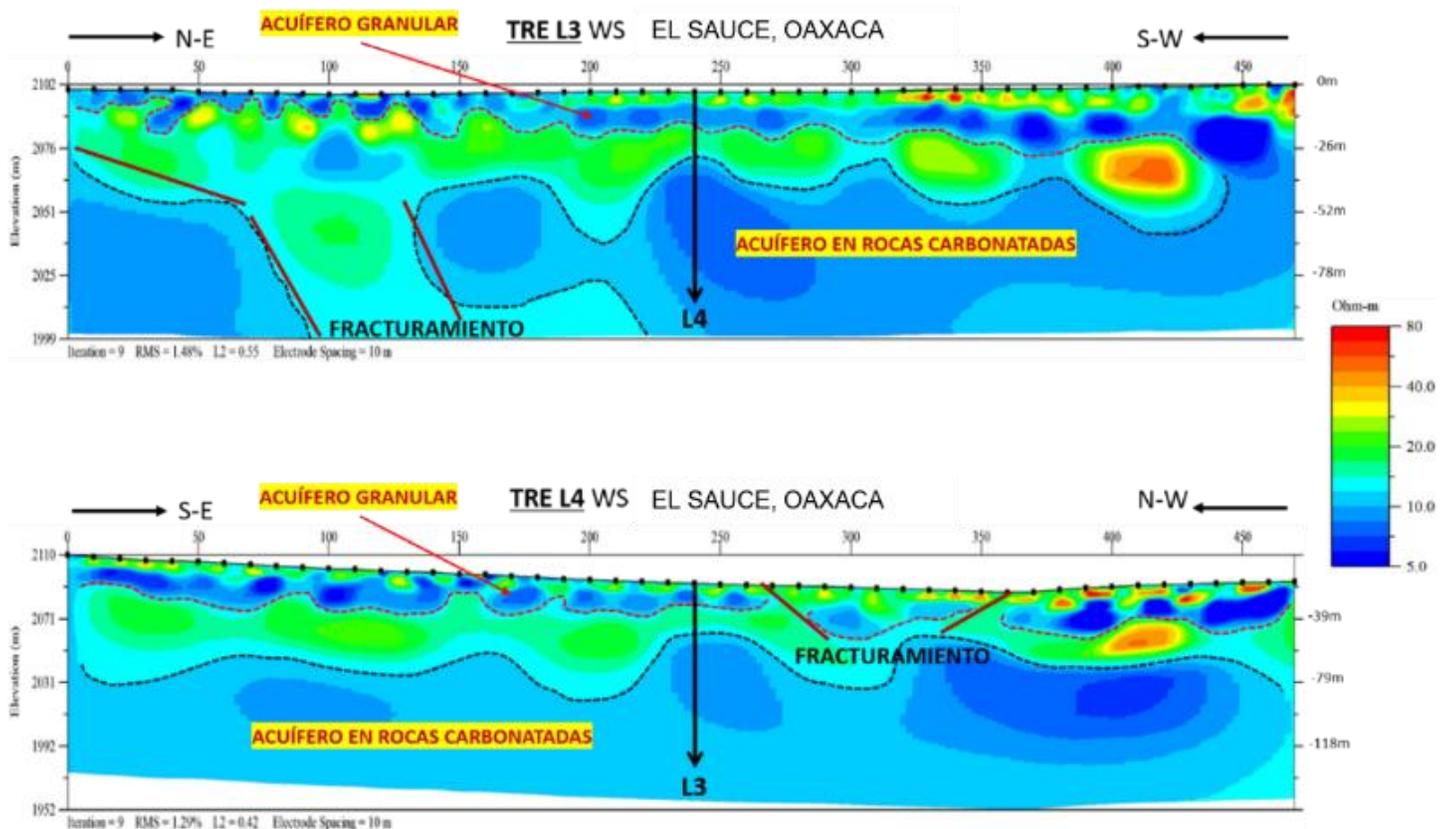


Figura 2. Secciones geoelectricas de las líneas L3 y L4

## 6. Conclusiones

El trabajo colaborativo y multidisciplinario *per se* es rico en conocimiento, talento y recursos humanos, por lo que su ejecución implica una labor ardua para que estos saberes confluyan en búsqueda de soluciones propias del trabajo ingenieril. A partir de esta intervención en la comunidad oaxaqueña se concluye que la población manifiesta pérdidas en el bienestar (desempleo y migración principalmente), desabasto del recurso hídrico que se refiere a la no disponibilidad en cantidad ni calidad aceptable, ausencia de infraestructura y mantenimiento suficientes; la fuente de agua reportada por los pobladores como principal y de los diferentes depósitos (cisternas) utilizados como almacén del líquido proveniente del río “El Pirul”, no se considera como agua potable y por lo tanto no es apta para uso y consumo humano; el sitio de Llano Grande cumple con las condiciones de presencia de saturación de agua en la roca carbonatada en el subsuelo, además de la condición de una recarga permanente del arroyo Llano Grande y del agua proveniente de la lluvia; recargando al acuífero somero

granular y el de rocas carbonatadas a mayor profundidad, y existe una correlación en la respuesta de la geofísica en el subsuelo y de las unidades geohidrológicas definidas, por tanto, se concluye que el sitio de Llano Grande es el más propicio para la localización de un pozo de agua.

Estas conclusiones, producto del análisis de los resultados de los estudios, no son más que los ejes del diagnóstico integral. Dicho diagnóstico crea espacio para la reflexión sobre la continuidad, diseño y ejecución probables de un proyecto que atienda a la normatividad oficial, a los estándares técnicos permisibles y a su vez, las necesidades latentes en la comunidad. Diseñar la línea de conducción, evaluar sus costos y beneficios podrían ser las tareas futuras del equipo de trabajo en colaboración con el municipio de Concepción, Buenavista.

A la fecha, este diagnóstico provee al municipio de datos contundentes para la resolución del problema; por lo que, pensar en subsidios gubernamentales y/o financiamiento, quizá sea el momento para crear acciones que se traduzcan en la tan esperada dotación



de agua con calidad y de manera constante en la comunidad.

## Referencias

- Álvarez, S. A. A., Gutiérrez, F. O., & Samaniego, Á. F. N. (1994). Structural evolution of the Sierra de Juárez mylonitic complex, State of Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2), 3.
- Chávez, R. E., Tejero-Andrade, A., Cifuentes, G., Argote-Espino, D. L., & Hernández-Quintero, E. (2018). Karst Detection Beneath the Pyramid of El Castillo, Chichen Itza, Mexico, by Non-Invasive ERT-3D Methods. *Scientific reports*, 8(1), 15391. [www.nature.com/scientificreports/8:15391](http://www.nature.com/scientificreports/8:15391)
- CONAGUA (2007). Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero Tehuacán, estado de Puebla, México. México.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Sistema de clasificación y levantamiento fisiográfico, escala 1: 1,000,000. Aguascalientes, México, pp.21.
- Onwuegbuzie, A. J., & Leech, N. L. (2006). Linking research questions to mixed methods data analysis procedures 1. *The qualitative report*, 11(3), 474-498.
- Pereira Pérez, Z (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, 15(1), 15-21. <http://biblo.una.edu.ve/documentos/enfoque.pdf>
- Sieber, S. D. (1973). The integration of fieldwork and survey methods. *American journal of sociology*, 78(6), 1335-1359.
- Stevanović, Z. (Ed.). (2015). *Karst aquifers-characterization and engineering*. Springer.



## ESTUDIO DE FACTORES CRÍTICOS PARA ACABADO SUPERFICIAL Y CONSUMO ENERGÉTICO EN OPERACIONES DE FRESADO CNC

**Álvaro Ayala Ruiz**

Depto. de Materiales y Manufactura, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Vicente Borja**

Depto. de Ingeniería de Diseño y Manufactura, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Eduardo Anguiano**

División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Guillermo León**

División de Ingeniería Mecánica e Industrial

### RESUMEN

La industria 4.0 requiere la adaptación de los procesos de manufactura tradicionales a procesos de manufactura avanzada que aporten flexibilidad y robustez a los mismos, generando así altos estándares de calidad en ingeniería y buen manejo de las materias primas dentro de dichos procesos. El proceso de arranque de viruta es un proceso discontinuo entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte, lo que ocasiona que al entrar en contacto con la pieza de trabajo se generen vibraciones naturales que con los parámetros de corte pobres se amplifican, pudiendo entrar en resonancia, lo que genera marcas en las piezas y alta rugosidad que implican retrabajos en las piezas finales. Por ende, contar con un dispositivo de adquisición de señales permitirá evaluar la vibración y contribuirá a la obtención de productos que cumplan con los requerimientos de calidad.

**Palabras clave:** Industria 4.0, manufactura, chatter, CNC.

### ABSTRACT

Industry 4.0 requires adaptation of traditional manufacturing to advanced manufacturing processes able to provide flexibility and robustness to them, providing high-quality standards in engineering and suitable handle of raw materials within these procedures. Chip removal manner of action is a discontinuous proceeding between the workpiece and cutting tool; consequently, natural vibrations appear that added with poor cutting parameters amplify the oscillations thus entering into resonance which generates marks in the parts and high roughness that entail reworks at the end pieces. Therefore, having a signal acquisition device will allow evaluating the vibration and will contribute to obtaining products that fulfill quality requirements.

**Keywords:** Industry 4.0, manufacturing, chatter, CNC.



## 1. Introducción

México produce una gran cantidad de productos manufacturados que se distribuyen en Norteamérica y alrededor del mundo, destacándose así, como el más importante en América Latina en cuestiones de manufactura. De este modo, el país concentra el 1.54% del comercio mundial según cifras del Banco Mundial (2017). En 2017, las exportaciones del sector manufacturero mexicano sumaron 333,303.9 millones de dólares, lo que representa cerca del 48% de las exportaciones en América Latina.

A esto debe añadirse que México se posiciona como el octavo en actividades relacionadas a los procesos de manufactura a nivel mundial y que la aparición de la industria 4.0 demanda la adaptación de los procesos de manufactura tradicionales a procesos de manufactura avanzada que provean de flexibilidad y robustez, a través de altos estándares de calidad en ingeniería y buen manejo de las materias primas dentro de los procesos de manufactura. Detonando así, cadenas de valor dinámicas que optimicen en tiempo real el funcionamiento de los procesos (Sandoval et al., 2016).

Así pues, es posible encontrar procesos de manufactura en diversos sectores como: el farmacéutico, químico, alimenticio, electrónico, automotriz y aeroespacial, por mencionar algunos. Cabe destacar que el sector automotriz representa el 17.7% de toda la industria manufacturera y la aeroespacial aporta el 11.8% de esta, lo que representa el 29.5% de la producción manufacturera total en México, siendo así, dos de las industrias que demandan condiciones específicas dentro de sus procesos.

Además, al realizar un comparativo con México y los Estados Unidos, el país proporciona alternativas de manufactura que disminuyen un 12.3% los costos de fabricación de autopartes, 16.3% la fabricación de componentes metálicos, 9.8% en la elaboración de componentes de precisión y 15.2% en la producción de insumos de plástico para la industria (Barrera, 2016).

De este modo, algunos de los procesos con mayor demanda son: la fundición, estampado, forja y maquinado. Y es justamente en los procesos de maquinado en los que se requiere de productos con especificaciones cada vez mayores y sumamente complejas. Es así como, reducir el tiempo de

maquinado, incrementar la eficiencia en el proceso (mediante el control de parámetros base: profundidad y velocidad de corte, etc.), cumplir con las tolerancias geométricas, el aspecto de las piezas, incrementar la flexibilidad (al limitar el número y duración de procedimientos de remanufacturado), maquinado de materiales con amplio rango de propiedades físicas y mecánicas, alta repetibilidad de las condiciones de maquinado y la reducción de errores humanos, se vuelve esencial para dichos procesos (Hamrol et al., 2018).

En el mayor número de los procesos para la transformación de los materiales se hace uso de equipos con elementos mecánicos, eléctricos, electromecánicos o una combinación de éstos. Uno de estos sistemas es la máquina de control numérico. Dicha maquinaria hace uso de la remoción de material mediante herramientas de corte que a altas revoluciones desbastan los materiales, por lo que la eficiencia de las operaciones de maquinado puede mejorarse al proporcionar información relacionada con el proceso de corte y la unidad de control que determina los movimientos relativos entre el herramental y la pieza de trabajo (Kumar et al., 2018). En consecuencia, si no se tiene un adecuado control de los parámetros pueden ocasionarse problemas de calidad que afectan tanto a la maquinaria como a las piezas fabricadas.

Es así como, el acabado superficial representa un indicador clave sobre el desempeño de los equipos y por ende de la aceptación o rechazo de un producto al representar aproximadamente el 93% de la operación total durante la fabricación de una pieza. Y es que el simple hecho de no cubrir adecuadamente las características finales de lo requerido por el cliente garantiza el incremento de costos en el proceso de manufactura. Dichos costos se ven reflejados cuando se requiere de postprocesos o retrabajos de las piezas, cuando se tienen desperdicios considerables de la materia prima o se requiere de tiempos extras, entre otros (Vargas et al., 2014).

Por ello, una de las variables más significativas para monitorearse dentro de los procesos de manufactura son las vibraciones. Debido a que, el efecto de estas se relaciona de manera directa con las características finales de las piezas, la vida útil de los herramientas de la maquinaria, el consumo



energético, etc. De modo que, el análisis de dicha variable permita la satisfacción integral de las necesidades del cliente y con ello el incremento de eficiencia en los procesos (Rangel, 2011).

Entonces, el proceso de monitoreo durante el maquinado constituye la base para determinar el desempeño y condiciones de la maquinaria que permitirán el cumplimiento del objetivo de manufactura deseado. De esta manera el acabado superficial, la dureza y las condiciones de monitoreo de la maquinaria se vuelven objetivos importantes tanto para el cliente como para el proceso de producción en sí. La supervisión de la maquinaria se compone entonces tanto del desempeño como de las condiciones de la maquinaria, dónde el desempeño se ve reflejado en los objetivos establecidos por el cliente y las condiciones de monitoreo en los objetivos u especificaciones establecidas para la producción de un objeto.

Así pues, las condiciones de monitoreo de la maquinaria dependen de las vibraciones en y dentro de la maquinaria. Y, en suma, el acabado superficial de una pieza dependerá no solo de los parámetros del proceso sino también de las vibraciones generadas por el herramienta utilizado ocasionando así desviaciones considerables por sobre los valores normales de operación. Por lo tanto, el efecto de las vibraciones en la maquinaria y sus elementos se ha vuelto de vital importancia para la industria manufacturera (Ratnam, 2016).

## 2. Desarrollo

### 2.1 Metodología

El proceso de monitoreo durante el maquinado constituye la base para determinar el desempeño y condiciones de la maquinaria que permitirán el cumplimiento del objetivo de manufactura deseado (Ratnam, 2016). Ya que las operaciones de maquinado pueden mejorarse conociendo los parámetros del proceso de corte como velocidad de avance, profundidad de corte, ángulo de corte, tolerancias cerradas y la geometría de la pieza, así como, la unidad de control que determina los movimientos relativos entre la herramienta de corte y el área de trabajo (Kumar et al., 2018).

En suma, puede establecerse que el acabado

superficial de una pieza dependerá no sólo de los parámetros del proceso sino también de las vibraciones generadas por la herramienta de corte ocasionando desviaciones considerables sobre los valores normales de operación.

De este modo, es comprensible que la rigidez de la materia prima y los elementos de corte tengan un efecto en el aspecto final de las piezas (Sivasakthivel, 2011). Por lo que, en el presente trabajo se propone la siguiente metodología para la adquisición de información y evaluación del efecto de las vibraciones en el dominio del tiempo y la frecuencia:

- i. *Condición inicial*, recabar información característica del proceso como: profundidad y velocidad de corte, tolerancias geométricas, aspecto deseado de las piezas, duración de operaciones, propiedades físicas y mecánicas de los materiales y herramientas, entre otras.
- ii. *Monitoreo*, utilizar elementos de detección (sensores) que permitan la adquisición de señales dentro de distintos rangos de frecuencia (banda corta y ancha) durante el arranque de viruta en el proceso de fresado. Y con ello, hacer uso de técnicas frecuentemente utilizadas en el análisis de vibraciones como la transformada de Fourier para representar la información del tiempo en la frecuencia sin alterar el contenido de información y así determinar la amplitud y fase de cada una de las componentes de frecuencia de la señal.
- iii. *Identificación*, toda vez que se ha monitoreado y trabajado con las frecuencias relacionadas al proceso; se prevé la obtención de características específicas de las señales que permitan diferenciar las fases entre corte-impacto-corte.
- iv. *Correlación*, con la información monitoreada e identificada se correlacionarán los efectos existentes entre una señal y las características finales de la pieza, y con ello, establecer parámetros de control que permitan disminuir la aparición de defectos durante el proceso.
- v. *Recomendaciones*, elementos necesarios para que los procesos se lleven a cabo de mejor manera, manteniendo la estabilidad de estos, reduciendo el efecto de la resonancia sobre el equipo y las piezas de trabajo, haciendo uso de la información adquirida para la detección de fallos de manera oportuna.

## 2.2 Condición inicial

En la literatura se encuentran contribuciones sobre la detección de vibraciones altamente energéticas (chatter) durante las operaciones de maquinado. Los dispositivos más utilizados son dinamómetros, micrófonos, sensores de desplazamiento y acelerómetros.

Según Delio et al. (1992), los micrófonos tienen una gran sensibilidad en comparación con los otros dispositivos, sin embargo, sus limitaciones como condiciones direccionales, respuesta de baja frecuencia y la sensibilidad al ruido ambiental limitan su aplicación, además de que es difícil interpretar cuando el sistema es inestable. Según Kuljanic (2008), los dinamómetros pueden ser aplicados satisfactoriamente en operaciones de planeado y son inadecuados para operaciones de preparación básicas de fresado como ranuras, cajas, etc. Mientras que los acelerómetros proporcionan señales similares a las generadas por las fuerzas de corte y pueden ser aplicadas en un amplio rango de operaciones de fresado.

El análisis de la energía permite la obtención de elementos característicos que permiten identificar la condición de vibraciones (chatter) en las operaciones de fresado. Se utiliza este método ya que es posible evaluar las vibraciones altamente energéticas (chatter) en operaciones complejas de fresado basados en la comparación de modelos aperiódicos y periódicos.

A partir de lo anterior se propone el análisis de la energía con el fin de obtener elementos característicos que permitan identificar la condición de Chatter en las operaciones de fresado, basado en adquisición de señales de acelerómetros y energía eléctrica.

Para determinar la influencia y relación de los parámetros de corte involucrados en el maquinado de cavidades mediante una trayectoria en zig-zag en dirección X, se establecieron las dimensiones de las cavidades como 28 x 34 mm. El material seleccionado es acero 1045. En la Fig. 1 se muestra la metodología seguida para evaluar el consumo de energía eléctrica y su efecto en el medio ambiente.

Por las características de este material, se utilizó un cortador CoroMill Plura 2P340-0800-PA 1630 de SANDVIK Coromant de ocho milímetros de diámetro; con base en las recomendaciones de SANDVICK en su catálogo de cortadores CoroMill Pura grados GC1620, GC1630 y H10F, se determinó que el límite máximo permitido de la velocidad de corte fuera igual a 130 [m/min]; 117 y 104 [m/min] como nivel medio y bajo respectivamente.

Para determinar los niveles alto, medio y bajo de la profundidad de corte, se estableció en profundidad de corte total de 6 [mm] para poder asignar niveles de la misma longitud y tener una buena distribución, además, se consideró permanecer dentro del rango de medición del rugosímetro empleado. El nivel bajo, correspondiente a tres pasadas es 2 [mm], el nivel medio, con dos pasadas es 3 [mm] y el nivel alto que se alcanza con sólo una pasada es igual a 6 [mm] (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores de factores para cada tratamiento.

Niveles	Velocidad de corte [m/min]	Profundidad de corte [mm]
alto	130	6
medio	117	3
bajo	104	2



**Figura 1.** Método por seguir, según el diseño del experimento.

Tanto el traslape como el avance por diente se establecieron como parámetros fijos: 17% del diámetro del cortador y 0.033 [mm/diente]; respectivamente ya que con base en los estudios realizados por Rajme y Buensuceso, la influencia del avance por diente es prácticamente nula.

Se definió un arreglo ortogonal L-9, correspondiente a un caso de dos factores con tres niveles cada uno, que consiste en realizar 9 experimentos.

**Tabla 2.** Potencia promedio obtenida.

Experimento	Potencia promedio [W]
1	1946.94
2	1785.73
3	1712.09
4	1853.92
5	1741.32
6	1701.67
7	1855.53
8	1725.00
9	1681.07

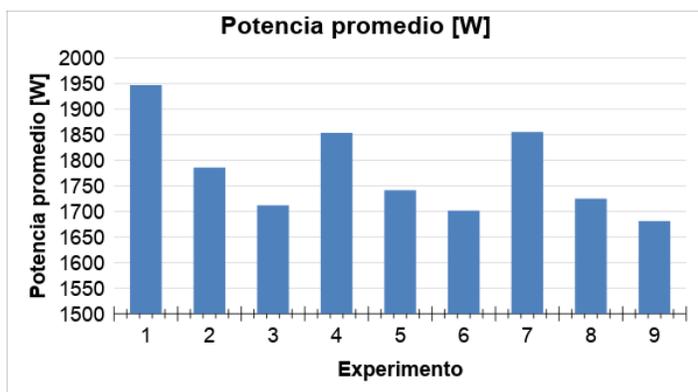
A partir de los niveles y combinaciones correspondientes, se programaron códigos G y M para realizar los maquinados con ayuda de un generador de código de control numérico.

El experimento de corte se realizó en un centro de maquinado vertical VF1, Haas; el consumo de energía eléctrica se adquirió con el analizador de redes marca FLUKE 435 series I.

### 3. Resultados

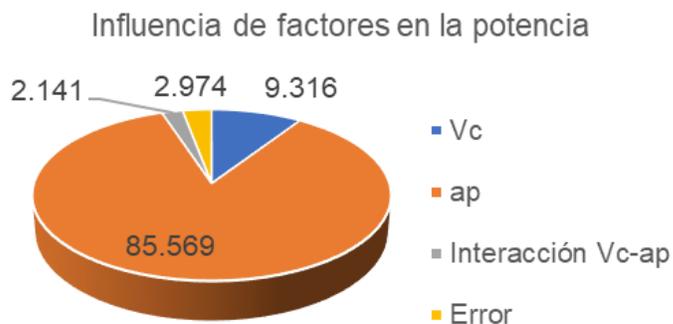
#### 3.1. Caso consumo energético-potencia

Los parámetros de corte utilizados se pueden ver en la Tabla 1. Para este caso de estudio se evaluó la potencia (Tabla 2 y Fig. 2) considerando un ciclo de manufactura, el cual inicia en el punto de referencia, realiza el maquinado y regresa al punto de referencia.



**Figura 2.** Gráfico experimento-potencia promedio.

Con base en el análisis multifactorial ANOVA se obtiene la influencia de los dos factores considerados, la cual se muestra en la Fig. 3.



**Figura 3.** Influencia de factores en el estudio de potencia.

En la Tabla 3 y la Fig. 4 se observa que, como era de esperarse, el tiempo de manufactura afecta los ciclos de maquinado en el consumo energético final.

Con un nivel de significancia de  $\alpha=0.01$ , se puede afirmar que la media de los datos de potencia promedio son estadísticamente similares.

En la Fig. 5 se muestra en color naranja el rango donde se realiza la interacción herramienta-material, a partir de la cual será posible identificar las componentes de la señal fuerza-energía definiendo así, la componente aperiódica y periódica que la conforman con lo que es posible determinar el dominio tiempo-frecuencia los indicadores de chatter.

**Tabla 3.** Energía promedio obtenida.

Experimento	Energía [J]
1	122657.29
2	191073.20
3	260237.19
4	124212.77
5	200251.45
6	280776.24
7	133598.22
8	217350.00
9	304274.46

### 4. Discusión de resultados

En el caso de estudio fue importante identificar las etapas del ciclo de maquinado, pues permite determinar la aportación de la energía variable y constante. En la Fig. 5 se puede observar esta diferencia; el pico mayor es debido a que los motores del centro de maquinado tratan de vencer la inercia de la masa de la bancada y se activa el motor del husillo.

Donde la energía requerida en el husillo es función de los parámetros de maquinado y de las vibraciones del sistema, dicha energía se compone de dos elementos uno aperiódico y otro periódico. Cuando el sistema es estable la componente periódica es mínima y si la energía en el husillo se incrementa produce inestabilidad en el sistema.

Las etapas del maquinado se clasifican de la siguiente manera:

- Constante
- Rojo: G28 a plano de seguridad.
- Amarillo: descenso en línea recta al borde superior del material.
- Morado: fin de corte a G28
- Variable
- Azul: hélice descendente.
- Naranja: corte con trayectoria zig-zag.

En cuanto a la búsqueda de los parámetros de corte que generan una menor demanda de potencia, la profundidad de corte (ap) es el parámetro crítico con un porcentaje de influencia de 85.5%, mientras que la velocidad de corte mostró un 9.3% y la interacción de ambos un 2.1%, con lo cual se asegura la influencia de estos parámetros.

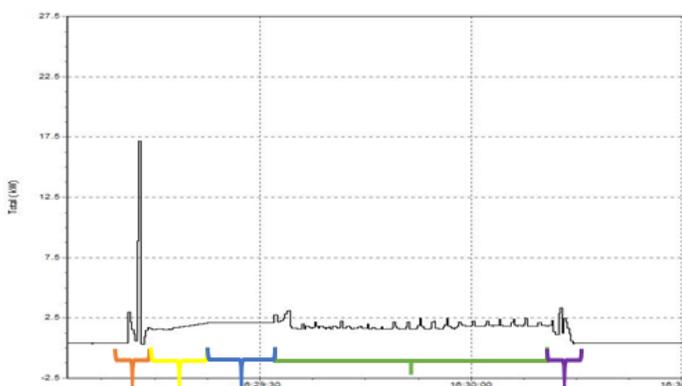


Figura 5. Tiempo-potencia durante el maquinado de una cavidad con zig-zag.

La razón por la que la profundidad de corte tiene mayor influencia se debe a la variación del tiempo del maquinado, mientras que, la interacción existente tiene poca influencia ya que, aun con las variaciones entre velocidad y profundidad de corte, la remoción de material es la misma.

El experimento con mejor resultado fue el noveno, donde ambos parámetros tienen un nivel bajo, es decir,

$V_c=104$  m/min y tres pasadas. Con una menor velocidad de corte se tiene a su vez menos revoluciones por minuto del cortador y una velocidad de avance menor, por lo que el requerimiento de potencia disminuye.

Los experimentos con menor consumo energético fueron aquellos con menor tiempo de maquinado debido a que el corte se realizó en sólo una pasada de 6 milímetros de profundidad, de esta forma se corrobora la baja influencia de la velocidad de corte, puesto que los experimentos 1, 4 y 7 corresponden a los niveles alto, medio y bajo de esta.

## 5. Conclusión

En el presente trabajo se encontró la relación entre la profundidad y velocidad de corte y su influencia en el consumo energético en el maquinado de cavidades en dirección X.

El menor consumo de energía se obtiene a altas velocidades de corte con altas profundidades de corte, generando una mayor productividad, dada la reducción del tiempo del ciclo de maquinado.

Se determinó el dominio tiempo-energía a partir de la cual es posible encontrar el dominio tiempo-frecuencia y establecer el primer indicador de la condición chatter. El segundo indicador será obtenido a través de la relación de las aceleraciones en el eje perpendicular a la pieza de trabajo y la potencia en el husillo.

Se espera que la información obtenida del análisis tiempo-energía permita diagnosticar el acabado superficial y el consumo energético. Ya que estos, son consecuencia de las frecuencias que se generan durante los desbastes de material.

## Agradecimientos

La investigación reportada en este artículo fue realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos UNAM-DGAPA\_PAPIIT IT102617.

## Referencias

- Ayala, A., Borja, V., Rajme, E., & Muñoz-Buensuceso, M. (2017). Comparación del consumo de potencia de dos estrategias de fresado CNC. *In Memorias del Memorias del XXIII Congreso Internacional*



*Anual de la SOMIM.*

- Ayala A., Buensuceso L., Plata F. (2018). Estudio de CO<sub>2</sub> equivalente en operaciones de fresado para equipos CNC. *Memorias del XXIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM.*
- Barrera, A., & Pulido, A. (2016). The Mexican automotive industry: current situation, challenges and opportunities. *Mexico, DF: Promexico. Recuperado de <http://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/the-mexican-automotiveindustry.pdf>.*
- Delio, T., Tlustý, J., & Smith, S. (1992). Use of audio signals for chatter detection and control. *Journal of engineering for industry*, 114(2), 146-157.
- Hamrol, A., Ciszak, O., Legutko, S., & Jurczyk, M. (Eds.). (2018). *Advances in Manufacturing*. Springer, 3-11.
- Kuljanic, E., Sortino, M., & Totis, G. (2008). Multisensor approaches for chatter detection in milling. *Journal of Sound and Vibration*, 312(4-5), 672-693.
- Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2018). *Advanced Machining and Manufacturing Processes. Materials Forming, Machining and Tribology*. Springer, 20-25.
- México | Data. (2017). Retrieved 11 September 2019, from <https://datos.bancomundial.org/pais/mexico>
- Rangel Magdaleno, J. (2011). Análisis de vibraciones en tiempo real para maquinaria CNC (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Querétaro, Querétaro.
- Ratnam, C., Vikram, K. A., Ben, B. S., & Murthy, B. S. N. (2016). Process monitoring and effects of process parameters on responses in turn-milling operations based on SN ratio and ANOVA. *Measurement*, 94, 221-232.
- Sandoval Ríos, M., et al., (2016). *Crafting the future, a roadmap for industry 4.0 in Mexico*. México: Secretaría de Economía.
- Sivasakthivel, P.S., et al., 2011. Sivasakthivel, P. S., Velmurugan, V., & Sudhakaran, R. (2011). Prediction of vibration amplitude from machining parameters by response surface methodology in end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(5-8), 453-461.
- Vargas Henríquez, L., Pedraza Yapes, C., Devia Acosta, C., & Martínez Marrugo, C. (2014). Development of Predictive Model for Surface Quality in Turning Process for High Strength Steels. *Prospectiva*, 12(1), 55-63.



## MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS MEDIANTE HERRAMIENTAS DIGITALES

**Lázaro Morales Acosta**

Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales

**Alexis Alfonso Santos Salinas**

Laboratorio de Ingeniería Mecánica “Ing. Alberto Camacho Sánchez”

### RESUMEN

La incorporación de tecnología en áreas como: la educación, salud, investigación, administración e incluso en la conservación del medio ambiente es inminente, sin embargo, la integración de nuevas técnicas, instrumentos y procedimientos para complementar o incluso sustituir a los vigentes, deberán ser validados por los expertos del área del conocimiento que se trate y en consecuencia, los profesionales de estas áreas deben de tener apertura al uso de nuevas herramientas sin abstenerse de la cautela que se requiera. El presente trabajo presenta una metodología para lograr la construcción de un modelo 3D virtual de una persona a partir de un conjunto de fotogramas capturados desde distintos puntos de observación, el modelo construido presentará la oportunidad de realizar mediciones antropométricas utilizando herramientas virtuales de medición. En el trabajo se dan a conocer los requerimientos técnicos para la implementación de la metodología propuesta, así como, un esquema para registrar en forma ordenada la información. Como resultado de se puede apreciar que se utilizan los conceptos tradicionales de antropometría propuestos por la ISAK adicionando el uso de la tecnología, lo que permite cuantificar las dimensiones del cuerpo humano en forma flexible.

**Palabras clave:** Antropometría, Biomecánica, Reconstrucción 3D, Modelo virtual, Medidas de segmentos

### 1. Introducción

Ya sea por razones o imperativos puramente materiales como la simple subsistencia, la selección de los guerreros o trabajadores más capaces, o por consideraciones sociales y artísticas más abstractas, el ser humano siempre se ha preocupado por la forma, proporción y la composición de su cuerpo [1], generalmente como referencia a la necesidad y utilidad de estas en la selección de las personas más idóneas para la guerra o el trabajo, así como para valoraciones estéticas y artísticas. La antropometría o cineantropometría fue presentada como una ciencia en 1976, en el Congreso Internacional de las Ciencias de la Actividad Física, celebrado en Montreal, y 2 años después fue aceptada como ciencia por la UNESCO, en el International Council of Sport and Physical Education [2].

Dada la falta de un reglamento para la toma de mediciones los investigadores utilizaban las dimensiones que se adaptaran a sus estudios o referencias que no se podían respaldar en ningún otro

lugar en el mundo. Por lo tanto, se crean las Normas Internacionales para la Valoración Antropométrica hechas por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) [3], como respuesta a la necesidad de estandarizar globalmente la antropometría.

La antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas. Cuando hablamos de antropometría acostumbramos a diferenciar la antropometría estática, que mide las diferencias estructurales del cuerpo humano, en diferentes posiciones, sin movimiento, de la antropometría dinámica, que considera las posiciones resultantes del movimiento, ésta va ligada a la biomecánica [4].

Se debe advertir, antes de continuar, que los resultados obtenidos después de un estudio antropométrico deben aplicarse con criterios amplios y razonables. La persona “media” no existe, ya que,

aunque alguna de sus medidas corresponda con la media de la población, es seguro que no ocurrirá esto con el resto [3].

Las características antropométricas y funcionales de la persona son importantes determinantes de las condiciones ergonómicas; por tanto, los estudios antropométricos deben referirse a poblaciones específicas. Estas características poblacionales son fundamentales para establecer bases de datos normativas que permitan la toma de decisiones adecuadas en relación con los parámetros para el diseño de sistemas de trabajo ergonómicos.

Por su parte la fotogrametría debido a la resolución de las imágenes concede capturar a detalle la forma (en perspectiva) en la que el objeto en 3D, se requiere obtener imágenes desde distintos puntos de conservación para lograr reconstruir un modelo sin defectos causados por perspectiva además de evitar falacia en las dimensiones. [5].

La fotogrametría permite la creación de modelos 3D mediante un barrido total de un objeto, o en este caso una persona, para su posterior medición, esto da pie a poder realizar una medición antropométrica de manera virtual.

Existen dos formas para realizar la fotogrametría, en la primera el modelo se mantiene en una posición estática, mientras que la cámara es la que se mueve alrededor, mientras que, en la segunda, la cámara fotográfica es la que se mantiene estática, y al modelo se le hace girar, para así tener un barrido completo.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una metodología que permita establecer los procedimientos y etapas para construir un modelo virtual en 3D a partir del uso de fotogramas obtenidos con un medio convencional en 2D, también se planteará la adquisición de mediciones sobre el modelo virtual con base en los principios de la antropometría y se deberá proponer un formato homologado del manejo de la información.

## 2. Metodología

Para realizar la medición de parámetros antropométricos en un modelo virtual, se propone seguir la siguiente secuencia de eventos, mostrada en la Fig. 1.

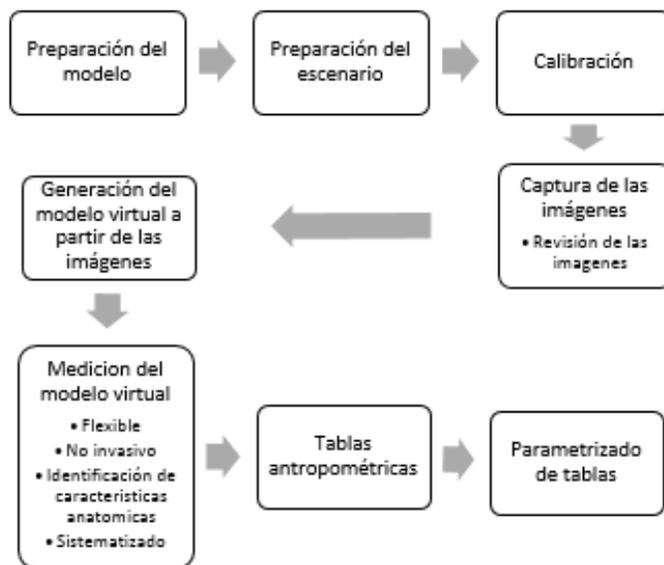


Figura 1. Esquema de la metodología.

- 1) **Preparación del modelo:** Los voluntarios preferentemente deberán portar un estilo de vestimenta específico, el cual consta de ropa que se ajuste al contorno de su cuerpo, es muy importante evitar dentro de lo posible pliegues en la ropa. En esta etapa se le indica al voluntario que en la etapa captura de imágenes deberá conservar una posición en bipedestación, mantenerse relajado, sin movimiento y con la vista al frente. Es muy importante dar a conocer estas condiciones para lograr una captura de las imágenes con la menor distorsión y con ello capturar la fidelidad del cuerpo de interés (ver Fig. 2).

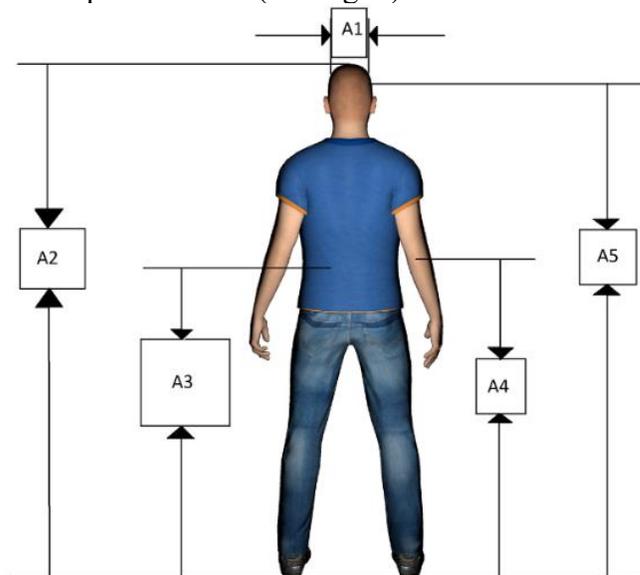


Figura 2. Posición de captura.

- 2) **Preparación del escenario:** Se requiere un espacio aproximado a 8 metros cúbicos ( $2 \times 2 \times 2$  m), es importante tener control de la iluminación del lugar y para el caso de identificar fuentes de luz diferenciada se recomienda el uso de un fondo negro, buscando evitar capturar imágenes con penumbra. El escenario deberá disponer de los accesorios para ubicar un sistema de iluminación de intensidad constante recomendable (3000 lm) y deberá permitir con libertad el desplazamiento del observador en todo el perímetro del objeto a reconstruir, incluyendo tomas que contengan el plano transversal. En la Fig. 3 se presenta un esquema conceptual de un escenario.



Figura 3. Propuesta de configuración del escenario.

- 3) **Calibración de las muestras:** Para una correcta captura de fotogramas útiles para lograr una reconstrucción 3D del modelo, el tener la capacidad de controlar la distancia entre el modelo y el sistema de captura (cámara Nikon® D7200 con un lente de 20 mm) es trascendental para disminuir errores por diferencia de escala. Como parámetro de referencia entre una escala gráfica y una escala real se propone capturar la longitud de la nariz o la distancia entre sienes. Para el caso del lente propuesto se recomienda una distancia óptima 1.5 m entre el dispositivo de captura y el sujeto a reconstruir.
- 4) **Captura de imágenes:** Para obtener de un modelo virtual 3D con una resolución útil para realizar mediciones virtuales se propone la captura de un total de 7 fotografías como mínimo a lo largo de

cada eje posicionado en cada vértice de un pentágono, teniendo como referencia el esquema de la Fig. 3, se propone realizar un barrido iniciando la primera toma entre tobillos y rodillas, se debe tener un especial cuidado en el plano frontal, un buen enfoque de la persona permite obtener un modelo con buena calidad en la topografía.

Aspectos que revisar en las imágenes capturadas:

- Enfoque correcto del modelo.
- Iluminación constante.
- Evitar: objetos en movimiento, objetos extraños al modelo, sombras, y superficies reflejantes.

- 5) **Generación del modelo virtual:** La generación del modelo virtual se logra utilizando las herramientas del software Recap™ Photo de Autodesk®. El procedimiento por seguir inicia con la transferencia de las fotografías a la nube de Autodesk®, lo cual permite un mejor rendimiento del procesamiento de la información gráfica. Una vez que se encuentran las imágenes cargadas en el espacio virtual se procede a reconstruir un modelo 3D virtual. Se pueden presentar diversas distorsiones en un modelo virtual que se pueden atribuir a la calidad de las imágenes, la captura de cuerpos en movimiento, el enfoque, efectos de iluminación diferenciada, en el caso que el modelo virtual generado presente defectos, se aconseja revisar.

El software Recap™ Photo permite convertir el formato del archivo, se recomienda utilizar el modelo en el formato \*.STL, manteniendo la nube de puntos obtenida.

- 6) **Medición del modelo virtual:** Para la etapa de medición virtual de las longitudes y perímetros se recomiendan las herramientas de CySize, software creado por la empresa Headus. La cinta métrica digital tiene la propiedad de adaptarse a las mallas 3D. Dependiendo de la medición que se requiera realizar, el software CySize tiene herramientas ya programadas. Existen la posibilidad de medición en secciones específicas del modelo, para lo cual es posible insertar puntos de control y con ello tener la capacidad de crear una trayectoria. Con el uso de esta herramienta se obtuvieron mediciones de diámetros: del cuello, pecho, cintura, cadera y

muslo, como se observa en la Fig. 4. También cuenta con la herramienta para realizar la medición de distancias lineales, como: la distancia entre hombros, esta herramienta nos permite tener dos lecturas, una que es la distancia lineal entre dos puntos o la distancia entre dos puntos siguiendo una trayectoria alrededor del volumen del cuerpo. Todas estas herramientas nos permiten identificar características anatómicas, sin tener contacto físico con el modelo, por lo cual este método de medición no es invasivo y al ser una herramienta digital nos permite girar y manipular el modelo a nuestra conveniencia. Una virtud adicional por el manejo de esta herramienta se relaciona con la opción de nombrar a los segmentos medidos, y estos datos pueden ser exportados en formato \*.csv.

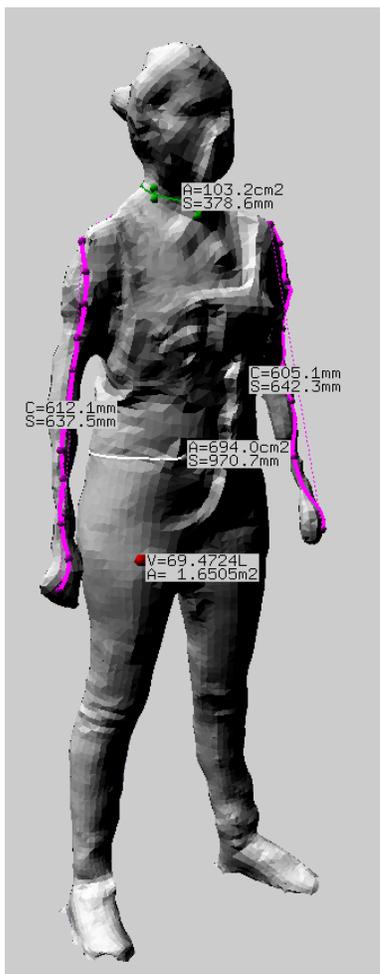


Figura 4. Toma de mediciones en software CySize.

ordenada para su posterior manejo estadístico. Ejemplo de Tabla I relacionada con la Fig. 2.

A – Hombres					
Sujeto/Medida	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

Figura 5. Tabla de datos capturados durante las mediciones antropométricas.

8) **Parametrización de tablas:** En este trabajo se presenta la propuesta para que los valores de longitud sean convertidos a un parámetro adimensional en función de la estatura, lo cual permitiría tener un conjunto de datos que posteriormente podrán ser comparados y manejados en forma de datos experimentales, obteniendo como beneficio suprimir las particularidades que pudieran distraer el análisis.

### 3. Resultados y Discusión

Se obtuvo un modelo 3D a partir de los fotogramas, lo cual lo hace un proceso económico y accesible para varias aplicaciones, Al contar con un modelo virtual y herramientas para su visualización se utilizaron características antropométricas que facilitan la medición, logrando un mejor manejo del modelo, un procedimiento no invasivo, no requiere de un contacto físico, el modelo conserva la posición estática independientemente de la rotación, se puede apoyar la medición de herramienta digitales para identificar las marcas anatómicas de referencia.

Con el desarrollo de este trabajo se logró determinar una distancia óptima para la captura de fotogramas, el número de estos y se logró identificar los formatos de transferencia de datos entre los distintos softwares utilizados.

7) **Tablas antropométricas:** Al tener identificados los parámetros ergonómicos de interés y etiquetados en el modelo virtual se pueden realizar múltiples mediciones obtener la captura en forma



Los resultados obtenidos se parametrizaron con respecto a la altura del modelo, para este caso fue de 1.63 metros. Los cuales son presentados en la Tabla 1.

Actualmente los estudios antropométricos en México generan información útil para diversas áreas de la salud, del deporte, de la antropología, las ciencias forenses, de la industria del calzado y del vestido, del diseño, etc. Los resultados apegados a las normas son importantes para el diseño de utensilios, maquinaria y lugares de trabajo, que se adapten a la morfología del mexicano. Estos estudios son laboriosos tanto para los que toman las medidas como para los sujetos de estudio. Mediante herramientas digitales es posible disminuir esta dificultad, y de esta manera realizarlos en un mayor tiempo y a un mayor número de personas, por la facilidad que resulta el utilizar un modelo 3D, logrando así un mejor estudio al recabar más muestras completas.

**Tabla 1.** Resultados de las mediciones.

Nombre del segmento	Resultados	
	Distancia medida [m]	Distancia parametrizada
Brazo izquierdo	0.6121	0.3755
Brazo derecho	0.6051	0.3712
Perímetro de cuello	0.3786	0.2322
Perímetro de cintura	0.9707	0.5955

Resulta de mucha importancia trabajar en la generación de muchos modelos virtuales para aplicar las normas ISAK, para someterlas a los estrictos controles de los métodos antropométricos.

#### 4. Conclusiones

La implementación de la esta metodología facilita la generación del cuerpo humano virtual en 3D, así como, obtener dimensiones de los segmentos corporales de interés en una etapa de postproceso, teniendo la oportunidad de utilizar herramientas digitales para obtener datos antropométricos con mayor precisión, además de tener la oportunidad de medir sobre un modelo fijo (posición anatómica, sentado o en bipedestación). Se presentará la oportunidad de verificar la medición en forma

atemporal y la posibilidad de generar una base de datos con las mediciones registradas. Se reconoce que el presente trabajo es una primera propuesta y no ha sido validada por expertos certificados en mediciones antropométricas.

La oportunidad de realizar mediciones en forma virtual generará la oportunidad de analizar casos como medición de infantes, personas con alto índice de masa corporal, personas de la tercera edad con algún padecimiento que impida una postura estática por un periodo de tiempo.

#### Agradecimientos

Se agradece el tiempo y la paciencia a la alumna Tania Robledo García de la FI de la UNAM, a la DGAPA por su apoyo financiero mediante el proyecto PE105618. También al Biólogo Germán Álvarez Lozano por su colaboración desde el planteamiento hasta la ejecución del proyecto.

#### Referencias

Porta, J. (2010). Cineantropometría, historia, presente y futuro. Barcelona: *Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya*.

Carmenate Milián, L., Moncada Chévez, F. A., Leiva, B., & Waldemar, E. (2014). *Manual de medidas antropométricas*.

Cineantropometría, La Sociedad Internacional para el Avance de la (2001). *Normas Internacionales Para La Valoración Antropométrica*.

Westat, Inc. (1988). "National Health and Nutrition Examination ", no. III.

Morales Acosta, L. (2013). Análisis De La Marcha de Equinos Mediante la Aplicación de Técnicas Combinadas (Acelerometría- Fotogrametría Secuencial) (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.



# MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO CILINDRO PARABÓLICO

**Dr. Sergio Quezada García**  
Depto. de Sistemas Energéticos

**Heriberto Sánchez Mora**  
Depto. de Mecánica, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

## RESUMEN

Los concentradores solares son una de las tecnologías que permiten aprovechar la energía solar debido a que proporcionan energía limpia, fiable y amigable con el ambiente para su uso en forma de calor o electricidad. El modelado y la simulación de los concentradores solares puede ser útil para el desarrollo de dicha tecnología debido a que se pueden probar diferentes materiales y configuraciones de los equipos, así como diferentes fluidos de trabajo; esto con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema. Por lo tanto, es importante contar con modelos matemáticos que describan de forma precisa la transferencia de calor a través del sistema. En este trabajo se presenta un modelo matemático de transferencia de calor, en estado estacionario, para un concentrador solar tipo cilindro parabólico, con el cual se puede obtener la distribución radial y axial de temperatura del sistema. Se propone una secuencia de cálculo para resolver el modelo matemático de forma iterativa por medio de un sencillo método numérico. Posteriormente el modelo es implementado en Python y validado con datos publicados en la literatura para agua a alta presión y aceite térmico. Los resultados muestran que el modelo matemático describe con bastante exactitud el comportamiento del sistema debido a que la mayor diferencia hallada entre la eficiencia calculada con el modelo y la reportada por la literatura es menor a 5%. Finalmente se utiliza el modelo matemático para determinar cómo cambia la eficiencia del concentrador modificando algunas variables de entrada tales como el flujo másico y la radiación solar incidente.

## 1. Introducción

### 1.1 Demanda y medio ambiente

La demanda de energía aumenta día a día y los recursos no renovables se agotan a un ritmo preocupante (Kumar et al., 2017). Lo anterior aunado a la creciente preocupación por el calentamiento global y los problemas ambientales, ha incentivado el desarrollo de la energía renovable, que es cada vez más importante para asegurar nuestras necesidades energéticas (Gupta et al., 2015).

La energía solar es la fuente de energía más abundante del mundo, se ha demostrado que tiene un potencial significativo para satisfacer una parte considerable de la demanda de energía a nivel mundial (Kalogirou, 2009; Yilmaz, 2018). Así el sol es la fuente de energía más antigua y la más utilizada para

múltiples aplicaciones, desde el calentamiento de agua en la industria hasta la producción de electricidad, especialmente en regiones con alto nivel de irradiación solar, donde los concentradores solares son la mejor opción para la producción de energía eléctrica de forma comercial (Ogunmodimu y Okoroigwe, 2018).

De este modo, las tecnologías de concentradores termosolares proporcionan energía limpia, fiable y amigable con el medio ambiente para su uso en forma de calor o electricidad (Müller et al., 2004; Prakash et al., 2016). Este tipo de tecnología ofrece ventajas significativas como la capacidad de almacenamiento, un alto rendimiento económico y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Yilmaz y Mwesigye, 2018).

### 1.2 Concentradores solares



La energía solar concentrada está recibiendo un interés considerable entre investigadores, desarrolladores y gobiernos. Actualmente existen cuatro principales tecnologías de concentradores solares térmicos: sistemas de cilindro parabólico, sistemas de torre central, sistemas de disco y sistemas lineales Fresnel. Entre todas las tecnologías termosolares, el concentrador solar de cilindro parabólico tiene una gran importancia tecnológica y comercial (Patil et al, 2014), esto se debe a que es la tecnología dominante entre los concentradores solares de media temperatura (Yilmaz y Mwesigye, 2018). Esta tecnología ha tenido un progreso sustancial en el desarrollo de superficies reflectoras, receptores, fluidos alternativos de transferencia de calor y almacenamiento térmico (Price et al., 2002).

Los concentradores solares de cilindro parabólico se utilizan en gran medida para producir calor a grandes temperaturas para aplicaciones de procesos y plantas de producción de energía eléctrica (Azzouzi et al., 2018; Yilmaz y Mwesigye, 2018). Por lo tanto, la investigación del efecto de las diversas condiciones de funcionamiento sobre la eficiencia general de estos dispositivos ha sido un tema de gran interés en la última década (Khakrah et al., 2018).

Sin embargo, los modelos matemáticos de transferencia de calor que se han desarrollado son resueltos introduciendo correlaciones empíricas que son válidas únicamente para el sistema en estudio (Kalogirou, 2009) o bien son resueltos mediante software tipo CFD (computational fluid dynamics) cuyas licencias tienen costos de miles de dólares. Tzivanidis et al. (2015), plantean un modelo matemático y proponen una secuencia de cálculo para resolverlo mediante un proceso iterativo, sin embargo, desprecian la transferencia de calor por conducción a través de la cubierta de cristal y el absorbedor, adicionalmente consideran que la temperatura del sistema es constante a lo largo del eje, esta simplificación impide obtener una distribución de temperaturas en el sistema.

Así el presente trabajo tiene por objetivo plantear un modelo matemático práctico de transferencia de calor, aplicable a cualquier sistema y con el cual se pueda obtener la distribución radial y axial de temperaturas para determinar el comportamiento de un concentrador de cilindro parabólico bajo diversas

condiciones de funcionamiento.

### 1.3 Metodología

Para alcanzar el objetivo del presente trabajo primero se hace una descripción del proceso de transferencia de calor en el sistema para posteriormente plantear un modelo matemático para el receptor del concentrador solar. Posteriormente se propone la secuencia de cálculo para resolver el modelo. El modelo es implementado en Python y empleando OpenGL se crea una interfaz gráfica. Posteriormente el modelo es validado con datos publicados en la literatura. Finalmente se prueba el comportamiento del concentrador bajo diferentes condiciones de operación.

## 2. Modelo matemático

**2.1 Descripción de sistema** Un concentrador solar de cilindro parabólico es una tecnología que concentra la energía solar para convertirla en calor a alta temperatura. Puede alcanzar una temperatura de hasta 550°C (Tian y Zhao, 2013). Estos concentradores tienen un reflector curvado en forma de parábola que refleja y concentra la radiación solar en una línea focal donde se encuentra el elemento de captación de calor llamado receptor. Parte de la radiación que incide en el receptor es transferida al fluido de trabajo mientras que otra parte es emitida por el sistema al medio ambiente (ver Fig. 1). El receptor está compuesto básicamente por un absorbedor y una envoltura de vidrio. El espacio anular entre el absorbedor y el tubo de vidrio es aspirado para minimizar las pérdidas de calor por convección entre ellos.

### 2.2 Modelación matemática

Los simuladores de concentradores solares son una solución utilizada cuando la disponibilidad de la radiación solar no es suficiente para la investigación experimental o bien cuando se desea hacer diseño y análisis de estos sistemas (Gallo et al., 2017).

En esta sección se modela la transferencia de calor a través del receptor, esto debido a que la absorción de la radiación solar concentrada dentro del receptor es el paso clave que rige la eficiencia global de los sistemas solares térmicos (Chen et al., 2015).

### 2.3 Modelo matemático de transferencia de

### calor para el receptor

Realizando un balance de energía en estado estacionario para un cilindro hueco, en donde no hay generación ni consumo de energía, se tiene:

$$\frac{drq_r}{dr} = 0 \quad (1)$$

donde  $r$  es la coordenada radial y  $q_r$  es el flux de calor evaluado en el radio  $r$ . Al separar las variables e integrar la ec. (1) se tiene que el término  $rq_r$  es igual a una constante. Por lo tanto, se pueden escribir dos relaciones, una de ellas para el calor que sale del sistema y otra para el calor que ingresa al sistema. Así para el calor que sale del sistema se tiene:

$$(r_0q_0)_{out} = r_{co}q_{co} = r_{vi}q_{vi} = r_{vo}q_{vo} \quad (2)$$

donde los subíndices hacen referencia a la posición, es decir,  $co$ ,  $vi$  y  $vo$  se refieren a la superficie exterior del cobre, la superficie interna del vidrio y la superficie externa del vidrio, respectivamente. Para el calor que se transporta al interior del sistema se tiene:

$$(r_0q_0)_{in} = r_{co}q'_{co} = r_{ci}q_{ci} \quad (3)$$

donde el subíndice  $ci$  hace referencia a la superficie interior del tubo de cobre y  $q'_{co}$  es el flux de calor transportado al interior del tubo. Es importante resaltar que  $q'_{co} \neq q_{co}$ .

El calor transferido por radiación entre el tubo de cobre

$$q_{co} = \frac{\sigma(T_{co}^4 - T_{vi}^4)}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{r_{co}}{r_{vi}} \frac{1 - \epsilon_v}{\epsilon_v}} \quad (4)$$

donde  $\sigma$  es la constate de Stefan–Boltzmann,  $T$  es la temperatura,  $\epsilon$  es la emisividad, mientras que los subíndices  $c$  y  $v$  se refieren al cobre y al vidrio, respectivamente, donde  $i$  y  $o$  hacen alusión al sistema en la posición interna y externa.

El calor transferido por conducción a través del espesor del vidrio está dado por:

$$r_0q_0 = \frac{T_{vi} - T_{vo}}{\ln\left(\frac{r_{vo}}{r_{vi}}\right)} k_v \quad (5)$$

donde  $k$  es el coeficiente de conductividad térmica. En la superficie exterior del tubo de vidrio el calor es transferido tanto por convección como por radiación. Por lo tanto, se tiene:

$$q_{vo} = q_{cv,vo} + q_{rad,vo} \quad (6)$$

donde los subíndices  $cv$  y  $rad$  hacen referencia a la convección y a la radiación, respectivamente. El calor transferido por radiación hacia el medio ambiente está dado por:

$$q_{rad,vo} = \epsilon_v \sigma (T_{vo}^4 - T_{sky}^4) \quad (7)$$

donde  $T_{sky}$  se refiere a la temperatura cielo. Por otro lado, el calor transferido por convección se calcula mediante la ley de enfriamiento de Newton:

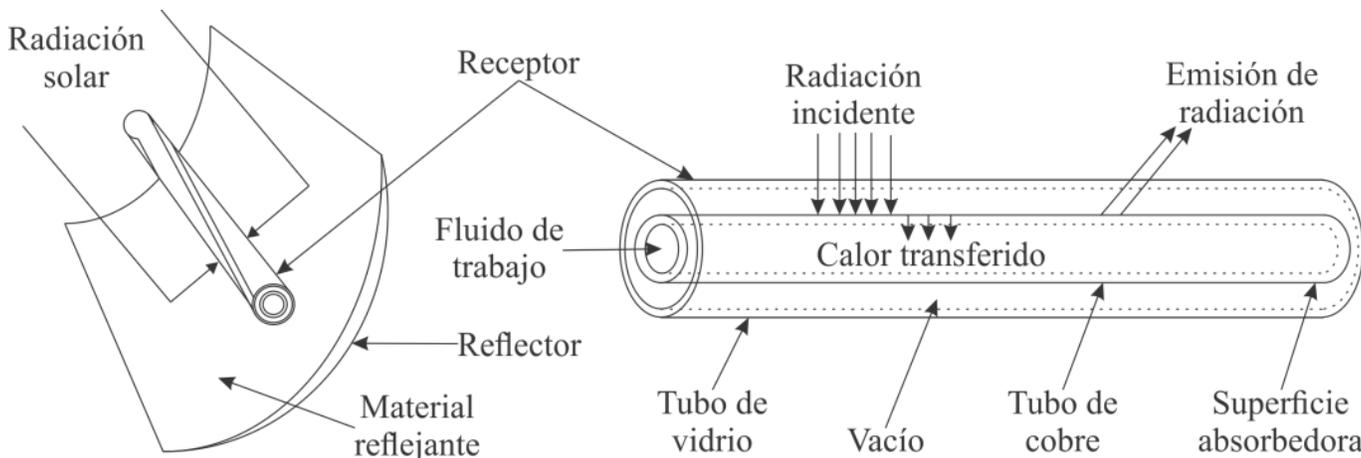


Figura 1. Esquema de un concentrador solar tipo cilindro parabólico.

y el tubo de vidrio está dado por:

$$q_{cv,vo} = h_{vo} (T_{vo} - T_a) \quad (8)$$

donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección y el subíndice  $a$  hace referencia al aire del ambiente. Para el cálculo de  $h_{vo}$  se emplea el número de Nusselt dado por:

$$Nu = \frac{h_{vo} 2r_{vo}}{k_a} \quad (9)$$

Dependiendo del tipo de convección que se tenga, ya sea libre o forzada, se toman las correlaciones apropiadas para el cálculo del  $Nu$ .

El calor neto que se transfiere al interior del sistema, tubo de cobre–fluido de trabajo, está dado por:

$$q_{co}^{in} = q_{sr} - q_{co} \quad (10)$$

donde  $q_{co}^{in}$  es el calor neto transferido al interior del sistema y  $q_{sr}$  es la radiación térmica total que incide sobre el reflector y es reflejada al absorbedor, es decir:

$$q_{sr} = \rho_c q_{sri} \frac{A_c}{A_{co}} \quad (11)$$

donde  $\rho_c$  es la reflectividad del material con el que está hecho el concentrador,  $q_{sri}$  es la radiación solar incidente y  $A_c$  es el área de captación o del reflector en este caso  $A_c = LW$ .

El calor neto que se transfiere por conducción a través del tubo de cobre está dado por:

$$(r_0 q_0)_{out} = \frac{T_{ci} - T_{co}}{\ln \left( \frac{r_{co}}{r_{ci}} \right)} k_c \quad (12)$$

El calor transferido al fluido de trabajo se calcula mediante la ley de enfriamiento de Newton, dada por:

$$q_{ci} = h_{ci} (T_{ci} - T_{ft}) \quad (13)$$

donde el subíndice  $ft$  hace referencia al fluido de trabajo y  $h_{ci}$  es calculada de manera similar a como se calcula  $h_{vo}$ . El número de Nusselt se calcula con las siguientes expresiones. Para flujo laminar se puede emplear la relación de Edwards et al. (1979) dada por:

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 \left( \frac{D_{ci}}{L} \right) Re Pr}{1 + 0.04 \left[ \left( \frac{D_{ci}}{L} \right) Re Pr \right]^{2/3}} \quad (14)$$

donde  $D$  es el diámetro y  $L$  es la longitud del tubo. Para  $2300 < Re < 10000$  se puede emplear la relación Petukhov (1970) dada por:

$$Nu = 0.125 f Re Pr^{1/3} \quad (15)$$

donde  $f$  es el factor de fricción dado por:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (16)$$

para  $Re > 10000$  se puede emplear la relación de Dittus–Boelter (1930) dada por:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (17)$$

Por otro lado, al realizar un balance de energía para el fluido de trabajo a la entrada y a la salida, en una sección de tubo con tamaño  $\Delta z$ , se tiene:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (18)$$

donde  $\dot{Q}$  es el calor transferido al fluido de trabajo, los subíndices  $out$  e  $in$  indican salida y entrada del fluido de trabajo, respectivamente,  $\dot{m}$  es el flujo másico y  $C_p$  es el calor específico.

Este modelo matemático sirve para describir la transferencia de calor, en estado estacionario, para todo el sistema. Aunque existen en la literatura modelos similares (Kalogirou, 2009; Tzivanidis et al., 2015) estos son resueltos introduciendo correlaciones empíricas debido a que resolver el modelo por un método iterativo es complicado y requiere mucho tiempo especialmente para sistemas con cubiertas múltiples (Kalogirou, 2009) o bien para simplificar el problema se desprecia la transferencia de calor por conducción tanto en la cubierta de vidrio como en el absorbedor y se considera que la temperatura y el flujo de calor es constante a lo largo del eje  $z$  (Tzivanidis et al., 2015).

A continuación, se muestra la secuencia de cálculo que se debe de seguir para resolver el modelo.

## 2.4 Secuencia de cálculo

Los pasos que se deben de seguir para resolver el modelo matemático, por medio de procesos iterativos, son los siguientes:

1. Se propone un valor para  $T_{co}$  que puede ser la temperatura ambiente.
2. Se propone un valor para  $T_{vo}$ , este valor puede ser cercano a la temperatura cielo.
3. Se multiplica la ec (4) por  $r_{co}$  para igualarla a la ec. (5), tomando en cuenta la ec. (3), así se tiene:

$$r_{co}q_{co} = r_0q_0 = r_{co} \frac{\sigma(T_{co}^4 - T_{vi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{r_{co}}{r_{vi}} \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v}} = \frac{T_{vi} - T_{vo}}{\ln\left(\frac{r_{vo}}{r_{vi}}\right)} k_v \quad (19)$$

Con esta expresión se calcula la temperatura  $T_{vi}$  por medio del método de Newton–Raphson.

4. Se calcula  $q_{vo}$  con la ec. (6) para lo cual se requiere calcular  $q_{rad,vo}$  y  $q_{cv,vo}$ .
5. Se multiplica la ec. (4) por  $r_{co}$  y la ec. (6) por  $r_{vo}$ , así es posible igualarlas:

$$r_{co}q_{co} = r_{vo}q_{vo} = r_{co} \frac{\sigma(T_{co}^4 - T_{vi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{r_{co}}{r_{vi}} \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v}} = r_{vo} (q_{cv,vo} + q_{rad,vo}) \quad (20)$$

La igualdad se cumple cuando corresponde el valor de  $T_{vi}$  con el valor propuesto de  $T_{co}$ . Para comprobar esto se define un error dado por:

$$E_1 = r_{co} \frac{\sigma(T_{co}^4 - T_{vi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{r_{co}}{r_{vi}} \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v}} - r_{vo} (q_{cv,vo} + q_{rad,vo}) \quad (21)$$

Si el error es menor que una tolerancia dada, quiere decir que el valor de  $T_{vo}$  propuesto es correcto, de ser mayor el error a la tolerancia se repite el procedimiento desde el segundo paso proponiendo el nuevo valor de  $T_{vo}$  por medio de:

$$T_{vo,i+1} = T_{vo,i} + \gamma E \quad (22)$$

donde  $\gamma$  es un factor para asegurar la rápida convergencia del método numérico y debe de cumplir con  $0 < \gamma < 1$ .

5. Una vez que se tienen los valores correctos de  $T_{vo}$  y  $T_{vi}$  se calcula el calor neto que es transferido al interior del sistema empleando la ec. (10).
6. Se calcula la temperatura en la superficie interior del tubo por medio de la ec. (12) tomando en cuenta la ec. (3), así se tiene:

$$r_{co}q_{co}^{in} = \frac{T_{ci} - T_{co}}{\ln\left(\frac{r_{co}}{r_{ci}}\right)} k_c \quad (23)$$

7. Se calcula  $h_{ci}$  para calcular la temperatura del fluido de trabajo por medio de la ec. (13) al multiplicarla por  $r_{ci}$  y aplicar la ec. (3):

$$r_{ci}q_{ci} = r_{co}q_{co}^{in} = r_{ci}h_{ci}(T_{ci} - T_{ft}) \quad (24)$$

8. Se calcula la temperatura de salida del fluido de trabajo a partir de la ec. (18) considerando que:

$$q_{ci} = \frac{Q}{A_{ci}} \quad (25)$$

donde  $A$  es el área de transferencia de calor que, para un segmento de tubo, está dada por:

$$A = 2\pi r_{ci} \Delta z \quad (26)$$

Al multiplicar la ec. (25) por  $r_{ci}$ , sustituir la ec. (26) y aplicar la ec. (3) se tiene:

$$Q = 2\pi r_{co} q_{co}^{in} \Delta z \quad (27)$$

por otro lado:

$$\dot{m} = \rho v S \quad (28)$$

donde  $\rho$  es la densidad del fluido de trabajo,  $v$  es la velocidad media del fluido de trabajo en el tubo y  $S$  es el área de flujo dada por:

$$S = \pi r_{ci}^2 \quad (29)$$

Así sustituyendo las ecs. (27) – (29) en la ec. (18) se tiene:

$$2r_{co} \Delta z q_{co}^{in} = \rho v r_{ci}^2 C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (30)$$

9. Como  $\Delta z$  es pequeño, comparado con la longitud total del sistema, se debe de cumplir que  $T_{ft} = T_{out}$ , así

se calcula el error dado por:

$$E_2 = T_{out} - T_{ft} \quad (31)$$

Si el error es mayor a la tolerancia, se regresa al primer paso y se propone una nueva temperatura para el exterior del tubo de cobre empleando la siguiente expresión:

$$T_{co,i+1} = T_{co,i} + \gamma E_2 \quad (32)$$

En caso de ser menor el error que la tolerancia se ha llegado a la solución del modelo matemático para la primera sección del tubo.

10. Se avanza a la siguiente sección del tubo donde ahora la temperatura de entrada del fluido de trabajo es igual a la temperatura de salida que se acaba de calcular, es decir:

$$T_{in,i+1} = T_{out,i} \quad (33)$$

Una vez hecho esto se repite todo el proceso.

Como se puede ver el proceso es largo y requiere de una gran cantidad de cálculos, por lo tanto, se requiere programarlo para que sea práctico.

### 3. Resultados

El modelo matemático es implementado en Python y se utiliza OpenGL para crear una interfaz gráfica. Los datos utilizados para llevar a cabo la primera simulación y la validación del modelo se muestran en la Tabla 1. Es importante destacar que para este caso se emplea agua a 2 MPa y que la reflectividad se considera de 0.8015.

La validación se realiza comparando la eficiencia térmica del concentrador solar, que está dada por:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (34)$$

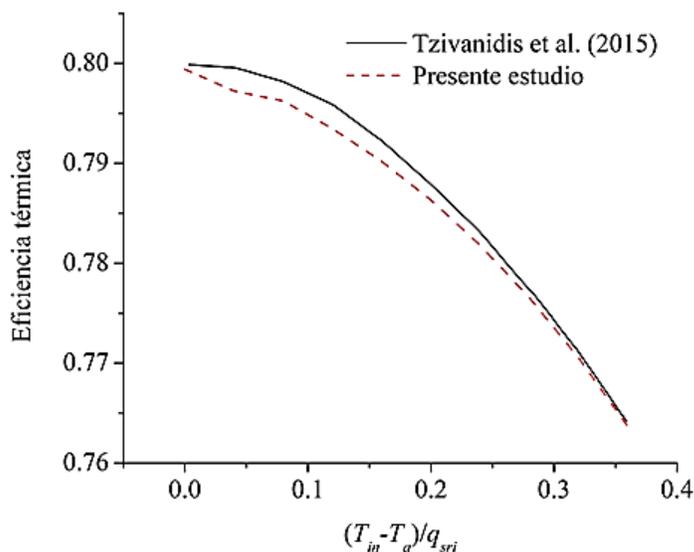
donde  $Q_u$  es el calor útil y  $Q_s$  es el calor suministrado o captado que puede calcularse a partir de la ec (11). El calor útil es el calor transferido al fluido de trabajo, en este caso el agua, puede calcularse a partir de la ec. (18) para cada segmento de tubo.

En la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos al comparar la eficiencia térmica del concentrador solar empleando el modelo matemático propuesto en este

trabajo con datos de Tzivanidis et al. (2015) quienes utilizan el simulador SolidWorks.

**Tabla 1.** Parámetros empleados para la validación (Tzivanidis et al., 2015).

Parámetro	Valor	Dimensiones del concentrador	Valor (m)
$\varepsilon_c$	0.10	$w$	0.840
$\varepsilon_v$	0.88	$L$	1.000
$\rho$	0.8015	$D_{ci}$	0.020
$q_{sri}$	500 W/m <sup>2</sup>	$D_{co}$	0.022
$\dot{m}$	0.02 kg/s	$D_{vi}$	0.032
$T_a$	10°C	$D_{vo}$	0.034
$h_{vo}$	10 W/m <sup>2</sup> K	$\Delta z$	0.05



**Figura 2.** Curva de eficiencia térmica del concentrador solar comparada con los datos de Tzivanidis et al. (2015) obtenidos en SolidWorks.

En la Fig. 3 se muestra el comportamiento del sistema para una temperatura de entrada de 30°C y de 120°C, respectivamente.

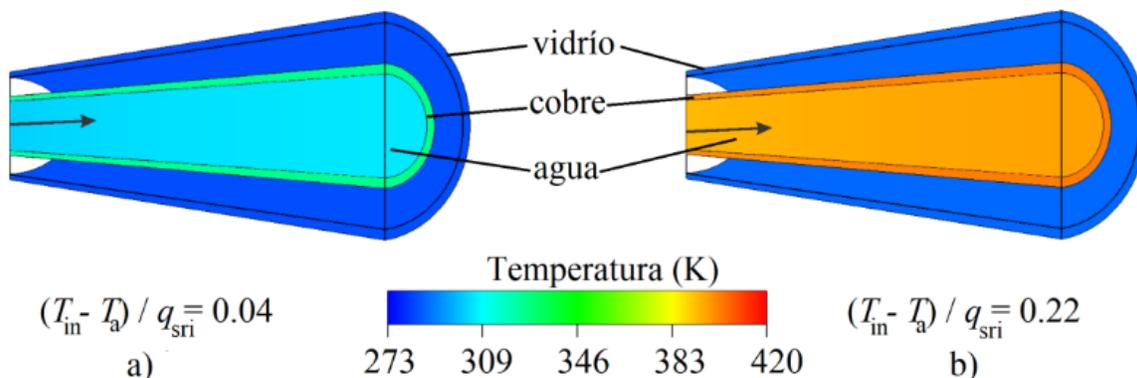


Figura 3. Comparación del comportamiento del receptor para dos diferentes temperaturas de entrada del agua.

A continuación, se utiliza el modelo matemático para calcular la eficiencia de un concentrador solar que emplea aceite térmico como fluido de trabajo, esto con el objetivo de demostrar que el modelo es aplicable a otras sustancias de trabajo y sistemas con diferentes dimensiones. Las propiedades del aceite térmico son tomadas del trabajo Bellos et al. (2016). Mientras que los parámetros del concentrador y las condiciones de operación son las reportadas por Dudley (1995). Así el presente modelo se compara el modelo de Bellos et al. (2016) que fue implementado en SolidWorks y validado con datos experimentales. Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 4. Mientras que en la Fig. 5 se muestra la distribución de temperatura que tiene el sistema cuando opera con aceite térmico como fluido de trabajo.

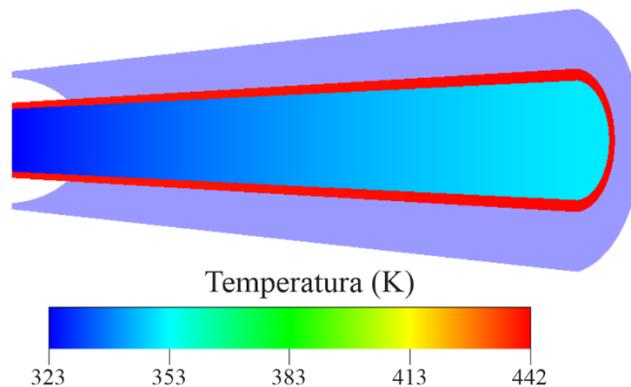


Figura 5. Distribución de temperaturas en el sistema operando con aceite térmico como fluido de trabajo.

En la Fig. 6 se muestran los resultados obtenidos al mantener todos los valores de los parámetros como en la Tabla 1 excepto la radiación solar incidente y el flujo másico. En estas simulaciones se considera la temperatura de entrada del agua igual a 110°C.

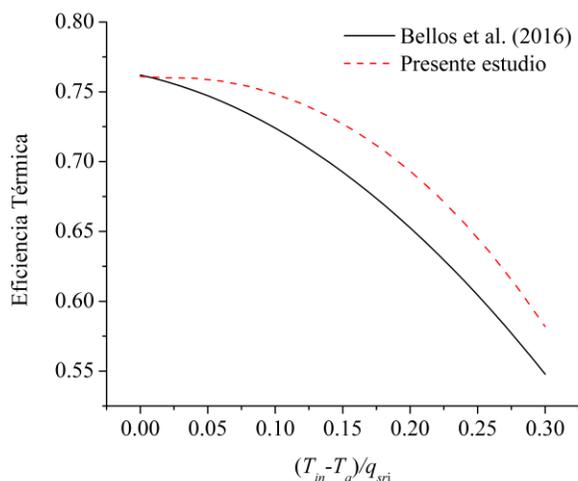


Figura 4. Curva de eficiencia térmica del concentrador solar comparada con los datos de Bellos et al. (2016) obtenidos en SolidWorks.

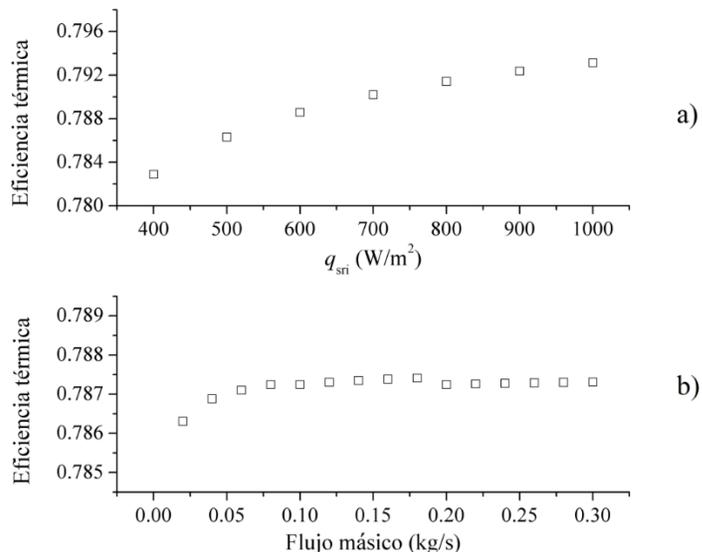


Figura 6. Variación de la eficiencia térmica en función de a) la radiación solar incidente y b) el flujo másico de agua.

## 4. Resumen y discusión

Como se mencionó anteriormente, los simuladores de concentradores solares son útiles para el diseño, el análisis y la investigación experimental de estos sistemas. En este trabajo se presentó un modelo matemático de transferencia de calor para un concentrador solar tipo cilindro parabólico. El modelo fue implementado en Python y se utilizó OpenGL para tener una visualización esquemática del sistema (ver Figs. 3 y 5).

Los resultados muestran que el modelo matemático se ajusta con precisión a los datos publicados en la literatura. El máximo error que se obtuvo de la eficiencia térmica fue menor de 5% (ver Fig. 2 y Fig. 4). Se obtuvo que la eficiencia térmica es más sensible a la radiación solar que al flujo másico del agua, de hecho, la eficiencia del sistema se mantiene constante en un intervalo de valores de flujo másico como se muestra en la Fig. 6. Por esta razón se ocupa el factor  $(T_{in} - T_a)/q_{sri}$  para evaluar la eficiencia térmica, también se puede ver que a medida que aumenta este factor la eficiencia térmica del concentrador decae, esto es debido a que la temperatura del sistema es mayor y por lo tanto es mayor el calor perdido por emisión.

Por otro lado, Hafez et al. (2018) señalan que las propiedades físicas del sistema deben de ser estudiadas y discutidas a profundidad. De este modo, debido a la incertidumbre que se tiene en las propiedades físicas, así como en las variables climáticas se deben de utilizar técnicas estadísticas para evaluar el desempeño de los concentradores solares, por ejemplo, la simulación Monte Carlo (Chen et al., 2015).

Como trabajo futuro se puede emplear el modelo matemático presentado para realizar un análisis de sensibilidad de las variables climáticas, así como de las propiedades físicas de los elementos del sistema empleando la simulación Monte Carlo.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un modelo de transferencia de calor para un concentrador solar de cilindro parabólico, con el cual se puede obtener la distribución axial y radial de temperatura del sistema. En contraste con otros trabajos donde los modelos son resueltos mediante software tipo CFD o introduciendo

correlaciones (que son obtenidas empíricamente y aplicables sólo para el sistema en estudio), en este trabajo el modelo propuesto fue resuelto mediante la propuesta de una novedosa secuencia de cálculo y el empleo de un sencillo pero confiable método numérico.

El modelo matemático de transferencia de calor presentado en este trabajo es útil para la etapa de diseño, así como para realizar pruebas sobre el desempeño de un concentrador solar tipo cilindro parabólico, debido a que los resultados obtenidos tienen un error menor al 5% con respecto a datos publicados.

## Referencias

- Azzouzi, D., eddine Bourorga, H., abdelrahim Belainine, K., & Boumeddane, B. (2018). Experimental study of a designed solar parabolic trough with large rim angle. *Renewable energy*, 125, 495-500.
- Bellos, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K. A., & Gkinis, G. (2016). Thermal enhancement of solar parabolic trough collectors by using nanofluids and converging-diverging absorber tube. *Renewable Energy*, 94, 213-222.
- Chen, X., Xia, X. L., Dong, X. H., & Dai, G. L. (2015). Integrated analysis on the volumetric absorption characteristics and optical performance for a porous media receiver. *Energy Conversion and Management*, 105, 562-569.
- Edwards, D. K., Denny, V. E., & Mills, A. F. (1979). Transfer processes. an introduction to diffusion, convection and radiation. *Series in Thermal and Fluids Engineering*, New York: McGraw-Hill, and Washington: Hemisphere Publication Co., 1978, 2nd ed.
- Dittus F.W. y Boelter L.M.K. (1930). *Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type*. Publications in Engineering, University of California, Berkeley, Vol. 2, 443.
- Dudley, V. E., Evans, L. R., & Matthews, C. W. (1995). *Test results, industrial solar technology parabolic trough solar collector* (No. SAND-94-1117). Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States).



- Gallo A., Marzo A., Fuentealba E., Alonso E. (2017). Gallo, A., Marzo, A., Fuentealba, E., & Alonso, E. (2017). High flux solar simulators for concentrated solar thermal research: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 77, 1385-1402.
- Gupta, H. K., Agrawal, G. D., & Mathur, J. (2015). An experimental investigation of a low temperature Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid based direct absorption solar collector. *Solar Energy*, 118, 390-396.
- Kalogirou, S. A. (2013). *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press.
- Khakrah, H., Shamloo, A., & Hannani, S. K. (2018). Exergy analysis of parabolic trough solar collectors using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/synthetic oil nanofluid. *Solar Energy*, 173, 1236-1247.
- Kumar, A., Prakash, O., & Dube, A. (2017). A review on progress of concentrated solar power in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 304-307.
- Müller-Steinhagen, H., & Trieb, F. (2004). Concentrating solar power. *A review of the technology. Ingenia Inform QR Acad Eng*, 18, 43-50.
- Ogunmodimu, O., & Okoroigwe, E. C. (2018). Concentrating solar power technologies for solar thermal grid electricity in Nigeria: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 104-119.
- Patil, R. G., Panse, S. V., & Joshi, J. B. (2014). Optimization of non-evacuated receiver of solar collector having non-uniform temperature distribution for minimum heat loss. *Energy conversion and management*, 85, 70-84.
- Petukhov, B. S. (1970). Heat transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties. In *Advances in heat transfer* (Vol. 6, pp. 503-564). Elsevier.
- Prakash, O., Kumar, A., & Sharaf-Eldeen, Y. I. (2016). Review on Indian solar drying status. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 3(3-4), 113-120.
- Price, H., Kearney, D., Zarza, E., Cohen, G., Gee, R., & Mahoney, R. (2002). Advances in parabolic trough solar power technology. *Journal of solar energy engineering*, 124(2), 109-125.
- Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied energy*, 104, 538-553.
- Tzivanidis, C., Bellos, E., Korres, D., Antonopoulos, K. A., & Mitsopoulos, G. (2015). Thermal and optical efficiency investigation of a parabolic trough collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 6, 226-237.
- Yılmaz, İ. H. (2018). Optimization of an integral flat plate collector-storage system for domestic solar water heating in Adana. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 19(1), 165-176.
- Yılmaz, İ. H., & Mwesigye, A. (2018). Modeling, simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review. *Applied energy*, 225, 135-174.



# OPINIÓN DE LOS PROFESORES DE TERMODINÁMICA SOBRE LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA

**Dra. Martha Rosa del Moral Nieto**  
Centro de Docencia Ing. Gilberto Borja Navarrete

**Pablo Medina Mora Escalante**  
Coordinación de Evaluación Educativa, Secretaría de Apoyo a la Docencia

## RESUMEN

Este trabajo forma parte del proyecto PAPIME PE106518, titulado: Factores que intervienen en la docencia de la termodinámica en Ingeniería causando dificultad en su enseñanza aprendizaje. Propuestas de solución. Específicamente se trata de un trabajo de investigación sobre la opinión de los profesores de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería acerca de los programas de estudio de la asignatura, basado en el análisis cuantitativo y cualitativo de las respuestas de los profesores a la pregunta: En su opinión, ¿el programa de estudio de la asignatura es adecuado? formulada en la Encuesta para profesores de la Facultad de Ingeniería. Los resultados obtenidos indican que el programa de estudio actual no es más adecuado que el anterior, no al menos para la mayoría de los profesores. Entre los principales argumentos están que el contenido es muy extenso y el tiempo de un semestre muy limitado. Estos resultados apuntan a reforzar el debate sobre la selección de contenidos curriculares.

## 1. Introducción

Se presenta a continuación un estudio de la opinión de los profesores de Termodinámica sobre los programas de estudio de la asignatura, basado en información de la Encuesta para profesores que se aplica cada semestre a los profesores de todos los grupos de la Facultad de Ingeniería.

El propósito del estudio es contribuir al proyecto PAPIME PE106518 Factores que intervienen en la docencia de la termodinámica en ingeniería, mediante datos referidos las variables “Profesor” y “Programa institucional de la asignatura”, dos de las tres variables definidas en el planteamiento del problema de este proyecto (FI-UNAM, 2018, p 14).

Considerando que la Encuesta para profesores tiene entre sus objetivos el de “recabar la opinión de los profesores acerca de los programas de estudio vigentes y de su relación con el área académica en que se

Así, el presente estudio se centra en el análisis de las respuestas a esta pregunta emitidas por los profesores de Termodinámica clave 0068 (plan de estudio 2008) y clave 1437 (plan de estudios 2016) manera complementaria se analizan también las de los profesores de Laboratorio de Termodinámica.

En la Tabla 1 se identifican la clave, los semestres en que se ha aplicado la encuesta y el número de aplicaciones (N) en cada una de esas asignaturas. Se analizaron las respuestas de los profesores a la pregunta 13, tanto la distribución de opciones seleccionadas como los argumentos proporcionados<sup>3</sup>.

**Tabla 1.** Asignaturas, claves, semestres y número de grupos (N) en los que se ha aplicado la Encuesta de profesores.

Asignatura	Clave	Semestres	N =
Termodinámica	0068	De 2010-2 a 2018-1	201

13. En su opinión, el programa de estudio de la asignatura es

1. Se agradece a la Coordinación de Evaluación Educativa de la Secretaría de Apoyo a la Docencia de la FI, el acceso a la información de la Encuesta para profesores, lo que se realizó exclusivamente con fines de este proyecto de mejoramiento de la enseñanza.
2. Se agradece también al Mtro. Félix Núñez Orozco por sus certeras críticas a una versión preliminar de este trabajo, lo que imprimió la orientación para realizarlo mejor.

ubican” (FI-UNAM, 2015, p 2), se tiene que una de las preguntas del cuestionario respectivo, la pregunta 13, plantea:

Argumente su respuesta



Termodinámica	1437	De 2016-2 a 2018-1	37
Laboratorio de Termodinámica	3068	De 2010-2 a 2016-2	333
Laboratorio de Termodinámica	6437	De 2017-1 a 2018-1	62

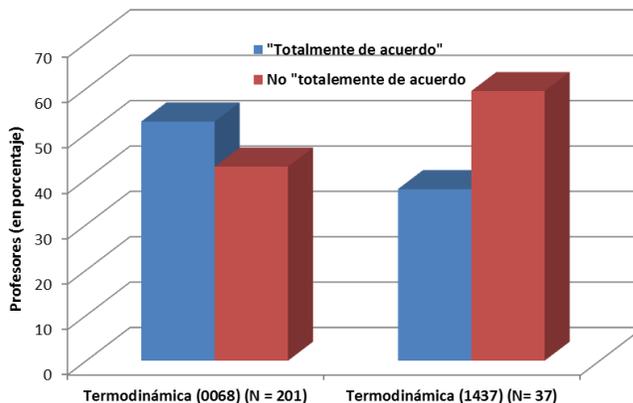
## 2. Resultados

Para el análisis de los resultados se definieron dos grupos: 1) los profesores que emiten la respuesta “totalmente de acuerdo” y 2) el complemento, es decir, los profesores que no están “totalmente de acuerdo” (en donde se incluyen los que están “parcialmente de acuerdo”, “parcialmente en desacuerdo” y “totalmente en desacuerdo”)<sup>4</sup>

En lo que respecta a la asignatura Termodinámica Clave 0068, se tiene que de las 201 encuestas que se han aplicado, 52.7% de los profesores está “totalmente de acuerdo” en que el programa de la asignatura es adecuado y 42.8% no está “totalmente de acuerdo” (y 4.5% no respondió la pregunta).

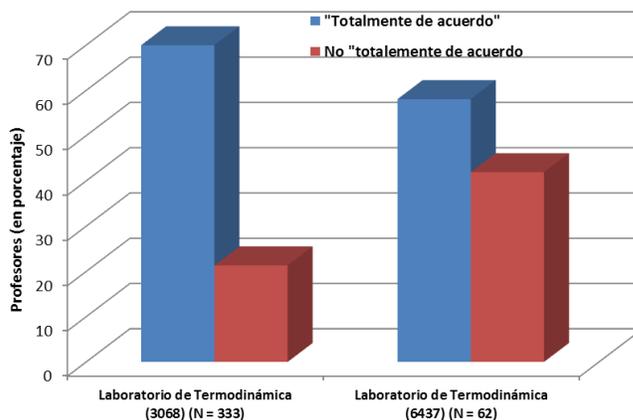
En contraparte, en la asignatura Termodinámica Clave 1437, se observa que de las 37 ocasiones en que se aplicado la encuesta, 37.8% de los profesores está “totalmente de acuerdo” en que el programa de la asignatura es adecuado y a 59.5% no está totalmente de acuerdo, es decir, expresa cierta reserva.

En la Fig. 1 ilustra el contraste en la opinión de estos dos grupos. En la asignatura con programa de nueva creación (Clave 1437), la opinión de los profesores es más desfavorable.



**Figura 1:** Comparación de la opinión de los profesores de Termodinámica del programa anterior y del actual respecto «El programa de estudios de la asignatura es adecuado».

Por otro lado, se observa en la Fig. 2 que los profesores de Laboratorio de Termodinámica han sido más afirmativos en su opinión del programa de la asignatura que los profesores de teoría, no obstante –al igual que los de teoría- los de Clave 6437 (Plan de estudio 2016) son menos afirmativos que los de Clave 3068 (Plan de estudio 2008).



**Figura 2:** Comparación de la opinión de los profesores de Laboratorio de Termodinámica del programa anterior y del actual respecto «El programa de estudios de la asignatura es adecuado».

### Análisis cualitativo

- En cuanto a los argumentos, cabe aclarar que en la base de datos institucional se conservan todos, excepto los expresados por los profesores en los semestres 2104-2, 2015-2, 2016-1 y 2016-2.
- Los profesores que no seleccionan la opción “totalmente de acuerdo” tiene en común alguna clase de reserva respecto a lo que se pregunta.

Se cuenta con los argumentos expuestos por los profesores para fundamentar su percepción acerca de lo adecuado del programa de la asignatura, tanto de los que están “totalmente de acuerdo” como de no están





y aspectos relacionados con la secuencia y recursos para desarrollar el tema V.

Antes de terminar hay que advertir algunas de las limitaciones de este trabajo son las siguientes:

- El significado del término “adecuado” es vasto y queda completamente abierto a la interpretación de cada profesor.
- La segmentación en dos grupos (los que están y los que no están totalmente de acuerdo), dista mucho de la compleja realidad de la percepción social.
- El número de profesores encuestados de las asignaturas del plan de estudio 2016 podría ser aún insuficiente para constituirse en una opinión representativa.
- El espacio y tiempo para escribir argumentos en pro o en contra del programa están muy restringidos.

Y para terminar, en relación con la carga excesiva de contenidos en los programas de estudio a la que aluden no pocos de los profesores de Termodinámica – lo que en el medio se atribuye a la irrefrenable enseñanza enciclopédica- cabe citar a Ortega y Gasset, de su libro *Misión de la Universidad*:

“Hay que partir del estudiante medio y considerar como núcleo la institución universitaria, como su torso o figura primera, *exclusivamente*, aquel cuerpo de enseñanza que se le pueden con absoluto rigor exigir, o lo que es igual, aquellas enseñanzas que un estudiante medio puede de verdad aprender. Eso, repito, deberá ser la Universidad en su sentido primero y más estricto. Ya veremos cómo la Universidad tiene que ser además y luego algunas otras cosas no menos importantes. Pero ahora lo importante es no confundir todo y separar enérgicamente los distintos órganos y funciones de la gran institución educativa.

¿Cómo determinar el conjunto de enseñanzas que han de constituir el torso o *mínimum* de Universidad? Sometiendo la muchedumbre fabulosa de los saberes a una doble selección:

1o Quedándose solo con aquellos que se consideren estrictamente necesarios para la vida del hombre que hoy es estudiante. La vida efectiva y sus ineludibles urgencias es el punto de vista que debe dirigir este primer golpe de podadera.

2o Esto que ha quedado por juzgarlo estrictamente necesario tiene que ser reducido a lo que de hecho puede el estudiante aprender con holgura y plenitud.

No basta que algo sea necesario. A lo mejor, aunque necesario, supera prácticamente las posibilidades del estudiante, y sería utópico hacer aspavientos sobre su carácter de imprescindible. No se debe enseñar sino lo que se puede de verdad aprender. En este punto hay que ser inexorable y proceder a rajatabla” (2015, pp 92-93).

## Referencias

- FI-UNAM (2015). Secretaría de Apoyo a la Docencia, Coordinación de Evaluación Educativa. Encuesta de profesores: Resultados del semestre 2015-2 y propuesta.
- FI-UNAM (2018). Factores que intervienen en la docencia de la termodinámica en ingeniería causando dificultad en su enseñanza y aprendizaje. Propuestas de solución. Proyecto PAPIME PE106518.
- Ortega y Gasset, J. (2015). *Misión de la Universidad*. Madrid: Ediciones Cátedra (Extracto del final del capítulo II Principio de la economía de la enseñanza).



## RESULTADOS DEL PROYECTO IT102615 ROBOTS NO CONVENCIONALES PARA TAREAS DE EXPLORACIÓN Y BÚSQUEDA

**Yukihiro Minami Koyama**

Depto. de Mecánica, División de Ciencias Básicas

**Ulises Martín Peñuelas Rivas**

Depto. de Mecatrónica, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Stalin Muñoz Gutiérrez**

Centro de Ciencias de la Complejidad

### RESUMEN

Tener la posibilidad de utilizar robots en misiones de exploración y búsqueda es especialmente valioso cuando existen condiciones poco seguras como las que imperan en entornos de desastre, donde diversos factores tales como altas temperaturas, exposición a químicos dañinos o zonas estructuralmente inestables ponen en riesgo la vida de los rescatistas. En estas circunstancias los robots habilitan la recolección, procesamiento y almacenamiento de información útil para el reconocimiento del terreno explorado. En el grupo de trabajo se han desarrollado varios prototipos aplicando la metodología para el diseño mecatrónico basado en las ideas de Ullman, y de desarrollo de software ágil basado en SCRUM. Asimismo, se han utilizado plataformas web que han facilitado la administración de tareas y el seguimiento del proceso. Los pasos que se siguen en el desarrollo de los robots prototipo pueden resumirse de la siguiente forma: primero se hace un amplio estudio del estado de la técnica del caso de estudio, para pasar a la búsqueda de soluciones, posteriormente un grupo de expertos evalúan las opciones viables, se propone el diseño final, se realiza el modelo 3D, se le somete a un proceso de optimación, se dibujan los planos, se fabrican las piezas mecánicas, se adquieren o diseñan las partes electrónicas y de control, se ensambla el prototipo, se pone en operación y, finalmente, se realizan diversas pruebas para evaluar su funcionamiento.

Algunos de los productos tecnológicos conseguidos en el grupo se describen a continuación. Se han desarrollado tres versiones del robot FinDER, mejorándose las características y robustez de los sistemas electromecánicos y de control con cada versión. La tercera versión cuenta con una tracción principal basada en orugas, un sistema de suspensión y cuatro flippers con orugas independientes. El robot tiene un brazo manipulador con seis grados de libertad, que le da un alcance de un metro y capacidad de carga de 0.5 kg. Este robot es capaz de subir y bajar por escaleras convencionales y cuenta con cinco cámaras para navegación remota. FinDER versión 3 tiene una longitud de 1.20 m con los flippers extendidos, una masa de 70 kg y una velocidad de 0.3 m/s. Otro prototipo desarrollado es el denominado robot de enjambre, dotado de un sensor de CO<sub>2</sub>, termógrafo, micrófono y cámara de video. El robot puede comunicarse de manera inalámbrica con la estación central y con otros robots. Un tercer prototipo consiste en un robot subacuático que potencialmente puede sumergirse a profundidades de hasta 50 m. El robot ha sido probado en la Alberca Olímpica de la CU logrando un desempeño satisfactorio. Finalmente, se logró desarrollar un sistema de detección electrónica de víctimas humanas basado en el procesamiento de las imágenes obtenidas con una cámara térmica. El sistema tiene la capacidad para la detección del pulso en arterias del brazo o de la sien. En cuanto a formación de recursos humanos, se han conseguido una alumna graduada de la maestría y cuatro alumnos titulados de licenciatura. En proceso se tiene un proyecto de maestría y cuatro tesis de licenciatura adicionales. Los resultados de la investigación se publican en diversos foros. Se cuenta con seis artículos en memorias de congresos nacionales y uno en un congreso internacional.



## ABSTRACT

Being able to use robots in exploration and search missions is especially valuable when there are unsafe conditions such as those prevailing in disaster environments, where diverse factors such as high temperatures, exposure to harmful chemicals or structurally unstable areas are life threatening of the rescuers. In these circumstances the robots enable the collection, processing and storage of useful information for the recognition of the explored terrain. In our working group several prototypes have been developed applying the methodology for the mechatronic design based on the ideas of Ullman, and the development of agile software based on SCRUM. Likewise, web platforms have been used that have facilitated the administration of tasks and the monitoring of the process. The steps that are followed in the development of the prototype robots can be summarized as follows: first a broad study of the state of the art of the interest case is made, to move on to the search for solutions, later a group of experts evaluate the feasible options, the final design is proposed, the 3D model is made, it is submitted to an optimization process, the drawings are made, the mechanical parts are manufactured, the electronic and control parts are acquired or designed, the prototype is assembled, it is put into operation and finally several tests are carried out to evaluate its operation.

Some of the technological products achieved in the group are described below. Three versions of the Finder robot have been developed, improving the characteristics and robustness of the electromechanical and control systems with each version. The third version has a main traction based on tracks, a suspension system and four flippers with independent tracks. The robot has a manipulator arm with six degrees of freedom, which gives it a range of one meter and a load capacity of 0.5 kg. This robot can climb and to go down conventional stairs and has five cameras for remote navigation. FinDER version 3 has 1.20 m of length with extended flippers, 70 kg of mass and a speed of 0.3 m/s. Another developed prototype is known as swarm robot, equipped with a CO2 sensor, thermograph, microphone and video camera. The robot can communicate wirelessly with the central station and with other robots. A third prototype consists of an underwater robot that can potentially be submerged at depths of up to 50 m. The robot has been tested in the Olympic Pool of the CU achieving a satisfactory performance. Finally, it was possible to develop an electronic detection system for human victims based on the processing of the images obtained with a thermal camera. The system can detect the pulse in arteries of the arm or temple. In terms of human resources training, one graduate student of the master's degree and four bachelor's degree students have been obtained. In process it has a master's project and four additional bachelor's theses. The results of the research are published in various forums. There are six articles in memories of national congresses and one in an international congress.

## 1. Introducción

El proyecto IT102615 “Robots no convencionales para tareas de exploración y búsqueda”, tuvo por objeto el diseño, fabricación y realización de pruebas a plataformas móviles con configuraciones no convencionales tales como el concepto de enjambre de robots, de exploración subacuática o aérea, entre otras, que puedan realizar de manera más versátil y eficaz las tareas de exploración en zonas desconocidas, así como de búsqueda y ubicación de víctimas, sobre todo aquellas que se encuentran en el interior de los escombros y a los que el acceso a personas o perros

especialmente entrenados para estas labores, es complicada o imposible.

Uno de los objetivos más importantes de esta actividad académica, se buscó incidir en la formación de un equipo de profesionales en ingeniería integrado por estudiantes de servicio social y tesis de licenciatura, así como de posgrado, comprometidos con la resolución de problemas tecnológicos que tiene la sociedad, y así coadyuvar en el desarrollo tecnológico de nuestro país.

El diseño mecatrónico de los robots se basó en la metodología desarrollada por Ullman, la cual fue



adaptada con elementos de metodologías de manejo de proyectos ágiles como Kanban. Estas metodologías han sido aplicadas con buenos resultados en proyectos desarrollados en los últimos años por el Taller de Robótica Abierta, TRA, de la Facultad de Ingeniería.

La metodología para el diseño de componentes de control y arquitecturas de software a seguir se fundamentó en metodologías ágiles de desarrollo de software basado en SCRUM y ocasionalmente programación extrema.

En los casos de las metodologías arriba descritas, se utilizaron plataformas de colaboración web que han facilitado la administración de tareas y seguimiento del proceso, así como la transparencia y disminución de riesgos.

La metodología para la investigación en su conjunto se integró como sigue:

- a) Amplia investigación documental y análisis de casos de estudio, a partir de las experiencias recientes en robótica de búsqueda y salvamento con que cuenta el grupo de trabajo.
- b) Generación de hipótesis de investigación que busquen contribuir de manera original al área de investigación de la robótica móvil.
- c) Construcción de prototipos rápidos, utilizando tecnologías de manufactura aditiva, simulaciones por computadora y técnicas de robótica evolutiva.
- d) Evaluación de prototipos y su refinamiento con base en iteraciones rápidas.
- e) Toma de decisiones colegiadas y aplicación de metodologías de diseño mecatrónico para los prototipos finales.
- f) Documentación en forma de artículos de investigación con revisión por pares.
- g) Presentación de los avances logrados en foros académicos nacionales e internacionales.
- h) Desarrollo académico de los participantes en forma de impartición de cursos de formación para la comunidad universitaria.
- i) Vínculos permanentes con otros grupos de robótica nacionales y extranjeros, procurando colaboraciones que se concreten en productos tecnológicos e investigaciones.

j) Canales de comunicación con grupos de rescate, áreas y dependencias de protección civil.

k) Participación en competencias de robótica que permitan probar los prototipos en arenas complejas, tales como las definidas por el NIST, *National Institute of Standards and Technology* de los EUA, y medir su desempeño de manera objetiva.

El uso de robots para trabajos de exploración es deseable debido a las condiciones poco seguras a las que puede someterse el personal humano o animal destinado a esta actividad, como es el caso de incursión a lugares con temperaturas extremas, la exposición a ciertos químicos dañinos, la navegación en terrenos de difícil acceso, etc. (Rescue robots, s. f.).

Por otro lado, los robots facilitan la recolección, procesamiento y almacenamiento de grandes cantidades de datos que son útiles para el reconocimiento de las condiciones del entorno explorado, información que puede ser muy útil a los rescatistas profesionales.

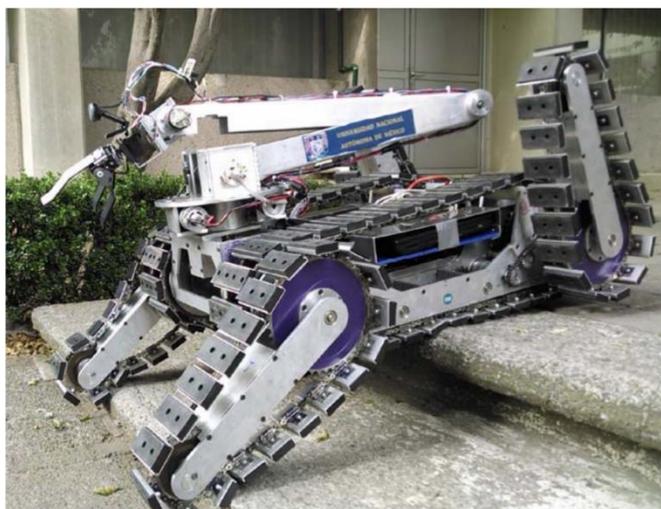
Además, se ha verificado que el uso de equipos de robots con capacidades dedicadas potencia los resultados para muchas aplicaciones, pues un grupo de robots puede hacer muchas tareas de manera más robusta y eficiente que uno sólo (Rekleitis et al., 2001). Las misiones de rescate pueden beneficiarse inmensamente del uso de varios robots operando en paralelo. Esto se ha explorado de manera simulada en competencias como la RoboCup y en múltiples universidades alrededor del mundo.

En el proyecto IT103712 “FinDER: Robot de búsqueda en entornos de desastre”, encabezado por los autores, se construyeron dos prototipos del robot denominado FinDER. El FinDER v2, mostrado en la Fig. 1, tiene la capacidad de navegar en terrenos no uniformes como en derrumbes a causa de terremotos, gracias a su sistema de tracción mediante orugas y brazos de apoyo con tracción, logrando subir escaleras y rampas, sorteando grandes discontinuidades en el camino y obstáculos tan altos como el mismo robot; así como de obtener mapas del terreno navegado y tratar de localizar víctimas humanas gracias a sus sensores de CO<sub>2</sub>, térmico, movimiento y sonido, entre otros.

## 2. Resultados

Los prototipos diseñados y construidos en este

proyecto tienen como objetivo principal la exploración de zonas que se desea conocer, ya sea para fines económicos, sociales o académicos. Dentro de los sociales se destacan las situaciones de desastres naturales o provocados tales como sismos, explosiones, maremotos, fuga de gases o líquidos tóxicos y desastres radiactivos. Algunos de estos robots pueden emplearse para colaborar en la exploración en los entornos mencionados, juntamente con sistemas de reconocimiento de imágenes, en particular térmicas, para la detección de personas vivas.

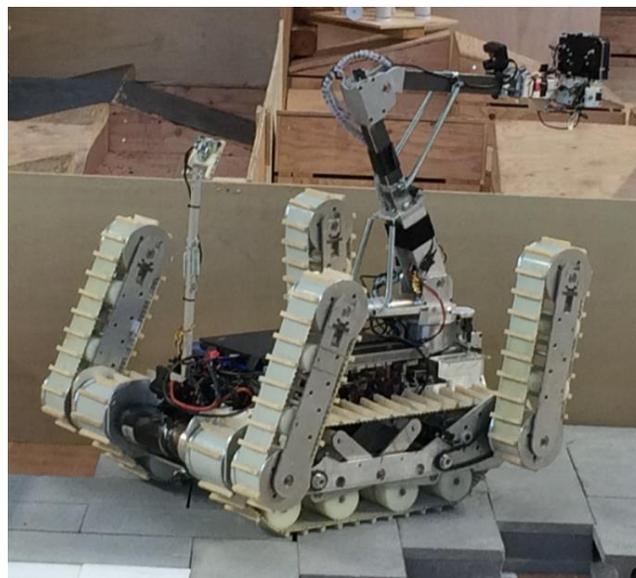


**Figura 1.** Robot FinDER v2, producto del proyecto antecedente, que cuenta con tracción con orugas y brazos de apoyo, sensores para localizar víctimas humanas, y un brazo para manipular objetos ligeros.

A partir del análisis de funcionamiento del FinDER v2, se consideró su rediseño para mejorar su desempeño. En particular, se rediseñó el sistema de locomoción (Hernández, 2018) así como su brazo manipulador, integrando de esta manera la versión FinDER v3, que al igual que sus predecesores, sirve para explorar en zonas de derrumbes con escombros, es capaz de subir y bajar por escaleras convencionales de casa habitación, y por consiguiente también de subir por pendientes muy pronunciadas hasta de 45°. Está dotado de varias cámaras de vídeo para facilitar su navegación de forma remota, y también un sensor de CO<sub>2</sub> y un termógrafo, con la clara intención de que sea útil para detectar víctimas. Debido a su tamaño, sólo puede moverse por arriba de dichos escombros, no puede introducirse dentro de ellos.

Debido a las dimensiones del FinDER v3, sólo puede moverse por arriba de los escombros, y no puede

introducirse dentro de ellos. Por esta razón además del conocimiento que las víctimas más difíciles de encontrar son las que están dentro de los derrumbes, se diseñó un robot de enjambre, denominado así debido a que se pretende que varios de ellos puedan trabajar colaborativamente en tareas complejas en conjunto, realizando cada uno de ellos una tarea simple. Para que puedan introducirse en los escombros, se estableció la restricción de que el robot pudiera contenerse en una esfera de 30 cm de diámetro. Asimismo, en lugar de ruedas se le dotó de whogs o ruedas con patas (wheel – legs), para permitir su desplazamiento entre dichos escombros. También cuenta con varios sensores: de CO<sub>2</sub>, un termógrafo y un micrófono, además de dos cámaras, y está dotado de un mecanismo de limpieza de su placa frontal que es transparente. En la Fig. 3 se muestra una fotografía del primer prototipo del robot de enjambre.



**Figura 2.** Fotografía del robot FinDER v3, que cuenta con orugas con sistema de suspensión, brazos auxiliares con mayor potencia, cámaras de vídeo para la navegación, sensores diversos y un brazo manipulador con mayor rigidez y funcionalidad con respecto a la versión anterior.

Además de lo anterior, se abordó el diseño y construcción de un robot subacuático con fines de exploración en depósitos de agua con buena visibilidad, tales como cenotes (Ramos, 2018). Fue diseñado de manera que sea capaz de sumergirse a profundidades de hasta 50 m. Se realizaron pruebas de navegación remota en la alberca de la Ciudad Universitaria y los resultados fueron satisfactorios. En

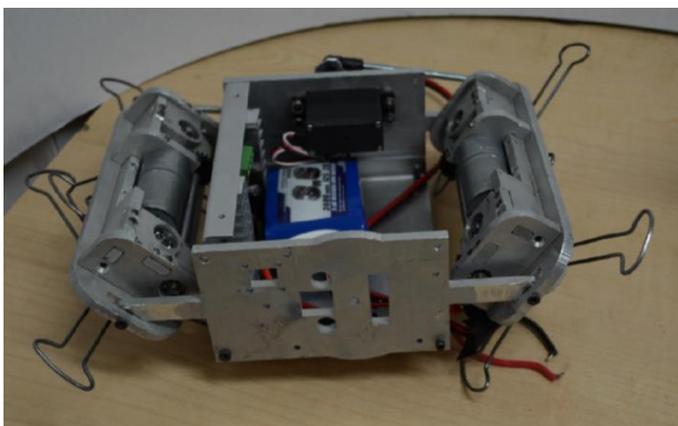
la Fig. 4 se muestra una fotografía de este robot.

Paralelamente a estos robots, se desarrolló un sistema de detección de víctimas vivas (García, 2016), así como de signos vitales (Jiménez, 2017), por medio de una cámara térmica. Esta cámara fue la adquisición más importante de este proyecto, debido tanto a su costo, casi USD \$6,000, como por la dificultad para su compra, ya que tiene muchos candados para su exportación fuera de los EUA. Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a estos dos sistemas nos indicaron que es factible su empleo real, siempre y cuando sea posible su introducción dentro de los entornos colapsados. En la Fig. 5 se muestra un fotograma térmico con la detección de regiones de interés (ROI, por sus siglas en inglés).

Se puede considerar que dentro de los productos más importantes logrados con este proyecto está la formación de recursos humanos. Se han desarrollado cuatro tesis de licenciatura y una tesis de maestría, a partir de los cuales a la fecha se han recibido dos alumnos de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, un alumno de la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica, y ha obtenido el grado de maestría una alumna del área de Procesamiento de Señales.

Han participado en el diseño, desarrollo y construcción de los prototipos más de quince alumnos, la mayoría de la carrera de Ingeniería Mecatrónica y como parte de su servicio social.

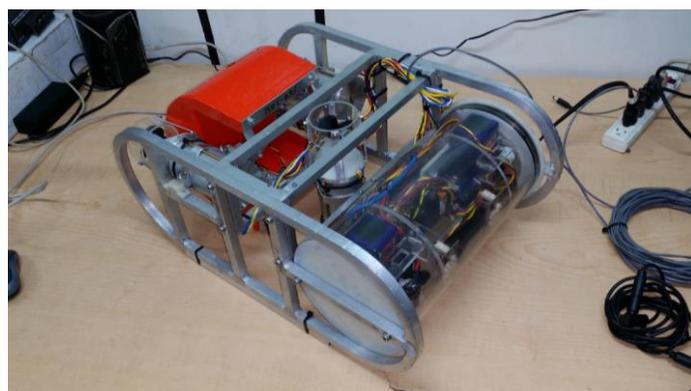
Además, se han publicado cuatro artículos en congresos nacionales y un artículo en congreso internacional.



**Figura 3.** Fotografía del primer prototipo del robot de enjambre, en el que se pueden observar sus ruedas tipo whegs, cuenta con un mecanismo que puede inclinar sus

módulos de tracción de manera que pueda variar su altura y facilitar su paso a través de escombros, sensores diversos y dos cámaras.

Finalmente, es conveniente mencionar que con el robot FinDER v3 se participó en la competencia mundial de robótica, RoboCup Nagoya 2017, realizada en la ciudad de Nagoya, Japón, en la categoría RoboCup Rescue Senior, y en la que se pudo probar en arenas simuladas con un alto nivel de exigencia el desempeño del prototipo.



**Figura 4.** Fotografía del robot subacuático, en el que puede observarse el cilindro hermético que contiene su electrónica de control, uno de los módulos propulsores con su propela y el flotador anaranjado para compensar su flotabilidad.

### 3. Discusión de los resultados

Fue posible probar extensivamente el funcionamiento del robot FinDER v3 en la RoboCup Nagoya 2017. Del análisis de sus resultados se reconocieron varios problemas que conviene abordar y resolver. Los más importantes son los siguientes: primero, que tanto la masa del robot como sus dimensiones son demasiado grandes; segundo, su velocidad máxima es baja; tercero, el brazo manipulador tiene demasiado juego en la articulación del tronco y su muñeca es demasiado frágil; cuarto: es necesario configurar la disposición de las cámaras de vídeo para facilitar su operación remota; quinto, el robot no pudo navegar en zonas con arena o grava.

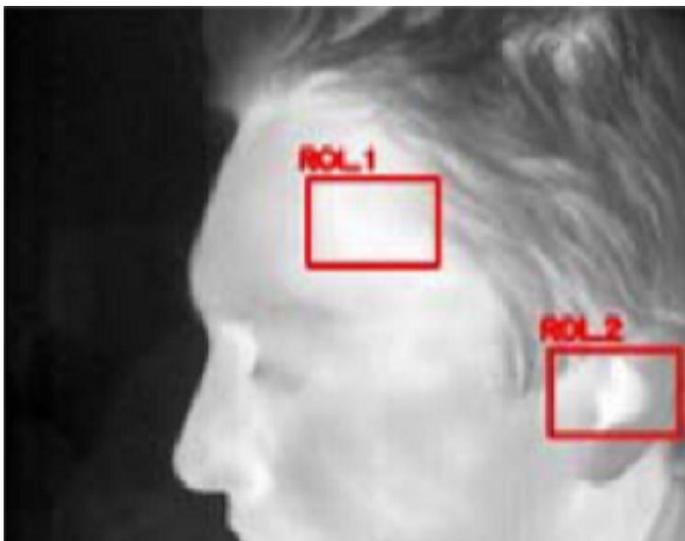
Por consiguiente, ya se inició el proceso de diseño de un nuevo robot en el que sean resueltos los problemas detectados, y mejorar, en la medida de lo posible, su funcionamiento. Paralelamente, se inició el diseño de un robot que sea capaz de navegar en entornos con arena o grava.

Con respecto al robot de enjambre, la primera versión tuvo dos problemas notables: el primero, que el tamaño de sus wheels no fue suficiente para que el robot pudiera navegar con obstáculos de más de 5 cm de alto; el segundo, que el servomotor de control de inclinación de los módulos motrices no tuvo el suficiente par para mantener su posición angular.

Debido a lo anterior, se inició el rediseño del robot buscando mejorar su capacidad de navegación en entornos reales.

En cuanto al robot subacuático, a partir de las pruebas realizadas en la Alberca Olímpica de la CU se detectó la necesidad de incluir en el programa de navegación un módulo de control de estabilización, así como mejorar su programa de control remoto para facilitar y mejorar su operación remota.

Referente a los sistemas de detección de víctimas vivas y de sus signos vitales con una cámara térmica, con base en las conclusiones surgidas de los proyectos correspondientes, así como de las propuestas de trabajo a futuro, se estableció un nuevo proyecto, actualmente desarrollándose por un alumno de posgrado, en el que se busca que con el procesamiento y la integración de imágenes térmicas y convencionales sea posible mejorar la detección de víctimas en entornos post-desastre.



**Figura 5.** Fotograma térmico con la detección de regiones de interés, en la que está enmarcado en un cuadro rojo la sien, identificada como ROI\_1 y la oreja como ROI\_2.

Finalmente, con respecto a la formación de

recursos humanos, ha sido posible proponer proyectos institucionales, tanto del PAPIIT como del PAPIME, que ya han sido aceptados, en los cuales se pretende involucrar a nuevos académicos y por supuesto a alumnos, tanto de licenciatura como de posgrado, que deseen desarrollarse en las áreas de robótica móvil, inteligencia artificial, procesamiento de señales y aplicación de la tecnología para el mejoramiento del aprendizaje de nuestros alumnos.

#### 4. Conclusiones

El presente proyecto ha posibilitado el diseño y construcción de robots móviles no convencionales con capacidades de exploración en entornos diversos. Para la fabricación de cada prototipo se han utilizado metodologías de diseño integrado que permiten aplicar distintas áreas de conocimiento de manera concurrente; los robots han sido evaluados en cuanto a su desempeño y se ha realizado las correcciones necesarias para mejorar su funcionamiento, lo que fue aplicado en cada una de las versiones de robots elaborados, aumentando así el grado de adecuación y cumplimiento de los objetivos, generando en los participantes conocimiento y experiencia en el campo de conocimiento abordado.

En cuanto a formación de recursos humanos, se ha conseguido forjar y graduar alumnos tanto de licenciatura como de posgrado. Asimismo, se han publicado artículos en memorias de congresos nacionales e internacionales, y se ha participado en competencias en el ámbito mundial.

El impacto social que puede tener el presente proyecto es grande, por lo que se puede sustentar la importancia de seguir trabajando en el tema.

#### Agradecimientos

Artículo elaborado gracias al apoyo del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IT102615 “Robots no convencionales para tareas de exploración y búsqueda”.

#### Referencias

- Rescue robot. (Sin fecha). En Wikipedia. Recuperado el 24 de noviembre de 2018 de [http://en.wikipedia.org/wiki/Rescue\\_robot/](http://en.wikipedia.org/wiki/Rescue_robot/)
- Rekleitis, I., Dudek, G., & Milios, E. (2001). Multi-



robot collaboration for robust exploration. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 31(1-4), 7-40.

Hernández Sánchez, S. (2018). Rediseño de la locomoción de un robot de búsqueda en entornos de desastre (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.

Ramos Vasquez, G. (2018). Diseño y construcción de un robot subacuático de control remoto (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.

García Sánchez, C. I. (2016). Detección electrónica de víctimas no superficiales (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.

Jiménez Rodríguez, A. Y. (2017). Análisis de vídeo térmico para la detección de signos vitales (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.



## RETOS DEL PROYECTO PE111218 DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA FORTALECER EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS MATEMÁTICOS EN CIENCIAS BÁSICAS

**Dra. Evelyn Salazar Guerrero**

División de Ciencias Básicas

**M. E. Jacquelyn Martínez Alavez**

División de Ciencias Básicas

**M. I. Adriana Yoloxóchil Jiménez Rodríguez**

División de Ciencias Básicas

### RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad fortalecer el aprendizaje de los alumnos en las asignaturas de matemáticas de Ciencias Básicas, a través del diseño y construcción de prácticas de laboratorio. Como es bien sabido estas asignaturas no cuentan con ellas; con su realización se pretende que los estudiantes, al visualizar el fenómeno físico, les genere un aprendizaje significativo del concepto matemático visto en clase.

El proyecto tiene una duración de dos años y comenzó en enero del 2018, por lo que, hasta el momento, los productos con los que se cuenta son los siguientes:

1. Práctica “Aplicación de las ecuaciones diferenciales en el enfriamiento de una sustancia de acuerdo con la ley de enfriamiento de Newton”.
2. Práctica “Determinación de la constante de velocidad y orden de una reacción química mediante el análisis de Ecuaciones Diferenciales”.

Además, se aplican encuestas que han mostrado satisfacción de los estudiantes con las prácticas.

Actualmente se están diseñando varias prácticas, para implementarlas con los estudiantes:

- a) Análisis de sistemas de segundo orden con circuitos RLC;
- b) Obtención experimental del centro de gravedad de un cuerpo tabular con perfil parabólico;
- c) Convolución y sus aplicaciones en efectos acústicos;
- d) Fuerza de fricción viscosa en un paracaídas.

En todas ellas se está llevando a cabo el acopio de información referente al modelado matemático, diseño y construcción de prototipos para prácticas de laboratorio de matemáticas y física, que se analizarán para evaluar su viabilidad e importancia, con objeto de seleccionar las más convenientes para su posterior desarrollo e implementación.

Se está trabajando es el diseño del prototipo para automatizar la primera práctica y que sea realizada de forma remota, a través de la Internet. Esta idea se desea hacer extensiva a algunas otras prácticas que se propongan, en particular de asignaturas de Mecánica.

### ABSTRACT

This project aims to strengthen the learning of students in the subjects of mathematics of basic sciences, through design and construction of laboratory practices. As is well known these subjects do not have laboratory practices; with its realization is intended that students, to visualize physical phenomenon, generates in them a significant learning of the concept mathematical seen in class.

The project lasts two years and began in January 2018, so far, the products that are counted are the following:

Practice 1 "Application of differential equations in the cooling of a substance according to Newton's law of cooling".



Practice 2 "Determination of the speed constant and order of a chemical reaction by the analysis of differentials equations and Analysis"

In both practices has been feedback on the part of students through a survey applied to them at the end of the practice, in which say that they have been of great utility to display the theoretical concept of experimental way.

Nowadays several more practices are currently being designed to be carried out with students:

- a) Analysis of second order systems with RLC circuits;
- b) Experimental obtaining of the gravity center of a tabular body with parabolic profile;
- c) Convolution and its applications in acoustic effects;
- d) Viscous friction force in a parachute.

In all of them is taking place the gathering of information regarding mathematical modeling, design and construction of prototypes for laboratory practices of mathematics and physics, to be analyzed to evaluate their viability and importance, in order to select the most suitable for their later development and implementation.

Another of the products that is being worked on is the design of the prototype to automate the first practice, with the support of social service students who are developing it. The idea is that it can be done remotely, in other words, that students can access to perform this practice through the Internet, manipulating the thermometer, to turn on fans or adding water to the recipient, among other tasks, and reading a stopwatch to record the elapsed time, similar to as if they were doing in person. This idea is to be extended to some other proposed practices, of mechanical subjects.



## 1. Introducción

La División de Ciencias Básicas (DCB), es una de las Divisiones con gran número de estudiantes, además es la que tiene el reto de cimentar los conocimientos que requieren los estudiantes para el aprendizaje de sus asignaturas posteriores, así mismo afianzar la vocación por su carrera.

Es importante que adicionalmente a los conceptos teóricos que los profesores impartan a sus estudiantes de asignaturas de matemáticas, física y química, se complemente el aprendizaje con experimentos que les permitan evidenciar que en dichos conceptos se encuentra la ingeniería que ellos abordarán en semestres posteriores, con el fin de motivarlos a continuar sus estudios en Ingeniería, ya que muchas veces están estudiando la carrera sin la suficiente convicción.

El poder motivar a los estudiantes en estos primeros semestres de su carrera es vital, como manifiestan Steinmann, Bosch y Aiassa, (2013), el proceso motivacional es el resultado de una combinación de factores asociados con dos dimensiones personales: la intrínseca, ligada a los intereses, deseos y expectativas de los individuos; y la extrínseca, entendida como los aspectos del contexto que pueden funcionar como estímulos. Y es en la segunda en donde se quiere incidir con este proyecto.

Los grupos de estudiantes que se encuentran en la DCB, a diferencia de los de otras divisiones de la Facultad de Ingeniería, son bastante heterogéneos en diferentes sentidos: en capacidad, en convicción, en estabilidad emocional, en antecedentes de matemáticas del bachillerato, en disciplina, entre otros aspectos. Además, es necesario ocupar una planta docente muy grande la cual, aunque en menor medida, también exhibe un grado de heterogeneidad que dificulta asegurar el aprendizaje deseable en los estudiantes; aunado a lo que manifiesta Fernández (2000) "*La competencia profesional del profesor no se basa sólo en el conocimiento de la disciplina o disciplinas que enseña: reside también en su cultura general y en sus conocimientos de psicología, de pedagogía, de didáctica*" y en la Facultad no todos los profesores tienen alguna formación en esta área.

Por ello la capacitación de profesores en el área se ha llevado a cabo mediante un esfuerzo conjunto por parte de las autoridades, funcionarios y profesores de la División, sin embargo, no ha sido suficiente para poder lograr avances significativos, ya que las matemáticas pueden considerarse abstractas en sí, llenas de ejercicios teóricos e incluso fomentando la mecanización y que no evidencian aplicaciones prácticas. Se han logrado mejoras en algunas asignaturas que han incorporado actividades extracurriculares como Cálculo y Geometría Analítica y Álgebra Lineal, en los que se han propuesto prácticas con el uso de computadoras, con objeto de acercar a los estudiantes a vincular sus conocimientos teóricos con la realidad, y se ha constatado que de forma incipiente el aprendizaje de los alumnos tiende a mejorar.

## 2. Desarrollo

A partir de 2012 se propuso el proyecto UNAM–DGAPA–PAPIME PE104212 "Mejoramiento de la calidad educativa en Ciencias Básicas a través de la Robótica", en el que los profesores participantes promovieron que los alumnos experimentaran o pusieran en práctica los contenidos de una asignatura, por medio del diseño y desarrollo de un prototipo físico, con objeto de que vincularan la teoría con la práctica, y así percatarse de la aplicación real que tiene lo que aprendieron en clase. Se procuró dar continuidad y extender dicha idea por medio de otro proyecto, UNAM–DGAPA–PAPIME PE109415 "Aplicación del aprendizaje basado en problemas y el colaborativo para potenciar el aprendizaje de los alumnos de Ciencias Básicas", en el cual se amplió el espectro de los prototipos a desarrollar por los alumnos a casos de cualquier otra índole y disciplina, pero apegados a la realidad, con objeto de incidir en el fortalecimiento del aprendizaje de contenidos matemáticos de los estudiantes. Ahora, con el proyecto que se presenta, se busca diversificar las actividades y explorar nuevas formas de ayudar a los alumnos, más allá de la comprensión de la teoría, y que apliquen y experimenten con esa teoría y vean su aplicación práctica que tanto les interesa. Es común escuchar a los alumnos preguntar ¿y esto de qué me va a servir?, ante este cuestionamiento se debe poner en claro que la matemática no es una caja de herramientas de la cual sacó una fórmula de la misma manera que saco una llave de tuercas de cierta medida. Es la manera



metodológica y global de expresar e intervenir en ciertos aspectos de la realidad.

Las matemáticas son parte esencial en la formación de los estudiantes de ingeniería, sin embargo, estas materias han sido abordadas por los docentes de una manera tradicional en la que los profesores solo exponen la parte teórica explicando métodos de resolución de problemas, así como axiomas y teoremas. Esto ha traído como consecuencia que los alumnos que reciben toda esta información no comprendan del todo para que les sirva aprender esa teoría y solo terminan memorizando los métodos sin saber que realmente todo lo que vieron tiene aplicaciones en la física o en la química que resultan ser bastante interesantes e importantes para su formación como ingenieros.

Es por esta razón que es importante dar un enfoque práctico a las matemáticas de las ciencias básicas ya que por medio de estas el alumno puede aterrizar los conceptos que vio en clase y ser partícipe de manera activa en la formación de su propio conocimiento, ya que mediante los experimentos puede interactuar con el material y vivir en primera persona los efectos físicos que involucra un desarrollo matemático. Y finalmente a largo plazo el alumno genera interés por lo que está aprendiendo y además lo invita a investigar más.

La búsqueda de estrategias que combinen, en el aprendizaje de las matemáticas, los contenidos y sus aplicaciones brindan oportunidades a los alumnos de reconocer la utilidad de esta asignatura en contextos propios de su vida cotidiana. Esta búsqueda es indispensable en la formación de ingenieros, quienes deben ser capaces de dar solución a las problemáticas profesionales a las que se enfrentarán en sus áreas laborales. (Rodríguez Gallegos & Quiroz Rivera, 2016)

Finalmente, es necesario reconocer la labor determinante del docente en la elección, diseño o adaptación y puesta en escena de actividades experimentales en el aula. Por tanto, el trabajo con los docentes ha de ser un aspecto primordial si se busca la diseminación de este tipo de actividades en las aulas de clase. Investigaciones recientes han mostrado metodologías que combinan el trabajo investigador-

docente cuyos resultados pudieran tomarse en cuenta para el seguimiento del estudio de la experimentación en matemáticas. (Rodríguez Gallegos & Quiroz Rivera, 2016).

Con la creación de prácticas, experimentos y prototipos físicos se pretende, por un lado, que los alumnos vean una aplicación práctica a sus conocimientos recién adquiridos y, por otro, que el aprendizaje de los conceptos con un mayor grado de complejidad sea apoyado por un modelo físico, que les facilite, tanto a ellos como a los profesores, comprender esa parte teórica tan difícil de plasmar en un pizarrón de clases e incluso con ayuda de las computadoras.

De acuerdo con los resultados obtenidos en su investigación por Espinosa, González y Hernández, (2016), el uso de las prácticas de laboratorio como estrategia didáctica, al ser utilizada desde el marco teórico constructivista promueve que los estudiantes logren la construcción de conocimiento científico escolar y alcancen el desarrollo de competencias científicas, propiciando una mayor autonomía y participación por parte de los educandos, para que sean ellos quienes lleguen a ejecutar prácticas de laboratorio en las que se aborden las dimensiones conceptuales, procedimentales y actitudinales del conocimiento. Esto es precisamente lo que como objetivos primordiales tiene el grupo de profesores que están participando en este proyecto.

Basándonos en el cognitivismo de Bruner (2004), quien indica que el sujeto atiende selectivamente la información, la procesa y organiza, lo cual implica tres procesos: adquisición, transformación y evaluación. Ciertamente, dichos procesos requieren a su vez del manejo de estrategias y técnicas a objeto de favorecer el aprendizaje (García & Fonseca, 2015) y eso es lo que realizan en las prácticas que les planteamos a desarrollar. En este sentido, se considera importante proporcionar a los profesores opciones de estrategias didácticas, para guiar su labor docente con miras hacia el desarrollo y la implantación de una cultura experimental y de análisis, así como promover la consolidación de los conocimientos adquiridos en el salón de clases con prácticas de laboratorio que ilustren algún concepto teórico, y la relación que guarda este con los resultados experimentales. El grupo de trabajo



está convencido de que debe realizarse una evaluación de las actividades a través de pruebas piloto, y compartir los resultados interna y externamente en congresos y reuniones académicas tanto nacionales como internacionales, y que conviene implementar alguna práctica remota en la cual se puedan tener experiencias significativas, buscando con ello la disminución de costos en equipo e infraestructura y el incremento de la población estudiantil beneficiada.

La metodología que se ha planteado en este primer año del proyecto y que se pretende que continúe para el siguiente periodo, ha sido la de conformar un grupo de académicos multidisciplinario que aporte ideas de sus diferentes áreas de especialización; posterior a ello el recopilar información acerca de las prácticas, referente al modelado matemático, diseño y construcción de modelos y prototipos tecnológicos para prácticas de laboratorio de matemáticas y de física de la Facultad de Ingeniería, en particular de la DCB. El reclutamiento de alumnos que colaboren en el proyecto también ha jugado un papel importante, ya que sus puntos de vista son valiosos para identificar los conceptos que los estudiantes consideran difíciles de visualizar, además de apoyar su formación profesional invitándolos a que realicen su servicio social, o bien, desarrollen su tesis profesional, mediante temas relacionados con la elaboración de las prácticas, el diseño de software, o las aplicaciones de mecatrónica y de instrumentación, con el objeto de concebir, desarrollar, diseñar e incorporar mecanismos automáticos, controladores e instrumentos de medición electrónica que se requieran.

### 3. Resultados

Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados, se ha buscado desarrollar prácticas para diferentes materias y con aplicaciones variadas. En términos generales el desarrollo de las propuestas se ha basado en seis etapas fundamentales:

I Planteamiento de la idea a desarrollar. La manera en que han surgido las ideas son variadas: mientras que algunas se han basado en experiencias realizadas previamente, otras han surgido a partir de algún modelo matemático y su intento de materializarlo en un experimento. No se ha tenido restricción alguna de las ideas, aunque sí se ha buscado no ser repetitivo con

las propuestas.

II Análisis de la viabilidad de la propuesta, así como la valoración de las materias donde se tendría un impacto. En esta etapa se ha buscado enriquecer la discusión y análisis de la propuesta con profesores de diversas asignaturas a través de lluvia de ideas, para determinar la materia o materias donde se podrá aplicar, así como en cuáles temas tendrá impacto. Cabe mencionar que una misma propuesta puede tener cabida en diferentes asignaturas, y dependerá del diseño de la práctica donde se aplique finalmente. Esta etapa también incluye las pruebas de la propuesta o del prototipo, para poder identificar los desafíos con los que se puede enfrentar el alumno y así poder realizar un mejor diseño de la práctica.

III Diseño de la práctica. Con lo discutido en la etapa anterior, se procede a elaborar el diseño con los objetivos establecidos y realizando las consideraciones necesarias para su implementación, tanto desde el punto de vista académico, como podrían ser los antecedentes del alumno, como desde el punto de vista operativo, en donde se establece qué material y equipo serán necesarios.

IV Aplicación en un grupo piloto. Una vez diseñada la práctica, se procede a que un grupo de alumnos la desarrollen, para que ellos la evalúen y los profesores participantes identifiquen las áreas de oportunidad de mejora.

V Evaluación de los resultados obtenidos, y ajustes de la práctica. Con los resultados de la evaluación de los alumnos, así como la detección por parte de los profesores de las áreas a mejorar, se corrige la práctica y en dado caso se valora su futura aplicación.

En este primer año, como se comentó anteriormente, se han diseñado y aplicado dos prácticas, en las cuales todas las etapas se han desarrollado satisfactoriamente, por lo que se pueden considerar como productos terminados. A continuación, se menciona una descripción breve de lo que se ha visto en cada una de ellas.

Con respecto a la práctica 1 “Aplicación de las ecuaciones diferenciales en el enfriamiento de una sustancia de acuerdo a la ley de enfriamiento de



Newton”, se han tenido buenos resultados referentes al desarrollo de la práctica tanto en el laboratorio como en el salón de clases, ya que la infraestructura es adecuada y el material es sencillo de utilizar, se requiere planear la distribución de las brigadas de trabajo correspondientes y la realización de un cuestionario previo relacionados con los antecedentes teóricos de la práctica; en cuanto a la participación de los estudiantes en el desarrollo de la práctica se puede comentar que es muy buena y que atienden indicaciones de manera adecuada en la toma de lecturas, realizan el experimento de forma correcta y, en general, los resultados obtenidos son con porcentajes de error bajos, además que identifican aplicaciones de la temática en situaciones de Ingeniería de diversas áreas.

En cuanto a la práctica 2 “Determinación de la constante de velocidad y orden de una reacción química mediante el análisis de Ecuaciones Diferenciales” los resultados han cubierto las expectativas; con respecto a las instalaciones del laboratorio se puede indicar que son las apropiadas para la realización del experimento, ya que los estudiantes siguen los lineamientos de seguridad, pictogramas e indicaciones tanto del profesor que imparte la práctica como del laboratorista a cargo.

Se cuenta con apoyo del personal del laboratorio con respecto del material requerido para la realización de la práctica ya que proporcionan pipetas, parrillas de agitación, agitadores magnéticos, vasos de precipitados, cronómetros y las disoluciones con las concentraciones requeridas.

Los estudiantes acuden al laboratorio en un horario en el que no se tienen programadas actividades curriculares, y atendiendo a las indicaciones del profesor a cargo se forman las brigadas correspondientes. Una vez iniciada la práctica se realizan los experimentos correspondientes teniendo cuidado de seguir las indicaciones del manejo del material y disoluciones. Asimismo, ellos deberán coordinarse para la toma de lecturas del cronómetro para medir el tiempo solicitado en la práctica, por lo que deberán ser cuidadosos de no tener errores de

paralaje al visualizar la turbidez de la mezcla y de indicar de forma precisa cuándo detener el cronómetro, ya que el tiempo es el dato más importante en el desarrollo de este experimento.

Al trabajar con diferentes concentraciones, se propone que los dos experimentos sean divididos entre las brigadas y que posteriormente se intercambien los datos obtenidos, lo que ayuda a que los estudiantes conozcan ambos casos y obtengan los resultados correspondientes en el tiempo asignado para la práctica.

En el desarrollo de la práctica, los estudiantes se muestran interesados y cuidadosos lo que impacta en los resultados obtenidos.

Cabe mencionar que también se identifica la interdisciplinariedad de la actividad, ya que en ambas prácticas se trabajan conceptos de matemáticas, física y química y esto ayuda a que el estudiante identifique que los conceptos que ha aprendido a lo largo de su estancia en la DCB los aplicará en su actividad profesional.

En cuanto a las prácticas Análisis de sistemas de segundo orden con circuitos RLC y Convolución y sus aplicaciones en efectos acústicos, se han desarrollado hasta su aplicación en grupos piloto, por lo que hace falta el proceso revisión de resultados, y realizar las modificaciones y correcciones pertinentes para poder aplicarlos a los grupos de los profesores interesados.

Con respecto a la práctica Fuerza de fricción viscosa en un paracaídas, se han realizado pruebas para poder determinar la viabilidad, teniendo que realizar las mediciones y analizar los resultados para obtener los modelos experimentales y compararlos con los teóricos. Hasta ahora se siguen buscando opciones para poder diseñar una práctica con un desarrollo claro que puedan ser más útil a los alumnos.

En cuanto al planteamiento del prototipo de la práctica remota encaminada a la práctica 1, se tiene ya la propuesta del prototipo mecánico que se fabricará, ya se discutió su viabilidad, su funcionalidad y su posible montaje, para poder llevarlo a cabo en semestres posteriores.



#### 4. Discusión de resultados

La realización de experimentos hace que los estudiantes se involucren en su aprendizaje, ya que no solo son espectadores que ven cómo se realiza el desarrollo matemático de las ecuaciones que comprenden la ley de enfriamiento de Newton, por ejemplo, sino que a través de los materiales y el desarrollo del experimento los estudiantes participan como agentes activos que aprecian de manera tangible el significado de las ecuaciones y constantes que intervienen en dicha ley, y que adicionalmente a los conceptos teóricos vistos en clase hacen que el estudiante no solo memorice un método o una ecuación para determinado problema sino que aprenda y conozca la utilidad y la importancia del concepto visto en clase y su vinculación con la realidad.

Al momento de dibujar la gráfica de los resultados experimentales, el estudiante puede notar que tiene el comportamiento de una función exponencial; además, al cotejarlos con los resultados teóricos, el estudiante observará que la variación entre estos es mínima, es decir, que la diferencia del valor teórico con el valor experimental es aproximadamente de un 5 a 10%; esto también ayuda en el aprendizaje del estudiante, porque observa que un fenómeno físico tiene el comportamiento de una función que ya conoce. Además, el estudiante puede deducir los motivos por los cuales existe una diferencia entre los valores teóricos y experimentales (aislamiento del experimento, material del contenedor, lectura de temperaturas, etc.).

Realizar experimentos que ayudan a reforzar los conceptos vistos en clase tiene grandes ventajas:

- 1 Involucran al estudiante como agente activo.
- 2 Fomentan el lado crítico del estudiante al momento de analizar los resultados.
- 3 Promueven un aprendizaje real y no solo la memorización.
- 4 Se pretende que el estudiante se dé cuenta de que no hay una separación real entre teoría inclusive expresada en forma matemática, y la práctica.
- 5 Promueven el método científico.

En cuanto a la encuesta que se realiza al finalizar

cada una de las prácticas, las respuestas de los estudiantes mencionan que es muy gratificante observar fenómenos físicos o químicos en donde se involucren los conceptos matemáticos que vieron en su clase teórica; algunos de ellos manifiestan que no imaginaban que en algo tan cotidiano podría haber ingeniería, les incentiva a poder investigar más al respecto y consideran que efectivamente las matemáticas se encuentran en muchas situaciones reales, que es importante manejar la herramienta matemática, pero que también la parte teórica que explica el fenómeno es importante analizarla y reflexionar sobre ella.

Consideran que es una iniciativa muy buena y les parece pertinente que se extendiera a todas las asignaturas de sus primeros semestres, en los que varios de sus profesores no les muestran alguna aplicación real de lo que les explican en clase.

Asimismo, se ha notado que el planteamiento de estas prácticas es difícil, ya que no se debe perder de vista que son estudiantes de los primeros semestres de ingeniería, por lo que la falta de antecedentes necesarios para poder analizar algún fenómeno físico son insuficientes, por lo que se debe tener cuidado al elegir el fenómeno a analizar y la forma más adecuada de plantearlo al estudiante, sin perder de vista el objetivo, y no frustrar al alumno con cuestiones que probablemente aún le sean incomprensibles o no estén a su alcance por ser de un área de ingeniería diferente.

#### 5. Conclusiones

Se ha tenido respuesta positiva por parte de los alumnos durante la aplicación de las prácticas, lo que puede constatarse en las evaluaciones realizadas; desafortunadamente el número de alumnos beneficiados no representa mayoría con respecto al número de alumnos matriculados; es por ello que se ha trabajado con otras opciones como las prácticas remotas antes mencionadas, ya que esto traerá como consecuencia un mayor número de alumnos beneficiados.

Los estudiantes muestran interés en la realización de las prácticas y lo encuentran provechoso para su formación académica. Su compromiso se constata dado que es un trabajo que se efectúa en



horario extracurricular y requiere la realización de una investigación para contestar un cuestionario previo, así como el trabajo en equipo para la entrega del informe de la práctica realizada.

El apoyo de los profesores al invitar a sus alumnos a participar en esta actividad también es importante, de hecho, ya se está pensando alguna estrategia que se podría aplicar para capacitar a más profesores que impartan las prácticas y puedan mostrarlas en sus grupos, aunque estaría el inconveniente de los espacios para poder realizarlas.

Se efectúa un trabajo colaborativo entre los estudiantes de las asignaturas y los resultados obtenidos dan una buena perspectiva de las aplicaciones en la ingeniería, asimismo, el desarrollo de otras competencias científicas, como el análisis de datos, uso de software especializado y la toma de decisiones, son competencias que difícilmente las adquirirán o experimentarán en el aula.

También los estudiantes identifican que su formación y su plan curricular son formativos y complementarios, que las asignaturas no están aisladas, sino que en conjunto coadyuvan a su formación integral e identifican la interdisciplina de las asignaturas ya que se trabajan varios conceptos en una sola práctica. Aunque faltan varias metas por cumplir, puede considerarse que las actividades realizadas están bien encaminadas.

## Agradecimientos

Artículo elaborado gracias al apoyo del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIME PE111218 "Diseño de prácticas de laboratorio para fortalecer el aprendizaje

de conceptos matemáticos en Ciencias Básicas".

## Referencias

- Bruner, Jerome. (2004). *Desarrollo Cognitivo y Educación*. Madrid: Morata.
- Espinosa, R. E., González, L. K., Hernández, R. L., (2016). *Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar*. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Entramado. 12 (1), pp. 266-281.
- Fernández, Gabriela. (2000). *Pedagogía, psicología y didáctica de la matemática*. p.101-116, 2000. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/26442442\\_Pedagogia\\_Psicologia\\_y\\_didactica\\_de\\_la\\_Matematica](https://www.researchgate.net/publication/26442442_Pedagogia_Psicologia_y_didactica_de_la_Matematica)
- García Gajardo, F., & Fonseca Grandón, G., & Concha Gfell, L. (2015). *Aprendizaje y rendimiento académico en educación superior: un estudio comparado*. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación", 15 (3), 1-26.
- Rodríguez Gallegos, R., & Quiroz Rivera, S. (2016). *El rol de la experimentación en la modelación matemática*. Educación Matemática, 91-101.
- Steinmann, A., Bosch, B., Aiassa, D., (2013). *Motivación y expectativas de los estudiantes por aprender ciencias en la universidad. Un estudio exploratorio*. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 18 (57), pp. 585-598.

# **PARTE II**

# **CARTELES**

---

## CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLÓGICA DEL VULCANISMO SILÍCICO DE LA ZONA DE EL TEPENENE, PUEBLA

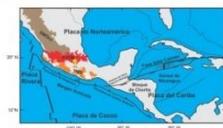
**Dr. Aldo Ramos Rosique**

Profesor de Carrera Asociado “C” T. C., Departamento de Geología  
División de Ciencias de la Tierra

# Caracterización geológica, geoquímica y geocronológica del vulcanismo silíceo de la zona de El Tepenene, Puebla.

Aldo Ramos-Rosique;  
 Lizbeth Landa-Piedra, Enrique González-Torres, Laura Mori, Gilberto Silva-Romo,  
 Sergio Enrique Macías-Medrano, Emiliano Camos-Madrigal.

## INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE ESTUDIO.

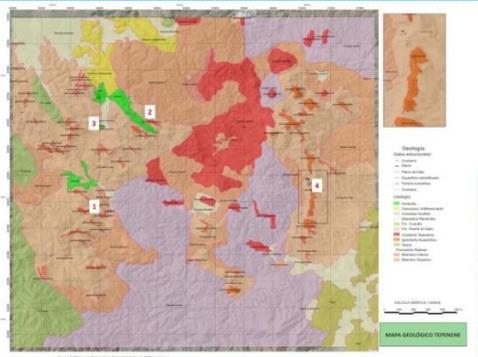


La Sierra Madre del Sur (SMS) se distribuye a lo largo de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Al norte tienen por límite las secuencias meridionales de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) mientras que al sur la trinchera de Acapulco trunca su extensión (Morán-Zenteno et al., 2007). La zona volcánica de El Tepenene se encuentra en el extremo oriental del vulcanismo silíceo del sector norte-central de la provincia magmática de la SMS (Fig.1 y 2), ubicada en la transición entre los bloques corticales de los terrenos Guerrero (W) y Mixteco (E). Las secuencias magmáticas la SMS del sector norte-central están empujadas en dos bloques corticales de distintas edades, litologías e historias tectónicas contrastantes, cuyos límites se definen por sistemas de fallas mayores (Campa y Coney, 1983; Sedlock et al., 1993), esta provincia magmática terciaria ocupa los terrenos Guerrero, Mixteca, Oaxaca y Juárez.



Figura 2. Mapa de ubicación de los centros volcánicos de composición silíceo de la SMS, en la parte E de Huastla. En el cuadro azul se indica el área de estudio, tomada y modificada de Morán-Zenteno et al., 2007. En la figura 1 podemos observar el área de estudio más detallada.

## GEOLOGÍA



El vulcanismo en la Zona Central de la Sierra Madre del Sur se encuentra entre los ~38 - 28 Ma, dando origen a erupciones caldéricas y fisurales que generaron una cadena de estructuras de colapso, domos riolíticos, cuerpos hipabisales y lavas intermedias a silíceas, que conforman los centros volcánicos de Nanchititla, San Vicente, Valle de Bravo, Muñeca, Paredes, Goleta, Taxco, Tilzapotla y Huautla (Figura 4), cuyo estudio ha evidenciado una migración del magmatismo hacia el SE.



Figura 4. Mapa geológico del sector norte-central de la SMS que muestra los centros volcánicos de composición intermediasilíceo. Tomado de Morán-Zenteno et al., 2007.

## PETROGRAFÍA Y ESTRATIGRAFÍA

La zona de El Tepenene ha sido poco estudiada en detalle y presenta paquetes de flujos andesíticos con fenocristales de plagioclasa y piroxeno y espesores visibles de ~100m. Por encima de éstos descansan grandes espesores (~250 m) de paquetes de ignimbritas dacíticas (61 - 72 %wt SiO<sub>2</sub>) con fenocristales de feldespato ± anfíbol ± biotita, ± cuarzo y pómez. Dicha secuencia de rocas ígneas sobryace a una unidad estratigráfica que corresponde a la Formación Raboso (Eoceno Tardío) siendo una sucesión de depósitos conglomeráticos de abanicos aluviales. La Formación Raboso sobryace a los esquistos verdes del Complejo Acatlán (Paleozoico).

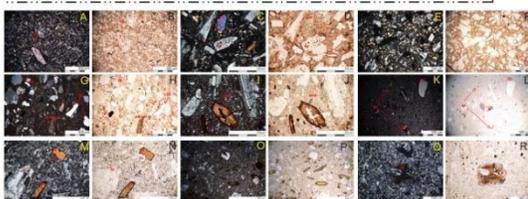


Figura 5. Fotomicrografías representando las diferentes corrientes ígneas del área de estudio: andesitas, flujo ignimbritico, y El Tepenene. Andesitas: A-E; ignimbritas: I-L. Se puede observar la presencia de fenocristales de plagioclasa y piroxeno en las lavas andesíticas y en las ignimbritas. Las lavas andesíticas muestran inclusiones de vidrio, piroxeno (Px), de forma subredondeada, ignimbritas (I-N) fotomicrográficas en las que se observan una gran variedad de fenocristales de feldespato (F) los cuales también muestran algunas de las características antes descritas, tales como: algunos de estos cristales se observan rodeados por un halo de forma subredondeada, también (S) de forma subredondeada, también (S) de forma andesítica, también (S) de forma subredondeada con una matriz hipocristalina con la misma paragénesis mineral más la presencia de óxidos, apatitos y circonos. Andesitas (A-E) y ignimbritas (I-N) que pertenecen al Complejo de Raboso (Eoceno Tardío) y esquistos (S) de color (S), exhiben distintas características petrográficas antes descritas.

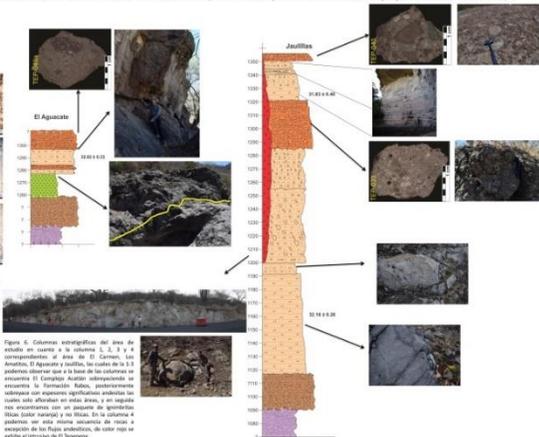
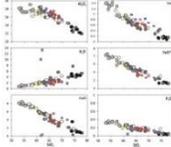
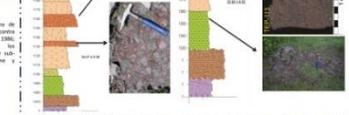
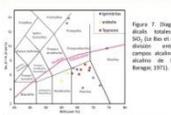


Figura 6. Columna estratigráfica del área de estudio en cuanto a la columna 1, 2, 3 y 4 correspondientes al área de El Carmen, San Andrés, El Aguacate y Jaullillas, los cuales de la 1.3 podemos observar que a la base de la columna se encuentra el Complejo Acatlán, perteneciente al Paleozoico. La Formación Raboso, perteneciente al Eoceno Tardío, sobryace a los esquistos verdes del Complejo Acatlán, perteneciente al Paleozoico. La Formación Raboso, perteneciente al Eoceno Tardío, sobryace a los esquistos verdes del Complejo Acatlán, perteneciente al Paleozoico. La Formación Raboso, perteneciente al Eoceno Tardío, sobryace a los esquistos verdes del Complejo Acatlán, perteneciente al Paleozoico.

La secuencia ignimbritica (~34.5 - 29.9 Ma) cuenta con paquetes de ignimbritas ricas en líticos consideradas como brechas líticas masivas, con líticos de hasta ~1 m de diámetro, y formando unidades con espesores de hasta ~60 m. Un intrusivo hipabisal dacítico (65 - 67 %wt SiO<sub>2</sub>) denominado como Tepenene aflora en la zona de estudio, con fenocristales de feldespato ± anfíbol ± biotita y cuarzo, con matriz hipocristalina conformada por la misma paragénesis, escasos óxidos, apatitos y circonos. Dicho intrusivo se emplazó en un periodo de ~31.2 - 31.0 Ma.

## GEOQUÍMICA



Las rocas de la Zona Volcánica de El Tepenene subalcalinas y solo dos muestras de ellas caen en el campo de riolitas alcalinas, las muestras presentan una variación de silíceo ~59-72 % wt (figura 7). En los diagramas de variación de elementos mayores (figura 8) los productos de algunas corrientes volcánicas de la SMS exhiben tendencia negativa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO\*, CaO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sin mostrar algún gap de silíceo entre estas muestras podemos inferir la correlación en cuanto a la migración del magmatismo silíceo de la SMS, respecto a las muestras de El Tepenene. Las rocas estudiadas tienen composiciones de elementos traza contrastantes (fig. 9). Las andesitas, El Tepenene y Jaullillas exhiben marcadas anomalías positivas de Pb y Sr, y patrones de REE extremadamente planos. Dichas anomalías son muy marcadas en Los Amatitos y El Aguacate, cuya característica más sobresaliente es el empobrecimiento notable de HREE. A pesar de estas diferencias, las rocas de El Tepenene presentan algunas similitudes con las rocas de la SMS.

## CONCLUSIÓN

Con los nuevos datos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos obtenidos y la relación con los centros volcánicos aledaños, se puede llegar a la conclusión de que la zona de El Tepenene representa actividad asociada a la SMS y confirma la migración del magmatismo explosivo hacia el SE (figura 10). También nos indica que, aunque presenta edades similares al Centro Volcánico de Huautla puede ser un centro volcánico independiente ya que los paquetes de brechas líticas masivas representan facies proximales y fueron emplazadas cerca del conducto volcánico. De acuerdo a los espesores encontrados en la zona de estudio, y que si se tratara de flujos pertenecientes al Centro Volcánico de Huautla, los líticos presentes en los paquetes de brechas líticas masivas, se observarían líticos retrabajados y con espesores muchos menores, debido a la distancia que tendría que recorrer para ser emplazado en la Zona de El Tepenene.

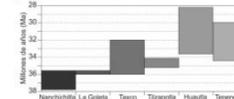
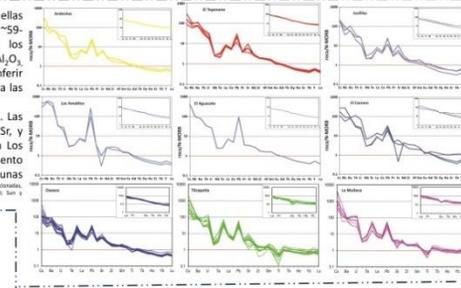


Figura 10. Imagen que representa la migración del magmatismo de los diferentes centros volcánicos de la SMS, incluida El Tepenene.

## TUTORIAL DE UNA PÁGINA ELECTRÓNICA DE MINERALOGÍA ÓPTICA

**Ing. Alfredo Victoria Morales<sup>1</sup>**

**Ing. Francisco Javier Medina Escutia<sup>1</sup>, Ing. Teodoro Hernández Treviño<sup>2</sup>, Verónica Rodríguez Moreno<sup>3</sup>, Mariana Peña Guerrero<sup>4</sup>, Karina Martínez Bautista<sup>3</sup>, María Fernanda García Hurtado<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, <sup>2</sup> Instituto de Geofísica, <sup>3</sup> estudiante de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería y <sup>4</sup> estudiante de Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias, UNAM, México.

En el proyecto PAPIME 105116 se ha estado trabajando en la preparación de una página electrónica de mineralogía óptica, con la cual, alumnos estudiantes de Ciencias de la Tierra e investigadores de materiales pétreos, contarán con una herramienta que les permitirá aprender a determinar las diferentes propiedades ópticas de los minerales transparentes en un microscopio petrográfico que sirven para identificarlos, así como en el microscopio mineragráfico para identificar minerales opacos. Los estudios al microscopio, petrográfico o mineragráfico, son una herramienta muy útil, por su bajo costo y rápida aplicación, que ayuda a resolver problemas relacionados con la identificación de minerales y clasificación de rocas necesarios en la exploración por recursos pétreos y petróleo, la resolución de problemas metalúrgicos en la industria minera, la identificación de materiales y posible procedencia en estudios arqueológicos, etc.

Los materiales sólidos se clasifican en opacos si reflejan y absorben la luz y transparentes si reflejan, transmiten y refractan la luz. También se clasifican en isotrópicos si la luz se comporta igual en cualquier dirección del cristal o anisotrópicos si la luz tiene diferente comportamiento de acuerdo con la orientación del cristal. Los microscopios petrográficos y mineragráficos utilizan luz polarizada y las propiedades ópticas de los cristales dependen de su interacción con la luz aprovechando las propiedades geométricas de la luz.

La página cuenta con un texto introductorio donde se explica qué es la luz, luz polarizada, las propiedades geométricas de la luz y su relación con los materiales sólidos. Se hace una descripción de los dos tipos de microscopios indicando las observaciones que se pueden realizar y qué partes de este se utilizan para cada tipo de observación. Incluye un manual de laboratorio para observaciones por petrografía y otro para mineragrafia, así como una guía de prácticas de laboratorio para ambos casos. Se tiene un atlas donde, con fotografías, se ilustran algunas propiedades como forma, tipo de crucero, tipo de relieve. Contiene videos donde es posible observar las siguientes propiedades ópticas obtenidas con luz paralela como color: pleocroismo y relieve de minerales transparentes y color y reflectancia, pleocroismo y dureza relativa para minerales opacos. Así como las siguientes propiedades ópticas obtenidas con nicols cruzados: anisotropía, extinción, elongación y las propiedades conoscópicas como carácter óptico y signo óptico de minerales transparentes. El trabajo se realizó con el apoyo de alumnas y alumnos estudiantes de Ciencias de la Tierra, quienes indistintamente realizaron investigación bibliográfica, trabajo de campo y laboratorio, preparación de esquemas y tomas de fotografías y videos, dentro del Programa de Apoyo para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza PAPIME con el Proyecto “Diseño de una página electrónica para desarrollar las técnicas de identificación microscópica de minerales por petrografía y mineragrafia.

## COLOQUIO



# «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»



29 al 31 enero 2019

## DISEÑO DE UNA PÁGINA ELECTRÓNICA PARA DESARROLLAR LAS TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES POR PETROGRAFÍA Y POR MINERAGRAFÍA PE105116.

Ing. Alfredo Victoria Morales<sup>1</sup>, Karina Martínez Bautista<sup>1</sup>, Ing. Teodoro Hernández Treviño<sup>2</sup>, Ing. Francisco Javier Medina Escutia<sup>1</sup>, María Fernanda García Hurtado<sup>3</sup>, Mariana Peña Guerrero<sup>3</sup>, Verónica Rodríguez Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería. <sup>2</sup> Instituto de Geofísica. <sup>3</sup> Facultad de ciencias.

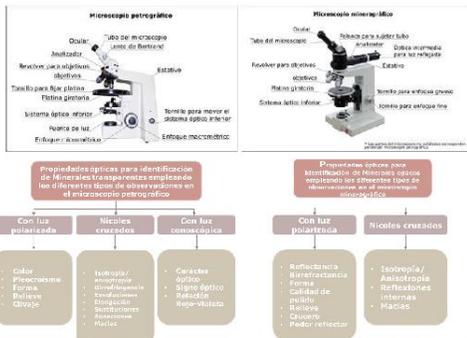
### Introducción

Se presenta una página electrónica de mineralogía óptica con la cual, alumnos de Ciencias de la Tierra y estudiosos de materiales pétreos aprenderán a determinar las diferentes propiedades ópticas que se obtienen en el microscopio petrográfico para identificar minerales transparentes y en el microscopio minerográfico para identificar minerales opacos.

### Metodología

La identificación de minerales al microscopio petrográfico o minerográfico es una herramienta muy útil, relativamente de bajo costo y de rápida aplicación, que ayuda a resolver problemas geológicos como la clasificación de minerales y de rocas aplicables en la exploración por recursos pétreos, la resolución de problemas metalúrgicos en la industria minera, identificación de materiales y posible procedencia en estudios arqueológicos, etc. Alumnos de Ciencias de la Tierra y personas interesadas en identificar minerales al microscopio óptico podrán contar con una herramienta que los ayude a reconocer las propiedades ópticas que se obtienen por esta técnica.

Las observaciones al microscopio óptico se realizan con luz polarizada y se aprovechan las propiedades geométricas de la luz al reaccionar con materiales transparentes y opacos, como son la refracción, la reflexión y la dispersión. Los materiales sólidos se clasifican en opacos si reflejan y absorben la luz y transparentes si reflejan, transmiten y refractan la luz. También se clasifican en isotrópicos si la luz se comporta igual en cualquier dirección dentro del cristal o anisotrópicos si la luz tiene diferente comportamiento de acuerdo a la orientación del cristal.



### Resultados

Se cuenta con una página electrónica alojada en el dominio wix.com, con la información que ha sido recabada en el tiempo que ha transcurrido del proyecto. Como parte del proyecto se han elaborado manuales de laboratorio, manuales de prácticas de laboratorio y videos, los cuales están en construcción posteriormente se encontrarán a disposición de la comunidad estudiantil y académica mediante la página electrónica <https://papimepe105116.wixsite.com/mineralogiaoptica>



### Conclusiones

El uso de las Tecnologías de la Información es cada vez mayor en la educación, es importante que los académicos se involucren en la evolución del proceso de aprendizaje de los estudiantes. La creación de un sitio web público es una manera de contribuir a los nuevos métodos de estudio existentes. En el sitio se pondrá a disposición de los interesados manuales de prácticas así como videos tutoriales que expliquen las propiedades ópticas. Es importante señalar que el sitio web no sustituye ningún curso presencial de la materia sino es más bien un apoyo para complementarlo.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de la Dirección General del Personal Académico de la UNAM, dentro del Programa de Apoyo para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza PAPIME.

### Otros participantes

Académicos  
Dr. Aldo Ramos Rosique  
Mto. Marco Antonio Rubio Ramos  
Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramirez

Alumnos  
Miriam Álvarez Anguliano  
Julieta Marras López  
Claudia Martínez Zamudio  
Kevin Alonso García Cruz  
Ing. Emmanuel Jiovani Díaz Juárez  
Ing. Francisco Nevarrete Martínez

¡Visita nuestra página!



Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## DIAGNÓSTICO MULTIDISCIPLINARIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE AGUA EN CONCEPCIÓN, BUENAVISTA, OAXACA

**Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar**

Profesor de Carrera Asociado “C” T. C., Depto. de Sistemas, Planeación y Transporte, División de Ingeniería  
Civil



## IMPACTO DEL CARBONATO DE CALCIO A LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

**Dra. Ana Paulina Gómora Figueroa**

Profesor Asociado C, Departamento de Ingeniería Petrolera, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

El agua asociada a yacimientos contiene sólidos y sales disueltos que se encuentran en equilibrio a condiciones de yacimiento, es decir no presentan cambios. Sin embargo, durante la producción de hidrocarburos se dan alteraciones significativas en las propiedades de fluidos producidos, alterando la solubilidad de dichos sólidos, formando precipitados que posteriormente se incrusten en tuberías. Específicamente, la solubilidad del carbonato de calcio depende de la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua (pH bajo), y disminuye al incrementar la temperatura. A su vez, la solubilidad de las incrustaciones de calcio se ve afectada por la concentración de otras sales presentes. En este trabajo se presenta el análisis teórico-experimental, de la formación y estabilidad de incrustaciones de carbonato de calcio empleando muestras de agua bajo diferentes condiciones. Las pruebas experimentales incluyen el estado estático, así como el estado dinámico, donde se evaluó la formación, inhibición y remoción de incrustaciones de carbonato de calcio. Los resultados obtenidos pueden ser aplicados para el entendimiento, manejo y prevención de las incrustaciones durante la producción de hidrocarburos.

En este trabajo se muestra que la formación de incrustaciones de carbonato de calcio depende fuertemente del pH, es decir, de la concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en el medio, así como de otros sólidos disueltos presentes en el agua (ej. NaCl). Debido a que los resultados obtenidos con PHREEQC coinciden con los resultados experimentales, se estudia la manera de emplear este software para estimar el comportamiento de las salmueras a presiones elevadas y continuar con el estudio de la formación de incrustaciones.

La opción más sencilla y económica para tratar la formación de incrustaciones es el empleo de ácidos, sin embargo, un exceso o mal manejo de éste pueden ocasionar problemas en las instalaciones, como corrosión. El uso de un ácido orgánico puede representar una opción viable y menos agresiva a las instalaciones. Es importante señalar que las condiciones que presentan las salmueras empleadas en este trabajo presentan propiedades altamente corrosivas, por lo que actualmente, se realiza la evaluación de ácidos orgánicos en circuitos de prueba y el estudio de la velocidad de corrosión en diferentes tipos de tubería para complementar este estudio. Hasta el momento, se han generado como productos directos: una tesis de licenciatura (mayo **2017**), tres en proceso de escritura (**2018** y **2019**), y un artículo de divulgación (Materiales Avanzados, 29, **2018**). Como productos indirectos: una tesis de licenciatura (marzo **2018**) y un artículo internacional arbitrado e indexado (Petroleum, Elsevier, *Aceptado*, **2018**).



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2018

29 al 31 enero 2019



### IMPACTO DEL CARBONATO DE CALCIO EN LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

Dra. Ana Paulina Gómora Figueroa

Profesor Asociado C

Departamento de Ingeniería Petrolera, DICT

#### Introducción

Durante la producción de hidrocarburos se dan alteraciones significativas en las propiedades de fluidos producidos, que modifican la solubilidad de sales y partículas suspendidas, formando precipitados que se incrustan en tuberías de producción. Por ejemplo, la solubilidad del carbonato de calcio incrementa con la cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua y disminuye al incrementar la temperatura. A su vez, la solubilidad de las incrustaciones de calcio se ve afectada por la presencia de otras sales presentes. En este trabajo se presenta el análisis teórico-experimental, de la formación y estabilidad de incrustaciones de carbonato de calcio empleando muestras de agua análogas a las de un campo petrolero. Las pruebas experimentales incluyen el estado estático, así como el estado dinámico, donde se evaluó la formación, inhibición y remoción de incrustaciones de carbonato de calcio. Los resultados obtenidos pueden ser aplicados para el entendimiento, manejo y prevención de las incrustaciones durante la producción de hidrocarburos.

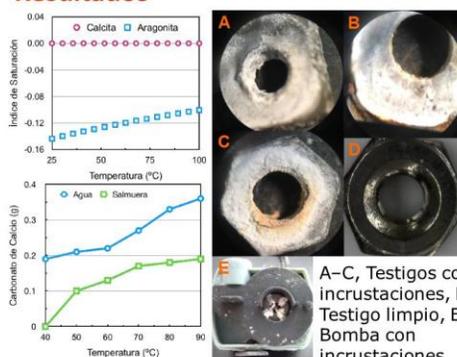
#### Metodología

1. Se prepararon soluciones de calcio y bicarbonato (ver abajo) en un vaso de precipitados, las cuales fueron mezcladas entre sí. La disolución resultante se puso en agitación y calentamiento por 20 horas. A continuación, se muestran las condiciones empleadas para los experimentos **I** y **II** realizados.

	Experimento	Masa (g)	Salinidad (ppm <sub>NaCl</sub> )	Temperatura (°C)
CaCl <sub>2</sub>	I	0.68	0	25 - 90
	II	0.68	136,000	25 - 90
NaHCO <sub>3</sub>	I	0.65	0	25 - 90
	II	0.65	136,000	25 - 90

2. En un circuito se utilizaron testigos en los codos. Se circuló agua a lo largo del circuito, y se calentó el sistema a 65 °C, posteriormente se agregó  $\text{CaCO}_3$  y se dejó en circulación por 20 horas.

#### Resultados



#### Discusión

Los experimentos estáticos mostraron que la salinidad del medio impacta fuertemente en la formación de  $\text{CaCO}_3$ , en el caso del experimento **I**, donde no hay cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) en el medio de reacción, el rendimiento de precipitación es de 58.7%. Mientras que, en el caso de **II**, el cual se realizó con  $\text{NaCl}$  (136,000 ppm), el rendimiento es de 29.4%. Los sólidos resultantes de ambos experimentos fueron caracterizados mediante difracción de rayos-X de polvos, confirmando la formación de  $\text{CaCO}_3$ . Adicionalmente, se observó la formación de dos fases cristalinas del  $\text{CaCO}_3$ , la calcita y la aragonita, ésta última fase en mucha menor concentración. Lo anterior confirma lo reportado en la literatura, esto es, la calcita es la fase más estable termodinámicamente de las fases del  $\text{CaCO}_3$ . Por otra parte, durante los experimentos en estado dinámico se observó que los sitios críticos donde se acumula mayor cantidad de incrustaciones son en los codos, cambios de pendiente de tubería, entrada y salida de la bomba.

#### Conclusiones

Se mostró que la formación de incrustaciones de carbonato de calcio depende fuertemente del pH, del medio, así como de otros sólidos disueltos presentes en el agua (ej.  $\text{NaCl}$ ). La opción más sencilla y económica para tratar la formación de incrustaciones es el empleo de ácidos, sin embargo, un exceso o mal manejo de éste pueden ocasionar problemas en las instalaciones, como corrosión. Es importante señalar que las salmueras empleadas en este trabajo son altamente corrosivas, por lo que actualmente, se realiza la evaluación de la velocidad de corrosión en diferentes tipos de tubería para complementar este estudio. Hasta el momento, se han generado como productos de este proyecto: dos tesis de licenciatura (mayo 2017 y marzo 2018), tres en proceso de escritura (2019), y un artículo de divulgación (Materiales Avanzados, 29, 2018) y un artículo arbitrado e indexado (Petroleum, Elsevier, en Prensa, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.12.004>).

#### Referencias

- . Merdhan, A. & Yassin, A. Study of scale formation in oil reservoir during water injection—a review. Marine Science & Technology Seminar (2007).
- . Morales, M. B. Efecto del campo magnético sobre la formación de incrustación en sistemas de conducción de agua. (2015).
- . Dobersek, D. & Goricanec, D. An experimentally evaluated magnetic device's efficiency for water-scale reduction on electric heaters. Energy 77, 271–278 (2014).
- Liu, X., Li, J., Zhu, Q., Feng, J., Li, Y. Sun, J. The analysis and prediction of scale accumulation for water-injection pipelines in the Daqing Oilfield. J. of Pet. Sci. and Eng. 66, 161–164 (2009).
- Pei, G., Wang, C., Liu, L. Experimental Study on the Cause of Inorganic Scale Formation in the Water Injection Pipeline of Tarim Oilfield. J. of Chemistry, 619834, (2014)
- Zarga, Y., Ben Boubaker, H., Ghaffour, N. & Elfil, H. Study of calcium carbonate and sulfate co-precipitation. Chemical Engineering Science 96, 33–41 (2013).

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la  
Facultad de Ingeniería

Secretaría de Posgrado e Investigación

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y ANÁLISIS DE DATOS GEOESPACIALES

**Dra. Berenice Hernández Cruz**

Departamento de Fotogrametría y Percepción Remota, División de Ingeniería Civil y Geomática, Facultad de  
Ingeniería, UNAM.



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2018

29 al 31 enero 2019



### Manual de prácticas de laboratorio para el procesamiento de imágenes de satélite y análisis de datos geoespaciales

Hernández-Cruz G. B.<sup>1</sup>; Aguirre-Gómez R.<sup>2</sup>; Salmerón-García O.<sup>2</sup>; López-García J.<sup>3</sup>; Gómez-Albores M.<sup>4</sup>; J-F Mas<sup>5</sup>; Ortiz-Vásquez M.<sup>6</sup>; Arteaga-Ricci T. I.<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Fotogrametría y Percepción Remota, División de Ingeniería Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, UNAM.

<sup>2</sup> Laboratorio de Análisis Geoespacial, Instituto de Geografía, UNAM.

<sup>3</sup> Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, UNAM.

<sup>4</sup> Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)

<sup>5</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

<sup>7</sup> Departamento de Cómputo, División de Ingenierías Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, UNAM.

#### Introducción

El Marco Institucional textualmente señala lo siguiente:

*En relación con la **adquisición de habilidades, conocimientos y actitudes**, como en lo que se refiere a los medios que utilizan, la **relación entre enseñanza teórica y práctica** y la vinculación del proceso educativo con las formas de la práctica social del egresado, son criterios didácticos, del ámbito metodológico.*

**Los manuales de prácticas de laboratorio son una herramienta muy eficaz** para la transmisión del conocimiento teórico-práctico, ya que en ellos se tiene una versión simplificada de proyectos de investigación tales como: tesis, tesinas, reportes técnicos, reportes de servicios sociales, e investigaciones de interés a nivel nacional.

#### Metodología

El manual de prácticas se realizó con un **grupo multidisciplinario** en el área de geociencias y con **alumnos del último semestre** de la carrera de Ingeniería Geomática. El grupo multidisciplinario compuesto por investigadores y técnicos de diversas instituciones desarrollaron **temas medioambientales** en el área de aire, agua y usos de suelo, aplicando técnicas de percepción remota. El grupo de estudiantes, estandarizó los temas y los desarrolló en un formato de prácticas. Adicionalmente, generaron una práctica **utilizando Sistemas de Información Geográfica y datos geoespaciales**.

#### Resultados

Se diseñó una **página web** en la División de Ingenierías Civil y Geomática. Las prácticas se pueden descargar de la página. Incluso, en algunas prácticas también se pueden descargar las imágenes de satélite que se utilizaron para su desarrollo.

Al utilizar **software libre**, todas las prácticas pueden realizarse con sólo descargar los programas en sus páginas web correspondientes

#### Discusión

Los estudiantes en los últimos semestres de la carrera elaboran trabajos de investigación a los que no se les da **divulgación científica**. Las metodologías que se desarrollan en proyectos se dan a conocer en congresos, o mediante la publicación de artículos, sin embargo, no necesariamente se incluyen de forma completa los **procedimientos metodológicos**. En ocasiones, los trabajos se generan en **software** privativo. Las licencias de los programas de Sistemas de Información Geográfica suelen tener costos muy altos, o pagos anuales para poder utilizarlos. Finalmente, los estudiantes de las áreas de Ciencias de la Tierra y estudios medioambientales, en ocasiones no tienen **líneas de investigación para realizar tesis o tesinas**, esto ocasiona atrasos en su titulación, o que opten por otras formas de titularse al no encontrar un tema atractivo para desarrollar un trabajo de investigación.

#### Conclusiones

El manual de prácticas desarrollado en el presente proyecto, busca **divulgar los trabajos realizados por los estudiantes** en sus últimos semestres y que son **factibles para aplicar la metodología** en otras áreas de la superficie terrestre. La intención de haber utilizado **software libre** es para **minimizar el uso de software ilegal**, adaptando las metodologías a software libre. El incluir los insumos con los que se desarrollaron las prácticas, facilita al lector a desarrollar de forma correcta la metodología siguiendo los resultados obtenidos en el manual de prácticas.

El presente proyecto fue de gran utilidad para que los estudiantes **adquirieran habilidades y conocimientos** en el uso de **herramientas tecnológicas**. Además, la divulgación de sus **proyectos** les permite identificar la importancia que tienen el desarrollo de los mismos en los últimos semestres de su formación académica.

#### Referencias

- Aguirre R. (2009). Bases físicas de la Percepción Remota. En Conceptos de Geomática y estudios de caso en México (pp. 15-60). Ciudad Universitaria, Ciudad de México: Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Artigas, J., López, J. (2016). Estimación de la concentración de sedimentos en el río Orinoco usando sensores remotos. JGI, p. 8.
- Earth Explorer del servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Landsat Project Description (2018). Landsat Missions, USA, U.S. Geological Survey. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsatprojectdescription>
- System for Automated Geospatial Analysis (SAGA) <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

**Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería**

Secretaría de Posgrado e Investigación

## CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

**M.C. Francisco Sánchez Pérez**

Alumno Doctorado 6° semestre, Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

**Dr. Armando Ortiz Prado**

Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, División de Ingeniería Mecánica e Industrial

Hoy en día la utilización de dispositivos electrónicos en nuestra vida diaria se ha hecho prácticamente indispensable, desde la utilización de dispositivos portátiles, los utilizados en casa, oficinas, hasta los más sofisticados conocidos como “tarjetas de desarrollo” que se encargan de la parte del sistema de control, por citar algunos ejemplos, impresoras 3D, centros de maquinado (CNC). Si bien, este tipo de dispositivos pueden tener fallos por consideraciones de tipo lógico, referente a programación, estudios realizados en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, han concluido que los dispositivos electrónicos, en específico algunos de sus componentes presentan fallos por corrosión atmosférica en un 14% conllevando al fallo total de los mismos. El estudio del fenómeno de la corrosión atmosférica en dispositivos electrónicos se ha realizado en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales desde el año 2000, teniendo la participación de alumnos de las Carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica principalmente, generando recursos humanos tanto en nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado, artículos presentados en foros nacionales e Internacionales, así como publicaciones en Revista. En cuanto a resultados obtenidos de la investigación se tiene:

- a) Diseño y Fabricación de Máquina de ensayos acelerados por corrosión atmosférica, de acuerdo con la Norma ISO 9223:1993
- b) Planteamiento de Metodología para el análisis que, por corrosión atmosférica, fallan los dispositivos electrónicos
- c) Evaluación y determinación de las principales causas que conllevan al deterioro por corrosión atmosférica en dispositivos electrónicos
- d) Diseño y ensamblaje de tarjetas de desarrollo electrónicas, como especímenes de pruebas en Campo
- e) Actualización de sistema de control de máquina de ensayos acelerados, considerando la Norma ISO 9223:2012
- f) Realización de Mapa de Corrosión Atmosférica en la República Mexicana en equipo electrónico.
- g) Instalación y monitoreo de tarjetas de desarrollo in situ, de las regiones más agresivas en la República Mexicana de acuerdo con clasificación de climas 1990.

Lo anterior es parte de los logros obtenidos de un proyecto que ha venido creciendo, mientras la industria electrónica se encarga de miniaturizar e incrementar en capacidad de almacenamiento y rendimiento los componentes electrónicos; en UDIATEM se da a la tarea de investigar cómo prevenir el fallo prematuro, ante condiciones severas de operación, considerándose principalmente las condiciones ambientales.



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2018

29 al 31 enero 2019



### CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

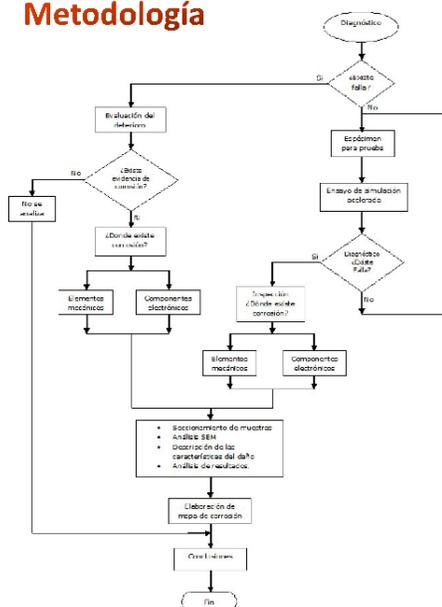
M.C. Francisco Sánchez Pérez<sup>1</sup>, Dr. Armando Ortiz Prado<sup>2</sup>

Profesor Asignatura <sup>1</sup>, Profesor Tiempo Completo<sup>2</sup>, Dpto. de Diseño y Manufactura, DIMEI FI-UNAM

#### Introducción

Debido a la necesidad de identificar las causas que por efectos ambientales, los componentes electrónicos sufren deterioro por corrosión atmosférica, se han realizado estudios desde el año 2000 a equipos telefónicos de uso residencial, los cuales presentaban intermitencia en la señal y por consiguiente fallo en el sistema, siendo causa de recambio, reflejándose en costos para la empresa ensambladora. De lo anterior se identifica que cualquier dispositivo electrónico puede presentar deterioro bajo condiciones ambientales específicamente por corrosión atmosférica, reflejándose en la reducción de vida útil de los dispositivos, pérdida de información y fallos en servicios. A la fecha se han desarrollado metodologías [Sánchez F.] para identificar las principales causas por las que los sistemas electrónicos fallan; lo anterior realizado por un grupo de trabajo integrado por profesores y alumnos de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.

#### Metodología



#### Resultados

- a) Diseño y Fabricación de Máquina de ensayos acelerados por corrosión atmosférica, de acuerdo con la Norma ISO 9223:1993
- b) Planteamiento de Metodología para el análisis que, por corrosión atmosférica, fallan los dispositivos electrónicos
- c) Diseño y ensamblaje de tarjetas electrónicas, como especímenes de pruebas en Campo
- d) Actualización de sistema de control de máquina de ensayos acelerados, considerando la Norma ISO 9223: 2012
- e) Realización de Mapa de Corrosión Atmosférica en la República Mexicana en equipo electrónico.
- f) Instalación y monitoreo de tarjetas de desarrollo in situ, de las regiones más agresivas en la República Mexicana.
- g) Evaluación y determinación de las principales causas que conllevan al deterioro por corrosión atmosférica en dispositivos electrónicos

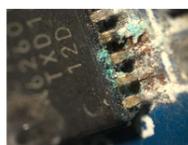


Figura 1. Inspección a bajos aumentos 2.0 X, Circuito integrado Atotonilco, Morelos.

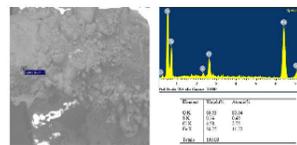


Figura 2. Análisis mediante SEM, muestras extraídas de Campeche, Campeche

#### Discusión

El diseño y ensamblaje de tarjetas electrónicas ha sido de gran utilidad tanto en pruebas de campo y de laboratorio, para poder conocer datos confiables sobre el tiempo en que se encuentran expuestos los dispositivos electrónicos, teniendo una referencia para determinar la incidencia de cada uno de los climas bajo los cuales se encuentran operando. Por otra parte se ha logrado determinar cuales son las principales variables que inciden en el deterioro de los componentes electrónicos, así como identificación de los más susceptibles ante el fenómeno de la corrosión. En paralelo, el diseño y realización de ensayos acelerados, da la pauta para correlacionar los resultados con los obtenidos en pruebas de campo.

#### Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de las regiones evaluadas, se tiene que el SO<sub>2</sub> es el gas con mayor incidencia en el deterioro de componentes electrónicos tanto en ambientes rurales como urbanos; por otra parte la presencia de Cl<sup>-</sup> aunado con la presencia de SO<sub>2</sub> e influencia de los vientos dominantes incrementa en un 75% el deterioro (Pto de Veracruz) de los componentes, sin embargo la presencia de corrosión en componentes electrónicos en zonas de altiplanicie (San Fco, Campeche), se da en un 25% más lento que en el puerto de Veracruz. En ambos casos se consideran los altos porcentajes de %HR y temperaturas extremas de la región del Golfo.

#### Referencias

- Sánchez F. Ortiz A. Environmental effects on electronic devices in Mexico, Memorias del Congreso Latincorr 2012, Lima Perú.
- Norma ISO 9223:2012. Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres- Classification. International Standard Organization, 2012
- Chen Z.Y., Zakipour S. Combined Effects of Gaseous Pollutants and Sodium Chloride Particles on the Atmospheric Corrosion of Copper, Corrosion Vol.61 No. 11 pp 1022-1034, 2005

**Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería**  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## MOVIMIENTO CONTROLADO DE SEIS PICOMOTORES ASÍNCRONOS MEDIANTE UNA ESTRUCTURA DE MÁQUINA DE ESTADOS

**M.I. Gloria Mata Hernández**

Prof. Titular C, Facultad de Ingeniería

**Dr. Asur Guadarrama Santana**

Técnico Académico Titular C, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM. México

En el contexto de una investigación experimental de un Sistema de Medición Capacitivo, el cual incluye una platina en movimiento controlado, que ha sido utilizado preliminarmente para el análisis de muestras de líquido de hasta 3 microlitros de volumen en la detección de partículas contaminantes en líquidos volátiles y agua, se ha desarrollado una aplicación automatizada para el posicionamiento y desplazamiento controlado de seis picomotores asíncronos mediante una estructura de máquina de estados. La red de picomotores está acoplada a una platina, que permite el manejo de la posición, velocidad y aceleración para el movimiento de la platina en sus tres ejes: 1 picomotor para el eje Y, 2 picomotores para el eje X y 3 picomotores para el movimiento en el eje Z, con puntos de apoyo en posiciones específicas. Se ha diseñado un programa en lenguaje gráfico para controlar la posición y desplazamiento de los picomotores en los ejes X-Y-Z en un área efectiva de  $9\text{mm}^2$  y posicionamiento de la altura hasta de 6.5 mm, a una velocidad y aceleración constantes. La idea fundamental es llevar a cabo el movimiento de la platina con una trayectoria de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, de manera que se tenga un barrido controlado en una superficie previamente establecida que no sobrepase 3mm de lado. Los algoritmos programados para el barrido de la superficie también incluyen tiempos de espera si fuesen requeridos. El impacto principal es que con el sistema en su conjunto se pretende detectar actividad eléctrica en material biológico para analizar en detalle una superficie específica, utilizando sensores capacitivos de punta acoplados a una platina para realizar un barrido automático en tres ejes (XYZ) teniendo posicionamiento y movimiento nanométrico abarcando una superficie de 3 mm de lado y una resolución de 25 nanómetros.

Derivado de la investigación experimental se ha obtenido un prototipo de un Sensor Capacitivo de Doble Sonda, utilizado en el Sistema de Medición Capacitivo, una aplicación ejecutable funcional para el movimiento controlado de la platina, un artículo y ponencia titulado “Electrical recognition of solvent liquids and particles in suspension with needle-plane electrodes” presentado en el IX Congress International of Engineering Physics, un artículo y ponencia titulado “Desplazamiento XY controlado y automatizado de una platina en un área micrométrica mediante una red de picomotores” en el Congreso de Instrumentación SOMI XXXIII, nota periodística en el periódico El Universal (30 nov. 2018), difusión académica en Gaceta UNAM (3 dic. 2018).



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018

29 al 31 enero 2019



### MOVIMIENTO CONTROLADO DE SEIS PICOMOTORES ASÍNCRONOS MEDIANTE UNA ESTRUCTURA DE MÁQUINA DE ESTADOS

M.I. Gloria Mata Hernández<sup>1</sup>, Dr. Asur Guadarrama Santana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof. Titular C, Facultad de Ingeniería, <sup>2</sup> Técnico Académico Titular C, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM. México

[gloria@dctrl.fi-b.unam.mx](mailto:gloria@dctrl.fi-b.unam.mx); [asur.guadarrama@ccadet.unam.mx](mailto:asur.guadarrama@ccadet.unam.mx)

#### Introducción

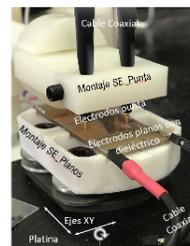
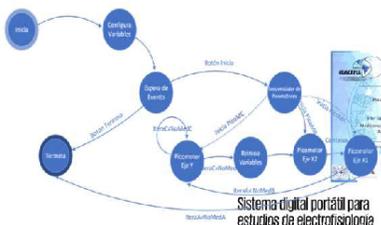
En el contexto de una investigación experimental de un Sistema de Medición Capacitivo, el cual incluye una platina en movimiento controlado, se ha diseñado una aplicación en lenguaje gráfico para controlar la posición y el desplazamiento de una red de picomotores, los cuales manejan los ejes X-Y-Z de una platina en un área efectiva de  $9 \text{ mm}^2$  y el posicionamiento de la altura hasta de 6.5 mm, a una velocidad y aceleración constantes. La red de picomotores está acoplada estratégicamente a una platina, permitiendo el control de movimiento de la platina en sus tres ejes: 1 picomotor para el eje Y, 2 picomotores para el eje X y 3 picomotores para el movimiento en el eje Z, con puntos de apoyo en posiciones específicas.

#### Metodología

La aplicación se ha desarrollado utilizando una estructura de programación tipo Máquina de Estados. Cuenta con 9 estados, uno de inicio y uno de paro, y 7 estados para la funcionalidad de movimiento de los tres picomotores. Cada uno de los estados, excepto los de inicio y paro, tienen entradas, realizan un algoritmo funcional y producen salidas. Así mismo, se ha diseñado una interfaz de usuario para el manejo de la platina.

#### Resultados

Derivado de la investigación experimental utilizando la aplicación automatizada para el movimiento controlado de la platina, se han obtenido diversos productos tal como un prototipo de un Sensor Capacitivo de Doble Sonda, utilizado en el Sistema de Medición Capacitivo, una aplicación ejecutable funcional para el movimiento controlado de la platina, dos artículos y ponencias titulados "Electrical recognition of solvent liquids and particles in suspension with needle-plane electrodes", y "Desplazamiento XY controlado y automatizado de una platina en un área micrométrica mediante una red de picomotores", nota periodística en el periódico El Universal, difusión académica en Gaceta UNAM.



#### Conclusiones

Se ha desarrollado una aplicación automatizada para realizar un barrido controlado en los ejes XY de una platina en una trayectoria de ida y de regreso, mediante la programación para el control de movimiento (a velocidad y aceleración constantes) y posicionamiento fino de los picomotores a través de sus respectivos controladores, en un área de movimiento de 3 mm de lado. La resolución en posicionamiento es de alrededor de 25 nm en los tres ejes. La distancia máxima en los ejes XY es de 3.6 mm y en el eje Z de 6.0 mm.

La aplicación automatizada en formato ejecutable se realiza mediante programación gráfica utilizando una estructura de máquina de estados. Se incluyen tiempos de barrido en cada línea recorrida de los ejes XY, ya que con dicho tiempo y otros parámetros se obtiene la distancia y posición de la platina.

La platina está acoplada a un Sistema de Medición Capacitivo que permite realizar mediciones diferenciales de diversos líquidos volátiles bajo prueba obteniendo su caracterización eléctrica en una determinada área hasta de 25 nm aproximadamente, lo cual se vislumbra hacia un amplio panorama de aplicaciones

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la  
Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## MODELADO Y SIMULACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL TEJIDO MUSCULAR

**M. I. Carlos Castillo<sup>1</sup>, Dr. Armando Ortiz<sup>1</sup>, Dr. Rafael Schouwenaars R<sup>2</sup>, Dr. Fernando Velázquez F.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales. Facultad de Ingeniería. UNAM  
Profesor Tiempo completo. Departamento de Ingeniería de Materiales y Manufactura, DIMEI, Fac. Ing. UNAM

La biomecánica de tejidos vivos es una línea de investigación que ha cobrado gran protagonismo en las últimas décadas, en parte gracias a los avances que se han generado en el campo de la computación. Dentro de los tejidos vivos el músculo esquelético ha llamado el interés de los investigadores debido al papel tan importante que desempeña en el movimiento corporal, esto debido a su capacidad de contraerse y generar la fuerza que después será transmitida a los huesos y articulaciones. Como tal, el análisis del comportamiento mecánico del sistema músculo-esquelético es necesario para el correcto modelado biomecánico del cuerpo humano. El tejido muscular está constituido por una combinación de fibras y de tejido conectivo que incluyen principalmente fibras de colágeno y elastina. A pesar de numerosas investigaciones, el comportamiento mecánico exacto del tejido no se conoce por completo. Esto se debe parcialmente a las limitaciones inherentes de los estudios experimentales, como el alto costo, las dificultades asociadas con la obtención de medidas precisas de deformaciones y especialmente la reproducción difícil, y algunas veces imposible, de ciertas situaciones naturales, patológicas o degenerativas. En este trabajo se desarrolla una metodología para elaborar un modelo numérico en el marco de los medios continuos que incluyan las propiedades mecánicas más relevantes que presentan los tejidos musculares entre los que destacan: la incompresibilidad debido a que están constituidos casi en su totalidad de agua, la anisotropía debida a las direcciones preferenciales que poseen las fibras de colágeno y musculares, un comportamiento elástico no lineal debido a que experimenta grandes deformaciones y una función de energía de deformación desacoplada para poder representar el comportamiento pasivo y activo(contráctil). El modelo se genera a partir de la teoría de los materiales hiperelásticos. Para probar la exactitud del modelo se simulará en la paquetería de elementos finitos ABAQUS el comportamiento experimental, ya sea obtenido a partir de datos propios como de los reportados en la literatura. para así poder comparar los resultados. Para la simulación en ABAQUS se generará una subrutina de usuario para material UMAT en la cual se incluirán las propiedades relevantes del músculo mencionadas anteriormente, la subrutina se escribirá en FORTRAN, una vez que el modelo y la simulación sean validados estos podrán ser utilizados por la parte médica. Entre los resultados esperados estarán el modelo y la simulación para el comportamiento de los tejidos musculares, un código de elementos finitos en FORTRAN para el comportamiento material del sistema músculo esquelético, este proyecto permitirá graduar a un alumno de doctorado.



# COLOQUIO «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»

29 al 31 enero 2019



## Modelado y simulación del comportamiento mecánico de tejidos musculares usando elementos finitos.

M. I. Castillo C.<sup>1</sup>; Dr. Ortiz A.<sup>2</sup>; Dr. Schouwenaars R.<sup>2</sup>; Dr. Velázquez F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctorando, Departamento de Ingeniería de Materiales y Manufactura, DIMEI.

<sup>2</sup> Profesor tiempo completo, Departamento de Ingeniería de Materiales y Manufactura, DIMEI.

### Introducción

Desde un punto de vista mecánico, los tejidos musculares presentan un comportamiento complejo, ya que son materiales formados de diferentes medios incluidos los tejidos epiteliales, conectivos, adiposos, por mencionar algunos. Entre sus características mecánicas más importantes se encuentran: grandes deformaciones, incompresibilidad, tensiones iniciales, anisotropía, geometrías complejas y un comportamiento contráctil (Grasa *et al.*, 2011). Los modelos constitutivos para este tejido se formulan a través de la teoría de medios continuos no lineales, en específico la teoría de la hiperelasticidad (Holzapfel, 2001). Para realizar simulaciones numéricas del músculo en las paqueterías de elementos finitos (FE), es necesario crear subrutinas de cálculo específicas que incorporen sus características especiales, en este trabajo se creó una subrutina de usuario (UMAT) para la paquetería ABAQUS, escrita en FORTRAN para las características de grandes deformaciones e incompresibilidad.

### Metodología

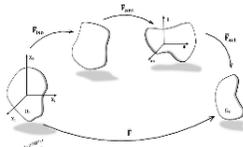


Figura 1. Descomposición del gradiente de deformación para incluir las características de los tejidos musculares.

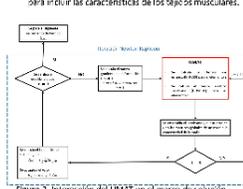


Figura 2. Implementación del UMAT en el marco de solución general de Newton Raphson en ABAQUS.

**Cuadro 1. Algoritmo general para el UMAT**

Entradas: tensor de deformación (F=0.0), número de elementos de nodos (NFE), propiedades del elemento (P=0.0).

- Se declaran variables locales.
- Se verifica que se trate de un análisis 3D. Si NFE=6, "Error: este UMAT solo se puede usar en un análisis 3D". Usar el UMAT.
- Se ingresan las propiedades del material.
- Se calcula el determinante del gradiente de deformación:  $J = \det(F)$ .
- Se calcula el gradiente de deformación desviador:  $FDEV = FDEV^{(n-1)} - (FDEV^{(n-1)} \cdot FDEV^{(n-1)})^{0.5}$ .
- Se calcula el tensor de esfuerzos de Cauchy:  $\sigma_{Cauchy} = FDEV + FDEV^T$ .
- Se calculan los incrementos de stress.
- Se calculan los derivados de la función de energía de deformación.
- Se calcula el tensor de esfuerzos de Cauchy:  $\sigma_{Cauchy} = \frac{\partial \Psi}{\partial F} \cdot F^{-T}$ .
- Se asignan los valores correspondientes de  $\sigma_{Cauchy}$ .
- Se calcula el tensor elástico  $C_{ijkl}$ .
- Se asignan los valores correspondientes de  $C_{ijkl}$ .

Salida: valores actualizados del esfuerzo y stress y del Jacobiano D $\sigma$ .

**Cuadro 2. Tensores de Cauchy y elástico consistente, ambos deben ser codificados dentro del UMAT**

$$\sigma = \frac{\partial \Psi}{\partial F} \cdot F^{-T} + 2 \left( \frac{\partial \Psi}{\partial I_1} \right) B - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial I_3} \right) I$$

$$C_{ijkl} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial F_{ij} \partial F_{kl}} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial I_1^2} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{2}{3} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial I_1 \partial I_3} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{2}{3} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial I_1 \partial I_3} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{2}{3} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial I_1 \partial I_3} \delta_{ij} \delta_{kl}$$

**Tabla 1. Modelos utilizados en el UMAT**

Modelo	Coefficientes
Demiray <i>et al.</i> , (1988)	$c = 0.2 [MPa]$ $\beta = 16 [-]$
Polinomial 3er grado Ramirez <i>et al.</i> , (2010)	$C_1 = 2.7 [MPa]$ $C_2 = 35.1 [MPa]$ $C_3 = 11.84 [MPa]$
Volumétrico Ogden (2001)	$D = 3.310 \text{ } ^{-2} MPa^{-1}$

### Resultados

**Tracción uniaxial**

$$\sigma_{11} = 2 \frac{\partial \Psi}{\partial I_1} \left( \lambda_1^2 - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

**Cortante simple**

$$\sigma_{11} = \frac{4}{3} \frac{\partial \Psi}{\partial I_1} \gamma^2$$

$$\sigma_{12} = 2 \frac{\partial \Psi}{\partial I_1} \gamma$$

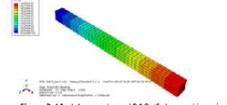


Figura 3. Modelo creado en ABAQUS de tracción uniaxial para medir el rendimiento del UMAT creado.

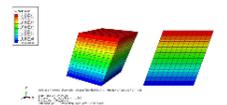
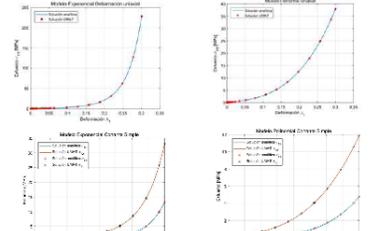


Figura 4. Modelo creado en ABAQUS de cortante simple para medir el rendimiento del UMAT creado.



### Discusión y Conclusiones

Los resultados numéricos demuestran que las subrutinas de cálculo creadas por el usuario son una herramienta muy poderosa en el modelado de materiales cuyos comportamientos son complejos y que, por lo tanto, necesitan de la implementación de modelos constitutivos que no se encuentran en las librerías de las paqueterías de FE, la subrutina creada se verificó con dos modelos reportados en la literatura que han sido utilizados para el modelado de tejidos suaves, teniendo una muy buena concordancia con las soluciones analíticas para los casos de tracción uniaxial y cortante simple, actualmente se trabaja en la incorporación de la parte anisótropa en la subrutina, que es una de las características más importantes del músculo esquelético.

### Referencias

- Holzapfel, G. A. (2001). Biomechanics of soft tissue. *The handbook of materials behavior models*, 3, 1049-1063.
- Grasa, J., Ramirez, A., Osta, R., Muñoz, M., Soteras, F., & Calvo, B. (2011). A 3D active-passive numerical skeletal muscle model incorporating initial tissue strains. Validation with experimental results on rat tibialis anterior muscle. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 10(5), 779-787

## LAS LIMITACIONES DEL EMPLEO DE LA ECUACIÓN DE TAYLOR DENTRO DE LA TEORÍA DE LOS PROCESOS DE CORTE POR ARRANQUE DE VIRUTA

**M.C. Juan Armando Ortiz Valera<sup>a</sup>**

**Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendáriz<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Profesor de asignatura “A”, Departamento de Diseño y Manufactura, DIMEI.

<sup>b</sup> Profesor de Carrera Titular “B”, Departamento de Diseño y Manufactura, DIMEI.

Una de las ecuaciones experimentales más ampliamente difundidas, la cual desde su desarrollo y aún en la actualidad, se considera como parte fundamental del esquema del conocimiento básico de la teoría del corte, junto con el modelo de Merchant, es la ecuación de Taylor, las cuales datan de 1945 y 1907 respectivamente. En principio, la ecuación de Taylor pretende predecir el tiempo de vida útil de la herramienta en base a la velocidad de corte empleada, generando el producto de ésta por el tiempo de vida elevado a un exponente, proveniente de la experimentación, e igualando esto a una constante, que se sugiere, toma en cuenta todas las condiciones de corte que afectan la vida en el que se desempeña de forma óptima la herramienta y que también es obtenida de forma experimental. De manera clásica el empleo de esta ecuación ha permitido el calcular, por ejemplo, el tiempo y costo óptimo de maquinado respecto de la velocidad utilizada para generar un componente, así como también se ha utilizado a modo de un primer elemento que estime de manera aproximada la “maquinabilidad” de un material. Sin embargo, a la luz de las exigencias y desarrollos más actuales en las capacidades de las máquinas herramienta, así como en los materiales, tanto de trabajo como los empleados en las herramientas utilizados y las complejas geometrías en las que pueden manufacturarse estas últimas, se ha visto la pérdida de validez de esta ecuación la cual permanece fuera de la revisión que se efectúa a la teoría del corte. En este trabajo se presenta una discusión presentando argumentos, en base a los resultados registrados al emplear, por ejemplo, altas velocidades de corte, nuevos materiales para fabricar las herramientas, así como el desarrollo de los procesos empleando materiales de trabajo diferentes a aquellos tradicionalmente empleados en las aplicaciones de ingeniería.



## COLOQUIO «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»

29 al 31 enero 2019



### Las limitaciones del empleo de la ecuación de Taylor dentro de la teoría de los procesos de corte por arranque de viruta

M.C. Juan Armando Ortiz Valera<sup>a</sup>, Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendariz<sup>b</sup>

a. Prof. Asignatura "A", Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, DIMEI

b. Prof. de Carrera Titular "B", Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, DIMEI

#### Introducción

Durante los últimos 100 años, la ecuación experimental de Taylor adquirió suma relevancia dentro del esquema fundamental de la teoría del corte. Lo anterior se debe a varios factores, ya que para empezar se da por sentada su validez, su habilidad de predicción del tiempo de vida del elemento más crítico y susceptible a una falla dentro del maquinado, como lo es la herramienta a partir del desgaste que sufre ésta. Por consecuencia diversos autores proponen ésta para emplearse como elemento de optimización del tiempo y costo asociado al proceso, en función de un parámetro técnico como es la velocidad de corte. Además de llegarse a mencionar como un elemento para cuantificar la maquinabilidad, concepto aparentemente intuitivo asociado a la facilidad para maquinar, dado un cierto binomio material-herramienta y por ende relacionado a la eficiencia del proceso, pero cuya definición no existe como tal desde un punto de vista cuantitativo. Por todo lo anterior, se manifiesta su atractivo y se vislumbra como una de las ecuaciones "santo grial" de la teoría del corte al sopesar las limitaciones existentes, tanto en su entendimiento como en su capacidad predictiva, de los modelos generados hasta hoy. Sin embargo, en la actualidad, considerando la revisión del estado del arte, a la luz de los materiales a maquinar y utilizados para fabricar los modernos herramientas, la normalización de la cuantificación del desgaste que sufren éstas y las técnicas de corte como el maquinado a alta velocidad, posible gracias a las modernas máquinas herramienta, se evidencian las limitaciones de las capacidades otorgadas por esta ecuación.

#### Metodología y Resultados

A partir de la revisión de la literatura, queda de facto la seriedad en la generación de esta ecuación reportada en el artículo "On the art of cutting metals" en 1907, resultado de 26 años de experimentación. En esta el factor fundamental en el tiempo de vida útil de la herramienta es la velocidad de corte. La ecuación se obtuvo como una generalización, al trabajar en el corte de aleaciones de hierro, en especial aceros; y con herramientas fabricadas en el material *más moderno (1907)* para tal fin como eran los aceros rápidos (HSS), y que a la fecha nadie ha demostrado su validez considerando elementos diferentes [Astakhov, 2010]. Aparentemente tampoco son consideradas las características de la herramienta como su geometría o dureza, dos elementos básicos que juegan un papel en su rendimiento, son consideradas dentro de alguno de las constantes que considera.

Dadas las condiciones de la época, las velocidades de corte no fueron mayores a 25 m/min [Davim, 2014].

Hoy en día, el uso de las velocidades en la industria, con la idea de fomentar la productividad ocupando la capacidad de los equipos modernos está muy superada, dando pie a lo que se conoce como "Maquinado a alta velocidad (High Speed Machining)". Ya con velocidades de corte más altas de las utilizadas durante la experimentación que llevó a cabo Taylor, y refrendándose con las experiencias utilizando altas velocidades de corte, se obtuvo, para rangos de este parámetro en función del material de trabajo, una disminución de las fuerzas involucradas en el arranque de la viruta, influyendo a su vez en el un menor desgaste de la herramienta empleada [Astakhov, 2012].

Debido a que el tiempo de vida útil de la herramienta, función del criterio de falla seleccionado para la herramienta, no refleja el régimen de corte y cantidad de material removido, además de ser particular de éste; esto parece dificultar el optimizar las operaciones de maquinado en función de este elemento [Davim, 2014].

#### Discusión

Uno de los primeros inconvenientes que posee la ecuación de Taylor es que a la fecha nadie ha demostrado su validez considerando materiales diferentes a los usados para su formulación [Astakhov, 2010], esto a pesar de que en la literatura, algunos autores [Childs, 2000] propone algunos valores para los coeficientes empleados en la ecuación para materiales más modernos empleados en la construcción de las herramientas, aunque no se menciona nada acerca de los materiales de trabajo. De hecho se ha tratado de buscar que tome en cuenta otros factores técnicos [Li, 2012], como el avance y profundidad de corte, buscando generalizar y ampliar la validez que pudiera tener la ecuación, aunque en ningún momento se considera dentro de ésta efecto alguno debido a la geometría de la herramienta [Astakhov, 2010], característica representativa cuando se hace alusión al desgaste que sufre la misma, y que por tanto hace imposible la comparación de resultados entre herramientas con diferente forma.

Pero principalmente, la ecuación plantea que al aumentar la velocidad de corte, aumentará la temperatura, influyendo en un mayor desgaste de la herramienta. Sin embargo se ha encontrado que para un cierto rango de velocidades y dependiendo del material de trabajo, esto no se cumple. Tal vez la clave en éste asunto más allá de una velocidad óptima de corte, y su atractivo como parámetro técnico del proceso, sea la temperatura alcanzada durante la operación y que Makarov define como una primera ley del corte donde indica que para una combinación dada de herramienta-material de trabajo, existe la temperatura de corte, denominada temperatura óptima de corte  $\theta_{opt}$ , a la cual se logra la combinación de la velocidad mínima de desgaste de la herramienta, la fuerza de corte mínima estabilizada y la calidad más alta de la superficie maquinada.

#### Conclusiones

Como puede notarse, la ampliamente difundida y aceptada ecuación de Taylor y el concepto de tiempo de vida útil han sido considerados durante mucho tiempo como parte fundamental e inescrutable de la teoría del corte. Sin embargo, a la luz de limitaciones de su construcción, su naturaleza experimental, los elementos que parecen no ser claros que considera, así como los nuevos datos recabados resultado de la combinación de diversos materiales herramienta-trabajo usados en la actualidad, parece justo replantear su rango de validez y limitaciones de empleo para contribuir con un impacto mayor al desarrollo de la teoría del corte.

#### Referencias

- Astakhov V.P., Geometry of Single-point Turning tools and Drills Fundamentals and Practical Applications, Springer, 2010.
- Davim J.P., Machinability of Advanced Materials, Material Science Series-John Wiley, 2014.
- Childs T. H. C., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y., Metal machining Theory and applications, Elsevier Ltd, 2000.
- Bin Li, A review of tool wear estimation using theoretical analysis and numerical simulation technologies, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 35 (pp. 143-151), 2012.
- Astakhov V.P., Joksich S., Metalworking fluids (MWFs) for cutting and grinding Fundamentals and recent advances, Woodhead Publishing, 2012.
- Astakhov V.P., An opening historical note, International Journal of Machining and Machinability of Materials Vol. 1 No 1 (pp.3-11), 2006.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería

Secretaría de Posgrado e Investigación

# **GEOQUÍMICA EN EL AULA INVERTIDA: HACIA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y DIVERTIDO**

**Dra. Laura Mori\***

**Mtro. Eduardo Becerra-Torres**

\* Prof. de Carrera Tit. A, Depto. De Geología, DICT



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2019

29 al 31 enero 2019



### GEOQUÍMICA EN EL AULA INVERTIDA: HACIA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y DIVERTIDO

Dra. Laura Mori\*, Mtro. Eduardo Becerra-Torres  
\* Prof. de Carrera Tit. A, Depto. De Geología, DICT

#### El curso de Geoquímica: contexto y objetivos

La geoquímica proporciona las herramientas para abordar y resolver una gran variedad de problemas geológicos, desde la exploración y explotación de los recursos naturales, hasta la contaminación de aguas y suelos; y por lo tanto es esencial para el ingeniero geólogo.

##### Objetivos principales

Al final del curso, los estudiantes serán capaces de:  
- usar diferentes tipos de datos geoquímicos para abordar problemas geológicos  
- analizar, integrar y sintetizar información relacionada con temáticas geoquímicas

##### Contexto del curso

Curso: V sem., Ing. Geológica  
Prerrequisitos: Quím., Geol. Fis., Mineral.  
Antecedente para: Petrol., Geol. Amb.  
Tamaño del curso: 20-25 alumnos  
Tiempo en clase: 4 horas/semana



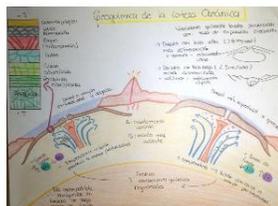
#### Geoquímica en el "aula invertida"

Aunque es bien sabido que los estudiantes aprenden más cuando se involucran activamente en un curso, factores como la extensión y complejidad del programa, la escasez de tiempo, y la falta de recursos didácticos apropiados, pueden obstaculizar la implementación de estrategias de aprendizaje activo en el curso de Geoquímica.

Para optimizar el tiempo que los alumnos deben dedicar al estudio de la geoquímica, y para promover un aprendizaje más significativo, decidimos "invertir" el curso. Invertir un curso significa transferir el proceso de enseñanza tradicional del aula a la casa (adquisición autónoma de nuevos contenidos), para dedicar el tiempo en clase al desarrollo de actividades colaborativas que refuercen lo aprendido individualmente.

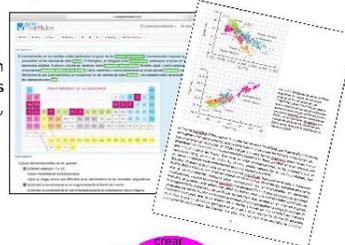
#### Aprendizaje en la casa

Proporcionamos el contenido del curso a través de una variedad de recursos educativos en línea (apuntes, capítulos de libros, videos didácticos y pruebas interactivas) que permiten a los alumnos practicar su autonomía, y tomar control sobre su aprendizaje, al elegir los materiales, los horarios y el lugar que mejor se adapte a sus necesidades y situaciones personales.



##### "Bosquejo conceptual de la corteza oceánica"

Examina todos los temas tratados en el capítulo de apuntes de "Geoquímica de la Corteza Oceánica". Anota las principales características estructurales, químicas y físicas de la corteza oceánica, así como las variaciones en la composición, el grosor o la topografía que puede experimentar a escala local o regional. Identifica los procesos que gobiernan todas estas características y su variabilidad. Una vez que hayas integrado la información, sintetízala en un bosquejo conceptual.



+ independencia  
+ flexibilidad

+ pensamiento crítico, + creatividad  
+ colaboración, + comunicación

#### Aprendizaje en el salón

En las horas de clase, exploramos los temas con más detalle y creamos oportunidades de aprendizaje significativo. Los alumnos participan en actividades colaborativas, en las que usan datos geoquímicos para resolver problemas geológicos; y analizan, integran y sintetizan información sobre una variedad de temas. El aula se convierte en un entorno dinámico e interactivo que fomenta la motivación y el compromiso de los alumnos, y en el cual aprender se vuelve una experiencia realmente gratificante.



"Actividades rompecabezas"



##### "Del Big Bang a la Tierra en una tira cómica"

Trabajando en grupos pequeños, se les pide a los estudiantes que creen una tira cómica original y divertida que narre los principales eventos y procesos que determinaron la composición y estructura química del planeta Tierra. La tira cómica no puede incluir más de 10 paneles, y cada panel debe contener un breve texto explicativo en globos o leyendas.



##### "Carrusel de ideas"

Carruseles de ideas implementados al final de cada bloque temático permiten repasar y discutir los conceptos principales de una manera dinámica.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la  
Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## EXTRACCIÓN POR SORCIÓN CON BARRAS MAGNÉTICAS ACOPLADO A CROMATOGRAFÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ATRAZINA EN AGUA, DEL SISTEMA LAGUNAR MONTEBELLO, CHIAPAS, MÉXICO

**Dr. Luis Antonio García Villanueva**

Profesor Asociado “C” Tiempo Completo División de Ingenierías Civil y Geomática Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.

En México frecuentemente, la atrazina es utilizada como plaguicida para el control de malezas. En México, Chiapas es uno de los principales productores de maíz, y el segundo en el uso de atrazina para su cultivo. Un caso en específico donde se aplica el herbicida y que existe la escasez de datos es el Parque Lagunar Montebello Chiapas, se reporta una gran actividad agrícola cercana a una serie de lagos que conforman el Sistema.

La Norma Mexicana NMX-AA-071-1981 dicta la técnica para determinar compuestos organoclorados en agua, sin embargo, el método de pre-concentración que se utiliza es extracción líquido-líquido, el cual requiere un gran número de solventes que representan un riesgo a la salud humana, siendo varios de ellos carcinógenos, y generando residuos peligrosos.

Por lo anterior se obtuvo el financiamiento para desarrollar el presente proyecto [IA108117](#) del **Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica** (PAPIIT), titulado *Optimización del método “extracción por sorción con barras magnéticas (SBSE)” acoplado a cromatografía (HPLC) para la determinación de atrazina en agua, para su posterior análisis en muestras acuosas del Sistema Lagunar Montebello Chiapas, México.*

La determinación de la atrazina (ATZ) en el agua del Sistema Lagunar se realizó considerando un diseño estadístico de experimento y aplicando la técnica completa desde la pre-concentración extracción por sorción de barras magnéticas acoplada a la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), utilizando el equipo existente en el Instituto de Geología UNAM.

El cual incluyó:

- **Preparación de disoluciones patrón y estándar**
- **Análisis cromatográfico:** *Las muestras cromatográficas generadas fueron analizadas por medio de HPLC- UV-DAD*
- **Validación de la técnica analítica:** *De los parámetros típicos de una validación analítica, los cuales son: intervalo lineal y de trabajo, precisión, límites de detección y cuantificación, así como la evaluación del efecto de la matriz de estudio.*

Los resultados indican que cierta cantidad de las moléculas de atrazina presentes en la disolución inicial, se quedaron retenidas sobre la película del polímero de la barra de sorción, ya que los valores de concentración, antes y después del experimento no fueron iguales, siendo menor, la concentración de atrazina determinada en la disolución que estuvo en contacto con la barra de polidimetilsiloxano. La relación de la concentración después de la sorción frente a la concentración inicial de atrazina fue de 0.73, que equivale a un 73 % de atrazina que no fue retenida, lo que, a su vez, indica que el 27 % restante corresponde a la cantidad de atrazina retenida sobre la barra bajo estas condiciones de trabajo.

Como productos generados de la investigación se graduaron de licenciatura 2 estudiantes y 1 en proceso, en maestría 1 en proceso, así mismo se envió un artículo científico a la revista Journal of Pest Science, y se encuentran en escritura otros dos. Además se liberaron 4 servicios sociales, los que apoyaron en diversas actividades de campo, laboratorio y gabinete.



## COLOQUIO

# ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2019

29 al 31 enero 2019



## Extracción por sorción con barras magnéticas acoplado a cromatografía para la determinación de atrazina en agua, del Sistema Lagunar Montebello Chiapas, México.

Dr. Luis Antonio García Villanueva

Profesor Asociado "C" Tiempo Completo

División de Ingenierías Civil y Geomática Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

### Introducción

En México frecuentemente, la atrazina es utilizada como herbicida para el control de malezas, Chiapas es uno de los principales productores de maíz, y el segundo en el uso de atrazina para su cultivo. Un caso en específico donde se aplica el herbicida y que existe la escasez de datos es el Parque Lagunar Montebello Chiapas, se reporta una gran actividad agrícola cercana a una serie de lagos que conforman el Sistema. La Norma Mexicana NMX-AA-071-1981 dicta la técnica para determinar compuestos organoclorados en agua, sin embargo, el método de pre-concentración que se utiliza es extracción líquido-líquido, el cual requiere un gran número de solventes que representan un riesgo a la salud humana, siendo varios de ellos carcinógenos, y generando residuos peligrosos.

### Metodología

La determinación de la atrazina (ATZ) en el agua del Sistema Lagunar se realizó considerando un diseño estadístico de experimento y aplicando la técnica completa desde la pre-concentración extracción por sorción de barras magnéticas acoplada a la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), utilizando el equipo existente en el Instituto de Geología UNAM.

El cual incluyó:

- **Preparación de disoluciones patrón y estándar**

- **Análisis cromatográfico**

Las muestras cromatográficas generadas fueron analizadas por medio de HPLC-UV-DAD

- **Validación de la técnica analítica**

De los parámetros típicos de una validación analítica, los cuales son: intervalo lineal y de trabajo, precisión, límites de detección y cuantificación, así como la evaluación del efecto de la matriz de estudio

### Resultados

Los resultados indican que cierta cantidad de las moléculas de atrazina presentes en la disolución inicial, se quedaron retenidas sobre la película del polímero de la barra de sorción, ya que los valores de concentración, antes y después del experimento no fueron iguales, siendo menor, la concentración de atrazina determinada en la disolución que estuvo en contacto con la barra de polidimetilsiloxano. La relación de la concentración después de la sorción frente a la concentración inicial de atrazina fue de 0.73, que equivale a un 73 % de atrazina que no fue retenida, lo que, a su vez, indica que el 27 % restante corresponde a la cantidad de atrazina retenida sobre la barra bajo estas condiciones de trabajo.

Como productos generados de la investigación se graduaron de licenciatura 3 estudiantes, 1 en proceso y de maestría en proceso 1, así mismo se envió 1 artículo científico a la revista Journal of Pest Science, y se encuentran en escritura otros 2. Además se liberaron 4 servicios sociales los que apoyaron en diversas actividades de campo, laboratorio y gabinete.

### Discusión

Las concentraciones utilizadas fueron seleccionadas con base en el límite de cuantificación de la metodología de HPLC-UV-DAD (concentración inicial más baja que pudiera ser cuantificada) y la concentración inicial de ATZ más alta que fuera totalmente retenida sobre la barra de sorción. Cada experimento fue realizado por triplicado, por lo que los valores de porcentaje del coeficiente de variación (% CV) indican su grado de repetibilidad para cada uno de los niveles de concentración. En todos los casos se presentan valores de CV aceptables, en conformidad con los criterios para la validación de métodos fisicoquímicos ( $\leq 20\%$ ), establecidos en el documento CCAyAC-P-058 (COFEPRIS, 2011). De esta manera, queda evaluada la precisión de la metodología desarrollada en términos de repetibilidad. Se lograron reducir significativamente estos parámetros de límite de detección  $LOD=0.0014$  mg/L y cuantificación  $LOQ=0.0016$  mg/L en comparación con el método de análisis directo (Cortés, 2016), donde se reportan valores de  $LOD = 0.050$  mg/L y  $LOQ = 0.070$  mg/L y cuya metodología no emplea una técnica de preparación de muestra.

### Conclusiones

Se desarrolló una metodología para la preconcentración de atrazina y para la limpieza de muestras acuosas de la misma, provenientes del Sistema Lagunar Montebello, a partir de extracción por sorción en barra de agitación. La atrazina es retenida en un 27 % bajo las condiciones de trabajo (temperatura ambiente y 750 rpm). Los parámetros de desempeño encontrados en este método de análisis son adecuados para su propósito. La metodología analítica desarrollada cumplió con los parámetros de linealidad, precisión y exactitud, por lo que puede ser considerada como un método eficaz de preconcentración de atrazina. Los límites de detección y cuantificación para atrazina de esta metodología son 0.0014 mg/L y 0.0016 mg/L respectivamente. Se logró reducir significativamente estos parámetros, en comparación con el método de análisis directo [Cortés, 2016], donde se reportan valores de  $LOD = 0.050$  mg/L y  $LOQ = 0.070$  mg/L. Se presentaron valores de recobro aceptables cuando se aplica el método instrumental validado en muestras ambientales acuosas del sitio de estudio, por lo que se puede afirmar que la metodología desarrollada es robusta con respecto a la matriz.

### Referencias

CDHEI (1994). "Revisión general. "Validación de Cromatográficos Métodos". Center for Drug Evaluation and Research, US Food and Drug Administration.

COFEPRIS (2005). "Acuerdo que establece la certificación y conformidad de mercancías cuyo cumplimiento está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, herbicidas y sustancias tóxicas". Comisón Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas, Dirección General de la Inspección, México.

COFEPRIS (2011). CCAyAC-P-058. "Normas para la validación de métodos fisicoquímicos". Comisón de Control Analítico y Preparación de Coe, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, Secretaría de Salud, México.

Cortés, J. (2016). "Determinación analítica de hidroquiazina, desmetozina y atrazina por medio de HPLC-UV-DAD en muestras de agua de los lagunas de Montebello", UNAM, Ciudad de México.

FAO (2016). "Los plaguicidas en cuanto contaminantes del agua". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ginebra, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/a2995s/m299506.htm>

González-Márquez, L. y Parra, A. (2009). "Sorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos de ORCIS Guaymas, Coahuila". Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, (26), 361-369.

Harris, D. (2010). "Análisis Químico Cuantitativo". Editor al Reverté, 6ª edición, España, pp. 472-474, 541-551, 721-721.

IRVIC (2014). "IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals. International report 10022". International Agency for Research on Cancer, Lyon, Francia.

Miller, J.H. & Miller, J.C. (2002). "Estadística y Quimiometría para Química Analítica", 4ª Ed. Madrid, España.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## INVERSIÓN DE CURVAS DE DISPERSIÓN FUNDAMENTOS Y APLICACIONES EN INGENIERÍA GEOFÍSICA (PE103918)

**Dr. Martín Cárdenas Soto<sup>1</sup>, Dr. Josué Tago Pacheco<sup>2</sup>, M.C. José Piña Flores, Ing. Thalía Reyes Pimentel<sup>3</sup>,  
Ing Pablo Aguirre Díaz<sup>3</sup>, Delma Díaz Alcántara<sup>4</sup>, Manuel de Jesús Aguilar<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Prof. Tit. B; <sup>2</sup> Prof. Tit. A; <sup>3</sup> Prof. Asign; <sup>4</sup> Estudiantes. Depto de Geofísica, DICT.



## COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2018



29 al 31 enero 2019

Inversión de Curvas de Dispersión

Fundamentos y Aplicaciones en Ingeniería Geofísica (PE103918)

Dr. Martín Cárdenas Soto<sup>1</sup>, Dr. Josue Tago Pacheco<sup>2</sup>, M.C. José Piña Flores, Ing. Thalía Reyes Pimentel<sup>3</sup>, Ing Pablo Aguirre Díaz<sup>2</sup>,  
Delma Díaz Alcántara<sup>4</sup>, Manuel de Jesús Aguilar<sup>4</sup>

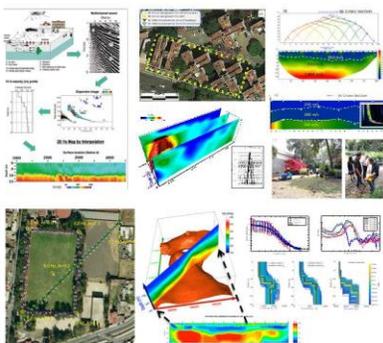
(1) Prof. Tit. B, (2) Prof. Tit. A, (3) Prof. Asign, (4) Estudiantes. Depto de Geofísica, DICT.

### Introducción

La inversión de una curva de dispersión de ondas superficiales es el proceso final para obtener la estructura de velocidad de onda corte del subsuelo. El conocimiento de esta estructura es fundamental en diferentes áreas; cimentación de estructuras civiles, estudio de estabilidad de taludes, microzonificación sísmica, detección de obstáculos en el subsuelo, calidad de pavimentos, etc. Debido a la diversidad de conocimientos que se requieren para abordar el tema, éste no ha sido cabalmente incluido en el algún programa de estudios de asignatura. Este proyecto tiene como objetivo generar una guía de estudio que le facilite al estudiante de ingeniería geofísica (e ingenierías a fines) comprender dicho proceso de inversión.

### Metodología

Sintetizamos los principios teóricos de la dispersión de ondas superficiales. Abordamos métodos y técnicas de campo para derivar curvas de dispersión. Incluimos técnicas de inversión que además incluyen métodos heurísticos. A partir de estudios de caso, se explica el proceso de inversión y los por menores que deben tomarse en cuenta de acuerdo a la forma de la curva de dispersión.



### Resultados

Realizamos experimentos de campo para la obtención de datos experimentales, cuyos resultados serán incluidos como casos de estudio. Gracias a la adquisición de nuevo equipo, dichos resultados son confrontados con otra serie de estudios sísmicos que permiten restringir la inversión de curvas de dispersión. Los levantamientos incluyen prácticas de campo donde participan estudiantes y profesores del Departamento de Ingeniería Geofísica.

### Discusión

La inversión de curvas de dispersión para la obtención de un modelo de velocidad de ondas de corte es un proceso que se debe de llevar a cabo cuidadosamente. Como en muchos procesos en geofísica, la inversión tiene asociado un problema de no unicidad (diferentes modelos de subsuelo pueden ajustar a la misma curva). La identificación del tipo de modos de ondas superficiales en el diagrama de dispersión es esencial antes de llevar a cabo la selección de la curva a invertir. El apoyo de otros estudios (geofísicos, geológicos o geotécnicos), o un inspección detallada del sitio permitirá realizar una inversión más robusta, y consecuentemente proporcionar un resultado razonablemente justificado.

### Conclusiones

La caracterización de la estructura del subsuelo es fundamental para comprender el comportamiento de éste en diversos problemas ingenieriles. La generación de una guía de estudio en el tema de inversión de curvas de dispersión contribuirá sustancialmente a la formación de estudiantes de ingeniería en ciencias de la tierra, especialmente, geofísica.

### Referencias

Strobbia C. (2002). Surface Wave Methods: Acquisition, Processing and Inversion. PhD Diss. Politecnico di Torino, Italy

Rix, G.J. and Lai, C.G. (2000). Software Tools for Surface Wave Analysis. Available at the WEB site  
[http://www.ce.gatech.edu/~grix/surface\\_wave.html#Sodtware](http://www.ce.gatech.edu/~grix/surface_wave.html#Sodtware)

**Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería**

Secretaría de Posgrado e Investigación

## CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA PIEL PARA PREVENCIÓN DE DISCAPACIDAD POR SECUELAS DE CICATRICES POR QUEMADURAS

**D. en C. Michelín Álvarez Camacho<sup>1</sup>, D. en C. Ivett Quiñones Uriostegui<sup>2</sup>, Dra. Marina Morales García<sup>3</sup>,  
D. en I. Francisco Sánchez Arévalo<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Profesor Asociado C, Ingeniería en Sistemas Biomédicos, División de Ingeniería Mecánica e Industrial. <sup>2</sup> Investigadora en Ciencias Médicas, Laboratorio de Análisis de Movimiento, Instituto Nacional de Rehabilitación LGII. <sup>3</sup> Rehabilitación de Quemados, Instituto Nacional de Rehabilitación LGII. <sup>4</sup> Investigador Titular B T C, Dept. Reología y Mecánica de Materiales, Instituto de Investigaciones en Materiales.

A pesar de que las manos sólo representan el 6% de la superficie corporal, se ven comprometidas en el 80% de los casos con quemaduras extensas. La función de las manos permite independencia en actividades de la vida diaria y una quemadura profunda causa una severa discapacidad debido a las contracturas. En este proyecto se busca medir la deformación y el desplazamiento de la piel de la mano y antebrazo que se generan durante el movimiento articular, y determinar las variables mecánicas relevantes que describen esta respuesta. Los resultados esperados del proyecto son mapas de deformación y desplazamiento de piel, al realizar movimiento, en miembro superior de sujetos sanos y con cicatrices por quemadura. Estos mapas se obtendrán utilizando correlación de imágenes digitales en 3D y se servirán para dar información al personal médico, para planear y mejorar el tipo de tratamiento necesario en pacientes, y así, disminuir secuelas incapacitantes. Este proyecto se realiza en colaboración y con patrocinio del Instituto Nacional de Rehabilitación LGII. Al finalizar este año se tendrán montadas las técnicas de medición y se podrá iniciar con la autorización de un estudio clínico para la medición de sujetos sanos y pacientes. En dos años se espera tener recolectados los datos de los participantes e integrar grupos por edad y sexo, y en el tercer año generar un modelo digital en 3D, para visualización. Para continuar con éxito este proyecto, será necesario realizar un convenio de colaboración entre las instituciones y fortalecer el proyecto a través de la participación en programas PAPIME, PAPIIT y CONACyT.

Entre los resultados relevantes del proyecto, se presentó en el Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica: Alvarez-Camacho M, Martín-García G, Vilatela-Prado A, Díaz-Gallardo G, Serrano-Lezama E, Quiñones I, Sánchez FM. Respuesta Mecánica de la Piel para el Gesto de Flexión Metacarpofalángica. Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, [S.l.], v. 5, n. 1, oct. 2018. ISSN 2395-8928. Disponible en: <http://memorias.somib.org.mx/index.php/memorias/article/view/715>.

Por otro lado, el proyecto se presentó en formato de Póster en la Feria Nacional de Investigación en Medicina Traslacional e Innovación, Organizada por el Consorcio de Medicina Traslacional, integrado por los Institutos Nacionales de Salud, INCIDE, CONACyT y la UNAM.



## COLOQUIO

### «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»

29 al 31 enero 2019



## CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA PIEL PARA PREVENCIÓN DE DISCAPACIDAD POR SECUELAS DE CICATRICES POR QUEMADURAS

**D. en C. Michelín Alvarez Camacho<sup>1</sup>, D. en C. Ivett Quiñones Uriostegui<sup>2</sup>, Dra. Marina Morales García<sup>3</sup>, D. en I. Francisco Sánchez Arévalo<sup>4</sup>.**

(1) Profesor Asociado C, Ingeniería en Sistemas Biomédicos, División de Ingeniería Mecánica e Industrial. (2) Investigadora en Ciencias Médicas, Instituto Nacional de Rehabilitación LGII. (3) Rehabilitación de Quemados, INRLGII. (4) Investigador Titular B T C PRIDE C, Dept. Reología y Mecánica de Materiales, Instituto de Investigaciones en Materiales. )

### Introducción

A pesar de que las manos sólo representan el 6% de la superficie corporal, se ven comprometidas en el 80% de los casos con quemaduras extensas. La función de las manos permite independencia en actividades de la vida diaria y una quemadura profunda causa una severa discapacidad debido a las contracturas. En este proyecto se busca medir la deformación y el desplazamiento de la piel de la mano y antebrazo que se generan durante el movimiento articular, y determinar las variables mecánicas relevantes que describen esta respuesta.

### Metodología

Se utilizará el método de correlación de imágenes digitales en 3D, para analizar la respuesta in vivo de la piel. Las técnicas de medición se montaron exitosamente para obtener datos de miembros superiores, y se iniciará con el trámite de autorización de un estudio clínico para la medición de sujetos sanos y pacientes. En dos años se espera tener recolectados los datos de los participantes e integrar grupos por edad y sexo, y en el tercer año generar un modelo digital en 3D, para visualización.

### Resultados

Los resultados esperados del proyecto son mapas de deformación y desplazamiento de piel de miembros superiores de sujetos sanos y con cicatrices por quemadura, al realizar movimiento articular en rangos de movimiento normal. Estos mapas se obtendrán utilizando correlación de imágenes digitales en 3D y se servirán para dar información al personal médico, para planear y mejorar el tipo de tratamiento necesario en pacientes, y así, disminuir secuelas incapacitantes.

### Discusión

Este proyecto se realiza en colaboración y con patrocinio del Instituto Nacional de Rehabilitación LGII. Para continuar con éxito este proyecto, será necesario realizar un convenio de colaboración entre las instituciones y fortalecer el proyecto a través de la participación en programas PAPIME, PAPIIT y CONACyT.

### Conclusiones

Este proyecto, se presentó en el Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica: Alvarez-Camacho M, Martín-García G, Vilatela-Prado A, Díaz-Gallardo G, Serrano-Lezama E, Quiñones I, Sánchez FM. Respuesta Mecánica de la Piel para el Gesto de Flexión Metacarpofalángica. Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, [S.l.], v. 5, n. 1, oct. 2018. ISSN 2395-8928. Disponible en: <http://memorias.somib.org.mx/index.php/memorias/article/view/715>.

Por otro lado, el proyecto se presentó en formato de Póster en la Feria Nacional de Investigación en Medicina Traslacional e Innovación, Organizada por el Consorcio de Medicina Traslacional, integrado por los Institutos Nacionales de Salud, INCIDE, CONACyT y la UNAM.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## BIOCOMPATIBILIDAD DE ALGINATO DE SODIO EN FGH

**Dr. Miguel A. Hernández<sup>1</sup>, Dr. M. A. Álvarez<sup>2</sup>, Dra. Patricia González<sup>3</sup>, Dra. Alba Covelo<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Profesor T.C.T.B, Diseño y Manufactura – DIMEI, <sup>2</sup> Profesor T.C.T.C – Fac. Odontología, <sup>3</sup> Profesor T.C.T-A - Fac. Odontología, <sup>4</sup> Profesor T.C.T.A, Diseño y Manufactura – DIMEI



## COLOQUIO «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»

29 al 31 enero 2019



### Aplicaciones de Impedancia en Biomateriales: Biocompatibilidad de Alginato de sodio en FGH

Dr. Miguel A. Hernández<sup>1</sup>, Dr. M. A. Álvarez<sup>2</sup>, Dra. Patricia González<sup>3</sup>, Dra. Alba Covelo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Profesor T.C.T.B, Diseño y Manufactura – DIMEI, <sup>2</sup> Profesor T.C.T.C – Fac. Odontología, <sup>3</sup> Profesor T.C.T-A - Fac. Odontología, <sup>4</sup> Profesor T.C.T.A, Diseño y Manufactura – DIMEI

#### Introducción

Los biomateriales poliméricos se han desarrollado extensamente en las últimas décadas debido a su versatilidad en el campo de la medicina y biología. Sus múltiples características son evaluadas para obtener parámetros que ayuden a determinar las propiedades de biocompatibilidad [1]. En este trabajo se emplea la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS) para caracterizar andamios celulares en el de nanofibras de Alginato de sodio (SA) con Alcohol Polivinilivo (PVA) obtenidas mediante la técnica de electrohilado. La aplicación de EIS promete grandes resultados electroquímicos.

#### Metodología

Se preparan tres diferentes disoluciones de Alginato de Sodio mezclados con Alcohol Polivinilico en relación 1:1 dando concentraciones de 3.5, 4.0 y 5.0% en peso. Posteriormente, empleando la técnica de electrohilado se obtienen andamios celulares con tamaño nanométrico. Las disoluciones se reticularan en cloruro de calcio. Los andamios son expuestos a cultivo de células de Fibroblastos Gingivales Humanos en una incubadora a 35°C durante 72 horas. A los andamios se les acopla un sensor de EIS conectado a un potencióstato programable.

#### Resultados

Los resultados de EIS indican que las respuestas diferencian las distintas concentraciones de PVA/SA durante el tiempo de ensayo celular. Las muestras al 4.0% muestran un comportamiento más favorable dado que sus propiedades electroquímicas registran un incremento en la resistencia durante el ensayo (Fig. 1a). Esta respuesta fue verificada con evaluaciones de microscopía electrónica de barrido (SEM), en las que se verifica que efectivamente la concentración del 4.0% recubre de mejor forma el andamio electrohilado (Fig. 1b).

#### Discusión

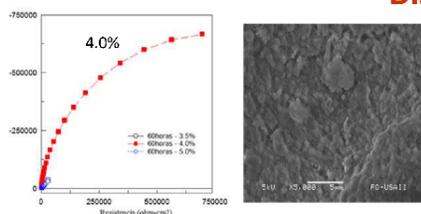


Fig. 1. (A) resultados EIS y (B) Resultados SEM

Los resultados de EIS demuestran que la concentración del 4.0% incrementa su resistencia con las horas de estudio, lo que significa un crecimiento celular en el andamio, que indica una aceptación del PVA/SA con la FGH. La imagen de SEM corrobora este crecimiento mediante capas de células.

#### Conclusiones

Los resultados de EIS demuestran que la técnica es capaz de ir monitoreando el cultivo celular en sus diversas etapas de crecimiento, ya que durante el ensayo, se observan cambios en las propiedades electroquímicas. Sin embargo, la concentración del 4.0% resulta la más viable para el cultivo con Fibroblastos Gingivales Humanos, dado la aceptación e incorporación del cultivo en el andamio.

#### Referencias-

1. A. Covelo, K.K. Gómez, P. Corona-Lira, A.C. Ramírez-Reivich, M. Hernandez. Surface Interface Analysis 50 (2018) 1012-1017

#### Agradecimientos

M. Hernández agradece el apoyo al proyecto PAPIIT IN114316, DGAPA, UNAM (2016-2018).

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería

Secretaría de Posgrado e Investigación

DESARROLLO DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO  
SUSPENDIDO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES E INFORMACIÓN GEOSPACIAL:  
RESULTADOS PRELIMINARES

**M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose\***

**Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar\*\***

\*Profesor Asociado C TC, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, DICyG

\*\*Profesor Asociado C TC, Departamento de Sistemas, Planeación y Transporte, DICyG



## COLOQUIO

# «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»

29 al 31 enero 2019



### DESARROLLO DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

## SUSPENDIDO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES E INFORMACIÓN GEOSPACIAL: RESULTADOS PRELIMINARES

M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose\*, Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar\*\*

\*Profesor Asociado C TC, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, DICyG

\*\*Profesor Asociado C TC, Departamento de Sistemas, Planeación y Transporte, DICyG

### Introducción

El objetivo del proyecto es generar modelos de calidad del aire que permitan estimar PM10 y PM2.5 a partir de mediciones en campo y percepción remota. En la Ciudad de México la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), compuesta por 29 estaciones, monitorea PM10, PM2.5 entre otros contaminantes atmosféricos. Como principal fuente de imágenes para elaboración de los modelos se seleccionó a la plataforma Landsat 8 (L8).

### Metodología

Se formó una base de datos con los valores históricos de PM10 y PM2.5 de la Ciudad de México medidos. Se procesaron ambos conjuntos de datos. Las concentraciones tienen un comportamiento cíclico anual, relacionado con la época de lluvias y estiaje de la CDMX (figura 1). Adicional al análisis por estación se elaboró un análisis espacial. Al zonificar por cuadrantes y posteriormente en interpolación espacial de los datos se obtuvieron los contaminantes PM 2.5 Y PM10. El periodo de evaluación está comprendido del año 2013 al 2018. A la par de la recopilación de los datos históricos se realizó un banco de imágenes satelitales, se seleccionaron las fechas en las que el satélite L8 pasó sobre la ZMCM a partir del 20 de mayo de 2013. Se utilizaron todas las fechas posteriores hasta el mes de mayo de 2018 considerando la resolución temporal del satélite, un total de 115 fechas a lo largo de los 5 años para los que se realizó el análisis. Se utilizaron imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS) tanto nivel 1 como nivel 2, que cuentan con corrección atmosférica. Se obtuvieron valores de las reflectancias atmosféricas para los puntos pertenecientes a las estaciones de monitoreo ambiental, con el fin de poderlos relacionar con lo reportado por SEDEMA.

### Resultados

Se realizó una Regresión Lineal Múltiple conjuntando los datos de PM10 y los valores de reflectancia obtenidos mediante percepción remota, el modelo generado es preliminar cuya finalidad es observar su desempeño mediante R<sup>2</sup>, R-ajustada y el error cuadrático medio; aplicando el conjunto de datos con el que se calculó y con respecto a todos los datos. Aplicando el modelo preliminar a toda la escena para las 44 fechas disponibles, se observó que el modelo presenta una variación de la concentración de PM10 de manera temporal pero espacialmente aún presenta deficiencias ya que no ocurre variación en zonas que presentan alta densidad vegetal, cuerpos de agua y suelo desnudo. En las figuras 2 y 3 se muestran las concentraciones de PM 10 para los días 05-06-2013 donde se presenta baja concentración y para el día 01-12-2014 con concentraciones altas. Las áreas delimitadas por las líneas rojas nos permiten distinguir las zonas conflictivas mencionadas anteriormente. Adicionalmente se realizó un breve análisis de modelos que se reportan en diferentes artículos, con el fin de evaluar las bandas óptimas a utilizar para la construcción de modelos adecuados para la CDMX. En la tabla 1 se reporta el error cuadrático derivado de aplicar 6 modelos diferentes a la escena que contiene la zona sur de la Ciudad de México, estos modelos fueron propuestos en las referencias consultadas.

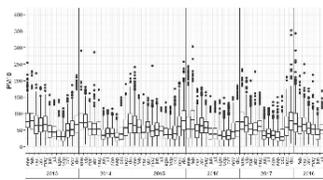


Figura 1: gráfico boxplot para PM10, a las 11:00 hrs de las fechas compatibles con el paso de la plataforma Landsat 8.

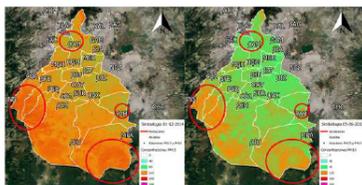


Figura 2. PM10 del 5 de junio de 2013

Figura 3. PM10 del 1 de diciembre de 2014

Referencia	Modelo	Ecuación propuesta	Zona	RMSE
(Torres y Vivianco, 2018)	GWR	PM10 = 31.55 + 111.4 * NDVI - 0.03 * RA_B1 + 0.089 * RA_B3 - 0.013 * RA_B4 - 5.42 * Season	Quito, Ecuador	NR 54.71
(Abad & Mejía-Coronel, 2017)	MLR	PM10 = -125.8 + 0.003 * ND.B11 + 592.7 * TOA.B2 - 207.1 * TOA.B5	Cuaca, Ecuador	77.7 45.90
(Saraswat et al 2017)	MLR	PM10 = -0.8689 - 94.22 * RA.B1 * + 166.48 * RA.B2 + 21.01 * RA.B3 - 78.98 * RA.B4	Delhi, India	18.88 75.05
(Shaheen et al 2017)*	LR	PM10 = 10008 * RA.B2 - 21356 * RA.B3 + 10965 * RA.B4	Franja de Gaza, Palestina	9.71 74.33
(Nadzri et al 2010)*	LR	PM10 = 396 * RA.B2 + 253 * RA.B3 - 194 * RA.B4	La Meca, Arabia Saudita	NR 55.02
(Ozelkan et al 2016)**	LR	PM10 = 232.66 * (RA.B6 / RA.B7) - 78.673	Izmir, Turquía	NR 49.59

Tabla 1. Modelos empleados y RMSE respectivos

\*Modelo realizado mediante imágenes captadas por la plataforma Landsat 7. Modelación generada con imágenes de Landsat 5. En la tabla 3 se muestran las bandas equivalentes empleadas en el modelo para Landsat 8. Ecuador: NDVI, Índice de Vegetación de densidad Normalizada; RA.B1, Reflectancia Atmosférica en la Banda 1; Season, estación del año (1=2014). \*\*Cálculo de reflectancia en el tipo de la Atmósfera en la banda n. Modelos: GWR, Regresión Geoespacialmente; MLR, Regresión Lineal Múltiple; LR, Regresión Lineal; RMSE, error cuadrático Medio; NR, No reportado.

### Discusión de resultados

Con el procesamiento, clasificación y análisis tanto de datos de campo como los extraídos de los sensores remotos se ha logrado tener un panorama sólido para plantear los modelos de mejor ajuste para parámetros de calidad del aire de la CDMX. Se observan variaciones en la calidad del aire en el espacio y tiempo, que serán incorporadas en la segunda fase de este trabajo. Los modelos reportados servirán como referencia, aunque se tendrán que realizar ajustes importantes en las variables dependientes. Se planea incorporar regresiones múltiples por pasos atrasadas, redes neuronales y algoritmos genéticos para mejorar el desempeño de los modelos. Las predicciones de los parámetros PM10 y PM2.5 tienen particularidades propias de cada uno, por lo que será necesario incorporar distintos datos para mejorar los modelos.

### Conclusiones y agradecimientos

Gracias al análisis temporal que se realizó con los datos proporcionados por SEDEMA se lograron percibir ciertos comportamientos del PM dependiendo de la precipitación pluvial, lo cual abre la posibilidad de ahondar más en el tema para poder incluir este parámetro como una variable más al modelo y así éste pueda ser resiliente. De acuerdo con las reflectancias atmosféricas calculadas, se identificaron tres zonas con valores elevados, para aclarar el panorama y poder conocer la razón de este efecto se tiene como propuesta realizar un muestreo en campo.

Especial agradecimiento a SECTI; por apoyos otorgados durante el desarrollo del proyecto SECTI/089/2017. A todos los miembros del equipo que han permitido la realización del proyecto, con especial hincapié a Magnolia Guillermina Martínez Rivera, Pablo de Jesús Ángeles Salto y Carlos Herrera Ventosa.

### Referencias

- Abad, L. & Mejía Coronel, D. (2017). Estimación De La Concentración De Material Particulado Menor a 10 Micras a Través De Sensores Remotos En El Área Urbana De La Ciudad De Quito. XVI Conferencia de Sistemas de Información Geográfica, 381-390. BVM. (2008). ENVI Atmospheric Correction Module: QUAC and RAASH user's guide. Module Version, 44.
- Dhiman, N., Jafri, M. Z. M., & Sen, L. H. (2010). Estimating particulate matter concentration over arid region using satellite remote sensing: A case study in Madinah, Saudi Arabia. Modern Applied Science, 4(11), 131.
- Ozelkan, E., Karimov, R. A., Mochizuki, S., Abd, J. D. U., & Toks, H. (2015). Detection of PM10 levels using data on Landsat 5 TM images: A case study in Izmir, Turkey. Iranian Environmental Bulletin, 24(48), 198-199.
- Saraswat, L., Mishra, R. K., & Kumar, A. (2017). Estimation of PM10 concentration from Landsat 8 OLI satellite: imagery over Delhi, India. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 81(April), 251-257.
- Shaheen, A., Kivai, A. A., Ain, N. U., Aldabbas, M., & Zeehan, A. (2017). Estimating Air Particulate Matter 10 Using Landsat Multi-Temporal Data and Analyzing Its Annual Temporal Pattern over Gaza Strip, Palestine. Journal of Asian Scientific Research, 7(2), 22-27.
- Torres, N., & Vivianco, V. (2018). Comparación en la estimación de material particulado PM10 usando imágenes satelitales Landsat 7, Landsat 8 y MODIS en Quito. Universidad Politécnica Salesiana. U.S. Geological Survey. (2016). LANDSAT 8 SURFACE REFLECTANCE CODE (L4SR) Version 4.3 PRODUCT: Product Guide, (December), 40.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería

Secretaría de Posgrado e Investigación

## ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN RABOSO, RELLENO CLÁSTICO DE LA CUENCA TEPENENE, SUR DE PUEBLA, MÉXICO

**M. C. Yoalli Hernández Marmolejo**

Profesora de Asignatura, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería

**Dr. Gilberto Silva Romo**

Profesor Titular C, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería

Al sur de San Juan Raboso, municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla, se encuentra la Cuenca Tepenene. Se trata de una cuenca tipo pull apart definida por el desplazamiento lateral izquierdo del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito, en la cual se acumuló la Formación Raboso. La Formación Raboso es una unidad litoestratigráfica que consiste en dos miembros conglomeráticos separados por una discordancia angular. El miembro basal, Los Amates está compuesto por clastos de origen metamórfico con granulometría de gravas finas a medias. Los clastos del miembro Los Amates proceden principalmente de las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, en ocasiones, específicamente del Grupo Piaxtla, ambas fuentes expuestas al noreste de la cuenca Tepenene. Durante la evolución de la Cuenca Tepenene ocurrió la rotación de bloques sobre los cuales previamente se había acumulado el miembro Los Amates, lo cual generó la discordancia entre los dos miembros. Los clastos del miembro La Palma son de caliza y de pórfido dacítico, tienen tamaños de cantos y bloques y se encuentran en una matriz arenosa. Dichos clastos proceden de la Formación Morelos y del Intrusivo Abelardo Rodríguez, los cuales están expuestos al norte de la cuenca. El transporte de los clásticos ocurrió como flujos de detritos hiperconcentrados, así como de flujos gravitacionales que edificaron abanicos aluviales con ápice en el hombro norte y que se extendían hacia el sur.

La base de la Formación Raboso no se encuentra expuesta; sin embargo, de acuerdo con la naturaleza de la cuenca se infiere que la unidad se acumuló sobre el Complejo Acatlán y sobre la Caliza Morelos. La Formación Raboso está cubierta en contacto concordante por los depósitos epiclásticos de la Formación Tepexco, los cuales registran una edad U/Pb en circones magmáticos de  $33.52 \pm 0.32$  Ma. En las cercanías del Poblado Tepenene, la Formación Raboso aloja al Pórfido Tepenene, intrusivo que tiene una edad U/Pb  $31.79 \pm 0.52$  Ma. De tal forma, la Formación Raboso se acumuló en el Eoceno tardío-Oligoceno temprano.



## COLOQUIO

# «ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD FI – 2018»



29 al 31 enero 2019

## ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN RABOSO, RELLENO CLÁSTICO DE LA CUENCA TEPENENE, SUR DE PUEBLA, MÉXICO.

M. C. Yoalli Hernández Marmolejo

Profesora de Asignatura, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería

Dr. Gilberto Silva Romo

Profesor Titular "C" Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería

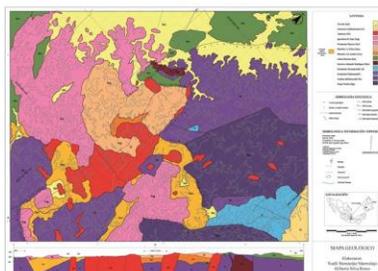
### Introducción

La evolución geológica pre-cenozoica del noreste de Oaxaca y sur de Puebla ha sido estudiada en diferentes ámbitos. En el sur de México se han descrito sucesiones conglomeráticas cenozoicas (Silva-Romo et al., 2018). Entre ellas, destaca la Formación Raboso, sucesión expuesta al sur de San Juan Raboso, municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla. Esta unidad está compuesta por dos miembros conglomeráticos separados por una discordancia angular y definidos con base a su caracterización sedimentológica y procedencia clástica.

### Metodología

Para el estudio de la sucesión conglomerática se elaboró la cartografía del área a escala 1:50,000; se midieron con báculos de Jacob seis columnas estratigráficas expuestas en la carretera 190, se realizaron análisis modales de los conglomerados describiendo tamaño, esfericidad y redondez de cada clasto utilizando una retícula con nodos cada 5, 10 y 20 cm según el caso. Se reconocieron siete litofacies en la Formación Raboso, a cada una se le asignó un código según Miall (2006) tras considerar sus atributos litológicos como textura, estructuras sedimentarias y geometría. Con el fin de obtener edad mínima de la cuenca, se fecharon muestras de dacitas y depósitos volcanoclásticos mediante LA-ICP.

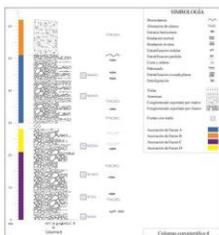
### Cartografía



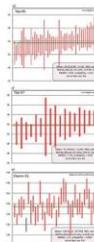
### Resultados



Ampliación de mapa geológico, se muestra el sitio de medición de las columnas estratigráficas, así como de las muestras fechadas.



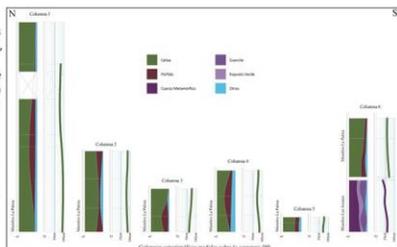
En el Miembro Los Amates (columna estratigráfica seis), se reconocieron las siete facies y cuatro asociaciones de facies. La figura ilustra los atributos reconocidos y los niveles en que se realizaron estaciones de análisis modal de los conglomerados.



- Rango de edades para cada cristal y la edad promedio para la población.
- TEP-06, Formación Tepexco, edad promedio: 33.52±0.38 Ma.
  - CTNN-36, Pórfido Tepenene, edad promedio de 31.79±0.52 Ma.
  - TEP-07, Pórfido Tepenene emplazado en la Formación Raboso con edad de 31.79 Ma.
  - CTPNN-51, Clastos de Pórfido contenidos en el Miembro La Palma, arrojó una fecha de 136 ± 1 Ma.

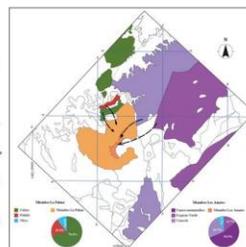
En el miembro Los Amates, los conglomerados consisten en clastos de origen metamórfico (columna 6), en tanto que los clastos en el miembro La Palma son de caliza y de rocas intrusivas como se observa en la figura. Por su parte, los tamaños de clastos decrecen de norte a sur (de la columna 1 a la 6).

En la figura se muestran las seis columnas medidas, a) representan el porcentaje de clastos de cada litología. B) muestra el tamaño de los clastos de la litología más abundante, note que la escala de tamaños es logarítmica.

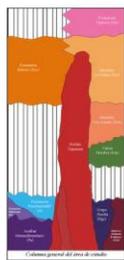


Los clásticos del miembro Los Amates, de cuarzo metamórfico, cuarcita y esquistos verdes, tienen como fuente los afloramientos de una sucesión clástica expuesta al oriente de la cuenca, al Grupo Piaxtla y a otros cuerpos del Complejo Acatlán respectivamente.

Los clásticos del miembro La Palma, de caliza y de pórfido dacítico proceden de la Formación Morelos y probablemente de un cuerpo nombrado Intrusivo Abelardo Rodríguez, expuestos al norte de la Cuenca Tepenene (Hernández-Marmolejo, 2017).



### Conclusiones



#### Sedimentológicas

• En el relleno de la Cuenca Tepenene se reconocieron 4 asociaciones de facies, relacionadas con flujos de gravedad, dispuesta en estratos discontinuos.  
• Al norte de la cuenca se reconocieron facies proximales de abanicos aluviales depositados por flujos de detritos e intercaladas con facies de flujos hiperconcentrados.  
• La Formación Raboso, sobre todo el miembro superior, se acumuló como un abanico aluvial, con ápice en el norte de la Cuenca Tepenene.

#### Estratigráficas

• La Formación Raboso se acumuló en la cuenca Tepenene. Se trata de una sucesión clástica de color pardo rojizo tenue compuesta de conglomerados con horizontes arenosos, y dividida en dos miembros separados por una discordancia angular.  
• El miembro Los Amates está compuesto de conglomerados soportados por clastos de cuarzo metamórfico, cuarcita y esquistos verdes.  
• El miembro La Palma tiene diferentes niveles de conglomerados soportados por matriz, intercalados con areniscas. En este miembro los clastos son principalmente de calizas y como segundo componente se reconocen clastos de pórfido dacítico.  
• Se reporta por primera vez un intrusivo de composición dacítica cubierto discordantemente por la Formación Morelos en las cercanías del poblado Abelardo Rodríguez, al cual se nombró Pórfido Abelardo Rodríguez.

#### Cronológicas U-Pb (LA-ICP)

• La Formación Raboso en el sector norte tiene una edad mayor a 33.52 ± 0.38 Ma, obtenida en depósitos volcanoclásticos que le sobreyacen.  
• El Pórfido Tepenene emplazado en la Formación Raboso tiene una edad de 32 Ma. Las lignimitas que sobreyacen a la Formación Raboso en el sector sur fueron fechadas con una edad de 29.9 Ma. Los clastos de pórfido contenidos en el miembro La Palma tienen una edad de 136 Ma.  
• De acuerdo con las relaciones de corte de los cuerpos intrusivos y con las relaciones de superposición, se propone que el relleno de la cuenca fue producto de un proceso diacrónico en el que las rocas más antiguas se acumularon en el sector norte y las más jóvenes en el sector sur.

### Referencias

- Hernández-Marmolejo, Y.B., (2017). Sedimentología, procedencia del relleno clástico y evolución tectosedimentaria de la Cuenca Tepenene, sur de Puebla, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis de maestría, 152 p.
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C. C., Campos-Madrigal, E., Hernández-Marmolejo, Y. B., de la Rosa-Mora, O. A., de la Torre-González, A. L., ... & Nápoles-Valenzuela, J. I. (2018). Timing of the Cenozoic basins of Southern Mexico and its relationship with the Pacific truncation process: Subduction erosion or detachment of the Chortís block. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 178-194.

Programa 3. Mejoramiento del impacto y la productividad de las investigaciones y el desarrollo tecnológico en la Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MANO A TRAVÉS DE UN MECANISMO ESPACIAL DE 28GDL PARA EL MONITOREO DE LA FUNCIÓN NEUROMUSCULAR

**M. C. Yuri Eduardo Oropesa Rodríguez<sup>1</sup>, Dr. Armando Ortiz Prado<sup>2</sup>, Dr. Raide Alfonso González Carbonell<sup>3</sup>, Dr. Rafael Schouwenaars Franssens<sup>4</sup>, Dr. Fernando Velázquez Villegas<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>P.A. Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, <sup>2</sup>P.T. Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM), <sup>3</sup>P.T. Universidad de Camagüey, Cuba, <sup>4,5</sup>P.T. Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM) UNAM.



COLOQUIO ACADÉMICOS POR LA EQUIDAD EN LA FI – 2018  
 29 al 31 enero 2019



**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MANO A TRAVÉS DE UN MECANISMO ESPACIAL DE 28 GDL PARA EL MONITOREO DE LA FUNCIÓN NEUROMUSCULAR.**

M. C. Yuri Eduardo Oropesa Rodríguez<sup>1</sup>, Dr. Armando Ortiz Prado<sup>2</sup>, Dr. Raide Alfonso González Carbonell<sup>3</sup>, Dr. Rafael Schouwenaars Franssens<sup>4</sup>, Dr. Fernando Velázquez Villegas<sup>5</sup>

<sup>1</sup>P.A. Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, <sup>2</sup>P.T. Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM), <sup>3</sup>P.T. Universidad de Camagüey, Cuba, <sup>4</sup>, <sup>5</sup>P.T. Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM) UNAM.

**Introducción**

La recuperación del grado de movilidad de las estructuras internas de la mano es un factor importante en la rehabilitación de pacientes con discapacidad. Se conoce la complejidad del sistema articular de la mano humana, sin embargo, no se tiene en cuenta a menudo sus características anatómicas, morfológicas, cinemáticas y dinámicas, dando lugar a la simplicidad de los análisis y la obtención de resultados un tanto alejados de la realidad. En este trabajo se considerará la mano humana como un conjunto de cadenas cinemáticas de 28 grados de libertad para su posterior análisis, y brindar un mayor acercamiento al comportamiento de este tan importante miembro del cuerpo humano.

**Metodología**



Figura 1: Metodología para la investigación.

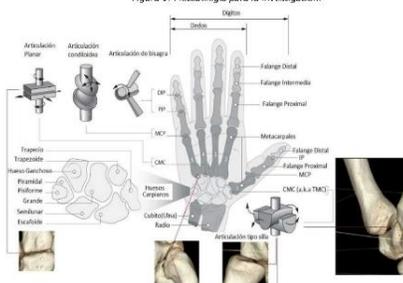


Figura 2: Modelo de mano base para la investigación.

Para el desarrollo de la modelación matemática de la mano humana es importante delimitar la extensión y precisión del modelo, donde se tienen en cuenta criterios de diseño que delimitan los movimientos posibles de la mano, permitiendo guiar y establecer los parámetros de modelación. Además nos permite conocer respecto a qué tipo de agarre, cilíndrico o esférico de presión, o de precisión, es más conveniente a la hora de realizar los tratamientos y para el desarrollo de nuevos diseños de dispositivos para la rehabilitación.

**Resultados**

Se obtienen las ecuaciones de la cinemática directa del modelo biomecánico espacial de la mano de 28 GDL según la convención Denavit-Hartenberg [1,2,3] para su posterior análisis.

Ecuación para dedo trifalángico según Denavit-Hartenberg (Dedo índice al anular).

$$Q_1 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^2T_3(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^3T_4(\theta_{MCPabd}) \cdot {}^4T_5(\theta_{PIPflex}) \cdot {}^5T_6(\theta_{DIPflex}) \cdot {}^6T_7$$

Ecuación para dedo trifalángico según Denavit-Hartenberg (Dedo meñique).

$$Q_1 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^2T_3(\theta_{MCPabd}) \cdot {}^3T_4(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^4T_5(\theta_{MCPabd}) \cdot {}^5T_6(\theta_{PIPflex}) \cdot {}^6T_7$$

Ecuación para dedo bifalángico según Denavit-Hartenberg (Dedo pulgar).

$$Q_0 = {}^0T_0 \cdot {}^1T_0(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^2T_0(\theta_{MCPabd}) \cdot {}^3T_0(\theta_{MCPflex}) \cdot {}^4T_0(\theta_{MCPabd}) \cdot {}^5T_0(\theta_{DIPflex}) \cdot {}^6T_0$$

**Discusión**

Los autores a menudo utilizan los GDL para dar cuenta del número de movimientos asistidos por el dispositivo, pero esos movimientos en realidad están acoplados con otros y, por lo tanto, estrictamente hablando, no son un GDL real. En el trabajo se consideran las características anatómicas y morfológicas de la mano humana, dando lugar a un mayor número de GDL que se consideraran para el diseño del nuevo modelo.

**Conclusiones**

**Referencias**

1. PARIDA, Pramod Kumar. *Kinematic Analysis of Multi-Fingered, Anthropomorphic Robotic Hands*. Mechanical Engineering. National Institute of Technology, ROURKELA, INDIA. 2013. [Consultado el: 17 de Octubre de 2018].
2. LIPPIELLO, V., SICILIANO, B., y VILLANI, L. "Multi-fingered Grasp Synthesis based on the Object Dynamic Properties." *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier. 2013, Vol. 61, p. 626-636.
3. CHEN CHEN, Fai, APPENDINO, Silvia, BATTEZZATO, Alessandro, et al. "Constraint Study for a Hand Exoskeleton: Human Hand Kinematics and Dynamics". *J Robot.* Jul 2013, Vol. 2013, No. Article ID 910961, p. 1-17. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/910961>. DOI: 10.1155/2013/910961



Figura 3. Aspectos por los cuales se basó la búsqueda bibliográfica del tema.

Este documento se formó en agosto de  
2019 en la Facultad de Ingeniería,  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., México  
El diseño y la compilación de  
información estuvo a cargo de la  
Coordinación de Investigación.  
**Secretaría de Posgrado e  
Investigación FI, UNAM**